

I risultati della carta ittica dell'Umbria

Relazione completa.

1.0

Materiali e metodi

2.0

Elaborazioni

3.0

Risultati

1.0 | I risultati della carta ittica dell'Umbria

Carta Ittica Regionale: relazione completa.

In questa sezione vengono sintetizzati e discussi i dati della Carta Ittica Regionale di 2° livello, raccolti nel periodo compreso tra il 1999, anno in cui è stato avviato il progetto, ed il 2005. Rispetto alla versione presente nel testo del volume, meno dettagliata e più divulgativa, in questa sede viene riportato un testo più dettagliato e scientificamente corretto, indirizzato a chi voglia approfondire in modo più completo le conoscenze.

1.1 I campionamenti: cosa si è fatto sul campo

Nel corso dell'indagine, in totale sono stati presi in considerazione 92 corsi d'acqua, per complessive 171 stazioni di campionamento (Tab. 1.1). I settori fluviali da analizzare sono stati scelti seguendo prevalentemente criteri morfometrici e idrologici, in modo da risultare quanto più rappresentativi di ampi tratti fluviali o dell'intero corso d'acqua.

L'intera area di studio, rappresentata dalla rete fluviale dell'intero territorio regionale, è stata suddivisa in 5 unità idrografiche rappresentate dai seguenti sottobacini: Chiascio-Topino, Nera, Nestore, Paglia-Chiani e

Sottobacino	N° Stazioni	N° Corsi d'acqua	Periodo campionamento
Chiascio	35	19	primavera 1999 - autunno 1999
Nera	39	17	primavera 2000 - autunno 2000
Nestore	17	8	primavera 2001 - autunno 2001
Paglia	24	14	primavera 2002 - autunno 2002
Tevere nord Tevere sud	52	31	primavera 2003 - autunno 2003 primavera 2004 - autunno 2004
Metauro	2	2	primavera 2003 - autunno 2003
Esino	2	1	primavera 2003 - autunno 2003

tabella 1.1 - Suddivisione dell'area di studio in sottobacini.

bacino residuo del Tevere. Le quattro stazioni che interessano i bacini del Metauro, dell'Esino e del Potenza, cioè i corsi d'acqua appartenenti allo spartiacque adriatico, sono state accorpate al bacino residuo del Tevere. I laghi e gli invasi artificiali sono stati esclusi dal monitoraggio, in quanto faranno parte di una specifica ricerca (Carta Ittica dei laghi) (Fig. 1.1).

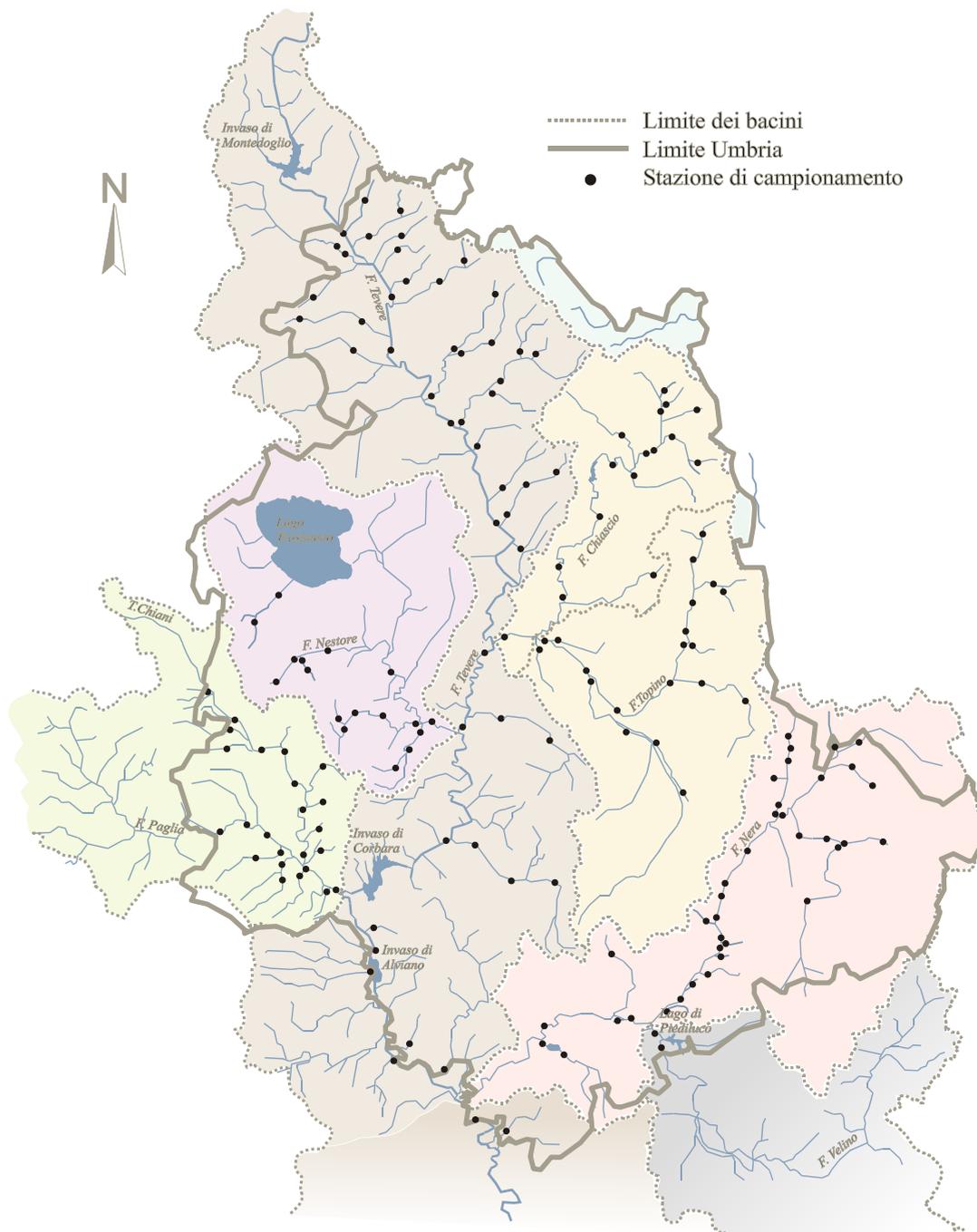


figura 1.1 - Localizzazione delle stazioni di campionamento.

La denominazione delle stazioni campionate è costituita da un codice alfanumerico composto in successione da due cifre, quattro caratteri e altre due cifre (es.: 01CHIA02). Le prime due cifre indicano il sottobacino di appartenenza: 01 nel caso dei fiumi Chiascio e Topino, 02 per il bacino del Nera, 03 per il Nestore, 04 per il Paglia - Chiani e 05 per il residuo del Tevere; i quattro caratteri successivi rappresentano le prime quattro lettere del nome del corso d'acqua (es.: Chiascio = CHIA), mentre le ultime due cifre (02) si riferiscono al numero della stazione, ordinato progressivamente, per uno stesso corso d'acqua, da monte verso valle.

