



Regione Lazio
ASSESSORATO ALL'AGRICOLTURA

Arsial

Agenzia Regionale per lo Sviluppo e
l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio

Osservatorio Faunistico Regionale



UNIVERSITÀ degli STUDI di ROMA
TOR VERGATA

**LABORATORIO DI ECOLOGIA
SPERIMENTALE ED
ACQUACOLTURA**



RELAZIONE TECNICA: Giugno 2009

Relazione tecnica

Coordinamento tecnico-scientifico: Paolo Tito Colombari (ARSIAL)

Censimenti ed analisi: Raffaella Berera(ARSIAL)

Daniele Maurizi(ARSIAL)

Federico Fapperdue(ARSIAL)

Lorenzo Di Tullio(ARSIAL)

Fabrizio Passavanti(ARSIAL)

Coordinamento amministrativo: Bruno Venturini

Analisi dei dati: Fabio Campagna (LESA)

Supervisione scientifica: Lorenzo Tancioni e Stefano Cataudella (LESA)

Studio cofinanziato dall'Agencia Regionale Parchi del Lazio



Giugno 2009

Indice

1 Introduzione	1
2 Materiali e metodi	3
2.1 Area di studio – Provincia di Frosinone	3
2.2 Tecniche di cattura	8
2.2.1 Tecniche di cattura nei sistemi lotici	8
2.2.2 Tecniche di cattura in ambiente lacustre sulla batimetria massima di m 1,5. .	10
2.3 - Campionamento e studio delle comunità dei macroinvertebrati bentonici e applicazione dell'Indice Biotico Esteso (I .B. E.).....	13
2.4 Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.).....	14
2.5 Variabili ambientali	15
2.6 Analisi della fauna ittica rilevata	19
2.6.1 Rilievo parametri biometrici	19
2.6.2 Riconoscimento ed inquadramento sistematico	19
2.7 Analisi dei dati	20
2.7.1 Analisi dei popolamenti	20
3 Risultati.....	23
3.1 Le popolazioni ed i popolamenti ittici nei sistemi lotici.....	23
3.2 Relazioni tra variabili ambientali e popolamenti ittici nei sistemi lotici	30
3.2.1 Test di Mantel.....	30
3.2.2 Analisi delle Componenti Principali (PCA).....	30
3.2.3 Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA).....	34
3.3 Analisi ittiologica del Lago di San Giovanni Incarico	37
4 Discussione	43
4.1 Valutazione della funzionalità ecologica dei corsi d'acqua (IFF) e della comunità dei macroinvertebrati bentonici (I .B. E.).	43
4.2 Caratteristiche delle popolazioni e dei popolamenti ittici	45
4.3 Relazioni tra variabili abiotiche e popolamenti ittici	47
5 Bibliografia	49

1 Introduzione

La carta della biodiversità ittica della Provincia di Frosinone si inserisce nelle attività che l'ARSIAL - Osservatorio Faunistico Regionale, sta svolgendo in collaborazione con il Laboratorio di Ecologia Sperimentale ed Acquacoltura dell'Università degli Studi di Roma "Tor Vergata" per la redazione della carta ittica della Regione Lazio.

Il presente studio è stato realizzato anche attraverso il contributo fornito dall'Agenzia Regionale Parchi del Lazio nell'ambito della convenzione stipulata con l'ARSIAL per la realizzazione della "Carta della Biodiversità Ittica delle Acque Correnti del Lazio".

In questo quadro di riferimento, l'obiettivo prioritario dello studio è stato quello di acquisire le conoscenze di base sulle popolazioni e sulle comunità ittiche delle acque correnti della Provincia di Frosinone, secondo metodi standardizzati coerenti con i protocolli nazionali (Scardi et al., 2007), attraverso l'utilizzo dei pesci come bioindicatori in accordo con la Direttiva Quadro Acque (2000/60/CE) per la valutazione dello stato ecologico degli ecosistemi acquatici associati alle acque di superficie. Il lavoro ha contribuito alla costruzione di un quadro di riferimento sulla biodiversità ittica locale, per la formulazione di proposte di gestione sostenibile del patrimonio ittico provinciale, della pesca e degli habitat indicati nella Direttiva Habitat 92/43/CEE (che rappresenta la norma che condiziona le attuali politiche di conservazione comunitarie e nazionali), con particolare riguardo alle AA.NN.PP. ed ai siti della Rete Natura 2000 presenti a livello locale.

Questo duplice ruolo della componente "fauna ittica" per l'implementazione delle norme citate va trattato ricercando la massima sinergia tra le due chiavi di lettura: più conservazionistica ai sensi della Direttiva Habitat (es. Integrità Faunistica); più funzionalistica ai sensi della Direttiva Acque.

Il presente lavoro, inoltre, è stato finalizzato all'ampliamento delle conoscenze sullo stato di funzionalità ecologica dei sistemi lotici della Provincia di Frosinone, tramite l'applicazione di "metodi di valutazione rapidi" come l'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) e delle conoscenze sull'ecologia delle popolazioni e comunità ittiche fluviali del territorio provinciale attraverso l'analisi delle relazioni tra forzanti ambientali e struttura delle comunità.

Nel presente documento, sono stati riportati i risultati delle campagne di pesca sperimentale svolte tra il 2006 ed il 2008 sui principali sistemi lotici del reticolo idrografico della Provincia di Frosinone e quelli ottenuti attraverso il metodo di campionamento con elettropesca sulla batimetrica inferiore a 1,5 metri nel lago artificiale di San Giovanni Incarico.

Il volume costituisce il documento di base per:

- l'ampliamento delle conoscenze sull'ecologia delle popolazioni e comunità ittiche fluviali dei sistemi lotici del Lazio e della Provincia di Frosinone;
- la gestione sostenibile del patrimonio ittico provinciale, sia per gli aspetti legati alla pesca sportiva e professionale, sia per l'identificazione degli interventi di salvaguardia delle specie ittiche e degli "habitat" indicati nella Direttiva Habitat;
- la redazione di Carte Ittiche di secondo livello e quale contributo ai monitoraggi ambientali basati sulla fauna ittica, ai sensi della Direttiva Acque 2000/60.

Per la finalità divulgativa del volume molti degli argomenti tecnici, che coinvolgono varie discipline scientifiche, sono stati trattati in maniera sintetica e corredati di grafici e tabelle per facilitarne una rapida consultazione.

2 Materiali e metodi

2.1 Area di studio – Provincia di Frosinone

L'area di studio del presente lavoro è rappresentata dal reticolo idrografico della Provincia di Frosinone, caratterizzato da diversi sottobacini: Aniene, Amaseno, Melfa, Sacco, Liri (medio corso) e Liri-Garigliano (confine naturale tra Lazio e Campania)

Per questa ricerca sono stati utilizzati dati originali ottenuti dai campionamenti svolti nel periodo 2006-2008 su 49 stazioni di campionamento delle 59 previste, poste prevalentemente sui corsi d'acqua del reticolo idrografico secondario.

Per la scelta delle zone di campionamento si è tenuto conto di diversi criteri tecnici, come l'identificazione di tratti rappresentativi delle diverse tipologie ambientali, le pressioni antropiche, la presenza di aree protette e l'accessibilità all'alveo.

Ad ogni stazione è stata attribuita un'etichetta di identificazione (acronimo) caratterizzata, nel caso di più campionamenti sullo stesso corso d'acqua, da un numero progressivo da monte a valle.

Nella figura 2.1 vengono visualizzati i bacini regionali mentre nella figura 2.2 sono riportate le stazioni di campionamento localizzate all'interno degli stessi.

Il rapporto comprende anche i risultati dell'indagine svolta nel lago di San Giovanni Incarico nel 2008. Il lago, bacino artificiale del Lazio, creato dallo sbarramento del fiume Liri, è parte integrante della Riserva Naturale "Antiche Città" di Fregellae, Fabrateria Nova e Lago di S. Giovanni Incarico. Posto alla confluenza del Sacco col Liri si trova proprio ai piedi del colle San Maurizio, versante settentrionale dei monti Ausoni-Aurunci, a circa 80 metri s.l.m., ha una superficie di 1,2 Km² ed una lunghezza di circa 2 Km.

I dati relativi al lago, dove è stato testato il metodo di campionamento con elettropesca sulla batimetrica inferiore a 1,5 metri, sono stati trattati separatamente.

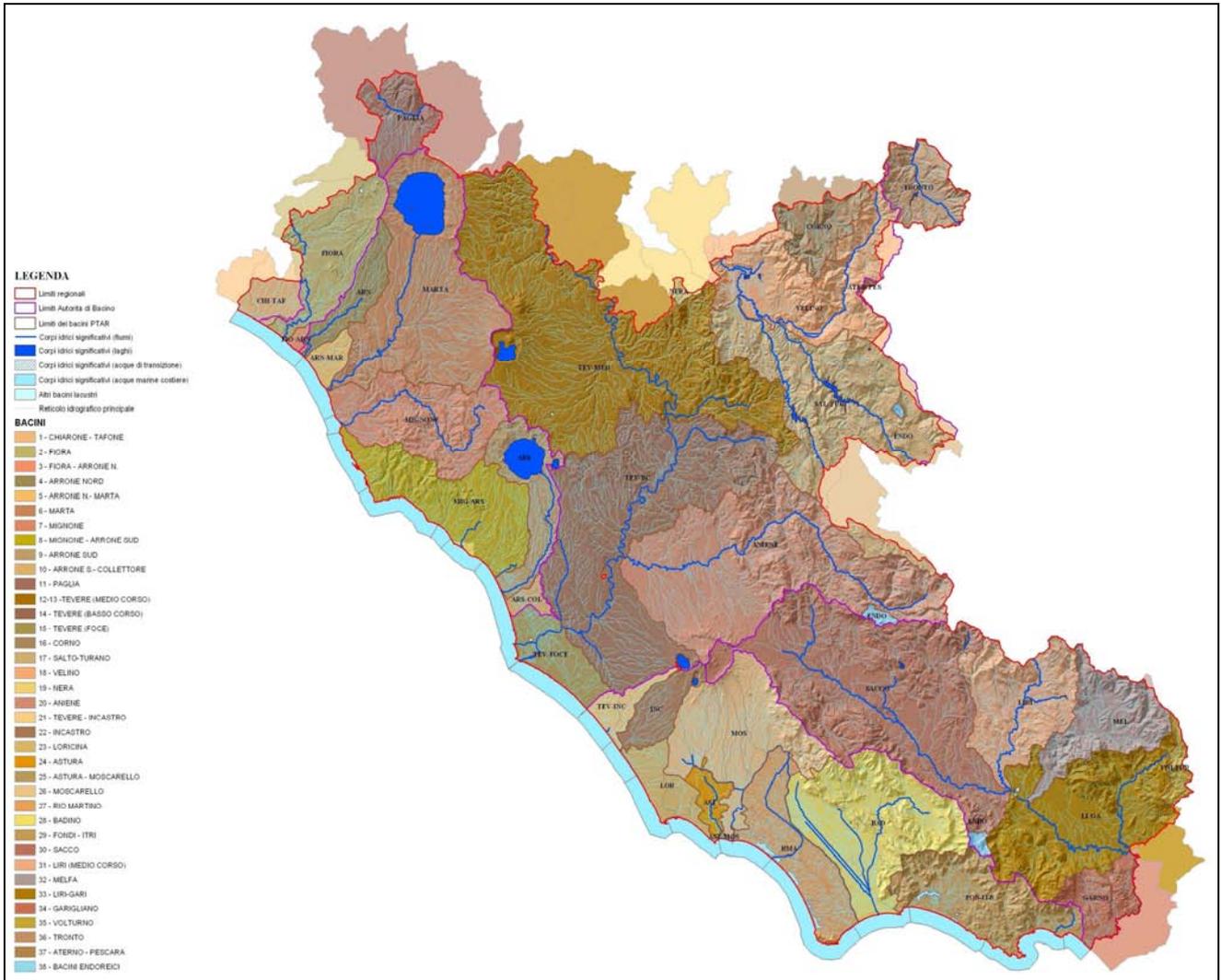


Figura 2.1: Bacini idrografici del Lazio con evidenziazione del territorio provinciale di Roma, in grassetto rosso (modificato da Piano di tutela acque della Regione Lazio, 2007, <http://www.regione.lazio.it>).

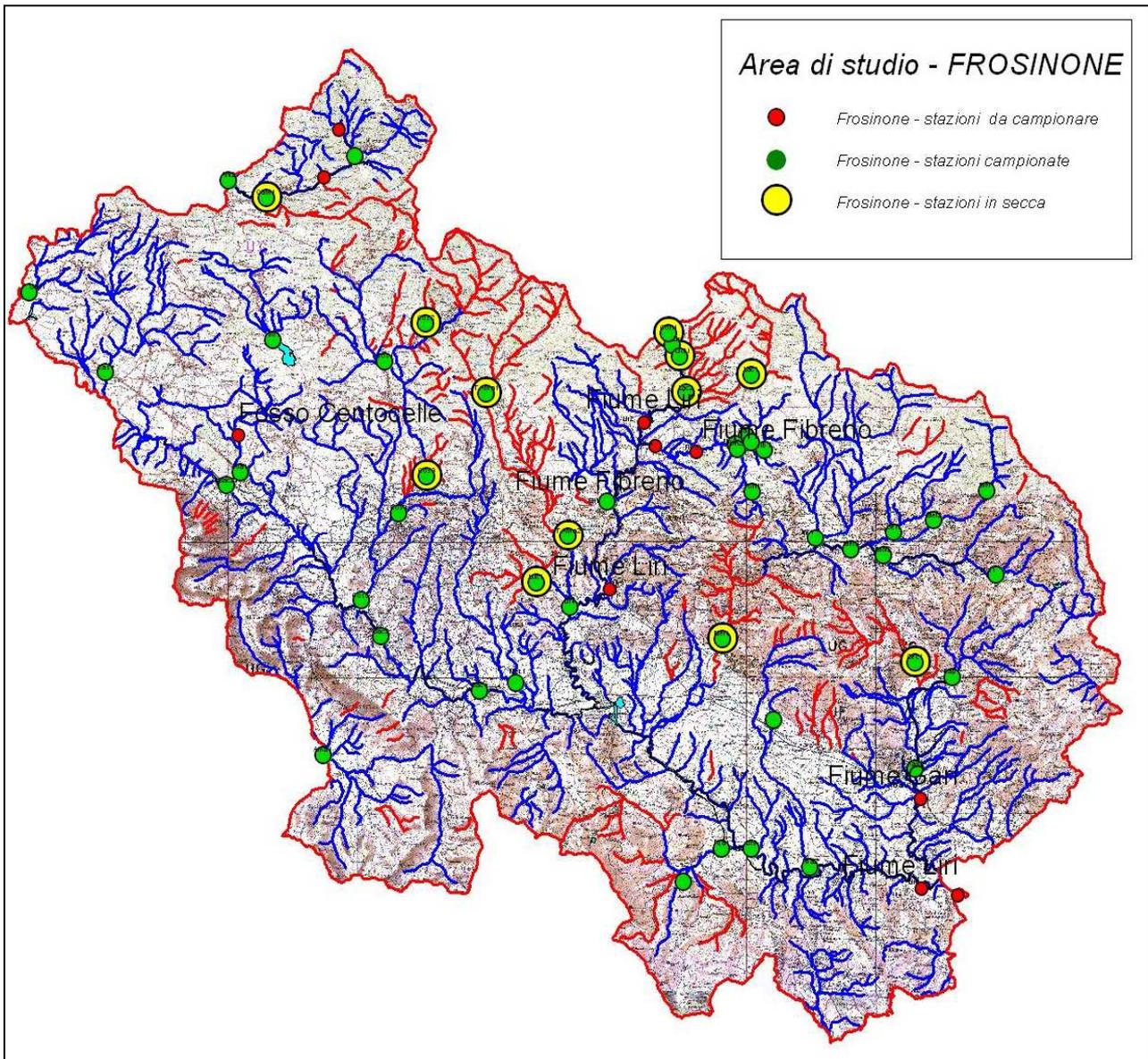


Figura 2.2: - Localizzazione delle stazioni di campionamento nella provincia di Frosinone. Attualmente sono state campionate 49 delle 59 stazioni previste.

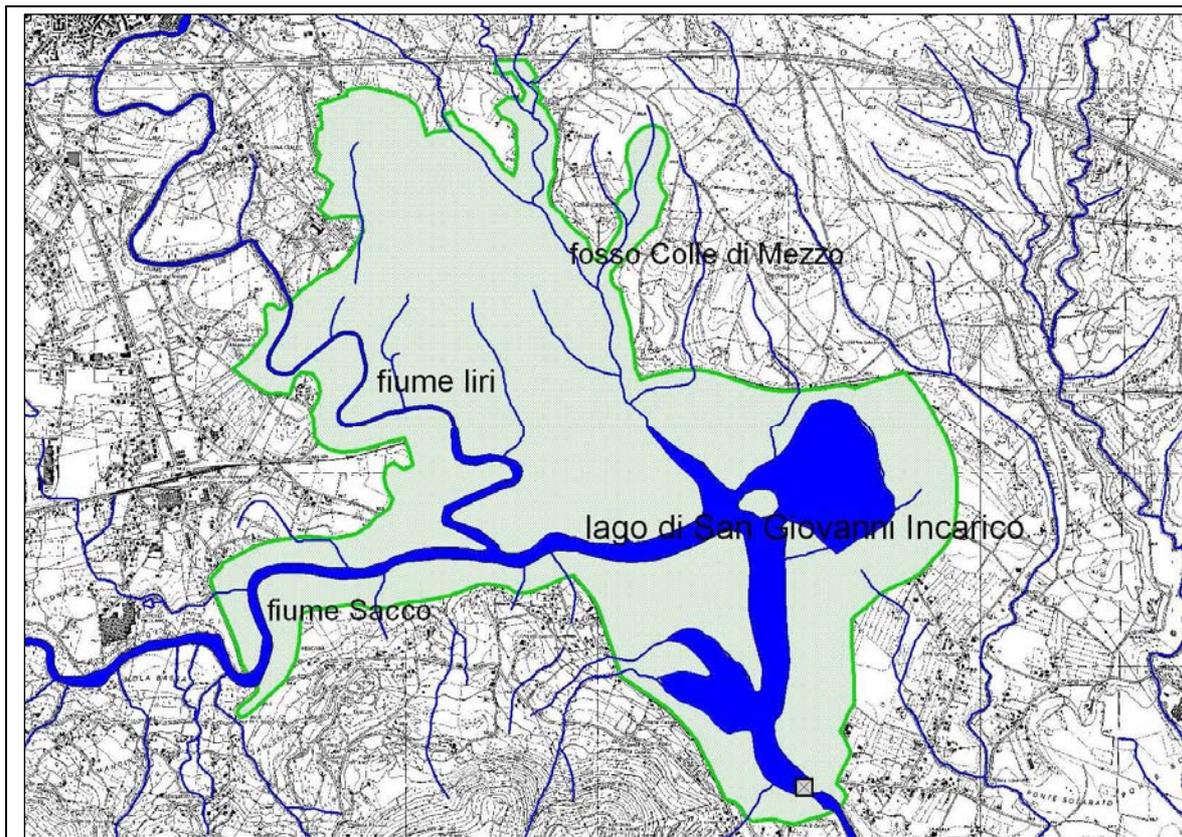


Figura 2.3 - Sottobacino Liri-Garigliano – Lago San Giovanni Incarico (FR), immagine topografica.

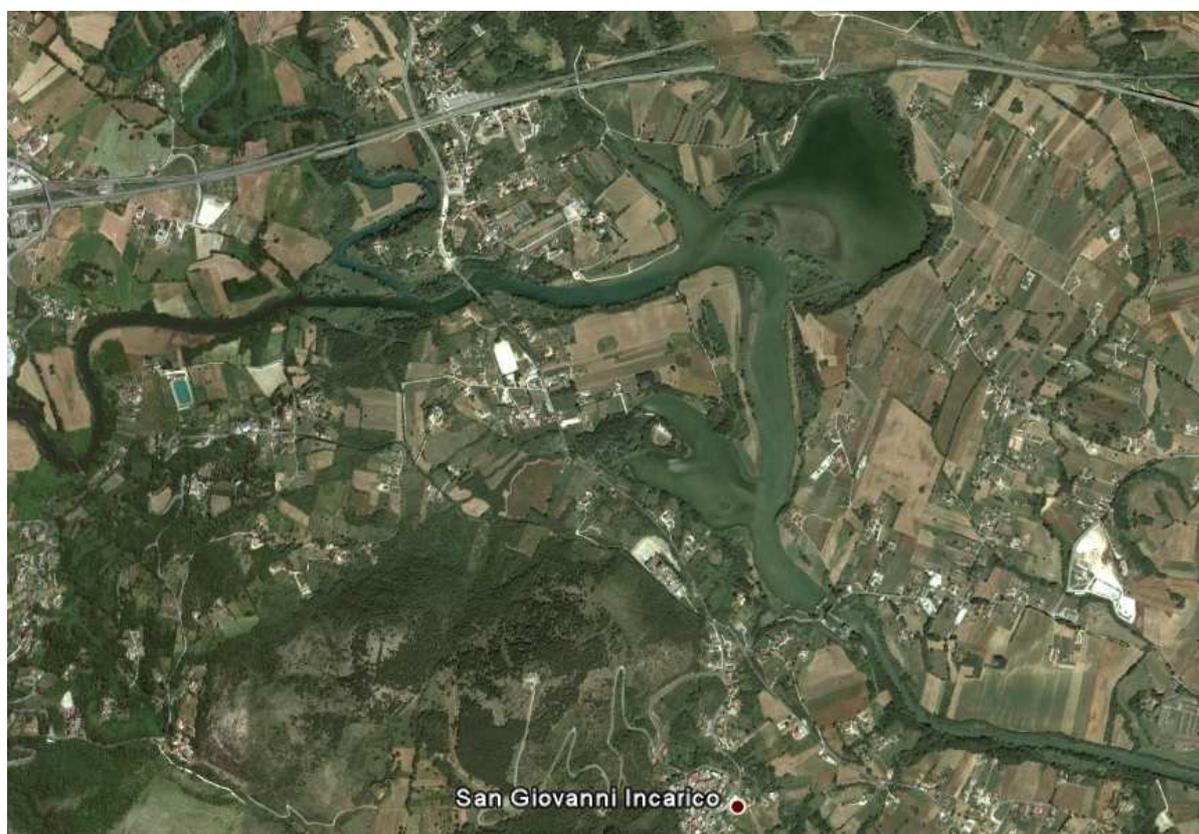


Figura 2.4 - Sottobacino Liri-Garigliano – Lago San Giovanni Incarico (FR), immagine satellitare.