Per ogni sottobacino i campionamenti sono avvenuti mediante due monitoraggi successivi effettuati in due diversi periodi dell'anno; ciò ha permesso di seguire l'evoluzione temporale delle caratteristiche ambientali e della composizione delle comunità ittiche. Per ogni stazione di campionamento sono state raccolte quindi due serie di dati (fase 1 e fase 2), coincidenti rispettivamente con il periodo primaverile ed autunnale. In ogni settore considerato è stata censita la fauna ittica presente e sono stati analizzati alcuni parametri ambientali utili alla caratterizzazione del tratto fluviale indagato. Questi parametri, debitamente elaborati, rappresentano una base conoscitiva per lo studio della comunità ittica in quanto influenzano la distribuzione, la dinamica spaziale e temporale, la struttura e le caratteristiche biologiche della fauna fluviale.

Tutti i dati raccolti sono confluiti in un archivio elettronico, sviluppato mediante software MicroSoft® Access 2007, in grado di memorizzare ed organizzare le informazioni e permettere alcune importanti elaborazioni (La Porta *et alii*, 2001).

Per ogni settore fluviale i parametri determinati sul campo sono i seguenti:

Parametri morfologici

- Distanza dalla sorgente (km)
- Quota (m s.l.m.)
- Bacino sotteso (km²)
- Pendenza (%)

Parametri ambientali

- Ricovero per i pesci (cover) (indice 0-4)
- Superficie ombreggiata dell'alveo (indice 0-4)
- Copertura vegetale del fondo (indice 0-4)
- Granulometria prevalente (indice 1-7)

Per la definizione dei parametri ambientali è stato utilizzato un indice che prevede cinque classi, secondo lo schema seguente (per ogni stazione di campionamento il valore dell'indice è stato attribuito considerando la classe prevalente):

- Parametro assente: valore dell'indice = 0
- Parametro presente con tratti isolati: valore dell'indice = 1
- Parametro presente con frequenti interruzioni: valore dell'indice = 2
- Parametro presente con scarse interruzioni: valore dell'indice = 3
- Parametro presente in modo continuo: valore dell'indice = 4.

Le categorie granulometriche considerate sono invece 7 e fanno riferimento allo schema seguente:

- Fango, Argilla, Limo (diametro < 1 mm), valore dell'indice = 1
- Sabbia (diametro = 1-2 mm), valore dell'indice = 2
- Ghiaia fine (diametro = 2-8 mm), valore dell'indice = 3
- Ghiaia media (diametro = 8-32 mm), valore dell'indice = 4
- Ghiaia grossa (diametro = 32-64 mm), valore dell'indice = 5
- Ciottoli (diametro = 64-256 mm), valore dell'indice = 6
- Blocchi (diametro > 256 mm), valore dell'indice = 7.

Parametri idrologici e idraulici

- Sezione utile (m²)
- Profondità media (m)
- Larghezza della sezione (m)
- Velocità di corrente (m/s)
- Portata (m³/s)

Parametri chimico-fisici

- Temperatura aria (°C)
- Temperatura acqua (°C)
- pH (unità di pH)
- Conducibilità (µs/cm)
- Ossigeno (mg/l)
- Ossigeno (% di saturazione)
- B.O.D.₅ (mg/l)
- C.O.D. (mg/l)
- Azoto-Nitrico (mg/l-N)
- Azoto-Nitroso (mg/l-N)
- Azoto-Ammoniacale (mg/l-N)
- Solfati (mg/l)
- Cloruri (mg/l)
- Fosforo ortofosfato (mg/l)
- Fosforo-Totale (mg/l-P)

Parametri biologici

- I.B.E. (Indice Biotico Esteso)
- Classe di qualità I.B.E.

La qualità delle acque delle varie stazioni di campionamento è stata monitorata mediante indicatori biologici, che analizzano la struttura della comunità bentonica fluviale. A tal fine è stato utilizzato l'IBE (Indice Biotico Esteso, modificato da Ghetti, 1986), convertito in classi di qualità secondo lo schema riportato nella tabella 1.2.

Il campionamento relativo al mappaggio biologico è stato eseguito solamente nel periodo primaverile (fase 1).

Classe di qualità	Valore I.B.E.	Giudizio	Colore
Classe I	10-11-12	Ambiente non inquinato o non alterato in modo sensibile	Blu
	13-14-15		
Classe II	8-9	Ambiente in cui sono evidenti alcuni effetti dell'inquinamento	Verde
Classe III	6-7	Ambiente inquinato	Giallo
Classe IV	4-5	Ambiente molto inquinato	Arancio
Classe V	1-2-3	Ambiente fortemente inquinato	Rosso

tabella 1.2 - Classi di qualità dell'indice Biotico Esteso.

Parametri ittici

- Specie presenti
- Numero degli esemplari catturati (n°)
- Lunghezza individuale degli esemplari catturati (cm)
- Peso individuale degli esemplari catturati (g)
- Età individuale degli esemplari catturati (anni)
- Densità di ogni specie ittica (ind/m²)
- Biomassa areale di ogni specie ittica (g/m²)
- Densità totale (ind/m²)
- Biomassa totale (g/m²).

Il prelievo della fauna ittica è stato effettuato tramite un generatore a corrente continua (elettrostorditore), il cui polo positivo (anodo) è costituito da un cerchio di metallo munito di manico (guadino) ed il cui polo negativo (catodo) è rappresentato da una treccia di rame costantemente immersa in acqua. Il campo elettrico si crea al contatto del guadino con l'acqua ed induce un effetto elettroanestetico sui pesci che possono essere

agevolmente catturati (Marconato, 1991). La pesca elettrica rappresenta un metodo di prelievo efficace ed al tempo stesso poco traumatico per gli individui catturati, consentendo il loro successivo rilascio in assenza di danni permanenti (Mearelli *et alii*, 2002). In base alle caratteristiche del tratto fluviale, per il campionamento sono stati utilizzati due apparecchi differenti in potenza (4,5 kw e 1,5 kw) ed in grado di erogare sia corrente continua che pulsata. Nei settori non guadabili la pesca elettrica è stata effettuata avvalendosi dell'uso di natanti. La risposta al campo elettrico può portare il pesce a cercare di fuggire dall'anodo (galvanotassia negativa, soprattutto quando si trovi marginalmente al campo elettrico), oppure può attirarlo verso il polo negativo (galvanotassia positiva). L'effetto dell'elettrostorditore è comunque condizionato sia dalla sensibilità intrinseca della specie e dalle condizioni dei singoli individui (come le dimensioni), sia da alcune caratteristiche dell'acqua stessa, come la conducibilità e la profondità (Marconato, 1991). Il campionamento è stato condotto mediante la tecnica delle passate successive (Moran, 1951; Zippin, 1956, 1958), che consiste nel campionare da valle a monte per due o più volte consecutive lo stesso tratto fluviale operando con la stessa pressione di pesca (Seber e Le Cren, 1967). Tutti gli individui catturati sono stati anestetizzati con acetonecloroformio (1 ml/2l di acqua) e poi misurati. Ogni esemplare è stato determinato a livello di specie, misurato in lunghezza e quindi pesato. La lunghezza è stata misurata, con una precisione di $\pm 0,1$ cm, dal muso fino al lobo superiore della pinna caudale (LT = lunghezza totale) (Lagler *et alii*, 1962; Anderson e Neumann, 1996), mentre il peso è stato valutato attraverso una bilancia elettronica, con una precisione di ± 1 grammo.