Nella seguente tabella (2.1) è riportato l'elenco delle stazioni localizzate nel territorio provinciale, suddivise per bacino di appartenenza.

Tab.2.1 - Elenco delle stazioni di campionamento per la provincia di Frosinone; in giallo sono evidenziate le aste trovate in secca ed in rosso quelle in cui il campionamento ha rilevato l'assenza di fauna ittica.

BACINO	CORSO D'ACQUA	STAZIONE DI CAMPIONAMENTO
ANIENE	Fiume Aniene	La Mola Vecchia (ANI1)
	Fiume Aniene	Casc.a di Trevi (ANI2)
	Fosso del Campo	Ponte delle Tartare (CAM1)
AMASENO	Fiume Amaseno	F. Amaseno (AMA1)
SACCO	Torrente Alabro	T. Alabro (ALA1)
	Fosso Castellaccio	il Castellaccio (CAS1)
	Fiume Cosa	Stazione di Colleparado (COS1)
	Fiume Cosa	SS. Trinità (COS2)
	Fiume Cosa	Mole Franchi (COS3)
	Fiume Cosa	Mola Nuova (COS4)
	Fiume Cosa	F. Cosa (COS5)
	Fosso del Diluvio	La Costa (DIL1)
	Fosso Meringo	Contr.a Selvotta (MER1)
	Fiume Sacco	Le Tavollette (SAC1)
	Fiume Sacco	F. Sacco (SAC2)
	Fiume Sacco	Mad.na delle Grazie (SAC3)
	Fiume Sacco	M.o di Pofi (SAC4)
LIRI MEDIO-CORSO	Canale Colle Iaruscio	Piano del Fibreno (C.I.)
	Fosso Carpello	F.so di Carpello (CAR1)
	Fosso Confino	C. Tranna (CON1)
	Fosso S. Elia	Contr.a S. Paolo (ELI1)
	Fiume Fibreno	Posta Fibreno (FIB1)
	Fiume Fibreno	P.te Tapino (FIB2)
	Rio Fontechiari	S. Onofrio (FON1)
	Rio Fontechiari	C.le di Ruscio (FON2)
	Torrente Golatesa	Bivio Lanna (GOL1)
	Fiume Lacerno	Campo (LAC1)
	Fiume Lacerno	Pontrineo (LAC2)
	Fiume Liri	C.se del Monaco (LIR1)
	Fiume Liri	Manteca (LIR4)
	Rio San Lucio	Contrada Colli (LUC1)
Torrente Amaseno	T. Amaseno (TAMA1)	
Torrente Amaseno	Le Fornaci (TAMA2)	
MELFA	Fiume Melfa	F. Melfa (MEL1)
	Fiume Melfa	Piana di Santa Lucia (MEL2)
	Fiume Melfa	Cart.a Visocchi (MEL3)
	Fiume Melfa	Spirito Santo (MEL4)
	Fiume Mollarino	C.se Pietrapende (MOL1)
	Fiume Mollarino	Mola Capitolo (MOL2)
	Rio Nero	il Casino (NE1)
Rio Settefrati	Tufo (SET1)	
LIRI-GARIGLIANO	Le Forme d'Aquino	Masseria Turco (FDA1)
	Le Forme d'Aquino	Fosso le Forme d'Aquino (FDA2)
	Forma Quesa	P.te delle Tavole (FQA1)
	Fiume Liri	Limata Grande (LIR5)
	Fiume Rapido	Sorg.te Minerale (RAP1)
	Fiume Rapido	F. Rapido (RAP2)
	Rio della Mola Franca	Mass.a Cerrito (RMF1)
Rio Secco	l'Olivella (SEC1)	

2.2 Tecniche di cattura

2.2.1 Tecniche di cattura nei sistemi lotici

Il primo passaggio nelle analisi che utilizzano le popolazioni ittiche come oggetto di studio è il reperimento di un campione casuale e sufficientemente ampio (rappresentativo di tutte le classi di età/taglia). Sono state utilizzate procedure di pesca ed equipaggiamenti differenti a seconda della profondità dell'acqua, della larghezza dell'alveo, dei siti di campionamento e delle potenziali specie bersaglio.

Nei corsi d'acqua guadabili i campionamenti ittici sono stati effettuati mediante l'utilizzo di un elettrostorditore spallabile ELT 62 II GI-GCV 160 AGK Kronawitter GmbH capace di erogare una potenza di 3 kW in modalità DC e con possibilità di regolazione del voltaggio, ideale per campagne di pesca sperimentale nei corsi d'acqua con profondità < 0,7 m. Per mantenere una elevata efficienza di cattura, particolare attenzione è stata riposta nella regolazione della frequenza di impulso in uscita, a seconda delle condizioni ambientali, delle specie ittiche e delle classi di taglia attese, che possono reagire in maniera diversa all'esposizione al campo elettrico (es. minore efficienza sui giovanili 0+ per la ridotta massa corporea). Le azioni di pesca sono state svolte guadando il fiume a piedi in direzione opposta a quella della corrente, per evitare di lavorare in condizioni di scarsa visibilità e mantenere livelli ottimali di cattura, cercando di coprire in ogni stazione tutti i mesohabitat (es. pozze, raschi e correntini) presenti all'interno di un'area minima pari a circa 20 volte la larghezza dell'alveo (campionamento totale).

Nei corsi d'acqua non guadabili sono stati applicati metodi di cattura parziali attraverso l'uso di un elettrostorditore di maggiori dimensioni e potenza ed utilizzando un'imbarcazione. A causa della grande massa d'acqua la pesca elettrica è stata concentrata in prossimità delle sponde (o comunque su batimetrie contenute) in maniera tale da consentire una buona copertura degli habitat presenti lungo un transetto pari a circa 10 volte la larghezza dell'alveo. La pesca elettrica è stata usata in combinazione ad altre tecniche più efficaci in presenza di grandi volumi di acqua, come l'utilizzo di bertovelli (in grado di consentire anche la cattura degli individui delle classi di taglia più piccole) e reti da posta.

I campionamenti, eseguiti applicando le idonee precauzioni e procedure per la sicurezza, sono stati concentrati nella stagione estiva, durante la quale si rilevano portate minime e migliori condizioni meteo-climatiche; in questo modo sono stati minimizzati i rischi per gli operatori, massimizzata l'efficienza di cattura ed acquisiti dati affidabili sia a livello quantitativo che qualitativo.

Infine, per assicurare la replica dei campionamenti nell'ambito del monitoraggio, lo sforzo di pesca, l'equipaggiamento ed i protocolli di pesca sono stati gli stessi per ciascun campionamento svolto nello stesso sito (standardizzazione delle procedure) (Scardi *et al.* 2007).

I campioni relativi a ciascuna stazione sono stati catturati mediante un unico passaggio dell'elettrostorditore, metodo che permette di ottenere una stima dell'abbondanza relativa del popolamento ittico di un determinato sito.

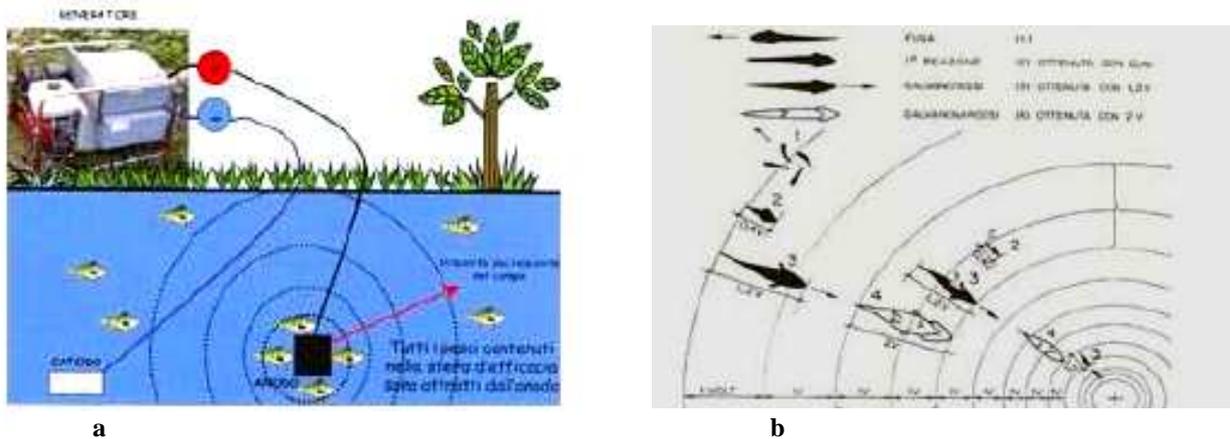


Figura 2.5 - a) schema di funzionamento di un elettrostorditore (Lorenzoni *et al.*, 2006); b) schema degli effetti di un campo elettrico sui pesci (Gelosi e Colombari, 2004). Le reazioni indotte dal campo elettrico sul pesce sono sostanzialmente di due tipi: galvanotassi positiva, con un nuoto attivo verso l'anodo; galvanonarcosi, con una paralisi momentanea del pesce, tale da renderne agevole la cattura.



Figura 2.6 - fasi di pesca con elettrostorditore spallabile.



Figura 2.7 - fasi di pesca con elettrostorditore spallabile.

2.2.2 Tecniche di cattura in ambiente lacustre sulla batimetria massima di m 1,5.

L'elettropesca è stata effettuata in ambiente litorale utilizzando un elettrostorditore ELT 62 II GI-GCV 160 AGK Kronawitter GmbH capace di erogare una potenza di 3 kW in modalità DC e con possibilità di regolazione del voltaggio. Per tutti i campionamenti è stata utilizzata DC 220V, 9A. L'anodo è costituito da un'asta di materiale isolante con interruttore di sicurezza integrato, che reca all'estremità un anello metallico (\varnothing 40 cm) munito di rete per la raccolta del materiale ittico. Il catodo è costituito da una treccia di rame lunga 300 cm. L'imbarcazione è stata utilizzata per raggiungere i punti da campionare nel modo più silenzioso possibile e la profondità di ogni punto deve essere minore di 1.5 metri. Raggiunto il punto da campionare l'anodo è stato immerso ad una profondità pari a circa la metà della colonna d'acqua, poi dopo aver chiuso il circuito, è stato portato lentamente in superficie. Questa operazione è stata eseguita più volte per un tempo di pescata che è variato da uno a quattro minuti in funzione della quantità di pesci catturati. Quest'ultimi sono stati raccolti mediante retino, e stabulati in una vasca all'interno dell'imbarcazione.

Sono stati campionati, a distanze di circa 100 – 50 m, un numero di punti paria a circa 1/120 del perimetro del lago. Mediante l'ausilio di un ricevitore GPS eTrex H Garmin® sono stati memorizzati tutti i punti campionati che sono stati poi elaborati mediante il software GIS.

L'area campionata è stata quantificata misurando la variazione del campo elettrico (V/cm) all'aumentare della distanza dall'anodo e considerando il valore soglia di campo elettrico efficace per la cattura pari a 0,12 mV/cm. La misurazione del campo elettrico viene fatta mediante l'ausilio di una sonda con due elettrodi posti ad una distanza fissa (1 cm) collegata ad un multimetro. Si assume che il raggio di pescata sia omogeneo e, in questo modo è possibile calcolare l'area di pescata $S=\pi r^2$.

In tutta la campagna di pesca sono stati campionati 103 punti ed una superficie di 709 m² di ambiente litorale, pari allo 0,1% della superficie complessiva di questo ambiente, in quanto la superficie del lago con profondità minore di 1,5 m è pari a 612772,5 m².

In ogni punto di campionamento l'azione di pesca è durata per il tempo stabilito pari ad un minuto, salvo nei casi in cui l'abbondanza delle catture ha protratto l'azione fino al recupero totale degli individui storditi. Il tempo di pescata in totale è stato pari a 114 minuti.

Nella tabella seguente è riportata l'area campionata nei differenti giorni di campionamento mentre, nella figura successiva, sono indicati i punti campionati suddivisi per data attraverso colori differenti.

Tabella 2.2 - area campionata nei differenti giorni di campionamento

Giorni di campionamento	Raggio d'azione elettrodo (m)	Area campionata (m ²)
16 settembre 2008	1,45	33
2 ottobre 2008	1,28	82,3
10 ottobre 2008	1,53	169,1
11 ottobre 2008	1,45	145,2
22 ottobre 2008	1,58	141,1
23 ottobre 2008	1,45	52,8
4 dicembre 2008	1,65	85,5
Totale		709

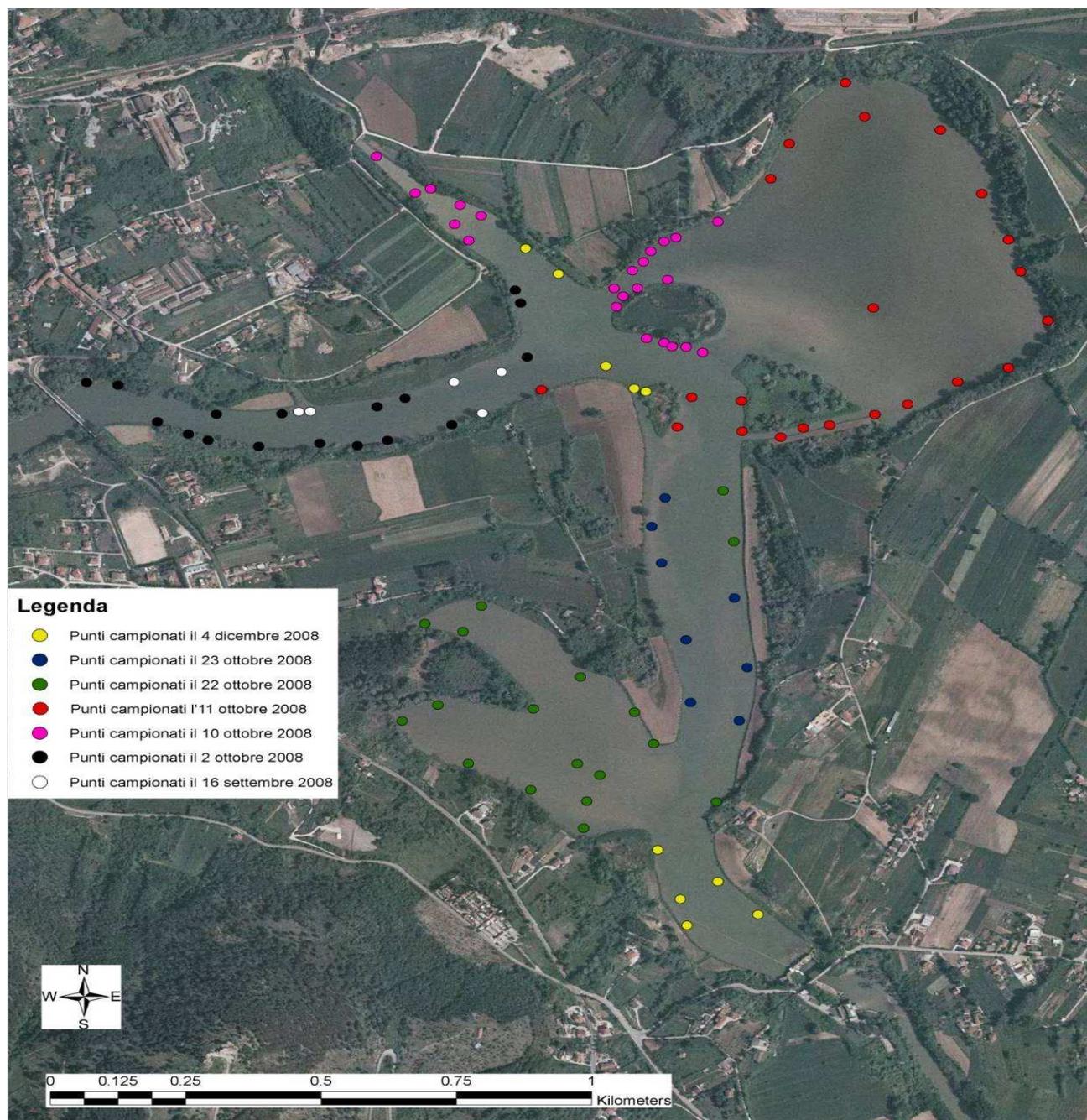


Figura 2.8 - ortofoto dei punti campionati.



Figura 2.9 - multimetro digitale



Figura 2.10 - stativo utilizzato per la misurazione dei pesci



Figura 2.11 - Sonda utilizzata per misurare il campo elettrico.



Carta ittica - Frosinina **Figura 2.12 - imbarcazione utilizzata nei campionamenti**

2.3 - Campionamento e studio delle comunità dei macroinvertebrati bentonici e applicazione dell'Indice Biotico Esteso (I .B. E.).

I metodi basati sulla diversità e la struttura della comunità del macrobenthos, sono risultati strumenti semplici ed affidabili per la determinazione della qualità delle acque ed il mappaggio di reticolati idrografici. Lo studio della comunità biologica permette di integrare i risultati che si ottengono con l'analisi chimica. Infatti quest'ultima considera le caratteristiche delle acque in un ben definito ambito spaziale e temporale, con il rischio di non evidenziare eventuali alterazioni verificatesi in periodi e luoghi diversi da quelli di campionamento. Gli indicatori biologici hanno invece il vantaggio di riassumere la situazione del corpo idrico per un tempo più lungo, in quanto le variazioni di popolamenti biologici, in seguito a stress di origine alloctona, permangono per periodi maggiori e sono quindi rilevabili anche una volta eliminata la causa di stress. Gli organismi raccolti nei campionamenti, dopo un primo smistamento sul campo, sono stati osservati in laboratorio, con l'ausilio di uno stereomicroscopio e classificati. Sulla base della composizione qualitativa e quantitativa dei taxa rinvenuti è stato calcolato il valore E.B.I. (0÷13) che determina l'appartenenza alle 5 classi di qualità. Ad ogni classe di qualità corrisponde un colore convenzionale (azzurro, verde, giallo, arancione, rosso) che, nella realizzazione cartografica rappresenta i differenti livelli di qualità delle acque. Questa scala cromatica descrive il progressivo allontanamento da una qualità buona (azzurro) ed il corrispettivo avvicinamento alle condizioni di massimo degrado (rosso). La carta di qualità rappresenta graficamente le "condizioni di salute" del reticolo idrografico e consente inoltre, con gli aggiornamenti annuali, la verifica degli effetti degli interventi di risanamento.

Tabella 2.3 - classi di qualità e relativo giudizio e colore di riferimento.

CLASSI DI QUALITA'	VALORE DI I.B.E	GIUDIZIO	COLORE DI RIFERIMENTO	RETINATURA DI RIFERIMENTO
Classe I	10-11-12-..	Ambiente non inquinato o non alterato in modo sensibile	azzurro	
Classe II	8-9	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	verde	
Classe III	6-7	Ambiente inquinato o comunque alterato	giallo	
Classe IV	4-5	Ambiente molto inquinato o comunque molto alterato	arancione	
Classe V	1-2-3	Ambiente fortemente inquinato e fortemente alterato	rosso	

2.4 Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.)

L'indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.) è stato concepito per poter essere impiegato in tutti gli ambienti d'acqua corrente con unico limite di applicabilità rappresentato dagli ambienti di transizione e di foce. Il metodo prevede la compilazione di una scheda che è composta da una parte iniziale relativa alle informazioni ambientali di corredo e di 14 domande concernenti le principali caratteristiche ecologiche del corso d'acqua indagato.

Per ognuno dei quesiti riportati nella scheda è possibile scegliere una sola delle risposte predefinite e ad ogni risposta è assegnato un peso numerico che va da un minimo di zero ad un massimo di trenta. Le 14 domande consentono di valutare i diversi compartimenti ambientali e possono infatti essere raggruppate in 4 gruppi funzionali:

- domande 1-4: permettono di individuare e valutare le diverse tipologie strutturali che influenzano l'ambiente fluviale;
- domande 5-6: riguardano le caratteristiche idrauliche del corso indagato;
- domande 7-11: individuano le tipologie che favoriscono la diversità ambientale;
- domande 12-14: valutano la diversità biologica.

Una volta risposto ai quesiti, il valore di I.F.F. si ricava sommando i pesi relativi di ognuna delle risposte scelte e può assumere un valore minimo di 14 ed uno massimo di 300. Ottenuto il valore numerico, questo va tradotto in Livello di Funzionalità (LF) che è espresso con un numero romano che va da I (situazione migliore) a V (situazione peggiore). A sua volta ad ogni LF corrisponde un giudizio di funzionalità ed un colore convenzionale che verrà utilizzato per la rappresentazione cartografica. Allo scopo di graduare meglio il passaggio da un livello all'altro sono previsti inoltre livelli intermedi che vengono rappresentati con un tratteggio a barre, a due colori alternati.