Ai fini di una più corretta stima dell'abbondanza delle popolazioni e per indagarne la struttura, ad un numero significativo di esemplari è stato prelevato un campione di scaglie per la determinazione dell'età, cercando di coprire tutte le classi di lunghezza ad intervalli di un cm. Il prelievo è stato effettuato sul dorso, sopra la linea laterale ed in corrispondenza dell'inserzione della pinna dorsale (Bagenal, 1978; Ombredane e Richard, 1990); le scaglie sono state conservate in etanolo al 30% per una successiva analisi in laboratorio tramite microscopio ottico, collegato ad un sistema di analisi delle immagini. Al termine dell'attività di misurazione sul campo ed una volta riavutisi dall'anestesia, tutti gli esemplari catturati sono stati rilasciati nello stesso tratto fluviale di provenienza.

I pesci sono organismi ectotermi e quindi sono estremamente influenzabili dalle condizioni ambientali in cui vivono. La discontinuità dell'accrescimento dei pesci, conseguente anche ai differenti ritmi stagionali, è osservabile sia nella struttura delle ossa scheletriche, sia nella deposizione di calcio sulle scaglie stesse: Dahl (1909) ha notato che la crescita delle scaglie è legata da una relazione matematica a quella del corpo. Le scaglie sono formazioni ossee di origine dermica che presentano una

parte centrale (focus o centro di ossificazione) ed una serie di anelli concentrici (*circuli*), che rappresentano l'accrescimento della scaglia stessa. A partire dal bordo della scaglia, la velocità di deposizione di calcio che determina la formazione dei *circuli* non è però costante, ma strettamente correlata alle variazioni metaboliche del pesce. Un'intensa attività metabolica nella stagione calda, causata dalle alte temperature e dall'abbondanza di cibo, comporta infatti un aumento della velocità di crescita dell'individuo che avviene in modo contestuale a quello delle scaglie. Un rapido accrescimento sarà rappresentato quindi da *circuli* radi e distanziati, ben identificabili al microscopio ottico. Al rallentare del tasso metabolico nel periodo invernale, il conseguente addensamento dei *circuli* si tradurrà nella formazione di bande più scure, dette *annuli*. Mediante un microscopio ottico la scaglia può essere agevolmente osservata e ciò permette una determinazione dell'età basata sul conteggio degli *annuli*, la cui quantità rappresenta quindi il numero di inverni trascorsi (Fornieris *et alii*, 1990). In una scaglia si possono inoltre riconoscere differenti parti: si notano, infatti, una zona anteriore (inclusa approfonditamente nel derma e più sviluppata), una posteriore (più esterna ed a sviluppo minore) ed una zona laterale che solitamente rappresenta la parte in cui si può facilmente determinare l'età dell'individuo (Casselman, 1967). Le scaglie presentano il grande vantaggio di poter essere prelevate facilmente e di consentire il rilascio dell'individuo in acqua senza che questo subisca eccessive manipolazioni e danni permanenti.

Sebbene il metodo scalimetrico nella determinazione dell'età sia uno dei più efficaci, spesso alcune scaglie devono essere scartate poiché si presentano di difficile interpretazione per la presenza di infittimenti dei *circuli* (falsi *annuli*), dovuti alle particolari condizioni di sviluppo dell'individuo (malattie, carenza di cibo, ecc..), o per una crescita disordinata della scaglia, come può verificarsi in seguito ad una rigenerazione del tessuto successiva ad una ferita (scaglie di sostituzione). Il metodo scalimetrico può essere reso più sicuro e pratico quando viene integrato da una diversa modalità di attribuzione dell'età: il metodo di Petersen (Bagenal, 1978; De Vries e Frie, 1996), che si basa sulla distribuzione delle frequenze di lunghezza del campione complessivo. Se le lunghezze di un'intera popolazione di pesci vengono rappresentate mediante istogrammi di frequenza, spesso si ottiene un grafico con un andamento plurimodale, in cui ad ogni moda (lunghezza più frequente) corrisponde una classe di età. Il metodo è particolarmente efficace in assenza di dimorfismo sessuale, nelle specie ad alto e costante tasso di accrescimento e con breve stagione riproduttiva (Gandolfi *et alii*, 1991). Con l'età, comunque, l'accrescimento nei pesci rallenta e nelle classi più anziane le mode tendono a sovrapporsi ampiamente rendendone difficile l'interpretazione. La conoscenza dell'età di un certo numero di esemplari, effettuata mediante metodo scalimetrico, permette una più agevole e sicura individuazione

delle mode.

Attraverso la tecnica delle passate successive (Moran, 1951; Zippin 1956, 1958) è stato possibile stimare il numero di individui presenti nel settore di campionamento e quindi conoscere la loro densità ($n^\circ \text{ ind/m}^2$) e lo standing crop o biomassa areale (g/m^2).

Affinché il metodo sia applicabile devono essere verificate le seguenti condizioni:

- durante il campionamento la popolazione deve essere chiusa, in assenza di mortalità, reclutamento, immigrazione o emigrazione;
- l'intera popolazione deve essere catturabile;
- la probabilità di cattura deve essere uguale per tutti gli individui della popolazione e non deve cambiare durante il campionamento.

L'ultima condizione è la più difficile da garantire poiché la pesca elettrica presenta una maggiore efficacia sugli individui di maggiori dimensioni (Marconato, 1991). Per ovviare a questo inconveniente la stima delle abbondanze delle popolazioni ittiche è stata effettuata disaggregando l'intero campione in classi omogenee per taglia (classi di età). Per tale metodo di campionamento, nel caso in cui si sia operato conducendo due sole passate successive, il numero probabile di individui presenti (N) nella popolazione sarà:

$$N = \frac{C_1^2}{C_1 - C_2}$$

Condizione indispensabile perché la stima risulti corretta è che il numero di pesci catturati nella prima passata (C_1) sia superiore al numero di esemplari catturati nella seconda (C_2) e l'errore del metodo sarà tanto minore quanto più $C_1 > C_2$.

La biomassa probabile (B) è stata calcolata moltiplicando il numero probabile stimato (N) per il peso medio (P) degli esemplari catturati (Marconato, 1991):

$$B = N P$$

La densità ($n^\circ \text{ ind/m}^2$) e lo standing crop (g/m^2) sono stati calcolati dividendo il numero probabile e la biomassa probabile dell'intero tratto campionato per le superfici dei settori di campionamento, che sono state stimate mediante il prodotto della larghezza media per la lunghezza del tratto campionato.

2.0 | Le elaborazioni: interpretare i dati con tecniche statistiche

2.1 La ricchezza di specie: analizzare la composizione delle comunità ittiche

Uno dei parametri più importanti per analizzare la struttura di qualsiasi comunità è la ricchezza di specie, che rappresenta il numero totale di specie presenti. La ricchezza di specie risente delle condizioni peculiari degli habitat (nicchie ecologiche disponibili), da fattori storici (possibilità di colonizzazione, estinzioni avvenute nel passato), ma è anche influenzata da stress esterni (inquinamento, introduzione di specie esotiche, presenze di fenomeni competitivi, ecc.). Per valutare appieno le conseguenze derivanti dalla presenza delle specie esotiche, oltre alla ricchezza di specie complessiva, per ogni stazione di campionamento è stata operata una distinzione tra il numero di specie esotiche ed il numero di quelle indigene (o autoctone).