Tab. 2.4 - Livelli di funzionalità e relativo giudizio e colore di riferimento

VALORE DI I.F.F.	LIVELLO DI FUNZIONALITÀ	GIUDIZIO DI FUNZIONALITÀ	COLORE
261 - 300	I	ottimo	Blu
251 - 260	I-II	ottimo-buono	
201-250	II	buono	verde
181 - 200	II-III	buono-mediocre	
121 - 180	III	mediocre	giallo
101 - 120	III-IV	mediocre-scadente	
61 - 100	IV	scadente	arancio
51 - 60	IV-V	scadente-pessimo	
14 - 50	V	pessimo	rosso

2.5 Variabili ambientali

Per ogni stazione di campionamento sono stati rilevati e riportati in apposite schede di campo (Fig.2.6) diversi descrittori ambientali caratteristici degli ecosistemi fluviali e che incidono maggiormente sui popolamenti ittici presenti nei corsi d'acqua, oltre alla produzione di documentazione fotografica (in maniera da rappresentare al meglio le caratteristiche idromorfologiche e vegetazionali).

Per l'inquadramento delle caratteristiche ambientali presenti nel sito di campionamento, si è proceduto alla localizzazione geografica, registrando longitudine e latitudine (in gradi, primi, secondi) con un dispositivo GPS e/o mappe digitali ed alla distinzione dei litotipi (es. calcarei, silicei, vulcanici) su base cartografica specifica (carte geologiche). Per il rilevamento dei parametri chimico-fisici è stata utilizzata una sonda multiparametrica modello Hydrolab Serie DS5 con terminale di campo Hydrolab Surveyor, con la quale sono stati presi in esame i seguenti parametri:

- temperatura dell'acqua;
- ph (metodo elettrometrico);
- ossigeno disciolto;
- conducibilità elettrica.

Per le analisi e per l'elaborazione dei dati eseguite nel presente lavoro sono stati utilizzati solo i descrittori rilevati in tutte le stazioni di campionamento, con i cui valori è stata costruita una matrice in formato Microsoft Excel, escludendo i rilevamenti relativi al lago di San Giovanni Incarico. Le variabili ambientali rilevate sia in situ, in concomitanza con i campionamenti ittici, sia in laboratorio, sono riportate nella tabella seguente (Tab.2.5).

Tab. 2.6 - variabili ambientali.

Variabile	Unità	Breve descrizione
Altitudine	m	L'altitudine del sito espressa in metri sul livello del mare (dati reperibili su base cartografica o da rilievo in situ con GPS)
Distanza dalla sorgente	km	
Parametri morfodinamici		
Larghezza media	m	Larghezza media dell'alveo bagnato nel tratto campionato
Profondità media	m	Media delle profondità rilevate nei diversi mesohabitat presenti nella stazione di campionamento (misure eseguite con aste graduate)
Pendenza	m	Indica il grado di inclinazione o ripidità di un tratto di un corso d'acqua di circa 1000 m, esprimibile in % o in ‰
Correntini	%	Percentuale dell'area campionata dove il flusso appare poco turbolento ed in superficie non si notano forti increspature (stima visiva del rilevatore)
Pozze	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da zone più profonde (stima visiva del rilevatore)
Raschi	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da zone a

		flusso più turbolento, con evidenti increspature in superficie (stima visiva del rilevatore)
Pattern indistinto alla superficie	%	Percentuale dell'area campionata dove il flusso è apparentemente laminare, spesso osservabile nelle sezioni potamali e artificializzate dei "grandi fiumi" (stima visiva del rilevatore)
Presenza zone umide connesse	Si/No	Presenza o assenza di zone umide connesse con l'alveo principale (paleoalvei, aree golenali in genere), utilizzabili quali aree di nursery, di ricovero e di riproduzione per molte specie ittiche
Barre di meandro o puntiformi, isole	Si/No	Presenza o assenza di tali mesohabitat, utilizzati quali aree di nursery per i giovanili (0+) di molte specie ittiche, soprattutto a deposizione litofila
Massi	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da massi di dimensioni >1 m (stima visiva del rilevatore)
Sassi e ciottoli	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da sassi e ciottoli di dimensioni dei grani comprese tra circa 25 mm e <1 m (stima visiva del rilevatore)
Ghiaia	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da ghiaia "fine e media" di dimensioni comprese tra circa 2 mm e <25 mm (stima visiva del rilevatore)
Sabbia	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da sabbie di dimensioni comprese tra circa 0,1 mm e <2 mm (stima visiva del rilevatore)
Limo e argilla	%	Percentuale dell'area campionata rappresentata da sedimenti di granulometria compresa tra 0,007 (argilla) e <0,06 ("silt grossolano") (stima visiva del rilevatore)
Velocità del flusso	0-5	Considerata la complessità operativa, per il corretto rilevamento di questo parametro si può considerare una stima semiquantitativa (stima effettuata dall'esperto) che tenga conto di misure eseguite in situ con idromulinello o, almeno, con galleggianti (es. 0=acque ferme; 1=5-6 cm/s; 2=7-30 cm/s; 3=35-50 cm/s; 4=55-100 cm/s; 5=>100 cm/s)
Copertura vegetale in alveo	%	Percentuale dell'alveo fluviale coperta da macrofite acquatiche (stima visiva del rilevatore)
Ombreggiamento	%	Percentuale dell'area campionata ombreggiata (grazie alla presenza di formazioni arboree perifluviali) nelle ore centrali della giornata (stima visiva dell'operatore)
Parametri relativi alla pressione antropica		
Disturbo antropico	0-4	Tale variabile prende in considerazione impatti antropici sempre crescenti (urbanizzazione, scarichi di varia origine, alterazioni idromorfologiche, degrado della vegetazione riparia, ecc.) (stima visiva del rilevatore)
Diga/Sbarramento a monte	Distanza in km	Questa variabile contribuisce a caratterizzare il segmento fluviale in termini di continuità longitudinale e di potenziale effetto della presenza sulle popolazioni ittiche. Si potrebbe considerare 100 km come distanza limite di uno sbarramento per impatti diretti sul biota e, per tale ragione, si può utilizzare 100 in caso di assenza di dighe
Sbarramento a valle	Si/No	Nel caso della presenza di uno sbarramento a valle, insormontabile per le popolazioni ittiche migratrici (nel caso sia sprovvisto di appositi "passaggi"), l'effetto negativo è comunque stimabile a prescindere dalla distanza
Lago a monte	Distanza in km	La presenza di un lago a monte del sito di campionamento può avere effetti importanti sulle popolazioni ittiche (es. alterazione delle portate e del regime termico). Nel caso in cui il lago sia localizzato ad oltre 50 km a monte, l'impatto sul biota può essere ritenuto molto attenuato. In casi di assenza di un lago a monte si può indicare con 50 km
Parametri chimici e fisici		
Temperatura dell'acqua	°C	
pH		La misura dell'acidità/basicità è utile per comprendere i diversi comportamenti del carbonio, nei suoi equilibri tra ione carbonato, CO ₃ ²⁻ , ione bicarbonato, HCO ₃ ⁻ , e CO ₂ ,

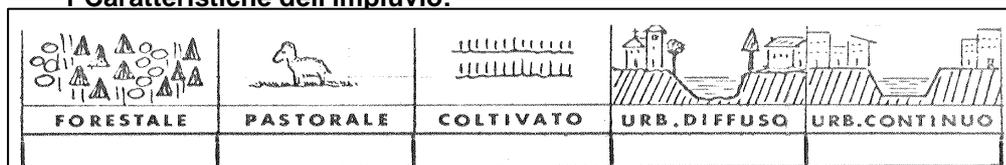
		poiché all'aumento della concentrazione di ioni bicarbonato e carbonato, a parità di tutte le altre condizioni, cresce il pH nelle acque naturali che è generalmente compreso tra 6,6 e 7,8, ma varia anche in relazione al tipo di substrato e all'attività fotosintetica presente nell'acqua
Conducibilità elettrica	μS/cm	Esprime il contenuto di sali nell'acqua; è un buon indicatore della mineralizzazione delle acque; aumenta passando dalla sorgente alla foce per l'aumento del contenuto di ioni
Ossigeno disciolto	% sat	Esprime il contenuto dell'ossigeno in funzione dell'altitudine, della profondità del campionamento e della temperatura

Viene di seguito riportato un esempio di scheda di campo (Tab. 2.6 - 2.7)

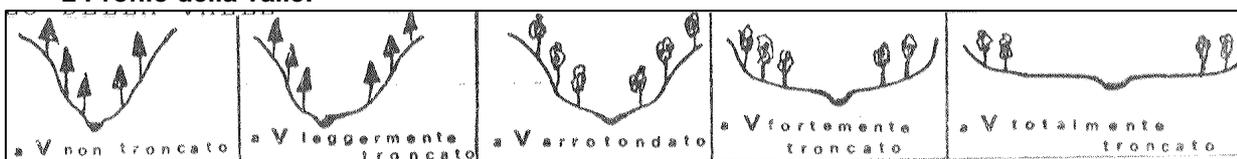
Tab. 2.6 - PRIMA SCHEDA DA CAMPO PER ACQUE CORRENTI

Bacino:	Corso d'acqua:		Data:		
Località:		Codice:		Scheda n°:	
Comune/i interessati:					
NOTE:					
Longitudine		Latitudine			
Quota (m s.l.m.):		Area sottesa (km ²)			
Regime di portata:	Permanente	Temporanea	Sbarramenti a monte km (max 100)	Si	No
Lunghezza sezione (km):			Sbarramenti a valle	Si	No
Distanza dalla sorgente (km):			Lago a monte	Si	No
Litologia:	Siliceo/vulcanico	calcareo	Presenza di zone umide connesse	Si	No
Gradiente:			Barre di meandro puntiformi	Si	No
Disturbo antropico					

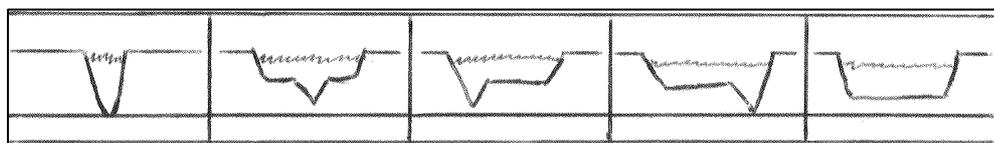
1 Caratteristiche dell'impluvio:



2 Profilo della valle:



3 Profilo trasverso della sezione:



4 Tipologia del substrato (mm): (Nel caso di substrati misti indicare la % stimata.)

Organico	Argilla	Lima	Sabbia	GHIAIA	Ciotoli	Sassi	Muschi	Roccia
	< 0,02	0,02 - 0,2	<= 2	2 - 16	16 - 64	64 - 256	> 256	

Le due categorie di substrato non contraddistinte con classi dimensionali riguardano:

- substrato organico, composto principalmente da sostanza organica molto fine;
- fondo roccioso, rappresentato da una superficie continua rocciosa.

Tab. 2.7 - SECONDA SCHEDA DA CAMPO PER ACQUE CORRENTI

FIUME:	STAZIONE:	CODICE:
Data		

Condizioni Meteorologiche				
SERENO	PARZ.COPERTO	COPERTO	PIOGGIA	VENTO
Temperatura Aria °C			Direzione del vento	

Altre caratteristiche del sito di campionamento (parametri idro-morfodinamici e vegetazionali)

Lunghezza del transetto (m)	
Larghezza media dell'alveo bagnato (m)	
Profondità media (m)	
Profondità massima (m)	
Area campionata (m ²)	
Stima della velocità di corrente (m/s)	
Classe di velocità di corrente (lenta, intermedia, rapida)	
Tipo di "habitat" (salti/saltelli, rapide, correntini, pozze, raschi, aree flusso uniforme)	
Salti/saltelli (% superficie)	100%
Rapide (% superficie)	
Correntini (% superficie)	
Pozze (% superficie)	
Raschi (% superficie)	
Aree flusso uniforme in superficie (% superficie)	
Copertura vegetale in alveo (alghe, muschi, fanerogame) (% superficie)	
Ombreggiamento (% superficie)	

Parametri fisici e chimici (opzionali)

Temperatura (°C)	O2 (mg/l)	Nitriti N-NO2 (mg/l)
pH	O2 (%sat)	Ortofosfati P-PO4 (mg/l)
Conducibilità (µS/cm)	Durezza (°F)	Redox (mV)
Torbidità (NTU)	Ammonio NH4+ (mg/l)	
Clorofilla (mg/l)	Nitrati N-NO3 (mg/l)	

Caratteristiche dell'acqua

colore	trasparente	presenza idrocarburi	lieve
	legg. opalescente		in superficie
	opalescente		a chiazze
torbidità	lieve	presenza schiume	lieve
	discreta		discreta
	elevata		elevata

2.6 Analisi della fauna ittica rilevata

2.6.1 Rilievo parametri biometrici

Le operazioni di rilievo dei parametri biometrici sono state eseguite, al fine di minimizzare lo stress, con esemplari sottoposti ad anestesia con il 2-fenossietanolo in proporzioni 0,5 cc/l. I soggetti sono stati fotografati, ponendoli su un piano provvisto di asta metrica, determinato il peso (mediante l'ausilio di una bilancia elettronica con errore di ± 1 g) e sottoposti ad un esame esterno per l'individuazione di deformazioni, tumori o ulcerazioni.

Prima del rilascio nel fiume, gli animali catturati sono stati stabulati in una piccola rete (nassa) o tratta manuale (“trattina”) per la fase di risveglio.

In laboratorio, utilizzando software di analisi delle immagini, sono stati rilevati tutti i parametri biometrici previsti dal protocollo.

Al termine delle operazioni di campionamento, ad eccezione degli esemplari conservati per successive analisi di laboratorio, tutti gli esemplari catturati sono stati rilasciati nello stesso sito di cattura nei pressi delle rive in aree a ridotto idrodinamismo.

Tutti gli esemplari catturati sono stati identificati a livello di specie basandosi su caratteri morfologici. Nel caso gli esemplari catturati di dubbio riconoscimento in campo (es. ibridi, specie molto simili, o giovanili), sono stati conservati (es. in ghiaccio, alcool o formalina al 4%) e trasportati in laboratorio per un'analisi più accurata.

2.6.2 Riconoscimento ed inquadramento sistematico

Per il riconoscimento e l'inquadramento sistematico dei taxa ittici ci si è avvalsi dei seguenti manuali e lavori scientifici della letteratura specializzata: “I pesci delle acque interne italiane” (Gandolfi *et al.*, 1991); “Pesci delle acque interne d'Italia” (Zerunian, 2004); “Compendio grafico dei pesci d'acqua dolce italiani” (Tancioni e Colombari, 2006). Per alcuni taxa, come il genere *Barbus* sono state accettate le proposte di revisione sistematica di altri Autori (Bianco 1995; 2003a; 2003b; 1982; 1983; Bianco & Ketmaier, 2001). In particolare, per quanto riguarda il genere *Barbus* ed il taxon *Barbus tyberinus* sono stati considerati i contributi: “A revision of the Italian *Barbus* species (Cypriniformes: Cyprinidae)” (Bianco, 1995), “The freshwater fishes of Europe – Vol. 5/II – *Barbus*” (Bianco, 2003a e 2003b) e “Individuazione e riconoscimento dei barbi autoctoni nel bacino del fiume Paglia” (Lorenzoni *et al.*, 2006).

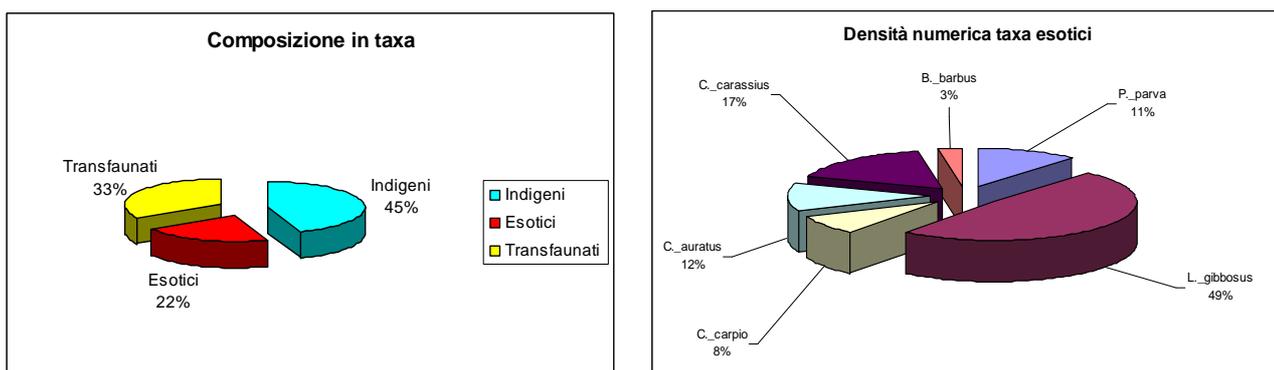
Inoltre, per alcuni taxa è stata utilizzata la “nuova nomenclatura” basata su approcci molecolari. Ci si riferisce, in particolare, al cavedano *Leuciscus cephalus*, che sono stati collocati nel genere *Squalius* sp, in accordo con diversi Autori (Briolay *et al.*, 1998, Gilles *et*

al., 1998; Kottelat e Freyhof, 2007) ed al vairone, in precedenza classificato come *Leuciscus souffia muticellus* (sensu Salzburger et al., 2003), da classificare come *Telestes muticellus*, in accordo con Zaccara et. al.(2007). Inoltre, per la trota macrostigma è stata mantenuta la vecchia nomenclatura di *Salmo (trutta) macrostigma*, anche se è ormai riconosciuto il reinquadramento nel taxon *Salmo cetti* (Kottelat e Freyhof, 2007 e Bianco e Delmastro, 2011).

2.7 Analisi dei dati

2.7.1 Analisi dei popolamenti

Per facilitare la lettura dei risultati derivati dai censimenti ittici, si è proceduto all'elaborazione di grafici esemplificativi che evidenziassero la composizione in taxa dei corsi d'acqua analizzati, i rapporti tra taxa autoctoni ed alloctoni, sia in termini di frequenza numerica che di biomassa, il numero di osservazioni per taxon ed il numero di taxa per corsi d'acqua di diverso ordine ed estensione di bacino.



2.7.2 Aspetti relativi alle relazioni tra variabili abiotiche e popolamenti ittici

L'elaborazione dei dati, attraverso l'applicazione di tecniche di analisi multivariata, è stata eseguita principalmente per ricercare delle correlazioni tra forzanti fisiche e chimiche e le caratteristiche strutturali dei popolamenti ittici. E' stata quindi seguita la seguente modalità operativa:

1) Test di Mantel: è un test usato per verificare il grado di correlazione esistente fra due matrici di distanze o di similarità. L'ipotesi nulla che viene testata è quella di indipendenza fra le matrici analizzate, mentre il livello di probabilità relativo al valore della statistica viene calcolato sulla base di una procedura iterativa (Scardi, 2007). A questo scopo è stata costruita una matrice formata da due blocchi di dati: il primo con le stazioni in riga e le variabili ambientali in colonna (matrice 81 x 27) ed un secondo blocco, sempre con le stazioni in riga,

ma con le densità assolute delle specie ittiche in colonna (matrice 81 x 40), per misurare il loro livello di correlazione;

2) Analisi delle Componenti Principali (PCA): è una tecnica di ordinamento semplice che, attraverso il calcolo dei contributi delle variabili ambientali, determina l'ordinamento delle osservazioni (stazioni di campionamento). Tale procedura consiste in una rotazione rigida degli assi dello spazio multidimensionale dei dati, in modo tale da orientarli coerentemente con i pattern di dispersione dei dati stessi (cioè non cambia la posizione degli oggetti nello spazio, ma ridefinisce solamente il sistema di coordinate). Ciò consente di rappresentare un insieme di dati in maniera efficace, anche in un numero ridotto di dimensioni, cioè in un sistema di assi ortogonali (le Componenti Principali). Come per la maggior parte delle tecniche di ordinamento, anche per la PCA è necessaria l'estrazione di autovalori ed autovettori da una matrice. Nel caso specifico si tratta in genere di una matrice di covarianza o di correlazione. L'output grafico è rappresentato dalla proiezione dei descrittori ambientali e delle osservazioni, nello spazio definito dalle Componenti Principali. Inoltre, sotto forma di grafici a barre, sono rappresentabili i contributi delle diverse variabili all'ordinamento. La proiezione dei descrittori deve essere interpretata in maniera leggermente diversa da quella delle osservazioni. In quest'ultimo caso, infatti, è la distanza fra i punti che consente di valutare la somiglianza delle osservazioni, mentre nel primo caso sono piuttosto gli angoli, che formano i vettori che identificano i punti-descrittore nello spazio delle Componenti Principali, a rappresentare le relazioni fra i descrittori stessi (Scardi, 2007);

3) Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA): utilizzata per evidenziare le relazioni tra parametri abiotici (variabili fisico-chimiche) e biotici (specie ittiche). Questa tecnica, applicata attraverso il programma PAST (PAleontological STatistics), combina concetti di regressione e ordinamento per valutare il grado di correlazione tra due insiemi di variabili qualitativamente eterogenei come tra un primo insieme di dati relativo alle densità delle specie ittiche nelle diverse stazioni di campionamento ed un secondo insieme rappresentato dai descrittori ambientali; consente cioè di eseguire un confronto diretto tra le due matrici e di stabilire le influenze relative delle diverse variabili abiotiche sulla struttura del popolamento. Per l'Analisi Canonica delle Corrispondenze, la matrice dei dati può essere vista come l'insieme delle n osservazioni (stazioni) relative a due sottoinsiemi, composti rispettivamente da p e da q variabili (parametri ambientali e densità delle specie), con $p \leq q$. I dati relativi alle variabili ambientali sono stati utilizzati per costruire una matrice di 81 righe (stazioni) x 27 colonne (variabili ambientali). I dati relativi alle densità assolute delle singole specie in ciascuna

stazione sono stati usati per costruire una seconda matrice di 81 righe (stazioni) x 40 colonne (specie).

L'analisi procede mettendo in relazione le variabili dipendenti (specie) e quelle indipendenti (forzanti abiotiche), in modo da sviluppare un numero di funzioni canoniche che ne massimizzi la correlazione. L'obiettivo principale della CCA è, quindi, ottenere delle combinazioni lineari (variate canoniche) e derivare un set di "pesi" per ogni variata, così che sia possibile spiegare la natura delle relazioni che esistono tra le variabili risposta e quelle predittive, misurata come contributo relativo di ogni variabile alla funzione canonica. Per esempio, analizzando il popolamento ittico in relazione con parametri abiotici, le variabili dei set di partenza (variabili ambientali e popolamento ittico) sono combinate in una relazione lineare del tipo:

$$\text{Bio1} = \text{B1} * a_1 + \dots + \text{B}_i * a_i \quad \text{Amb1} = \text{A1} * b_1 + \dots + b_i * a_i$$

dove Bio1 e Amb1 sono le prime coppie delle variabili canoniche ed a_i e b_i sono i coefficienti (chiamati pesi) riferiti alle variabili originali; il loro valore è determinato in modo che la correlazione tra Bio1 e Amb1 sia massimizzata. Il primo paio di variate canoniche ha il più alto valore di correlazione canonica. La correlazione canonica è considerata una correlazione multipla di Bio1 con le variabili ambientali o Amb1 con le misure biotiche. L'analisi produce un secondo paio di combinazioni lineari che risulterà avere la seconda più alta correlazione canonica. L'analisi continuerà formando un numero di coppie uguale al numero di variabili del data set più piccolo. Queste coppie vengono poi classificate secondo i loro valori di correlazione. Il risultato è una misura della forza della relazione tra i due set di variabili multiple. Tale misura viene espressa come coefficiente di correlazione canonica.

La CCA produce assi ortogonali dai quali è possibile ottenere un output grafico che rappresenta la correlazione fra i due sottoinsiemi di variabili eterogenee e l'ordinamento delle osservazioni (quest'ultimo ottenuto sulla base della distribuzione delle specie) (Scardi, 2007).

3 Risultati

3.1 Le popolazioni ed i popolamenti ittici nei sistemi lotici

Nella seguente tabella 3.1 vengono riportati i 26 taxa censiti nel corso dei campionamenti eseguiti nel 2006-08 nei sistemi lotici della Provincia di Frosinone. I taxa sono stati suddivisi, in base al proprio areale di distribuzione originario in indigeni (taxa originari), transfaunati (introdotti dai bacini dell'area padana) ed esotici (introdotti dall'estero).

Tabella 3.1: Taxa ittici censiti nelle acque della Provincia di Frosinone tra il 2006 e il 2008, suddivisi in base all'origine.

NOME COMUNE	NOME SCIENTIFICO	ORIGINE
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	Esotica
Carassio	<i>Carassius carassius</i>	Esotica
Carassio dorato	<i>Carassius auratus</i>	Esotica
Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	Esotica
Persico sole	<i>Lepomis gibbosus</i>	Esotica
Barbo europeo	<i>Barbus barbus</i>	Esotica
Lampreda di ruscello	<i>Lampetra planeri</i>	Indigena
Scardola	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Indigena
Cavedano	<i>Squalius cephalus</i>	Indigena
Vairone	<i>Telestes muticellus</i>	Indigena
Rovella	<i>Rutilus rubilio</i>	Indigena
Barbo tiberino	<i>Barbus tyberinus</i>	Indigena
Ghiozzo di ruscello	<i>Gobius nigricans</i>	Indigena
Spinarello	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Indigena
Anguilla	<i>Anguilla anguilla</i>	Indigena
Carpione del Fibreno	<i>Salmo fibreni</i>	Indigena
Trota macrostigma	<i>Salmo (trutta) macrostigma</i>	Indigena
Trota fario (ceppo atlantico) *	<i>Salmo (trutta) trutta</i>	Tranfaunata?
Alborella	<i>Alburnus alburnus alborella</i>	Tranfaunata
Barbo comune	<i>Barbus plebejus</i>	Tranfaunata
Cobite	<i>Cobitis tenia bilineata</i>	Tranfaunata
Triotto	<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	Tranfaunata
Savetta	<i>Chondrostoma soetta</i>	Tranfaunata
Lasca	<i>Chondrostoma genei</i>	Tranfaunata
Gobione	<i>Gobio gobio</i>	Tranfaunata
Ghiozzo padano	<i>Padogobius martensii</i>	Tranfaunata

* Le trote catturate nei tratti montani dei corsi d'acqua della provincia di Frosinone sono state classificate come trote fario di ceppo atlantico e, quindi, dovrebbero essere considerate tranfaunate o di origine esotica.

Dei 26 taxa analizzati, 11 (il 42%) sono da considerarsi indigeni dulciacquicoli: cavedano (*S. cephalus*), vairone (*T. muticellus*), barbo tiberino (*B. tyberinus*), ghiozzo di ruscello (*G. nigricans*), rovello (*R. rubilio*), lampreda di ruscello (*L. planeri*), scardola (*S. erythrophthalmus*), spinarello (*G. aculeatus*), carpione del fibreno (*S. fibreni*), trota macrostigma (*S. (trutta) macrostigma*) e anguilla (*A. anguilla*). I taxa transfaunati sono 9 (35%): alborella settentrionale (*A. alburnus alborella*), lasca (*C. genei*), triotto (*R. erythrophthalmus*), ghiozzo padano (*P. martensii*), gobione (*G. gobio*), trota fario (*S. (trutta) trutta*), savetta (*C. soetta*), cobite (*C. tenia bilineata*) e barbo comune (*B. plebejus*) e 6 sono quelli esotici (23%): carpa (*C. carpio*), carassio (*C. carassius*), carassio dorato (*C. auratus*), pseudorasbora (*P. parva*), barbo europeo (*B. barbus*) e persico sole (*L. gibbosus*) (Fig. 3.1).

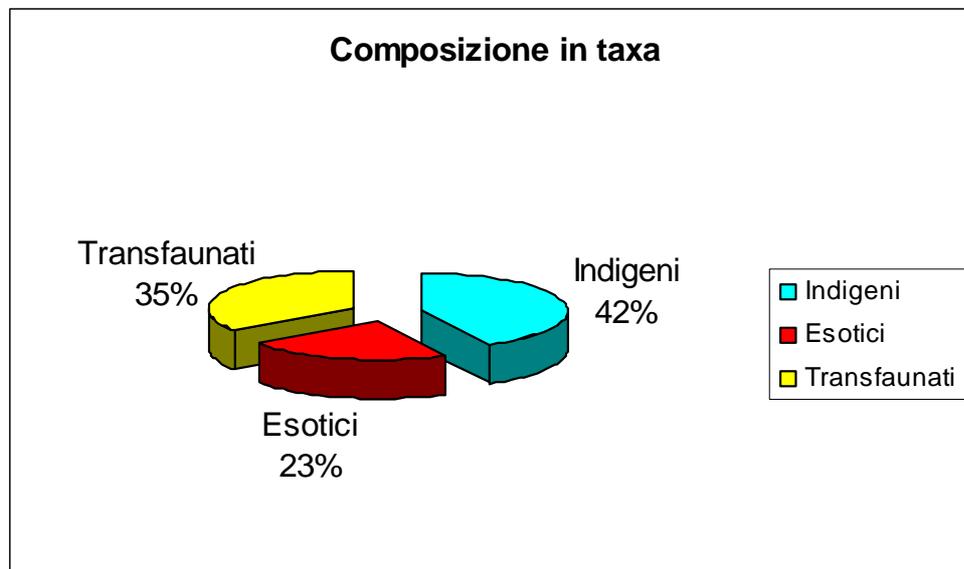


Figura 3.1: Composizione in taxa ittici (espressa in percentuale) in relazione all'areale di distribuzione originario (taxa indigeni, transfaunati ed esotici).

Analizzando i risultati dal punto di vista delle densità numeriche e di biomassa dei taxa, si può osservare che gli indigeni rappresentano di gran lunga la maggioranza in entrambi i casi, rispettivamente con una percentuale dell'85% e del 70%. Molto più basse sono invece le percentuali dei taxa transfaunati ed esotici, rispettivamente 14% ed 1% per quanto riguarda le densità numeriche e 13% e 17% considerando le densità di biomassa (Fig. 3.2 e Fig. 3.3).

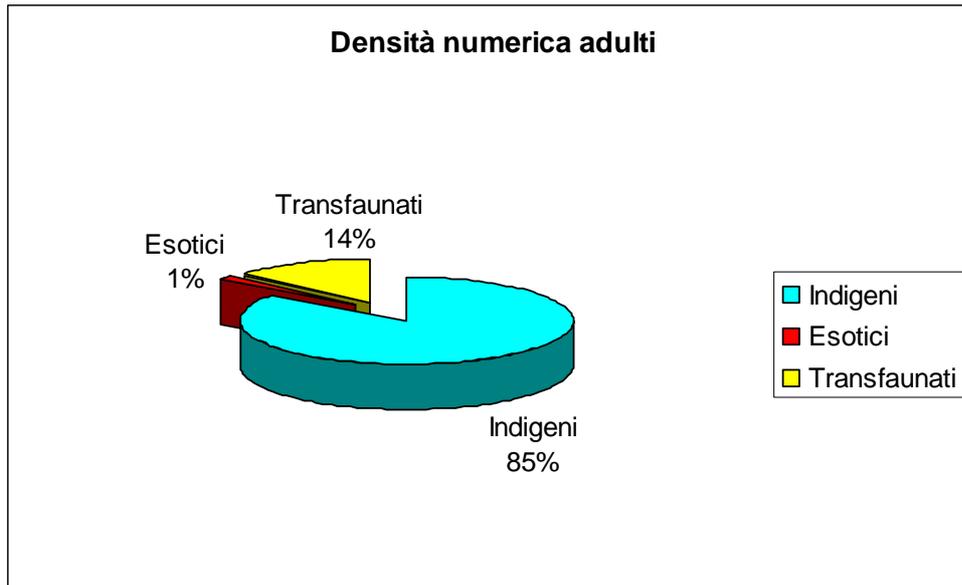


Figura 3.2: Densità numeriche dei taxa (esprese in percentuale) in relazione all'areale di origine (taxa indigeni, transfaunati ed esotici).

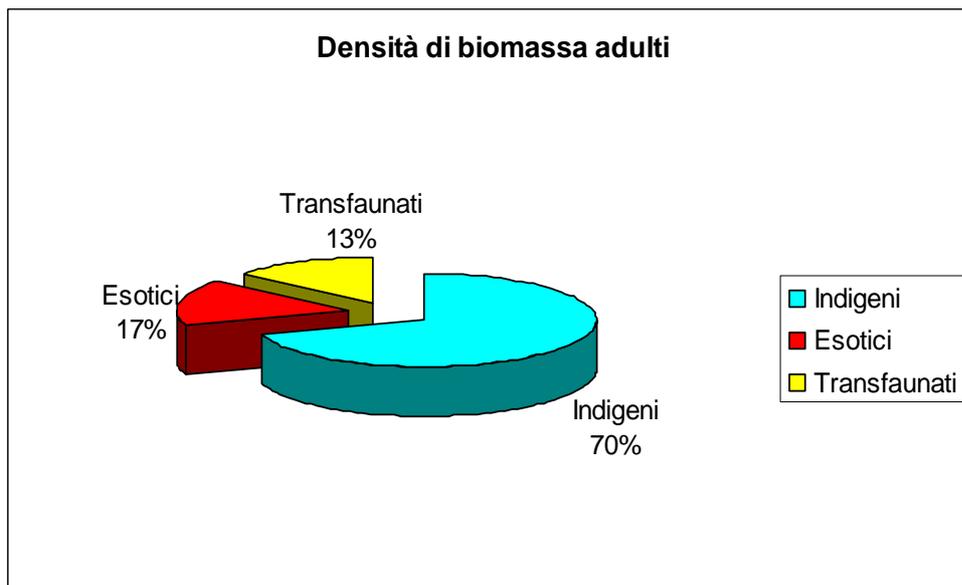


Figura 3.3: Densità di biomassa dei taxa (esprese in percentuale) in relazione all'areale di origine (taxa indigeni, transfaunati ed esotici).

Tra i taxa indigeni, considerando la densità numerica, si osserva come le specie più rappresentate siano la rovello (44,7%) ed il cavedano (36%) che da soli rappresentano più dell'80% della densità totale seguiti, con percentuali molto più basse, dal barbo tiberino (7,8%), dal ghiozzo di ruscello (4,5%), dal vairone (2,7%) e dalla trota macrostigma (2,4%). Tutti gli altri taxa hanno percentuali inferiori all'1% (Fig. 3.4).

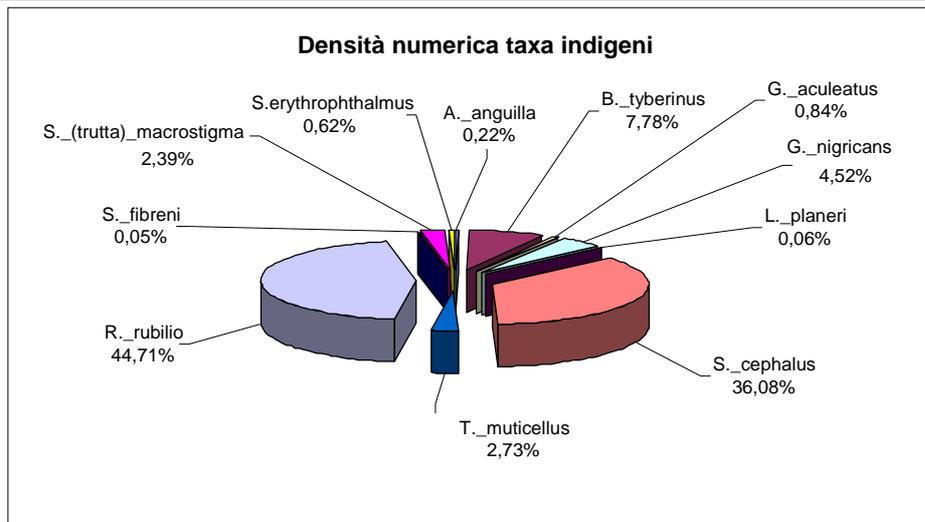


Figura 3.4: Densità numerica dei taxa indigeni espressa in percentuale.

In termini di densità di biomassa, invece, i contributi maggiori risultano essere quelli del cavedano (57,3%) e del barbo tiberino (20,2%), seguiti dalla rovella (10,4%), dalla trota macrostigma (6,1%), dall'anguilla (2,3%) e dal ghiozzo di ruscello (2,2%). Tutti gli altri taxa hanno valori inferiori all'1% (Fig. 3.5).

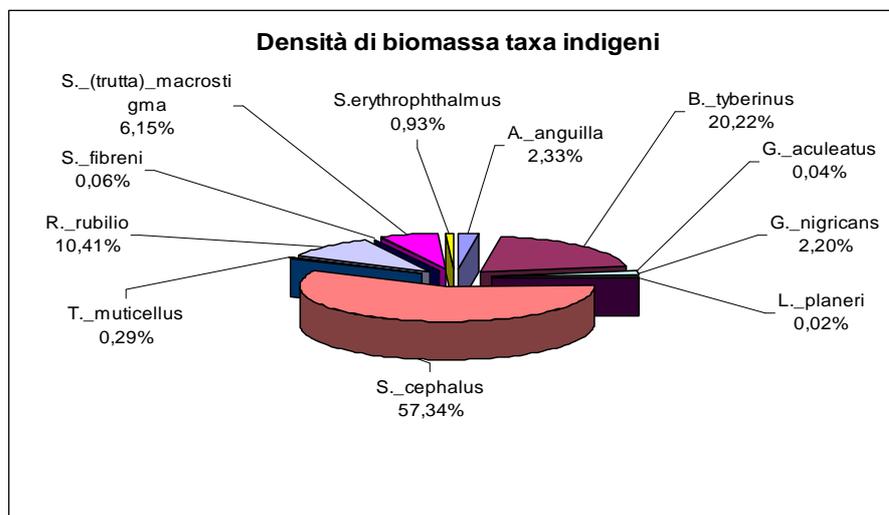


Figura 3.5: Densità di biomassa dei taxa indigeni espressa in percentuale.

Analizzando i taxa transfauati dal punto di vista della densità numerica, quelli più rappresentati sono la trota fario (39,1%), il gobione (36,4%) ed il ghiozzo padano (15,4%). Tra i contributi minori troviamo l'alborella (3,6%), il triotto (2,2%), il barbo comune (1,9%) ed il cobite (1,1%). La lasca e la savetta hanno una percentuale pari allo 0,1% (Fig. 3.6).

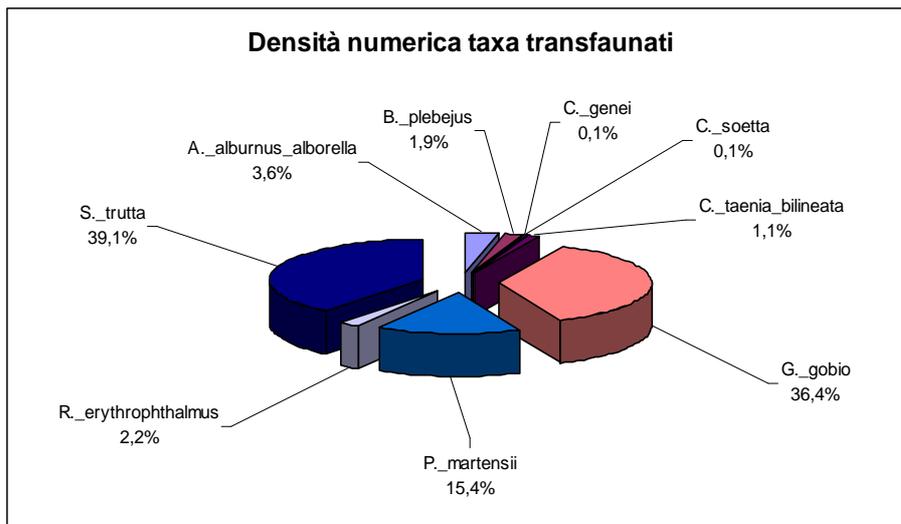


Figura 3.6: Densità numerica dei taxa transfaunati espressa in percentuale.

Considerando la densità di biomassa, la trota fario rappresenta il 79,2 % della biomassa totale dei taxa transfaunati. Molto inferiori sono i contributi del gobione (7,7%), della savetta (6,7%), del triotto (3%) e dell'alborella (1%). Barbo comune, lasca, cobite e ghiozzo padano hanno valori inferiori all'1% (Fig. 3.7).

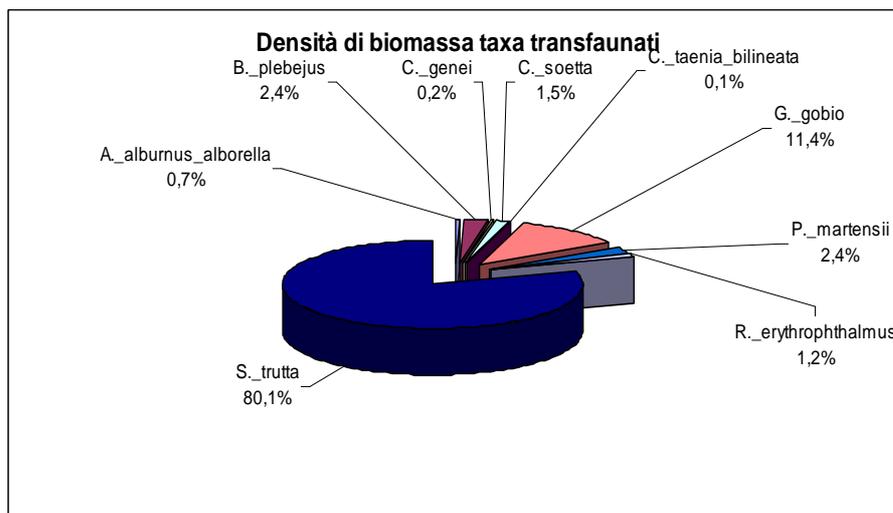


Figura 3.7: Densità di biomassa dei taxa transfaunati espressa in percentuale

Per quanto riguarda i taxa alloctoni, la specie più densamente rinvenuta è il persico sole con il 49% della densità totale, seguito dal carassio (17%), dal carassio dorato (12%), dalla pseudorasbora (11%), dalla carpa (8%) ed infine dal barbo europeo con una percentuale del 3% (Fig. 3.8).