Il numero delle specie esotiche è stato ulteriormente disaggregato in numero di specie traslocate, cioè provenienti da altri corsi d'acqua italiani, ed in numero di specie trapiantate, cioè provenienti da bacini imbriferi esteri (Delmastro, 1986; Lorenzoni *et alii*, 2006). Introdotta od esotica è stata considerata ogni specie volontariamente od accidentalmente rilasciata in un ambiente al di fuori del suo areale originario (Holcik, 1991; Cowx, 1997); una specie introdotta è considerata acclimatata quando si riproduce e mantiene se stessa in modo naturale e senza l'interferenza dell'uomo (Shafland e Lewis, 1984; Keith e Allardi, 1997).

Per meglio valutare il grado di integrità o di compromissione delle comunità ittiche causato dalla presenza delle specie esotiche, in ogni stazione di campionamento è stato calcolato l'indice di integrità qualitativa (IIQual) (Bianco, 1990; Elvira, 1995). Questo indice è molto semplice da calcolare e valuta il rapporto tra le specie autoctone ed il totale delle specie presenti nella comunità; esso può quindi variare da 0 (tutte le specie sono

esotiche), ad 1 (presenti solo specie autoctone). Il confronto dei valori assunti dall'IIQual con quanto noto per il passato permette di valutare i cambiamenti che nelle comunità sono rinvenuti nel tempo, per programmare eventuali piani di risanamento e per verificare l'efficacia degli stessi. Si precisa che per la nomenclatura della fauna ittica si è fatto riferimento a quanto proposto da Gandolfi *et alii*, (1991), rispetto al quale tuttavia sono state apportate alcune modifiche. Il barbo tiberino (*Barbus tyberinus*) è stato, infatti, considerato una specie separata dal barbo del Po (*Barbus plebejus*) (Bianco, 1995a), così come anche il cavedano etrusco (*Leuciscus lucumonis*) è stato tenuto distinto dal cavedano comune (*Leuciscus cephalus*) (Bianco, 1983); ciò anche se tali impostazioni non sono unanimemente accettate (Gandolfi *et alii*, 1991; Zerunian, 2002). Sempre a proposito degli aspetti che riguardano la nomenclatura, si precisa anche che, laddove possibile e per facilitare il confronto con il passato, i nomi scientifici utilizzati sono stati lasciati invariati rispetto alla Carta Ittica di 1° livello, nonostante siano stati proposti da allora alcuni cambiamenti (Kottelat e Freyhof, 2007). In questa versione elettronica e più estesa della ricerca, al contrario di quanto fatto nella versione riportata nel volume cartaceo, è stato aggiornato il nome scientifico del cobite (*Cobitis bilineata*), in quanto è opinione ormai diffusa che le popolazioni italiane siano da ritenersi separate da un punto di vista sistematico da quelle transalpine (*Cobitis taenia*) (Bohlen, 1997; Bohlen e Rab, 2001; Kottelat e Freyhof, 2007). Anche per il pesce gatto (*Ameiurus melas*) ed il vairone (*Telestes souffia*) sono state apportate alcune variazioni rispetto alla Carta Ittica di 1° livello, in cui le due specie venivano denominate rispettivamente *Ictalurus melas* e *Leuciscus souffia*.

Altra precisazione da fare riguarda l'origine di alcune specie ittiche, per le quali ancora non è stata raggiunto un punto di vista unanime (Moretti e Gianotti, 1966; Bianco, 1993 e 1995; Kottelat e Freyhof, 2007); in questo caso sono state operate le seguenti scelte: il cobite è stato considerato esotico per l'Umbria, al contrario del luccio, ritenuto in questo caso autoctono. Nel calcolo dell'IIQual il barbo del Po è stato considerato anch'esso indigeno, per non alternarne il valore nel confronto con il passato: ciò in relazione al fatto che nella Carta Ittica di 1° livello non era stata operata nessuna distinzione fra *Barbus plebejus* e *Barbus tyberinus* (Mearelli *et alii*, 1996).

2.2 Analisi statistiche: interpretare i risultati

Per alcuni parametri è stata riportata la statistica descrittiva del campione analizzato, calcolandone la media, il valore massimo, il valore minimo, la mediana e la deviazione standard. Quando necessario la descrizione

statistica dei dati è stata disaggregata in vario modo (per fase di campionamento, sottobacino, zona ittica, ecc...).

Attraverso l'analisi del *t*-test (Fowler e Cohen, 1993) sono state confrontate le medie di due gruppi di dati, mentre nel caso di gruppi più numerosi si è fatto ricorso all'analisi della varianza (Anova): ciò al fine di valutare la significatività statistica delle differenze osservate. Il livello soglia di significatività (α) è pari al 5% ($p = 0,05$), quindi le differenze risultano statisticamente significative e non casuali quando $p < 0,05$ ed altamente significative per $p < 0,01$.

Per presentare in modo sintetico i risultati delle elaborazioni si è fatto talvolta ricorso ai diagrammi Box and Whisker di Tukey (1977), che offrono un'immediata rappresentazione delle distribuzioni statistiche e del loro grado di normalità. Tali grafici sono costituiti da un piccolo quadrato indicante la media aritmetica dei valori, una scatola (box), che rappresenta l'errore standard e due barre verticali all'esterno di essa (whisker), che raffigurano i limiti fiduciali al 95% della media; tali barre esprimono, cioè, i limiti entro i quali la media del campione è compresa nel 95% dei casi.

In alcuni casi si è fatto ricorso ad analisi statistiche più complesse quali:

- analisi delle componenti principali
- cluster analysis
- analisi delle corrispondenze canoniche

2.2.1 *Analisi delle componenti principali: rilevare le caratteristiche ambientali*

Per analizzare in modo sintetico le relazioni esistenti fra le caratteristiche ambientali tipiche dell'area indagata è stata utilizzata l'analisi delle componenti principali (PCA). Questo tipo di analisi permette di riassumere le informazioni di base, di solito contenute in una pluralità di parametri, in un numero ridotto di nuove variabili (componenti principali) estratte dall'analisi in modo da conservare quanto meglio le informazioni contenute nei dati originali. Mediante tale analisi è possibile ottenere una rappresentazione delle relazioni fra le variabili originali e fra queste ultime e le componenti principali estratte e ciò può rendere particolarmente efficace e sintetica la descrizione del campione. Nel nostro caso la matrice usata per l'analisi ha incluso 29 variabili ambientali e 314 stazioni di campionamento (157 stazioni x 2 fasi di campionamento). Tutte le variabili (N) sono state trasformate ($\log_{10} (N + 1)$) per normalizzare la distribuzione (Brown e Austen, 1996) e standardizzate ad una media di 0 ed una deviazione standard di 1. La relazione esistente fra il primo

asse dell'analisi delle componenti principali (PC1) ed alcuni parametri biologici, quali l'IQQual ed il numero di specie, è stata successivamente investigata mediante analisi della regressione.