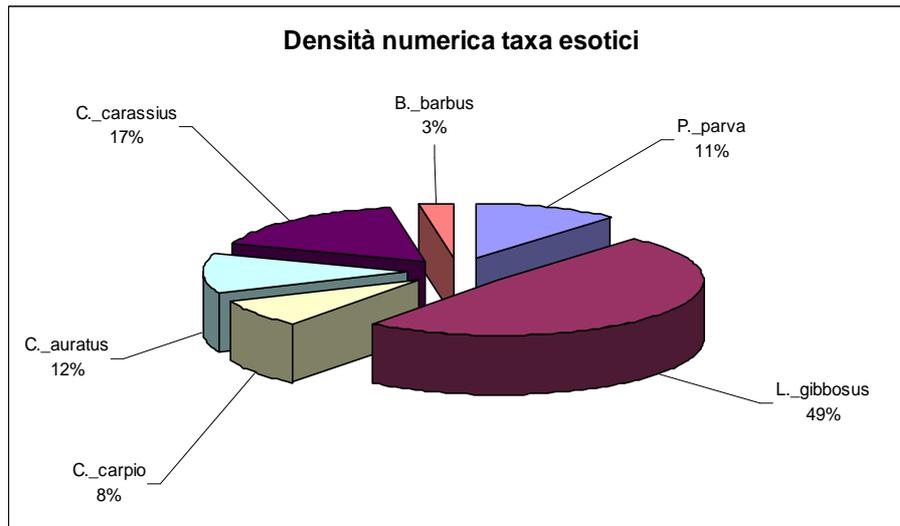


Figura 3.8: Densità numerica dei taxa alloctoni espressa in percentuale.

Se si considera la densità di biomassa dei taxa alloctoni si nota come la carpa, nonostante la bassa densità numerica, sia la specie con il contributo maggiore (43,7%), seguita dal carassio, anch'esso con una percentuale molto elevata (42,2%). nettamente inferiori sono le percentuali degli altri taxa: 8,8% per il barbo europeo, 3,4% per il persico sole, 1,6% per il carassio dorato e 0,3% per la pseudorasbora. (Fig. 3.9).

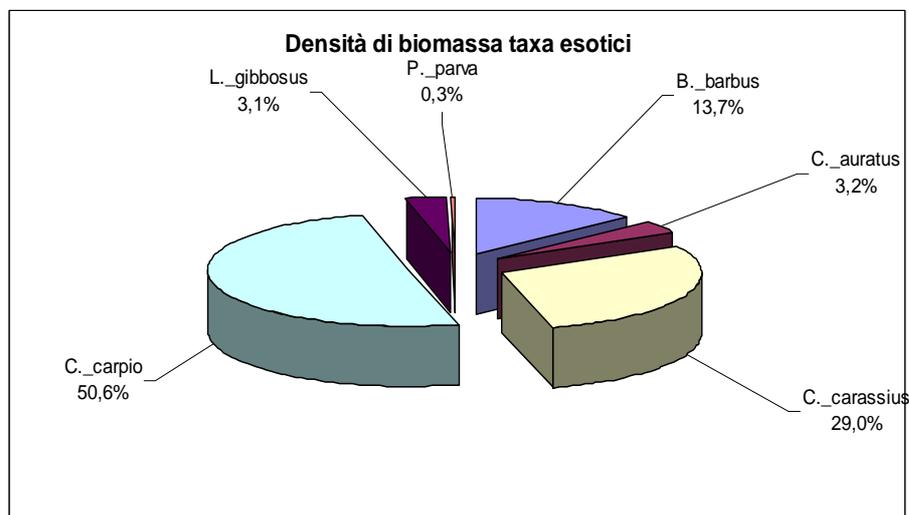
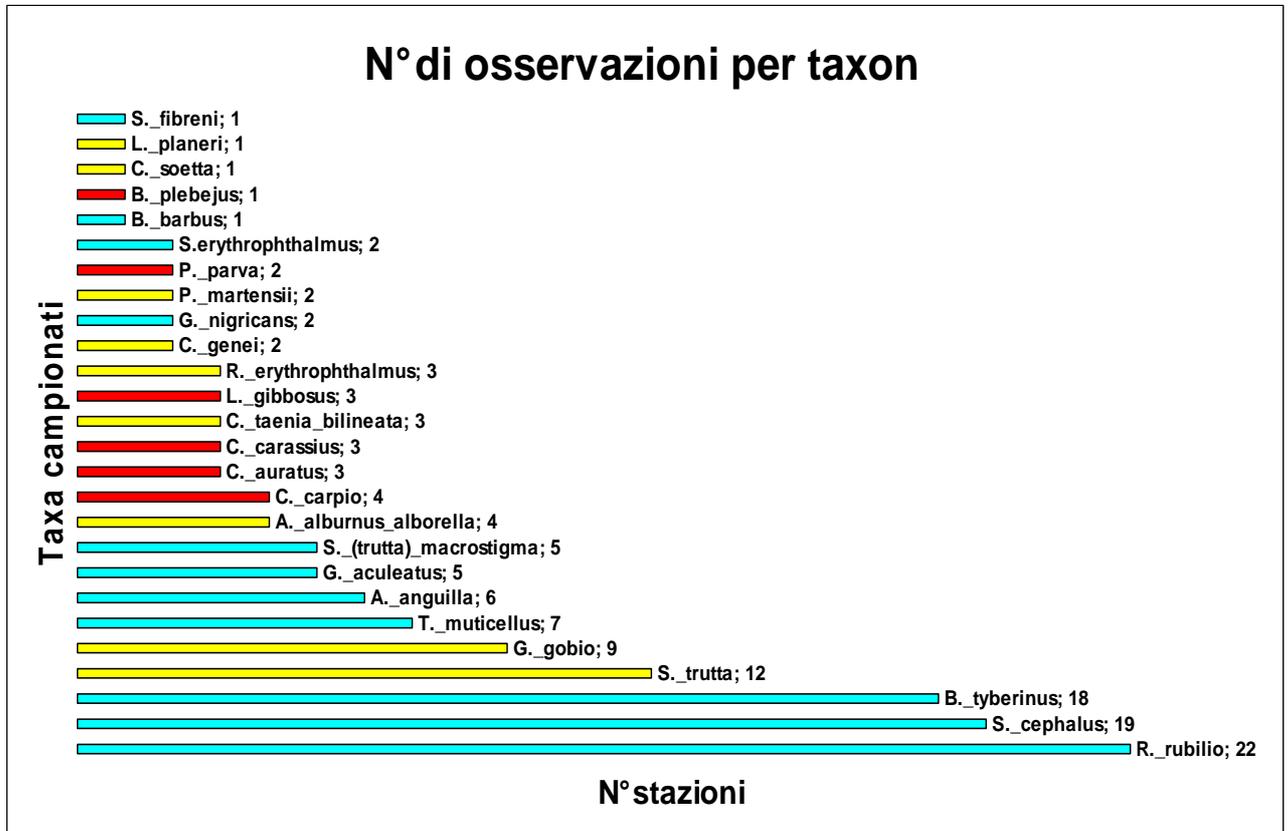


Figura 3.9: Densità di biomassa dei taxa alloctoni espressa in percentuale.

Tra i taxa più frequentemente rinvenuti nel corso dei campionamenti (Fig. 3.10) si possono citare la rovello (catturata in 22 stazioni), il cavedano (19 stazioni) ed il barbo tiberino (18 stazioni). Le specie indigene sono quindi le più frequentemente rinvenute, grazie anche al contributo del vairone (7 stazioni), dell'anguilla (6 stazioni), dello spinarello e della trota macrostigma (entrambi in 5 stazioni). Tra i taxa transfaunati e quelli esotici, i primi sono sicuramente quelli più rinvenuti: trota fario (12 stazioni), gobione (9 stazioni), alborella settentrionale (4 stazioni), cobite e triotto (3 stazioni), lasca e ghiozzo padano (2 stazioni) ed infine savetta e barbo comune (1 stazione). Tra gli

esotici il taxa più rinvenuto è la carpa, ma solamente in 4 stazioni di campionamento, seguita dal carassio, dal carassio dorato e dal persico sole (3 stazioni), dalla pseudorasbora (2 stazioni) e dal barbo europeo (1 stazione).



Per quanto riguarda il numero di taxa per stazione (Fig. 3.11), si registrano numeri alti nei corsi d'acqua di maggiori dimensioni (Fiume Sacco, Fiume Liri, fiume Rapido, Fiume Amaseno), con circa 6-8 specie per stazione ed un massimo di 11 nei tratti potamali (Lir5), mentre nelle stazioni situate nei tratti più a monte dei corsi d'acqua (Ani1, Ani2, Mel1, Mel2, Mol1) e nei fossi di minori dimensioni (Fosso Carpello, Rio della Mola Franca, Fosso Le Forma d'Aquino), il numero tende a ridursi fino ad arrivare anche ad una sola specie.

Dallo stesso grafico, considerando l'origine delle specie, si nota che i sistemi lotici di maggiori dimensioni sono molto più soggetti ad alterazioni dovute all'immissione di specie esotiche o transfaunate, mentre i corsi d'acqua del reticolo secondario svolgono un ruolo importante per quanto riguarda la conservazione della biodiversità ittica originaria. Elevato è infatti il numero di taxa esotici e transfaunati lungo l'asta principale del Fiume Sacco e nella stazione più a valle sul Liri, mentre, al contrario, nella maggior parte dei corsi del reticolo secondario (es. Fiume Fibreno, Rio Fontechiari, Torrente Alabro) e nei bacini idrici più piccoli, sono presenti prevalentemente specie indigene.

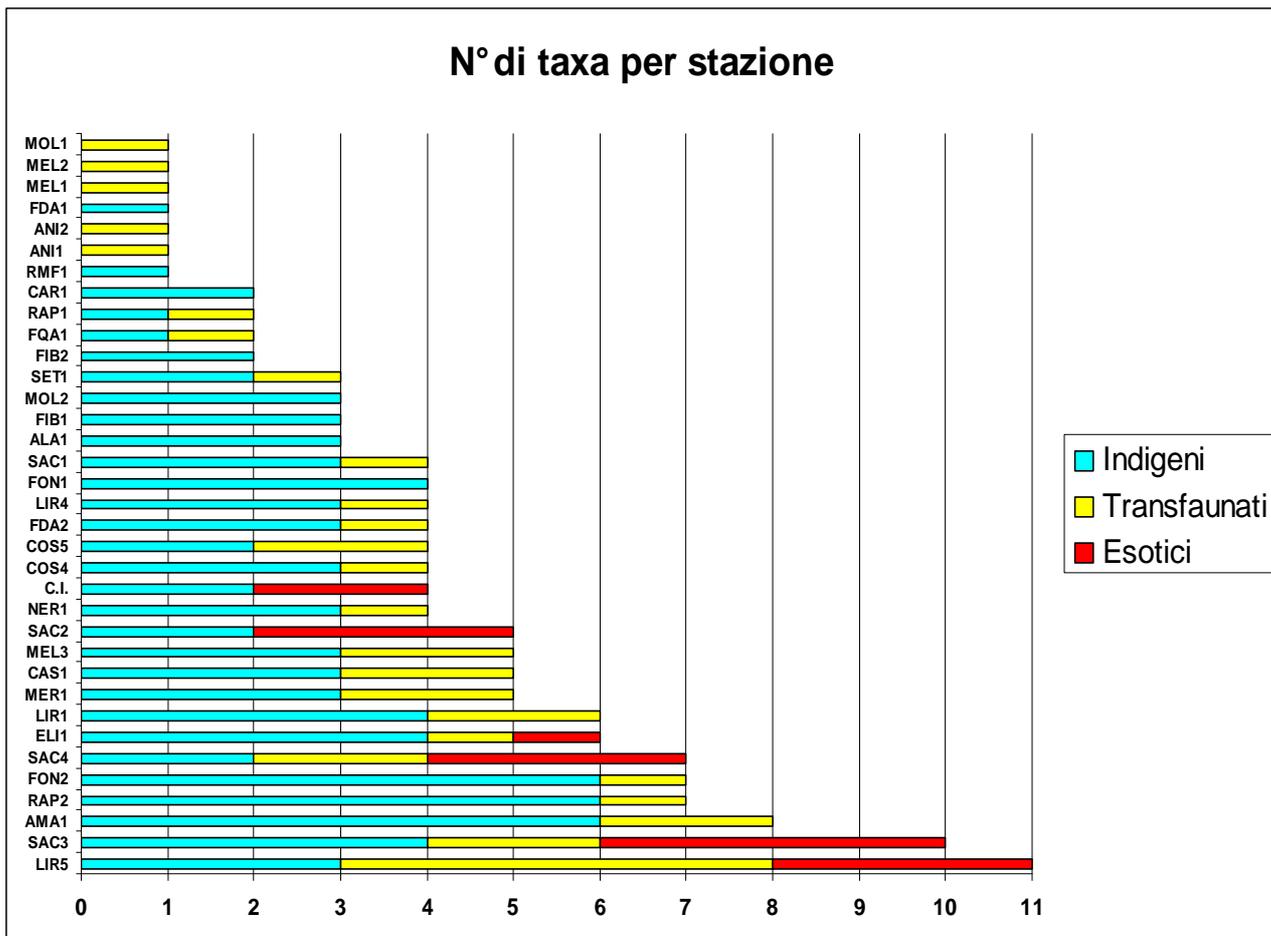


Figura 3.11: Numero di taxa, ripartiti per origine, in ciascuna stazione di campionamento dei corsi d'acqua provinciali, fuori dal Bacino del Tevere.

3.2 Relazioni tra variabili ambientali e popolamenti ittici nei sistemi lotici

3.2.1 Test di Mantel

Il test di Mantel, eseguito utilizzando per la matrice delle variabili ambientali (non normalizzata) l'indice di similarità "della corda" e per quella delle specie l'indice di Bray-Curtis, ha permesso di rigettare l'ipotesi di indipendenza, dando come risultato un coefficiente di correlazione pari a 0,1751 ed una probabilità di non correlazione tra le matrici pari a zero.

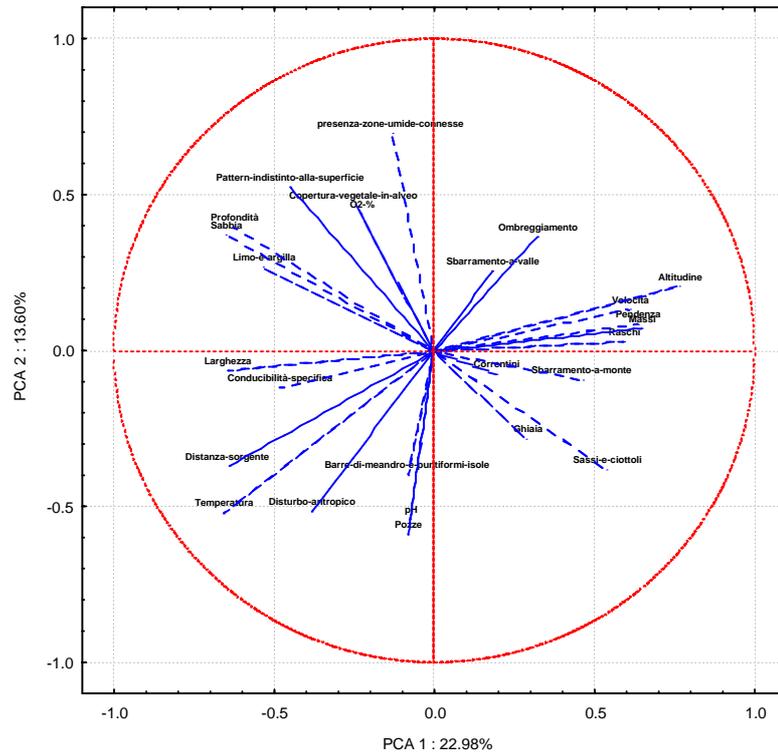
3.2.2 Analisi delle Componenti Principali (PCA)

I risultati della PCA, eseguita utilizzando la matrice di correlazione, evidenziano che le prime due componenti spiegano il 36,58 % della varianza totale (22,98 % la prima e 13,6 % la seconda, meno informativa).

L'output grafico della PCA (Fig. 3.12) fornisce una rappresentazione dell'ordinamento delle stazioni in relazione ai vettori ambientali, nello spazio definito dalle Componenti Principali. In funzione di questo ordinamento nella parte destra troviamo le stazioni associate principalmente ad

una elevata altitudine, velocità di corrente, pendenza, ombreggiamento in superficie e correntini e prevalenza di materiale grossolano (massi, sassi e ciottoli, ghiaia) come nel caso del Fiume Aniene, del Fiume Melfa, del Fiume Mollarino, del Fiume Fibreno, del Rio Settefrati, del Rio Fontechiari, del Rio della Mola Franca, del Rio Nero, del Torrente Carpello e del Fosso di Sant'Elia e le stazioni più a monte sui fiumi Rapido (Rap1) e Cosa (Cos4). Nella parte sinistra del grafico, in basso, si collocano invece le stazioni caratterizzate prevalentemente da elevati valori di temperatura, disturbo antropico, conducibilità specifica e larghezza dell'alveo bagnato, come tre delle quattro stazioni sul Fiume Sacco (Sac2, Sac3 e Sac4), due stazioni sul Fiume Liri (Lir1 e Lir4) e le stazioni più a valle sul Fiume Cosa (Cos5) e sul Fiume Rapido (Rap2) mentre, per concludere, nella parte alta, troviamo le stazioni associate ad una elevata profondità media, una buona copertura vegetale in alveo, un flusso laminare in superficie ed un'alta percentuale di sedimenti fini (sabbia, limo e argilla). Tra queste abbiamo le stazioni sul Fosso Le Forma d'Aquino, la stazione più a monte (considerando il territorio provinciale) sul Fiume Sacco (Sac1), la stazione più a valle sul Fiume Liri (Lir5) e le stazioni sul Canale Colle Iaruscio (C.I.) e sul Fiume Alabro (Ala1).

a)



b)

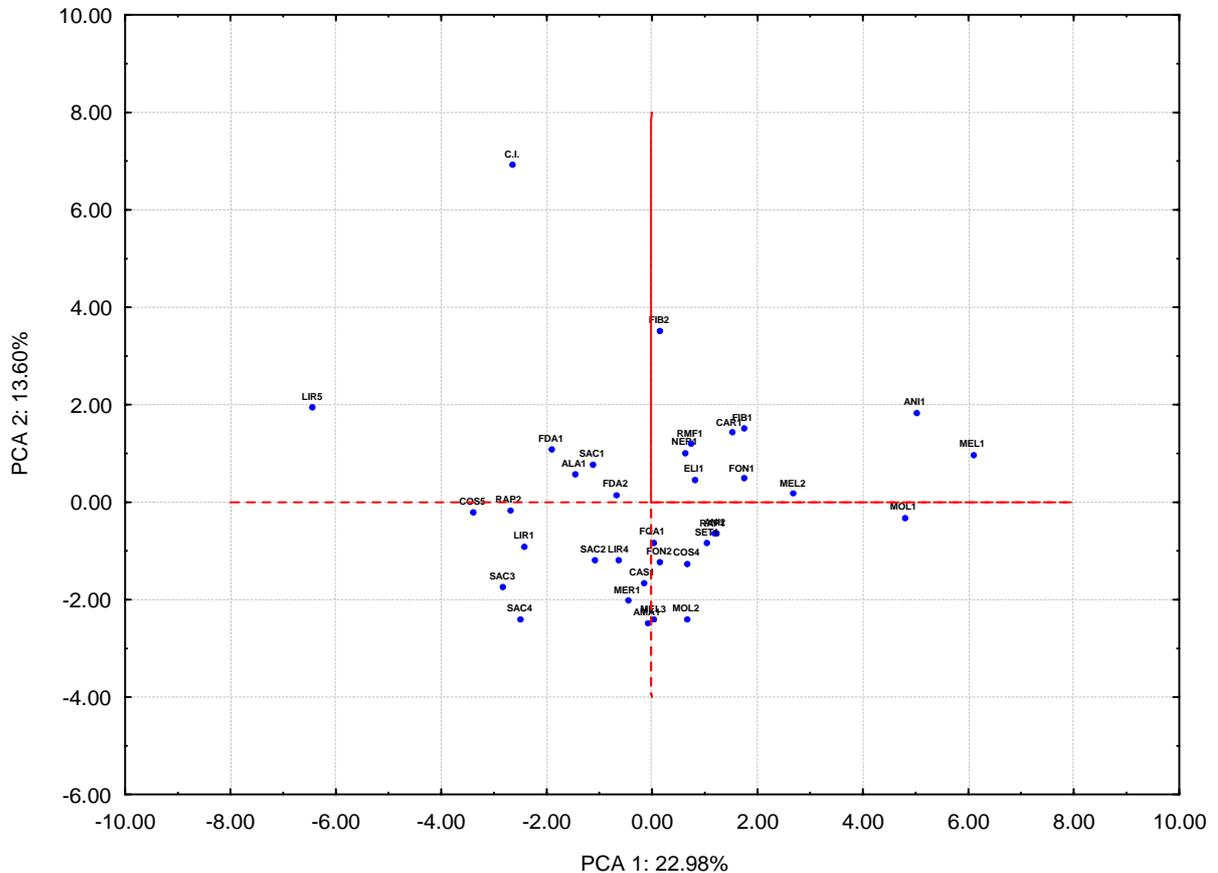
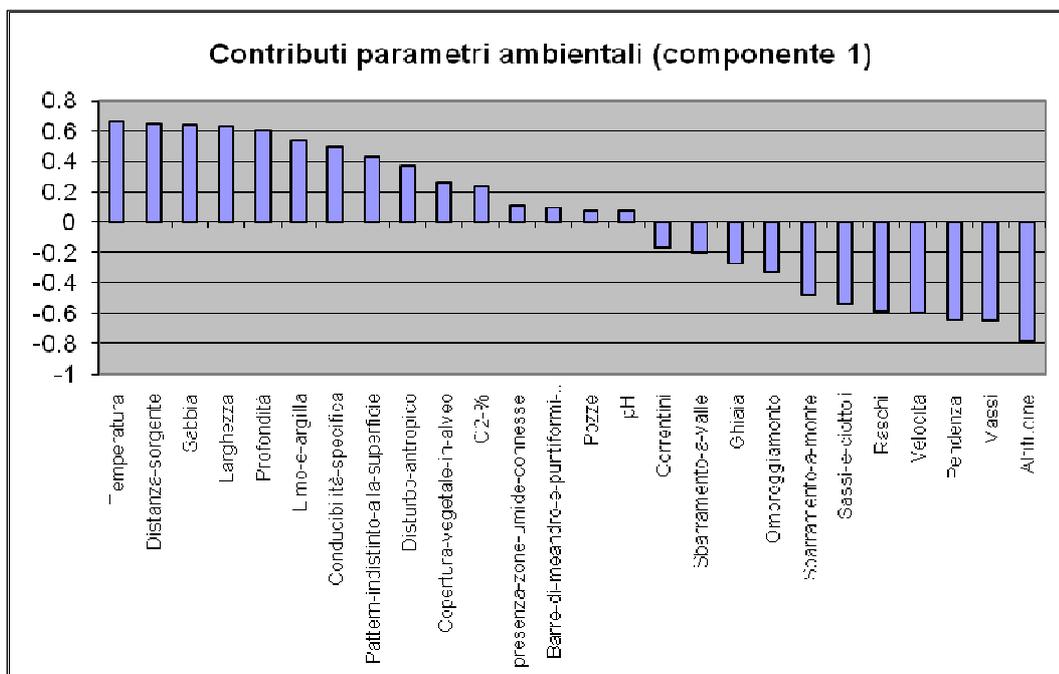


Figura 3.12: Proiezione dei descrittori ambientali (a) e delle osservazioni (b) nello spazio definito dalle Componenti Principali.