2.2.2 Cluster analysis: studiare le relazioni tra le specie

Lo scopo di questo tipo di analisi è quello di suddividere un campione in gruppi di casi omogenei. In questo caso, l'analisi ha permesso di evidenziare le relazioni esistenti tra le diverse specie ittiche. La matrice utilizzata è costituita dai dati di densità registrati in ogni stazione di campionamento per le 36 specie ittiche. L'analisi è stata effettuata applicando il metodo di agglomerazione del legame completo ad una matrice di dissimiglianza (1-r di Pearson).



figura 2.1 - Campionamento con elettrostorditore.

2.2.3 Analisi delle corrispondenze canoniche: fauna ittica e variabili ambientali

L'analisi delle corrispondenze canoniche (CCA) è stata utilizzata per mettere in relazione la composizione della fauna ittica alle variabili ambientali. La CCA è un metodo di analisi diretta dei gradienti ambientali sviluppato in modo specifico per analizzare le relazioni esistenti fra dati ecologici complessi e rappresentati da un numero molto elevato di variabili (ter Braak, 1986). Per testare la significatività degli assi di ordinamento è stato utilizzato il Monte Carlo test con 1000 permutazioni: un asse è stato considerato significativo dal punto di vista statistico se gli autovalori ottenuti dal set di dati permutati superano gli originali in non più di 50 ($\alpha = 0,05$). I dati utilizzati sono costituiti dalle 39 variabili ambientali e dalle densità delle 36 specie ittiche, rilevate in ciascuna delle 314 stazioni di campionamento (157 stazioni x 2 fasi di campionamento). Anche in questo caso i dati sono stati normalizzati e standardizzati.

La relazione esistente tra il primo asse della CCA e la densità delle specie ittiche (Carosi *et alii*, 2006; Carosi *et alii*, 2007) è stata successivamente investigata mediante analisi della regressione non lineare (GLM), utilizzando una distribuzione di tipo normale (Maunder e Punt, 2004).

3.1 Caratterizzazione ambientale

Nella tabella 3.1 sono riportati i risultati relativi alla statistica descrittiva dei parametri morfologici: in generale l'analisi conferma che i corsi d'acqua presenti nel bacino umbro del fiume Tevere sono per lo più di mode-

	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Distanza dalla sorgente (km)	301	27,84	36,62	0,50	216,00	14,00
Bacino sotteso (km ²)	301	348,84	857,67	4,58	6349,70	59,10
Quota (m s.l.m.)	311	296,21	136,30	42,00	665,00	270,00
Pendenza (%)	308	2,17	1,71	0,10	9,26	2,06

tabella 3.1 - Statistica descrittiva dei parametri morfologici nel campione complessivo.

ste dimensioni e scorrono in territori prevalentemente collinari. L'elevata variabilità del campione testimonia, comunque, la presenza anche di un numero considerevole di casi che si discostano dalla media e che si riferiscono, per lo più, alle aste principali dei corsi d'acqua più importanti. Per quanto riguarda il confronto fra i sottobacini l'analisi della varianza evidenzia la presenza di differenze statisticamente significative fra i valori medi rilevati per la distanza dalla sorgente ($F = 2,86$; $p = 0,02$) ed altamente significative per la quota ($F = 11,76$; $p = 0,00$) e la pendenza ($F = 21,92$; $p = 0,00$). Il confronto fra i valori medi (Tab. 3.2) mostra che

Tab. 3.2 - Statistica descrittiva del parametro nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	25,5	28,10	2,00	118,00	17,50
Nera	72	29,25	26,40	0,50	94,00	18,00
Nestore	32	14,57	13,17	4,00	53,00	10,65
Paglia	47	20,74	19,34	1,00	67,00	11,60
Tevere	95	36,13	53,86	3,00	216,00	14,00

tabella 3.2 a - Distanza dalla sorgente (Km).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	288,88	454,89	7,00	1997,00	84,92
Nera	72	318,03	508,52	5,16	2302,30	97,71
Nestore	32	152,02	314,42	8,41	1096,00	31,00
Paglia	47	221,85	375,75	6,24	1320,00	31,52
Tevere	95	536,04	1368,31	4,58	6349,70	40,01

tabella 3.2 b - Bacino sotteso (Km²).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	315,45	113,52	187,00	540,00	315,00
Nera	72	368,06	148,11	96,00	665,00	363,00
Nestore	33	262,06	52,79	173,00	350,00	266,00
Paglia	47	213,28	89,00	105,00	470,00	200,00
Tevere	104	284,62	148,94	42,00	650,00	272,00

tabella 3.2 c - Quota (m s.l.m.).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	54	3,26	1,80	0,80	7,60	2,50
Nera	72	1,56	1,42	0,13	9,26	1,04
Nestore	33	1,14	0,82	0,12	2,80	0,90
Paglia	47	3,33	1,73	0,20	7,30	2,90
Tevere	102	1,81	1,50	0,10	7,69	1,42

tabella 3.2 d - Pendenza (%).

il bacino del Tevere si contraddistingue per i valori più elevati relativamente alla distanza dalla sorgente (media: 36,13 km). Il bacino del Nera assume i valori di quota maggiori rispetto agli altri sottobacini (media: 368,06 m s.l.m.), mentre per quanto riguarda la pendenza il valore più elevato si registra nel bacino del Paglia (media: 3,33%). Tali risultati sono giustificati dal fatto che nel bacino del Tevere sono presenti corsi d'acqua di maggiori dimensioni rispetto agli altri sottobacini, mentre il Nera è un bacino montano caratterizzato da corsi d'acqua che scorrono in territori situati a quote più elevate rispetto al resto dell'area indagata.

Parametri	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
pH (unità di pH)	307	8,10	0,27	6,48	9,14	8,12
Conducibilità (µS/cm)	306	603,48	198,01	257,00	1535,00	587,50
B.O.D. (mg/l)	282	2,18	2,68	0,20	26,00	1,30
C.O.D. (mg/l)	258	9,79	10,16	0,21	124,00	8,00
NNO ₃ (mg/l)	306	1,91	3,46	0,00	23,00	0,71
NNO ₂ (mg/l)	306	0,04	0,12	0,00	1,30	0,01
NNH ₃ (mg/l)	306	0,27	1,75	0,00	29,00	0,04
SO ₄ (mg/l)	306	58,02	64,42	1,00	600,00	43,00
PPO ₄ (mg/l)	259	0,07	0,13	0,00	1,00	0,02
Ptot (mg/l)	258	0,08	0,16	0,00	1,27	0,03
Cloruri (mg/l)	306	21,28	21,17	1,00	162,00	16,00
Temperatura acqua (°C)	298	14,37	4,31	5,50	28,30	13,95
O ₂ (mg/l)	305	9,16	1,94	0,90	14,00	9,44
V.S. O ₂ (%)	275	91,86	18,95	11,40	162,00	95,50

tabella 3.3 - Statistica descrittiva dei parametri fisico-chimici nel campione complessivo.

Parametri	n. valori fase 1	Media fase 1	Dev. std. fase 1	n. valori fase 2	Media fase 2	Dev. std. fase 2	Valore t	P
pH (unità di pH)	154	8,08	0,29	153,00	8,13	0,26	1,33	0,18
Conducibilità (µS/cm)	153	591,48	196,29	153,00	615,48	199,62	1,06	0,29
B.O.D. (mg/l)	130	2,27	2,85	152,00	2,10	2,54	0,53	0,59
C.O.D. (mg/l)	130	9,53	6,76	128,00	10,05	12,75	0,41	0,68
NNO ₃ (mg/l)	154	1,77	3,26	152,00	2,04	3,65	0,68	0,50
NNO ₂ (mg/l)	154	0,05	0,16	152,00	0,03	0,06	1,94	0,05
NNH ₃ (mg/l)	154	0,40	2,45	152,00	0,13	0,25	1,36	0,18
SO ₄ (mg/l)	154	56,91	65,96	152,00	59,13	63,02	0,30	0,76
PPO ₄ (mg/l)	130	0,06	0,10	129,00	0,07	0,15	0,44	0,66
Ptot (mg/l)	130	0,10	0,18	128,00	0,07	0,14	1,76	0,08
Cloruri (mg/l)	154	23,85	26,02	152,00	18,68	14,36	2,15	0,03
Temp. acqua (°C)	151	16,61	3,94	147,00	12,06	3,37	10,71	0,00
O ₂ (mg/l)	156	8,87	1,74	149,00	9,46	2,10	2,66	0,01
V.S. O ₂ (%)	137	94,17	17,46	138,00	89,55	20,14	2,03	0,04

tabella 3.4 - Statistica descrittiva dei parametri fisico-chimici nel campione disaggregato per fase di campionamento.

Nella tabella 3.3 sono riportati i risultati relativi alla statistica descrittiva dei parametri fisico-chimici. Maggiori informazioni si evincono dal confronto fra le due fasi di campionamento che evidenzia la presenza di differenze significative ($p < 0,05$) per i cloruri, la temperatura dell'acqua, l'ossigeno disciolto ed il valore di saturazione percentuale, con valori medi che per i cloruri, la temperatura dell'acqua ed il valore di saturazione dell'ossigeno risultano nettamente superiori nella fase 1 rispetto alla fase 2 (Tab. 3.4). Relativamente all'ossigeno disciolto si osserva l'andamento inverso. Tale differenza nelle medie delle due fasi di campionamento è attribuibile al normale andamento stagionale, in quanto la prima campagna è stata effettuata nel periodo primaverile, mentre la seconda in quello autunnale. Ciò spiega anche la situazione osservata per l'ossigeno disciolto: infatti la differenza tra le due medie è dovuta alla funzione inversa che lega la solubilità dell'ossigeno alla temperatura.

Per quanto riguarda i diversi sottobacini, il confronto evidenzia la presenza di differenze significative per tutti i parametri indagati (Tab. 3.5 a - p): il bacino del Paglia si contraddistingue per raggiungere i valori medi più elevati per la maggior parte dei parametri esaminati (conducibilità, B.O.D.₅, C.O.D., nitriti, nitrati, ammoniaca, solfati, fosforo totale, temperatura dell'acqua). Il contrario avviene nel bacino del Nera dove in numerosi casi i valori medi sono i più modesti fra quelli registrati (pH, conducibilità,

Tab. 3.5 - Statistica descrittiva dei parametri fisico-chimici nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	8,03	0,33	6,48	8,52	8,12
Nera	75	8,01	0,21	7,48	8,48	8,02
Nestore	33	8,20	0,22	7,86	9,14	8,18
Paglia	47	7,94	0,21	7,30	8,40	8,00
Tevere	104	8,25	0,25	7,47	8,92	8,28

tabella 3.5 a - pH (unità di pH).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	533,40	101,18	369,00	695,00	533,50
Nera	75	441,01	113,70	257,00	793,00	417,00
Nestore	33	661,24	130,20	498,00	1021,00	628,00
Paglia	46	749,11	261,47	335,00	1510,00	686,50
Tevere	104	670,25	174,50	353,00	1535,00	643,00

tabella 3.5 b - Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

B.O.D.₅, C.O.D., nitriti, ammoniaca, solfati, fosforo ortofosfato, fosforo totale, cloruri, temperatura dell'acqua). Il Tevere si caratterizza per il pH più

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	24	2,76	2,32	0,50	8,60	2,05
Nera	75	0,97	0,81	0,20	5,10	0,70
Nestore	33	2,15	2,38	0,40	9,40	1,30
Paglia	47	4,09	3,73	0,50	13,20	2,90
Tevere	103	2,07	2,69	0,40	26,00	1,60

tabella 3.5 c - BOD₅ (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	0	-	-	-	-	-
Nera	75	6,85	3,44	5,00	22,00	5,00
Nestore	33	9,81	6,05	0,25	28,00	7,60
Paglia	47	17,07	17,59	5,00	124,00	13,60
Tevere	103	8,60	8,27	0,21	75,00	8,70

tabella 3.5 d - COD (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	0,44	0,32	0,02	1,29	0,44
Nera	75	0,95	0,66	0,10	4,00	0,78
Nestore	33	0,61	0,72	0,05	3,20	0,44
Paglia	47	6,92	6,18	0,10	23,00	4,60
Tevere	103	1,41	1,99	0,00	10,40	0,62

tabella 3.5 e - NNO₃ (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	0,02	0,02	0,00	0,12	0,01
Nera	75	0,01	0,01	0,01	0,07	0,01
Nestore	33	0,04	0,14	0,01	0,76	0,01
Paglia	47	0,13	0,26	0,02	1,30	0,02
Tevere	103	0,03	0,05	0,00	0,30	0,01

tabella 3.5 f - NNO₂ (mg/l).

elevato e la minore quantità di ossigeno (sia disciolto che espresso come percentuale del valore di saturazione). Tali risultati sono giustificati dal

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	0,15	0,21	0,03	0,99	0,07
Nera	75	0,05	0,04	0,04	0,33	0,04
Nestore	33	0,09	0,15	0,03	0,85	0,04
Paglia	47	1,13	4,30	0,02	29,00	0,20
Tevere	103	0,14	0,63	0,00	6,30	0,04

tabella 3.5 g - NNH_3 (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	57,03	53,71	5,80	220,00	36,50
Nera	75	31,11	26,65	1,00	107,00	26,00
Nestore	33	42,88	29,01	16,00	131,00	33,00
Paglia	47	101,47	123,85	1,00	600,00	63,30
Tevere	103	63,09	43,36	7,30	324,00	52,00

tabella 3.5 h - SO_4 (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	0,13	0,16	0,02	0,60	0,03
Nera	75	0,02	0,01	0,02	0,09	0,02
Nestore	33	0,11	0,25	0,00	1,00	0,02
Paglia	0	-	-	-	-	-
Tevere	103	0,06	0,08	0,00	0,60	0,02

tabella 3.5 i - PPO_4 (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	0	-	-	-	-	-
Nera	75	0,03	0,02	0,02	0,11	0,03
Nestore	33	0,13	0,29	0,00	1,10	0,02
Paglia	47	0,15	0,25	0,01	1,27	0,08
Tevere	103	0,08	0,11	0,00	0,76	0,04