La PCA ha permesso di pesare il contributo delle 26 variabili ambientali in modo da poter rappresentare al meglio l'ordinamento delle stazioni (Fig. 3.13).

a)



b)

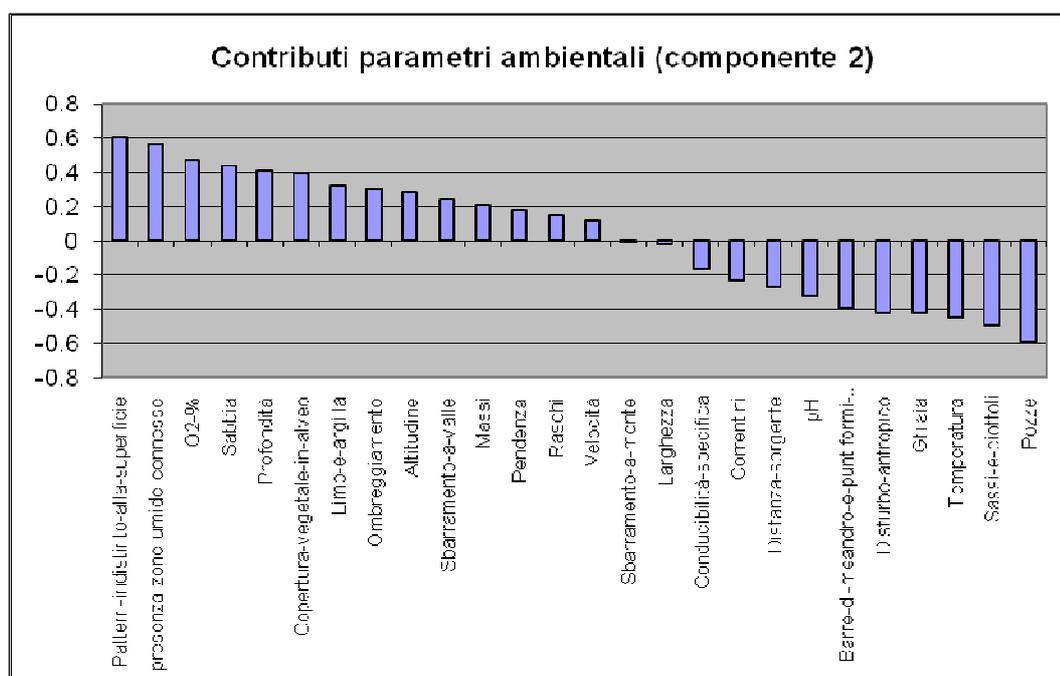


Figura 3.13: Contributi delle diverse variabili ambientali all'ordinamento – a) componente 1; b) componente 2.

3.2.3 Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA)

La CCA ha permesso di elaborare un modello esplicativo, sia dei dati relativi alle variabili ambientali, sia della distribuzione delle specie ittiche, che delle correlazioni esistenti tra questi due set di dati.

La figura 3.14 mostra le variabili ambientali che contribuiscono al modello. L'altitudine e la velocità da una parte e la temperatura con la conducibilità specifica dall'altra, sono i fattori con i contributi maggiori (ma opposti) sugli assi canonici, che descrivono chiaramente il gradiente monte-valle che caratterizza le stazioni. Altre grandezze come massi, raschi e pendenza determinano ancor più le condizioni tipiche dell'alto corso fluviale, rafforzando la distinzione con le condizioni presenti nel tratto inferiore, descrivibili anche attraverso la profondità, la temperatura, la granulometria dei sedimenti (sabbia) e la larghezza dell'alveo bagnato.

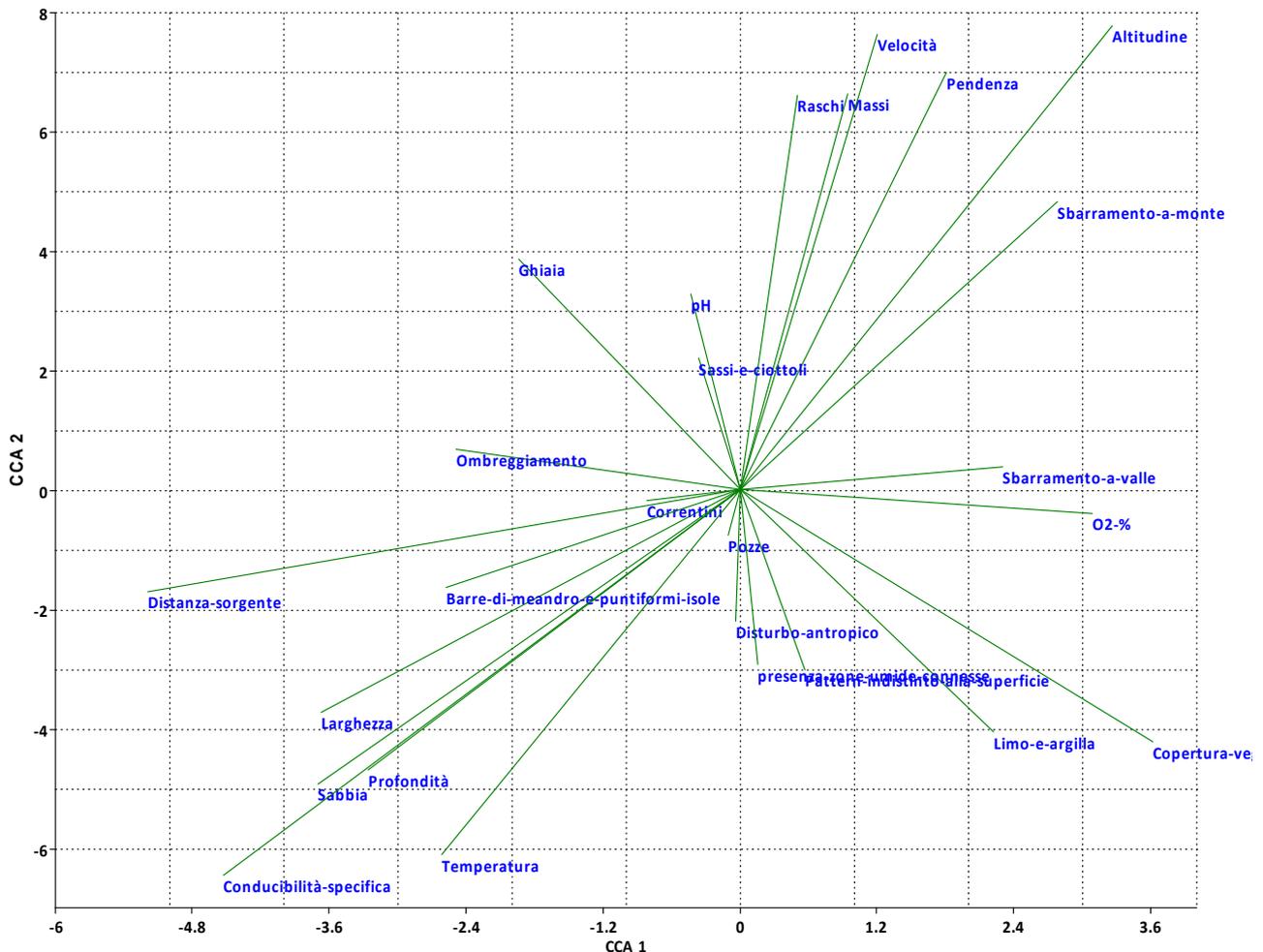


Figura 3.14: Grafico dei contributi delle variabili ambientali agli assi canonici.

Tali osservazioni appaiono coerenti con la distribuzione delle specie ittiche (Fig. 3.15) e con l'orientamento delle stazioni/osservazioni (Fig.3.16), dalla cui analisi si osserva come le condizioni

tipiche dei tratti montani siano ben rappresentate dalle stazioni del Fiume Aniene, da entrambe le stazioni del Fiume Melfa e dalla stazione più a monte sul Fosso Mollarino, caratterizzate da popolamenti a salmonidi, con la presenza esclusiva della trota fario (*Salmo (trutta) trutta*), taxa tipico dell'alto corso (tratto metaritrato) che si colloca nella regione in alto a destra dell'output grafico delle specie, contraddistinta da una elevata altitudine, velocità di corrente, pendenza e dalla presenza di massi e raschi.

Più verso valle (tratto iporitrato) sono state rilevate principalmente le specie più reofile e frigofile come la trota macrostigma (*S. macrostigma*), il carpione del Fibreno (*S. fibreni*), la lampreda (*L. planeri*), il vairone (*T. muticellus*), il ghiozzo padano (*P. martensii*), il ghiozzo di ruscello (*G. nigricans*), lo spinarello (*G. aculeatus*), la rovella (*R. rubilio*) e il barbo tiberino (*B. tyberinus*), associate a stazioni rappresentative dei tratti collinari, con pendenze meno accentuate, acque fresche e ossigenate e substrati grossolani (sassi e ciottoli). Tra queste (parte centrale della Fig3.16.) abbiamo le stazioni del Fiume Fibreno, del Rio Fontechiari, del Fosso Forma Quesa, del Rio della Mola Franca, del Fosso Carpello, le 2 stazioni più a monte del Fiume Sacco, le stazioni più a valle del Fosso Mollarino e del Rapido ed infine la stazione intermedia del Fiume Melfa (Mel 3).

Nella porzione centro-sinistra della figura delle osservazioni, sono ordinate le stazioni caratterizzate da condizioni ambientali tipiche dei tratti pedecollinari come quella del Fiume Amaseno, del Fosso di S. Elia, del Fosso Meringo, la stazione intermedia del Fiume Cosa (Cos 4) e le stazioni 1 e 4 del Fiume Liri (le stazioni 2 e 3, previste dal piano campionamenti, non sono state campionate). Tali stazioni sono contraddistinte da popolamenti costituiti prevalentemente dai taxa reofili più termofili (tipici della zona di transizione iporitrato-epipotamale), come il ghiozzo di ruscello (*G. nigricans*), il cavedano (*S. cephalus*), il barbo comune (*B. plebejus*), il baro europeo (*B. barbatus*), il cobite (*C. tenia bilineata*), il gobione (*G. gobio*), la lasca (*C. genei*), l'anguilla e l'alborella comune (*A. alburnus alborella*).

Infine, nella parte in basso a sinistra dell'ordinamento delle osservazioni, abbiamo le stazioni tipiche della zona potamale, come quelle più a valle del Fiume Sacco (Sac 3 e 4), del Fiume Liri (Lir 5) e la stazione del Canale Colle Iaruscio, caratterizzate da condizioni lentiche, maggiore temperatura, larghezza dell'alveo, profondità, conducibilità specifica e da popolamenti ittici nei quali prevalgono le specie transfaunate ed esotiche, costituiti dalla carpa (*C. carpio*), dal carassio (*C. carassius*), dal carassio dorato (*C. auratus*), dalla scardola (*S. erythrophthalmus*), dalla pseudorasbora (*P. parva*), dal persico sole (*L. gibbosus*), dal triotto (*R. erythrophthalmus*) e dalla savetta (*C. soetta*).

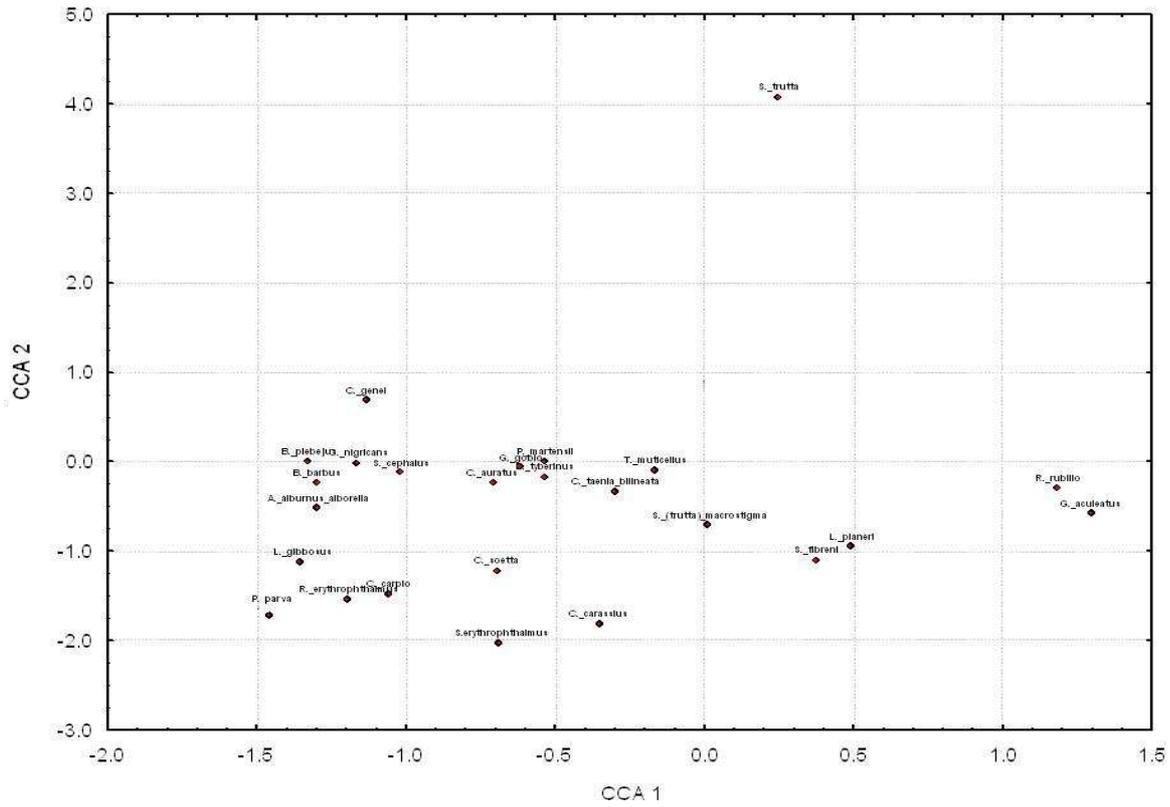


Figura 3.15: Grafico dell'ordinamento delle specie rispetto agli assi canonici.

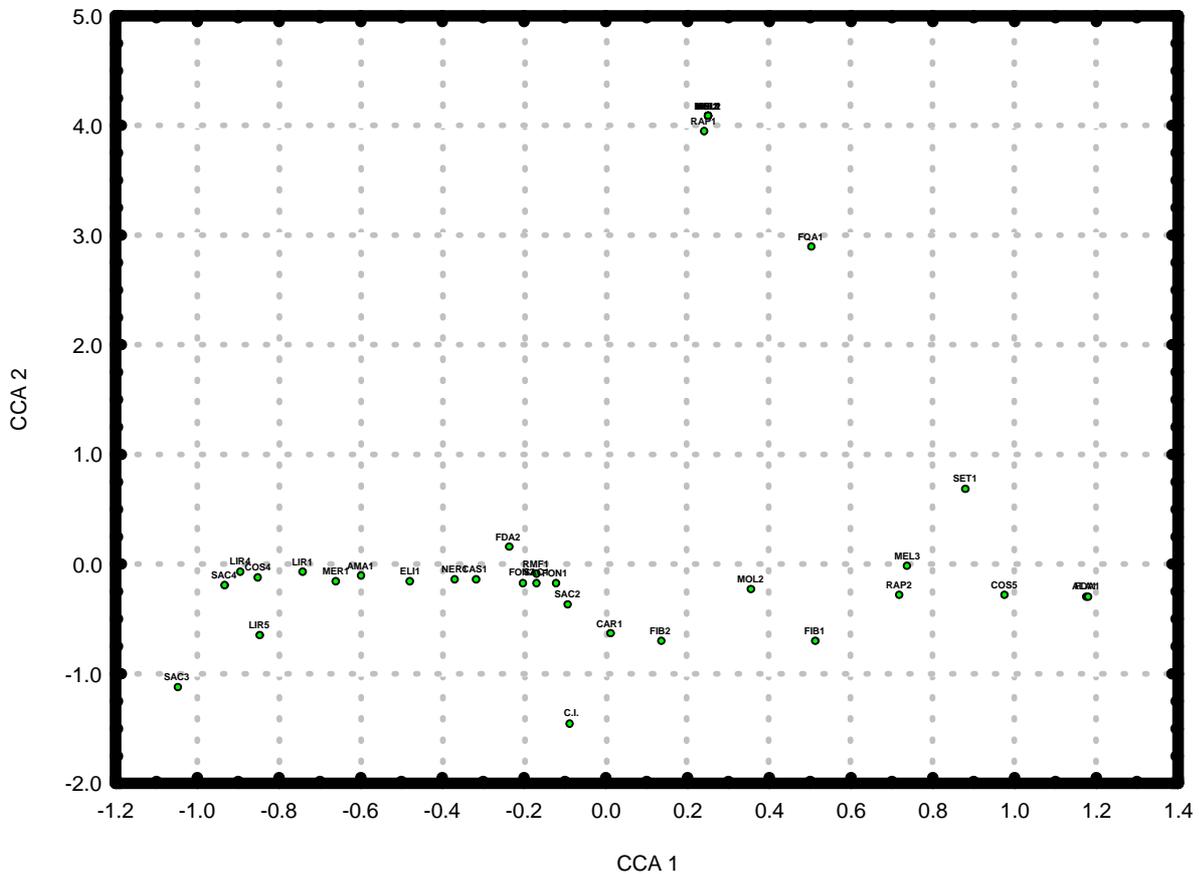


Figura 3.16: Grafico dell'ordinamento delle stazioni rispetto agli assi canonici.

3.3 Analisi ittiologica del Lago di San Giovanni Incarico

Nel corso di sette giornate di campionamento sono stati catturati 1496 individui appartenenti a 12 taxa differenti, per una biomassa totale di 33,36 Kg (Tab.3.2 e tab 3.3)

NOME COMUNE	NOME SCIENTIFICO	ORIGINE
Carpa	<i>Cyprinus carpio</i>	Esotica
Carassio	<i>Carassius carassius</i>	Esotica
Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	Esotica
Persico sole	<i>Lepomis gibbosus</i>	Esotica
Gambusia	<i>Gambusia hoolbroki</i>	Esotica
Rodeo	<i>Rodeo sericeus</i>	Esotica
Pesce gatto africano	<i>Ameiurus melas</i>	Esotica
Scardola	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Indigena
Cavedano	<i>Squalius cephalus</i>	Indigena
Alborella	<i>Alburnus alburnus alborella</i>	Transfaunata
Triotto	<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	Transfaunata
Gobione	<i>Gobio gobio</i>	Transfaunata

Tabella 3.2: Taxa ittici censiti nelle acque del lago, suddivisi in base all'origine.

Specie	Numero	Lunghezza			Biomassa totale (g)
		minima	media	massima	
<i>Alburnus alburnus alborella</i>	63	3,55	4,55	6,54	61
<i>Carassius auratus</i>	2	32	32,54	33,08	1227
<i>Cyprinus carpio</i>	16	6,64	46,71	61	26799
<i>Squalius cephalus</i>	22	10,48	24,8	36,65	4141
<i>Gambusia hoolbroki</i>	27	1,88	2,78	3,67	5
<i>Gobio gobio</i>	2	4,91	5,57	6,23	2
<i>Lepomis gibbosus</i>	15	4,42	6,42	8,88	73
<i>Ameiurus melas</i>	4	7,94	9,11	10,45	35
<i>Pseudorasbora parva</i>	1323	1,94	4,71	9,39	1014
<i>Rhodeus sericeus</i>	14	3,52	5,85	7,63	29
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	2	12,39	12,44	12,49	43
<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	6	5,85	7,65	11,32	48

Tabella 3.3 - Analisi sintetica del campione ittico mediante la statistica descrittiva della variabile della lunghezza totale e del peso totale

Dei 12 taxa analizzati, 2 (il 17%) sono da considerarsi indigeni dulciacquicoli: cavedano (*S. cephalus*) e scardola (*S. erythrophthalmus*). I taxa transfaunati sono 3 (25%): alborella settentrionale (*A. alburnus alborella*), triotto (*R. erythrophthalmus*) e gobione (*G. gobio*), mentre 7 sono quelli esotici (58%): carpa (*C. carpio*), carassio dorato (*C. auratus*), pseudorasbora (*P. parva*)

persico sole (*L. gibbosus*), gambusia (*G. hoolbroki*), pesce gatto africano (*A. melas*) e rodeo (*R. sericeus*) (Fig.3.17).

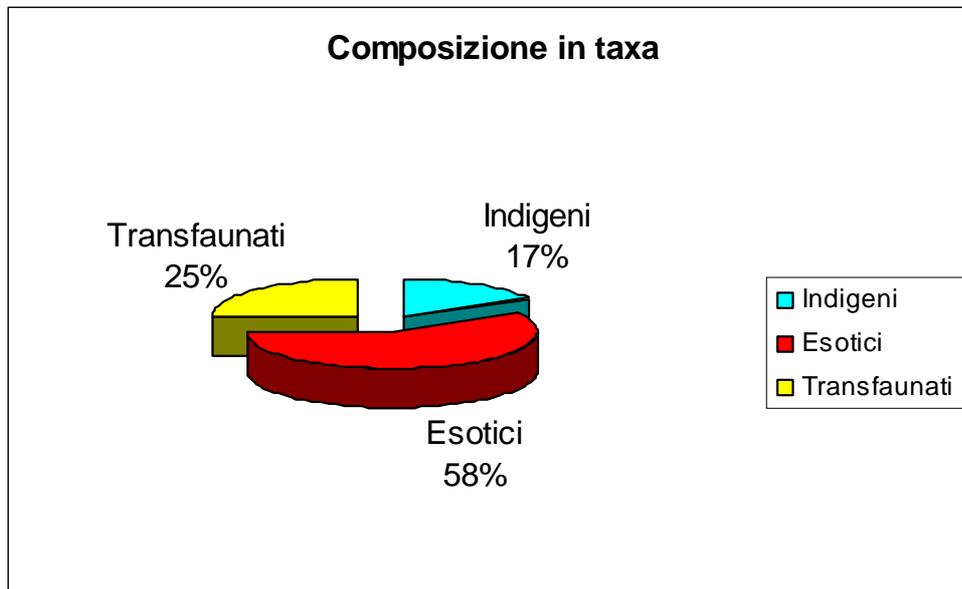


Figura 3.17: Composizione in taxa ittici (espressa in percentuale) in relazione all'areale di distribuzione originario (taxa indigeni, transfaunati ed esotici).

Analizzando i risultati dal punto di vista delle densità numeriche e di biomassa dei taxa, si può osservare che gli esotici rappresentano di gran lunga la maggioranza in entrambi i casi, rispettivamente con una percentuale dell'92% e del 87,1%. Molto più basse sono invece le percentuali dei taxa indigeni e transfaunati, rispettivamente 3% ed 5% per quanto riguarda le densità numeriche e 12,5% e 0,3% considerando le densità di biomassa (Fig. 3.18 e Fig. 3.19).

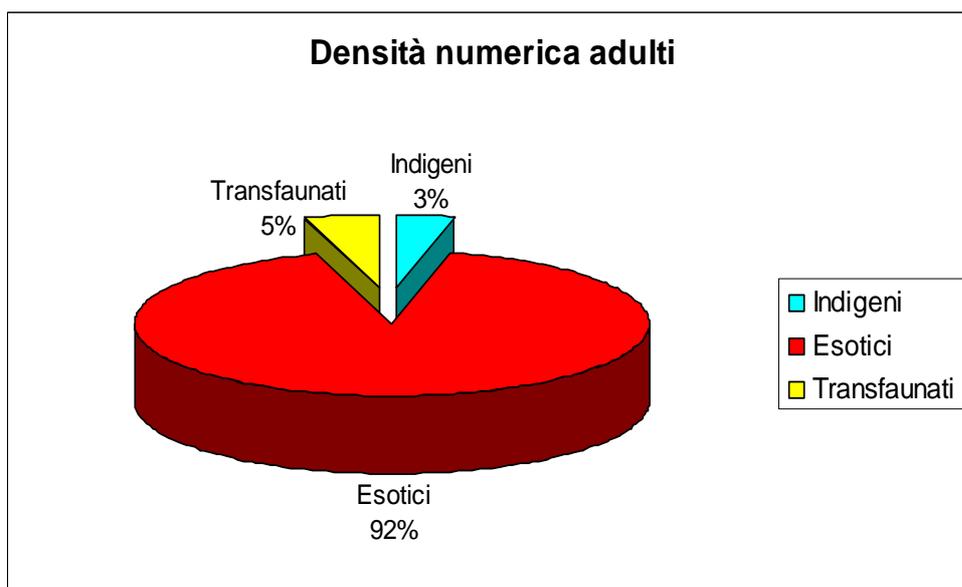


Figura 3.18: Densità numeriche dei taxa (esprese in percentuale) in relazione all'areale di origine (taxa indigeni, transfaunati ed esotici).

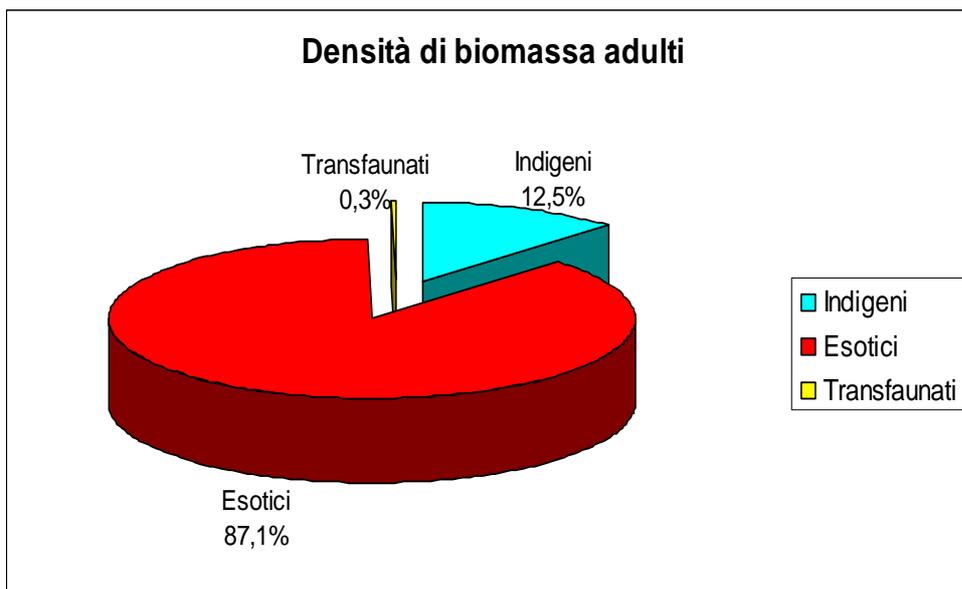


Figura 3.19: Densità di biomassa dei taxa (espresse in percentuale) in relazione all'areale di origine (taxa indigeni, transfaunati ed esotici).

Tra i taxa indigeni, considerando la densità numerica, si osserva come La specie più rappresentata sia il cavedano (91,7%), mentre molto inferiore è la percentuale della scardola (8,3%) (Fig. 3.20).

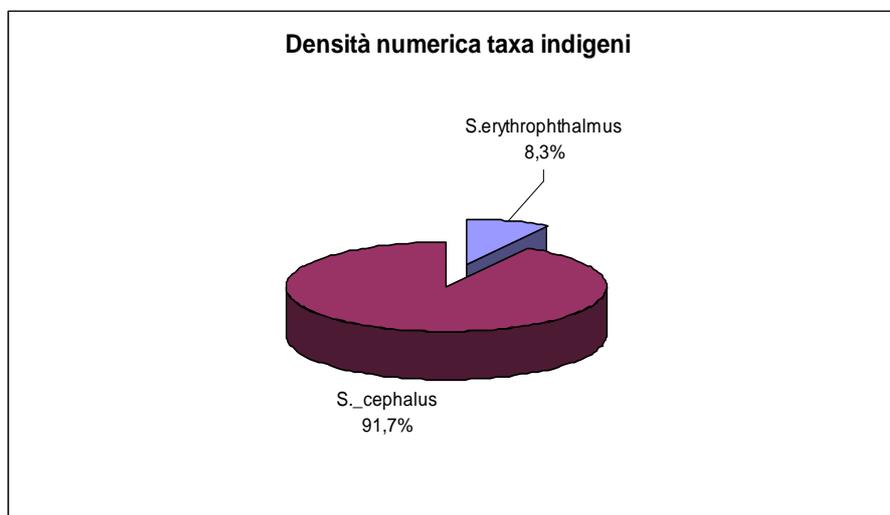


Figura 3.20: Densità numerica dei taxa indigeni espressa in percentuale.

Anche in termini di densità di biomassa il contributo maggiore e quasi assoluto risulta essere quello del cavedano (99%) (Fig.3.21).

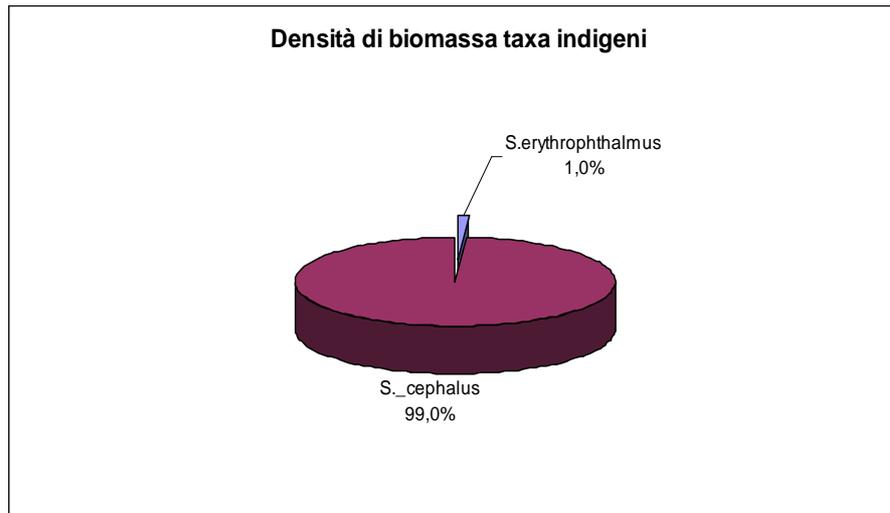


Figura 3.21: Densità di biomassa dei taxa indigeni espressa in percentuale.

Analizzando i taxa transfaunati dal punto di vista numerico, l'alborella rappresenta l'88,7% della densità totale, seguita dal triotto (8,5%) e dal gobione (2,8%) (Fig. 3.22).

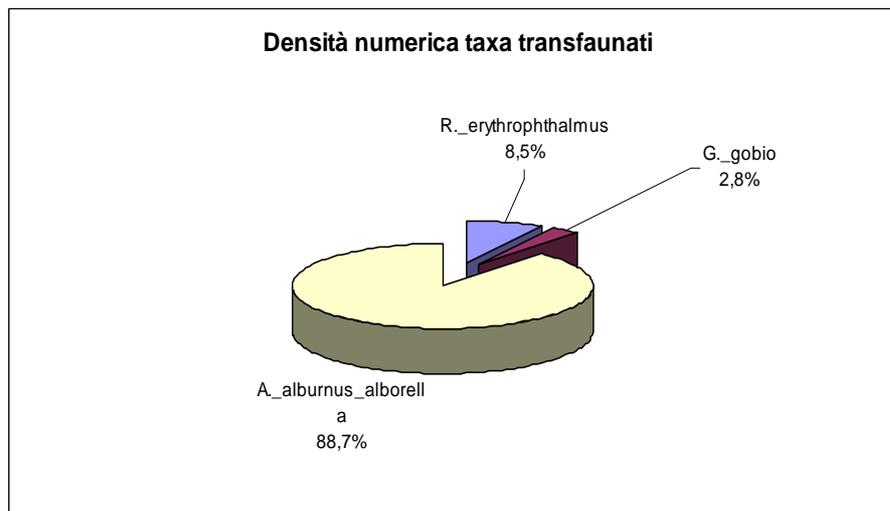


Figura 3.22: Densità numerica dei taxa transfaunati espressa in percentuale.

Considerando la densità di biomassa, l'alborella e il triotto contribuiscono in modo preponderante alla biomassa totale rispettivamente con il 55% e il 43,2%. Molto inferiore (1,8%) è il contributo del gobione (Fig. 3.23).

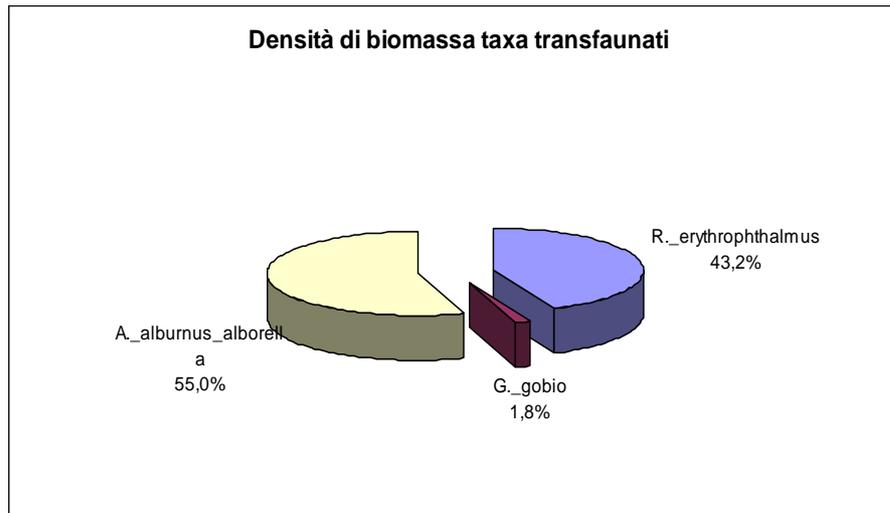


Figura 3.23: Densità di biomassa dei taxa transfaunati espressa in percentuale

Per quanto riguarda i taxa alloctoni, la specie numericamente più rinvenuta è la pseudorasbora con il 94,4% della densità totale. Nettamente inferiori sono le percentuali degli altri taxa: 1,9% per la gambusia, 1,1% per il persico sole e la carpa, 1% per il rodeo, 0,3% per il pesce gatto africano e 0,1% per il carassio dorato (Fig. 3.24).

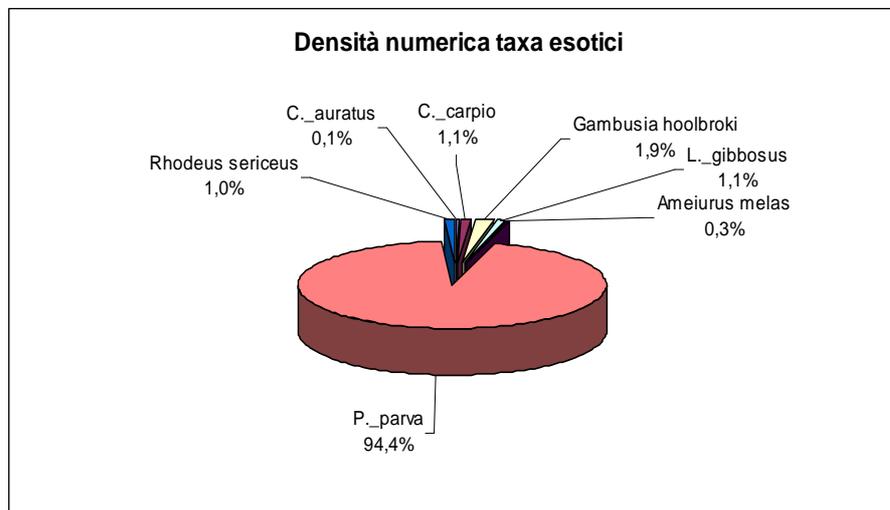


Figura 3.24: Densità numerica dei taxa alloctoni espressa in percentuale.

Se si considera la densità di biomassa dei taxa alloctoni si nota come la carpa, nonostante la bassa densità numerica, sia la specie con il contributo notevolmente più elevato (91,8%). Nettamente inferiori sono le percentuali degli altri taxa: 4,2% per il carassio dorato, 3,5% per la pseudorasbora, 0,25% per il persico sole, 0,12% per il pesce gatto africano, 0,10% per il rodeo e 0,02% per la gambusia (Fig. 3.25).

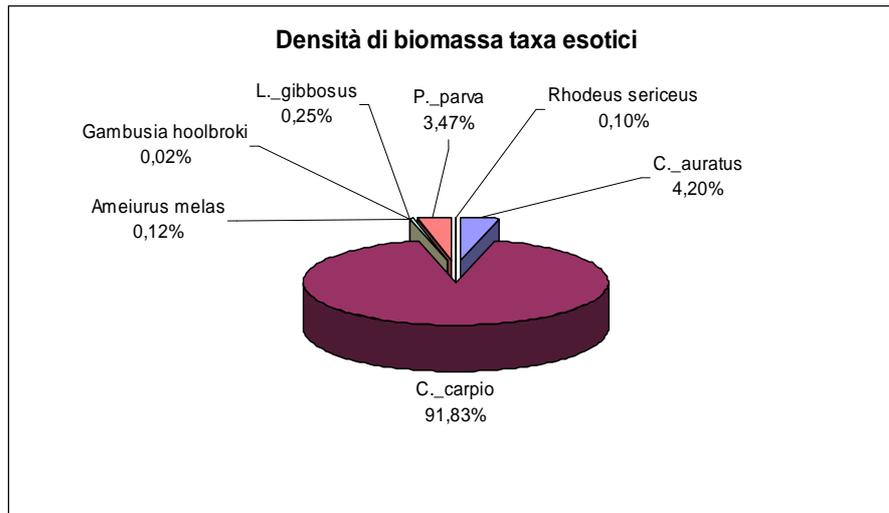


Figura 3.25: Densità di biomassa dei taxa alloctoni espressa in percentuale.

Tra i taxa più frequentemente rinvenuti nel corso dei campionamenti nel lago (Fig. 3.26), la pseudorasbora è quella catturata in modo preponderante (48 stazioni), seguita dall'alborella (catturata in 22 stazioni) e dal cavedano (19 stazioni). Le specie esotiche risultano essere le più frequenti, grazie anche ai contributi della carpa (14 stazioni), del persico sole (13 stazioni), della gambusia (9 stazioni), del rodeo (7 stazioni) ed infine del pesce gatto africano (4 stazioni). Ad esclusione dell'alborella e del cavedano, di cui sopra, i taxa indigeni e transfaunati sono stati rinvenuti con frequenze notevolmente inferiori: due osservazioni per il gobione ed una per la scardola e il triotto.



Figura 3.26: Frequenza dei taxa rinvenuti nel lago.

4 Discussione

4.1 Valutazione della funzionalità ecologica dei corsi d'acqua (IFF) e della comunità dei macroinvertebrati bentonici (I.B.E.).

Tab. 4.1 - Elenco delle stazioni di campionamento con relativo livello I.F.F.; in rosso sono evidenziate le aste prive di fauna ittica nelle catture.

BACINO	CORSO D'ACQUA	ACRONIMO	I.F.F.
ANIENE	Fiume Aniene	ANI1	II
	Fiume Aniene	ANI2	II
AMASENO	Fiume Amaseno	AMA1	II
SACCO	Torrente Alabro	ALA1	V
	Fosso Castellaccio	CAS1	IV
	Fiume Cosa	COS 1	II
	Fiume Cosa	COS4	III / IV
	Fiume Cosa	COS5	IV
	Fosso del Diluvio	DIL1	IV / V - V
	Fosso Meringo	MER1	III
	Fiume Sacco	SAC1	III / IV - III
	Fiume Sacco	SAC2	III
	Fiume Sacco	SAC3	III / IV - III / IV
LIRI MEDIO-CORSO	Fiume Sacco	SAC4	II / III - II / III
	Canale Colle Iaruscio	C.I.	II / III - II / III
	Fosso Carpello	CAR1	II
	Fosso S. Elia	ELI1	III
	Fiume Fibreno	FIB1	II
	Fiume Fibreno	FIB2	II
	Rio Fontechiari	FON1	II
	Rio Fontechiari	FON2	III
MELFA	Fiume Liri	LIR1	III
	Fiume Liri	LIR4	III
	Fiume Melfa	MEL1	I
	Fiume Melfa	MEL2	I
	Fiume Melfa	MEL3	III
	Fiume Mollarino	MOL1	II / III - II / III
	Fiume Mollarino	MOL2	III
LIRI-GARIGLIANO	Rio Nero	NER1	II
	Rio Settefrati	set-01	III
	Le Forme d'Aquino	FDA1	III
	Le Forme d'Aquino	FDA2	III
	Forma Quesa	FQA1	III
	Fiume Liri	LIR5	III
	Fiume Rapido	RAP1	III / IV - III / IV
Fiume Rapido	RAP2	III	
Rio della Mola Franca	RMF1	II	

La valutazione dello stato di funzionalità dei sistemi lotici basata sull'utilizzo di "inventari ambientali" come l'Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.) e sull'analisi della diversità e della struttura della comunità del macrobenthos (Indice Biotico Esteso – I.B.E.), ha evidenziato una situazione ambientale mediocre in riferimento alla maggior parte dei sistemi lotici provinciali analizzati.