tabella 3.5 l - P totale (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	48	14,46	11,92	1,00	83,00	13,00
Nera	75	7,89	3,09	3,40	19,00	6,90
Nestore	33	37,24	23,79	16,00	111,00	24,00
Paglia	47	34,70	36,25	7,60	162,00	23,00
Tevere	103	22,97	13,26	11,00	96,00	17,00

tabella 3.5 m - Cloruri (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	49	13,69	3,12	6,00	22,00	14,00
Nera	73	12,61	1,79	9,50	19,70	12,40
Nestore	25	12,96	5,93	5,50	25,50	14,20
Paglia	47	16,44	4,19	8,80	28,30	15,50
Tevere	104	15,32	5,00	5,90	26,00	15,40

tabella 3.5 n - Temperatura acqua (°C).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	46	10,26	1,82	2,00	14,00	10,00
Nera	75	9,28	0,81	7,20	10,60	9,50
Nestore	33	10,43	1,30	8,20	13,70	10,10
Paglia	47	9,39	2,02	4,80	13,90	9,82
Tevere	104	8,07	2,13	0,90	12,90	7,95

tabella 3.5 o - O₂ (mg/l).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	46	100,22	17,88	18,00	139,00	101,00
Nera	73	97,32	10,79	77,60	142,00	98,00
Nestore	9	92,62	11,28	80,00	117,10	89,40
Paglia	47	95,57	19,82	48,20	133,00	97,50
Tevere	100	82,20	20,41	11,40	162,00	79,00

tabella 3.5 p - V.S. O₂ (%).

fatto che il bacino del Nera, grazie alla presenza di estese zone montane scarsamente antropizzate, è caratterizzato da una situazione ambientale complessivamente migliore rispetto agli altri sottobacini. I bacini del Pa-

glia e del Tevere sono invece quelli più penalizzati dall'inquinamento, che compromette in misura notevole la qualità delle acque.

Nella tabella 3.6 sono riportati i risultati della statistica descrittiva per i parametri idrologici. L'analisi dei risultati dimostra ancora una volta come l'area indagata si caratterizzi per la prevalenza di corsi dalle modeste dimensioni e con un decorso prevalentemente collinare (valori medi: larghezza 7,5 m, profondità 35 cm, portata 2,67 m³/sec, superficie della sezione bagnata 2,07 m², velocità di corrente 0,29 m/sec).

	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Larghezza sezione (m)	294	7,50	7,03	0,80	43,00	4,60
Profondità (m)	287	0,35	0,22	0,07	1,50	0,30
Velocità media (m/s)	286	0,29	0,28	0,02	1,39	0,20
Portata (m ³ /s)	302	2,67	14,60	0,00	170,00	0,17
Sezione utile (m ²)	278	2,07	2,62	0,00	19,76	0,99

tabella 3.6 - Statistica descrittiva dei parametri idrologici nel campione complessivo.

Le aste fluviali principali si discostano dalla norma: infatti, i valori massimi di tutti i parametri risultano nettamente superiori alla media (larghezza: 43 m, profondità: 1,5 m, portata: 170 m³/sec, superficie della sezione bagnata: 19,76 m², velocità di corrente: 1,39 m/sec).

Il confronto tra le fasi di campionamento non evidenzia la presenza di differenze significative (Tab. 3.7), per nessuno dei parametri indagati. Per quanto riguarda il paragone fra i diversi sottobacini indagati si nota la presenza di differenze statisticamente significative per quanto riguarda la larghezza della sezione fluviale ($F = 2,30$; $p = 0,02$), la profondità media

	N°valori fase 1	Media fase 1	Dev. Std. fase 1	N° valori fase 2	Media fase 2	Dev. Std. fase 2	t	p
Larghezza sezione (m)	148	7,67	7,04	146	7,32	7,05	0,44	0,66
Profondità (m)	145	0,36	0,23	142	0,35	0,22	0,42	0,67
Velocità media (m/s)	144	0,31	0,29	142	0,28	0,28	0,85	0,39
Portata (m ³ /s)	150	3,02	14,70	152	2,32	14,54	0,42	0,68
Sezione utile (m ²)	139	2,17	3,02	139	1,97	2,15	0,63	0,53

tabella 3.7 - Statistica descrittiva dei parametri idrologici nel campione disaggregato per fase di campionamento.

($F = 2,54$; $p = 0,04$) e la portata ($F = 2,65$; $p = 0,03$), mentre le differenze sono altamente significative nel caso della velocità media di corrente ($F = 46,59$; $p = 0,00$) e la sezione utile ($F = 13,29$; $p = 0,00$). Il bacino del Chiascio si contraddistingue per i valori più elevati rispetto agli altri bacini relativamente a: larghezza della sezione (media: 10,17 m), velocità di corrente (media: 0,52 m/s) e sezione utile (media: 4,21 m²) (Tab. 3.8). Per quanto riguarda la profondità e la portata, è il bacino del Nera ad assumere i valori più elevati tra tutti i bacini indagati (media profondità: 0,40 m; media portata: 7,28 m³/s). Il bacino del Nestore è caratterizzato

Tab. 3.8 - Statistica descrittiva dei parametri idrologici nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	47	10,17	6,56	1,60	30,40	10,80
Nera	75	8,01	7,71	1,36	35,00	4,70
Nestore	33	5,28	3,19	1,50	13,30	4,50
Paglia	47	6,94	6,45	0,80	28,50	4,50
Tevere	92	6,79	7,63	0,80	43,00	4,15

tabella 3.8 a - Larghezza sezione (m).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	47	0,38	0,21	0,13	1,17	0,32
Nera	70	0,40	0,25	0,08	1,50	0,34
Nestore	33	0,32	0,16	0,07	0,80	0,30
Paglia	47	0,28	0,17	0,10	0,90	0,23
Tevere	90	0,35	0,24	0,09	1,00	0,25

tabella 3.8 b - Profondità (m).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	47	0,52	0,33	0,10	1,39	0,39
Nera	69	0,50	0,32	0,07	1,14	0,43
Nestore	33	0,18	0,13	0,02	0,51	0,16
Paglia	47	0,13	0,08	0,03	0,33	0,11
Tevere	90	0,14	0,10	0,02	0,48	0,10

tabella 3.8 c - Velocità (m/s).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	53	1,69	2,03	0,00	7,07	0,91
Nera	75	7,28	26,47	0,03	170,00	0,55
Nestore	33	0,31	0,61	0,00	3,01	0,11
Paglia	47	0,32	0,45	0,00	1,96	0,11
Tevere	94	1,54	10,31	0,00	100,00	0,11

tabella 3.8 d - Portata (m³/s).

dai più bassi valori medi relativamente a larghezza della sezione (media: 5,28 m) e sezione utile (media: 1,24 m²), mentre il bacino del Paglia è contraddistinto dai minori valori di portata (media: 0,32 m³/s) e profondità (media: 0,28 m). L'analisi dei dati conferma la presenza di una maggiore stabilità delle condizioni morfo idrologiche dei sottobacini degli affluenti in sinistra idrografica del fiume Tevere, cioè il Nera ed il Chiascio, caratterizzati da un regime più costante grazie alle caratteristiche geologiche dei loro bacini imbriferi, costituiti in massima parte da suoli permeabili. Per quanto riguarda invece i bacini del Paglia e del Nestore, e lo stesso bacino del Tevere, sono prevalentemente costituiti da un territorio collinare ed impermeabile, con corsi d'acqua di dimensioni ridotte e caratterizzati da un regime idrologico variabile, con portate molto scarse nel periodo estivo, in quanto fortemente dipendenti dalle precipitazioni.