Mediocre/mediocre-scadente è risultata la situazione generale del Fiume Sacco, compromessa dai numerosi scarichi di origine civile, dalla presenza di interventi artificiali che riducono la diversità idromorfologica negli alvei e distruggono la fascia ripariale, o anche da insediamenti industriali, come quelli localizzati nella zona Morolo e Ceccano. La situazione tende tuttavia a migliorare nella stazione più a valle (Sac4), grazie alla capacità di autodepurazione del fiume, dove il livello di funzionalità ecologica che si raggiunge è buono-mediocre.

Il degrado ambientale risulta importante anche in diversi affluenti del Sacco: situazioni ambientali particolarmente degradate sono state evidenziate sul Torrente Alabro, corso d'acqua inserito in un contesto intensamente urbanizzato e caratterizzato, nel tratto analizzato, da una morfologia completamente artificiale sia per la presenza di opere di fondo sia per l'arginatura delle sponde; il tratto appare, dunque, completamente raddrizzato e banalizzato nella diversità ambientale. Analoga è la situazione del Fosso del Diluvio (come il precedente affluente del Fiume Sacco) il cui tratto indagato, situato in un contesto prevalentemente urbano in destra idrografica, si caratterizza principalmente per il degrado dei seguenti comparti ambientali: vegetazione riparia, diversità ambientale e diversità biologica. In quest'ultimo caso abbiamo un valore I.B.E. pari a 5, corrispondente ad una classe di qualità IV e quindi ad un ambiente fortemente degradato. Scadente è, invece, lo stato di funzionalità del corso d'acqua denominato Fosso Castellaccio, per la ridotta ampiezza e mancata continuità della fascia tampone perifluviale e per l'alterazione delle caratteristiche idrauliche e della diversità ambientale ed e la situazione e la stessa sul Fiume Cosa se si esclude, in quest'ultimo caso, la stazione più a monte che presenta un livello di funzionalità buono, ma nella quale tuttavia non è stato rinvenuto nessun campione; il Fiume Cosa risulta inserito in un contesto ambientale caratterizzato da aree fortemente urbanizzate quali quelle di Alatri, Frosinone e Ceccano e la situazione peggiora nella stazione più a valle (livello scadente), in cui l'alveo del fiume risulta artificializzato e rettificato. Per le stazioni dei suddetti corsi d'acqua il giudizio derivante dall'analisi della comunità macrobentonica è quello di ambienti alterati o molto alterati.

Un buono stato di funzionalità sistemica caratterizza invece la stazione più a monte del Rio Fontechiari, il Fosso Carpello, il Rio Nero, il Rio della Mola Franca, il Fiume Amaseno, il Fiume Aniene e il Fiume Fibreno risultato, quest'ultimo, ben conservato per la presenza del Lago di Posta

Fibreno, da cui il fiume trae origine.

La situazione migliore è quella delle due stazioni più a monte del Fiume Melfa, caratterizzato da un ottimo livello di funzionalità ecologica nel tratto più a monte (stazioni Mel1 e Mel2), caratterizzato da un ambiente non alterato in modo sensibile sulla base dell'I.B.E., mentre mediocre è la funzionalità nel tratto compreso nel comune di Atina, in corrispondenza della Cartiera Visocchi.

4.2 Caratteristiche delle popolazioni e dei popolamenti ittici

I risultati dei censimenti della fauna ittica nei corsi d'acqua della Provincia di Frosinone, hanno evidenziato la presenza di 26 taxa ittici rappresentati da popolazioni, anche alloctone acclimatate, in grado di autosostenersi e di svolgere gran parte del proprio ciclo vitale nei sistemi lotici analizzati. Di questi, 11 sono stati considerati indigeni, includendo in questo gruppo anche l'anguilla (*A. anguilla*), di origine marina. Elevato è il numero dei taxa transfaunati dall'area padana (9), mentre 6 sono i taxa acclimatati di origine esotica. Dal punto di vista della composizione in taxa, gli indigeni rappresentano il 45% del totale, rispetto al 33% di quelli transfaunati ed al 22% di quelli esotici.

Nelle porzioni fluviali più lentiche di tali corsi d'acqua sono presenti popolazioni acclimatate di alloctoni introdotti negli ultimi anni, come il persico sole (*L. Gibbosus*) o la pseudorasbora (*P. parva*) specie, quest'ultima, con un'ampia valenza ecologica, che ne facilita la diffusione creando seri problemi per le specie autoctone con cui entra in competizione alimentare e territoriale (Tancioni e Cataudella, 2009) e che quindi tende a vicariare i ciprinidi autoctoni congenerici come la rovello (*R. rubilio*), quest'ultima la più diffusa nel territorio provinciale. In tali corsi è stata inoltre rinvenuta la presenza dei taxa di origine esotica introdotti sia in epoca storica, come la carpa (*C. carpio*), da alcuni proposta specie para-autoctona, sia prima degli anni '50 del secolo scorso come il carassio (*C. carassius*).

Transfaunazioni ittiche dall'area padana sono state evidenziate in misura maggiore in corrispondenza delle stazioni poste sull'asta principale del Liri ed in particolar modo del Sacco, principalmente per la presenza del gobione (*G. gobio*), presente anche nel Fosso di S. Elia (affluente del Liri) ed in numero elevato anche nel Fosso Castellaccio (affluente del Sacco), del triotto (*R. erythrophthalmus*), presente anche nella stazione più a valle del Fiume Melfa, dell'alborella (*A. alburnus alborella*), rinvenuto anche nel Fosso Meringo (affluente del Sacco) ed in misura minore della lasca (*C. genei*) e della savetta (*C. soetta*). Popolazioni ben strutturate di ghiozzo padano (*P. martensii*) sono state censite nel Fiume Amaseno e nel Fosso Castellaccio. Popolazioni acclimatate di trota fario (*S. (trutta) trutta*) caratterizzano l'asta principale dell'Aniene e del Fiume Melfa, ed alcuni degli affluenti di quest'ultimo (Rio Nero, Rio Settefrati e la stazione più a monte del Fiume

Mollarino), così come il sistema Liri-Garigliano (stazione più a monte del Fiume Rapido e corpo idrico denominato Forma Quesa), nonché il medio corso del Liri (stazione Lir1 e Rio Fontechiari).

Altre transfaunazioni sono state riscontrate nel Fiume Cosa, per la presenza del barbo comune (*B. plebejus*) e del cobite (*C. tenia bilineata*), quest'ultimo presente anche nei fiumi Amaseno e Rapido (stazione più a valle).

Per quanto riguarda la fauna ittica indigena, in diversi corsi d'acqua del reticolo secondario provinciale sono stati rilevati popolamenti ittici abbastanza integri dal punto di vista faunistico, con popolazioni ben strutturate di ciprinidi quali la rovella (*R. rubilio*), il cavedano (*S. cephalus*) ed il barbo appenninico (*B. tyberinus*).

La rovella (*R. rubilio*), specie tollerante, è risultata in assoluto la specie più frequentemente rinvenuta durante i campionamenti, con popolazioni ben strutturate anche all'interno di sistemi lotici degradati dell'area provinciale (es. Fiume Alabro).

Molto frequente è anche il cavedano (*S. cephalus*) che, per l'ampia valenza ecologica e la tolleranza rispetto ad alcune tipologie di alterazione ambientale, è l'unica specie d'acqua dolce indigena in Italia ad essere considerata a "rischio minimo".

Tra le specie ittiche rilevate, il barbo tiberino (*B. tyberinus*) è risultato ben rappresentato con popolazioni ben strutturate in molti corsi d'acqua, così come il vairone (*T. muticellus*), che predilige acque correnti fresche, limpide e sature di ossigeno, rinvenuto abbondantemente in tutti le porzioni dei corsi d'acqua potenzialmente idonee alla presenza della specie quali il Fosso di S. Elia, il Rio della Mola franca, il Fiume Amaseno, il Fiume Liri ed il Rio Fontechiari.

Tra le specie indigene più osservate anche lo spinarello (*G. aculeatus*), la trota macrostigma (*S. (trutta) macrostigma*) e l'anguilla (*A. anguilla*). Negli ultimi anni su quest'ultimo taxon, rappresentante dei taxa migratori diadromi, che ricopre un indubbio interesse conservazionistico e alienotico, sono stati programmati interventi di protezione sempre più importanti, sia a livello comunitario che nazionale e decentrato (Piani di gestione regionali).

Il ghiozzo di ruscello (*G. nigricans*), specie sensibile al degrado ambientale, è stato rinvenuto in due località con popolazioni ben strutturate (nel Fiume Amaseno e nella stazione più a monte del Fiume Cosa), così come la scardola (*S. erythrophthalmus*), presente nel Canale Colle Iaruscio e nella stazione denominata Sac3.

Di particolare interesse faunistico è anche il ciclostomo lampreda di ruscello (*L. planeri*), che insieme al ghiozzo di ruscello (*G. nigricans*) è inserito nella Direttiva Habitat tra le "specie animali e vegetali di interesse comunitario la cui conservazione richiede la designazione di zone speciali di conservazione". Tuttavia, la *L. planeri* è stata rinvenuta esclusivamente nel tratto più a valle del Fiume Rapido.

Infine, tra le specie di interesse conservazionistico, è di rilievo il rinvenimento nel basso corso del Fiume Fibreno del carpione del Fibreno (*S. fibreni*) specie endemica di tale corso d'acqua.

Analizzando questi dati a scala di bacino, si può notare come l'asta principale del Sacco e del Liri siano molto più soggette ad alterazioni dovute all'immissione di specie esotiche e transfaunate, rispetto ai corsi d'acqua del reticolo secondario che, per il loro relativo isolamento e per le minori pressioni antropiche, rappresentano un serbatoio importante per la conservazione della fauna ittica originaria.

Considerando infine il rapporto tra la ricchezza in specie, alla quale contribuiscono sia le specie indigene, sia quelle introdotte, e l'ordine dei corsi d'acqua, si evidenziano due situazioni: la prima di origine naturale, è relativa all'incremento dei taxa ittici con l'ordine dei corsi d'acqua (che cresce lungo un gradiente monte-valle), per la maggiore stabilità e diversità ambientale di quelli di ordine superiore; la seconda, è collegata a fattori di origine antropica, come l'introduzione di specie alloctone, che rappresentano una frazione sempre più importante sul totale nei corsi d'acqua di ordine superiore come, appunto, l'asta principale del Fiume Sacco.

4.3 Relazioni tra variabili abiotiche e popolamenti ittici

L'esame delle relazioni tra gradienti ambientali (variabili ambientali) ed i popolamenti ittici (densità delle singole popolazioni nelle diverse stazioni di campionamento), ha consentito di chiarire il ruolo che ricoprono le prime, come forzanti abiotiche, nella strutturazione dei popolamenti ittici fluviali.

L'esecuzione di analisi statistiche multivariate, come l'Analisi delle Componenti Principali (PCA) e successivamente l'Analisi Canonica delle Corrispondenze (CCA), ha consentito di selezionare le variabili ambientali più significative nell'area di studio (PCA), di identificare i maggiori gradienti ambientali e di interpretarne le relazioni con la distribuzione delle specie ittiche (CCA).

Gli elaborati grafici derivati dalla CCA hanno permesso di visualizzare (sotto forma di vettori di lunghezza proporzionale all'intensità del segnale) i principali parametri ambientali che influenzano la distribuzione delle specie ittiche.

I risultati Dell'analisi Canonica delle Corrispondenze sembrano coerenti con quanto atteso, rappresentando al meglio le relazioni tra le forzanti abiotiche: l'altitudine e la velocità da una parte e la temperatura con la conducibilità specifica (indicativa della composizione in sali minerali dell'acqua) dall'altra, sono i fattori con i contributi maggiori (ma opposti) sugli assi canonici, che descrivono chiaramente il gradiente monte-valle che caratterizza le stazioni. Altre grandezze come massi, raschi e pendenza determinano ancor più le condizioni tipiche dell'alto corso fluviale,

rafforzando la distinzione con le condizioni presenti verso valle, descrivibili anche attraverso la profondità, la temperatura, la granulometria dei sedimenti (sabbia) e la larghezza dell'alveo bagnato, coerentemente con quanto atteso per un tratto planiziale o con una facies lenticale fluviale.

Dagli output grafici della CCA si è potuto evincere che, lungo il gradiente altitudinale (si potrebbe dire corrispondente al profilo longitudinale di un corso d'acqua con sorgenti in quota), ai contributi più elevati dell'altitudine e dei substrati grossolani (massi), della pendenza e della velocità corrispondono le densità più elevate della trota fario (*S. (trutta) trutta*). Si tratta infatti una specie tipica e spesso esclusiva dei tratti ritrati dei corsi d'acqua dove i valori di temperatura sono bassi, la larghezza dell'alveo è molto contenuta e la vegetazione riparia può consentire un elevato ombreggiamento del corso d'acqua.

Più verso valle (tratto iporitrale), soprattutto nei ruscelli e fossi del reticolo secondario, sono state rilevate principalmente le specie endemiche più reofile e frigofile come la trota macrostigma (*S. (trutta) macrostigma*), il carpione del Fibreno (*S. fibreni*), la lampreda (*L. planeri*) ed il vairone (*T. muticellus*); tali taxa risultano sempre associati a stazioni rappresentative dei tratti collinari, con pendenze moderatamente accentuate, acque abbastanza limpide, discretamente ossigenate, meno turbolente dei tratti montani e con "mesohabitat" rappresentati da una tipica alternanza di pozze, raschi e correntini.

Le stazioni tipiche della zona di transizione iporitrale-epipotamale sono, invece, contraddistinte da popolamenti costituiti prevalentemente dai taxa reofili più termofili quali il barbo tiberino (*B. tyberinus*), il ghiozzo di ruscello (*G. nigricans*), il ghiozzo padano (*P. martensii*), il cavedano (*S. cephalus*), il barbo comune (*B. plebejus*), il baro europeo (*B. barbus*), il cobite (*C. tenia bilineata*), il gobione (*G. gobio*), la lasca (*C. genei*), l'anguilla (*A. anguilla*), l'alborella comune (*A. alburnus alborella*) ed il carassio dorato (*C. auratus*).

Infine, nella parte in associazione alle stazioni tipiche della zona potamale, caratterizzate da condizioni lentiche, maggiore temperatura, larghezza dell'alveo, profondità e conducibilità specifica, abbiamo popolamenti ittici nei quali prevalgono le specie transfaunate ed esotiche, costituite dalla carpa (*C. carpio*), dal carassio (*C. carassius*), dalla scardola (*S. erythrophthalmus*), dalla pseudorasbora (*P. parva*), dal persico sole (*L. gibbosus*), dal triotto (*R. erythrophthalmus*) e dalla savetta (*C. soetta*).

Un discorso a parte riguarda lo spinarello (*G. aculeatus*) e la rovella (*R. rubilio*), specie che risultano associate, in diversi casi, a corsi d'acqua secondari alimentati da risorgive.

L'ordinamento delle stazioni in relazione alle specie ittiche appare coerente con quanto esposto in precedenza.

5 Bibliografia

- Bhattacharya, C.G. (1967).** A simple method of resolution of a distribution into Gaussian components. *Biometrics*, 23, 115-135.
- Bianco, P.G. (1983).** *Leuciscus lucumonis* n. sp. from Italy. *Senckendergiana Biol.*, 64, 81-87.
- Bianco, P.G. (1995).** A revision of the Italian *Barbus* species (Cypriniformes: Cyprinidae). *Ichthiol. Explor. Freshwat.*, 6(4), 305-324.
- Bianco, P.G. (2003a).** *Barbus plebejus*. In: *The Freshwater Fishes of Europe. Vol. 5/II – Cyprinidae 2 – Part II: Barbus* (Edited By P.M. Banarescu and N.G. Bogutskaya). AULA-Verlag GmbH, Wiebelsheim, 2003, 339-364.
- Bianco, P.G. (2003b).** *Barbus tyberinus*. In: *The Freshwater Fishes of Europe. Vol. 5/II -Cyprinidae 2 – Part II: Barbus* (Edited By P.M. Banarescu and N.G. Bogutskaya). AULA-Verlag GmbH, Wiebelsheim, 2003, 427-449.
- Bianco, P.G., Ketmaier, V., 2001.** Artificial changes of freshwater fish fauna especially in central Italy with the record of *Barbus graellsii*, a new alien established species of Iberian origin. *J.Fish Biol.* **59** (Suppl.): 190-208.
- Bianco, P. G. and G. B. Delmastro 2011.** Recenti novità tassonomiche riguardanti i pesci d'acqua dolce autoctoni in Italia e descrizione di una nuova specie di luccio. *Researches on Wildlife Conservation. IGF Publishing, USA. Researches on Wildlife Conservation. v. 2 (suppl.): 1-13.*
- Briolay, J., Galtier, N., Brito, R. M., Bouvet, Y. (1998).** Molecular phylogeny of Cyprinidae inferred from cytochrome b DNA sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.* 9, 100-108.
- Cowx, I.G., Welcomme, R.L. eds. (1998).** Rehabilitation of rivers for fish. FAO 1998.
- Crivelli, A.J. (1996).** The freshwater fish endemic to the Mediterranean region. An action plan for their conservation. (Tour du Valat Publication) pp. 171.
- European Commission (1979).** Convenzione per la conservazione della vita selvatica e dei suoi biotopi in Europa (Convenzione di Berna) firmata a Berna il 19 settembre 1979 ratificata in Italia con la L. 5 agosto 1981, n. 502 (G.U. 11 settembre 1981, n. 250).
- European Commission (1992).** Direttiva Habitat – Fauna- Flora – n° 93/43 CEE del consiglio del 21 maggio 1992 concernente la conservazione degli habitat naturali e della flora e della fauna selvatiche. *Giornale Ufficiale della Comunità Europea*, 22/07/92.
- European Union (2000).** Parliament and Council Directive 2000/60/CE of 23 October 2000. Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy. *Official Journal PECONS 3639/1/00 REV 1, 2000.* (European Union, Brussels).
- FAO (1995).** Code of Conduct for Responsible Fisheries, (FAO), 41 pp.
- Gandolfi, G., Zerunian, S., Torricelli, P., Marconato, A. (1991).** I pesci delle acque interne italiane. *Ist. Poligr. E Zecca dello Stato (Min. Ambiente e Unione Zool. Ital.)*, Roma, XVI, 617 pp.
- Gelosi, E., Colombari, P.T. (2004).** Manuale della Pesca – Ambiente, Fauna, Pesca, Attrezzi, Leggi delle acque del Lazio. Regione Lazio – Assessorato all'Agricoltura e ARSIAL – Agenzia regionale per lo sviluppo e l'innovazione dell'agricoltura del Lazio, 466 pp.
- Gilles, A., Lecointre, G., Faure, E., Chappaz, R., and Brun, G. (1998a).** Mitochondrial phylogeny of the European cyprinids: implication for their systematics, reticulate evolution and colonization time. *Mol. Phylogenet. Evol.* 10, 132-143.
- Huet, M. (1959).** Profiles and biology of Western Europe streams as related to fisheries management. *Transactions of the American Fisheries Society*, 88: 155-163.
- Kottelat, M. and J. Freyhof 2007.** Handbook of European freshwater fishes. Publications Kottelat, Cornol, Switzerland. 646 p.
- IUCN, (2001).** IUCN Red List Categories and Criteria. IUCN Species Survival Commission.
- Lorenzoni, M., Carosi, A., Angeli, V., Bicchi, A., Pedicillo, G., Viali, P. (2006).** Individuazione e riconoscimento dei barbi autoctoni nel bacino del fiume Paglia. *Provincia di Terni-Assessorato alla Programmazione Faunistica*: 53 pp.
- Salzburger, W., Brandstatter, A., Gilles, A., Parson, W., Hempel, M., Sturmbauer, C. and Meyer, A. (2003).** Phylogeography of the vairone (*Leuciscus souffia*, Risso 1826) in Central Europe. *Mol. Ecol.* 12, 2371-2386.
- Scardi, M., Tancioni, L., Martone, C. (2007).** Protocollo di campionamento e analisi della fauna ittica dei sistemi lotici; disponibile sul sito:
http://www.apat.gov.it/site/_files/Pubblicazioni/Metodi_bio_acque/fiumi_fauna.pdf.
- Tancioni, L., and Colombari, P.T. (2006).** Compendio grafico dei pesci d'acqua dolce italiani – Materiale informativo per partecipanti al IV corso di formazione “I pesci quali bioindicatori dei stress ambientali”. *Rel. Tec. Università degli Studi di Roma “Tor Vergata e ARSIAL/Stabilimento Ittiogenico. Rielaborata da E. Gelosi, P.T. Colombari, P. Formichi, A. Leoni, G. Della Seta, (1992). “Pisces”. Stabilimento Ittiogenico di Roma/Regione Lazio – Laboratorio Centrale di Idrobiologia - Min. Agricoltura. A cura di ISMEA.*

- Tancioni L., Cataudella S., Colombari P.T., Gibertini G., Maio G., Scalici M., Celauro D., Sarrocco S. (2010).** La carta della biodiversità ittica del Lazio: analisi dei risultati preliminari. Book of abstracts -XIII Congresso Nazionale A.I.I.A.D. Gestione dell'ittiofauna per la tutela della biodiversità. San Sepolcro (Arezzo) 12-13 novembre 2010.
- Zerunian, S. (2004).** Pesci delle acque interne d'Italia. Quad. Cons. Natura, 20, Min. Ambiente – Ist. Naz. Fauna Selvatica.