Nella tabella 3.9 vengono riportati i risultati della statistica descrittiva per i parametri ambientali, mentre nelle figure 3.1a - b sono illustrati i relativi istogrammi di frequenza, con il numero di osservazioni raggiunte da ciascun valore dell'indice. Per quanto riguarda la superficie ombreggiata media, i valori più frequenti per l'area indagata corrispondono all'assenza di ombreggiatura; per il cover prevalgono le frequenti interruzioni; la copertura vegetale è quasi sempre scarsa o assente. Per la granulometria i valori più frequenti sono quelli relativi alla sesta tipologia granulometrica, che corrisponde ai "ciottoli".

	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Superficie ombreggiata	307	2,13	2,00	0,00	4,00	1,40
Cover	305	2,26	2,00	0,00	4,00	1,13
Copertura vegetale	307	0,92	1,00	0,00	4,00	1,00
Granulometria	309	4,85	6,00	1,00	7,00	2,12

tabella 3.9 - Statistica descrittiva dei parametri ambientali nel campione complessivo.

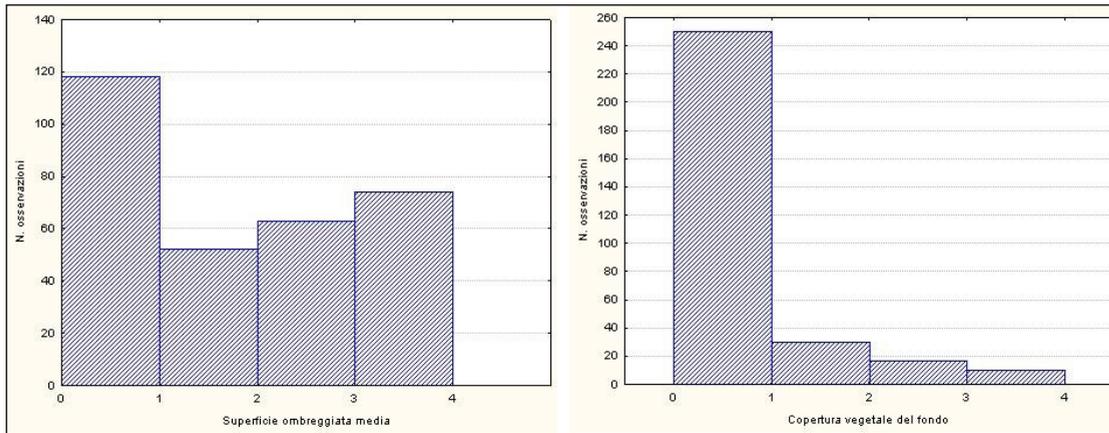


figura 3.1 a - Istogramma di frequenza di superficie ombreggiata e copertura vegetale del fondo nel campione complessivo.

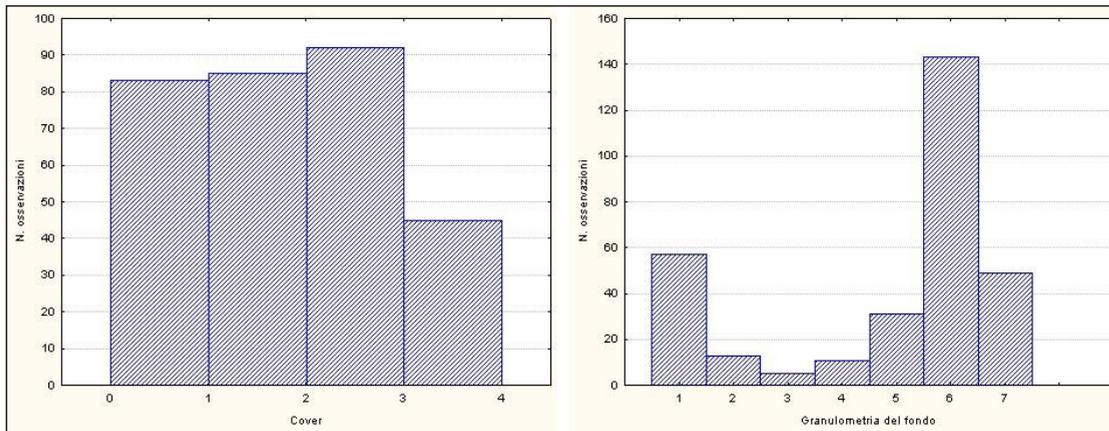


figura 3.1 b - Istogramma di frequenza di cover e granulometria nel campione complessivo.

Il confronto fra i sottobacini (Tab. 3.10) all'analisi della varianza evidenzia la presenza di differenze altamente significative nei valori medi calcolati

Tab. 3.10 - Statistica descrittiva dei parametri ambientali nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiasco	50	1,56	1,25	0,00	4,00	1,00
Nera	75	2,23	1,28	0,00	4,00	2,00
Nestore	33	2,00	1,46	0,00	4,00	2,00
Paglia	47	1,49	1,59	0,00	4,00	1,00
Tevere	102	2,67	1,36	0,00	4,00	3,00

tabella 3.10 a - Superficie ombreggiata.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	50	1,96	0,99	0,00	4,00	2,00
Nera	75	2,33	1,13	0,00	4,00	2,00
Nestore	33	2,61	1,00	1,00	4,00	3,00
Paglia	47	1,70	1,16	0,00	3,00	1,00
Tevere	100	2,52	1,11	0,00	4,00	3,00

tabella 3.10 b - Cover.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	50	0,96	1,31	0,00	4,00	0,00
Nera	75	0,85	0,75	0,00	3,00	1,00
Nestore	33	1,33	1,51	0,00	4,00	1,00
Paglia	47	0,94	0,82	0,00	3,00	1,00
Tevere	102	0,80	0,82	0,00	3,00	1,00

tabella 3.10 c - Copertura vegetale.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	50	4,88	1,78	1,00	7,00	6,00
Nera	75	4,41	2,21	1,00	7,00	6,00
Nestore	33	5,33	1,76	1,00	7,00	6,00
Paglia	47	3,81	2,47	1,00	7,00	5,00
Tevere	104	5,46	1,93	1,00	7,00	6,00

tabella 3.10 d - Granulometria.

per la superficie ombreggiata ($F = 8,80$; $p = 0,00$), il grado di ricovero per i pesci (cover) ($F = 6,35$; $p = 0,00$) e la granulometria ($F = 6,65$; $p = 0,00$). Nel bacino del Tevere sono stati rilevati i valori più elevati relativamente alla superficie ombreggiata (media: 2,67) ed alla granulometria del fondo (media: 5,46). Il bacino del Nestore si contraddistingue per i valori più elevati, rispetto agli altri sottobacini, di cover (media: 2,61) e copertura vegetale del fondo (media: 1,33).

	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
I.B.E.	299	7,61	1,21	4,00	10,00	8,00
Classi di qualità	299	2,42	0,68	1,00	4,00	2,00

tabella 3.11 - Statistica descrittiva dei parametri biologici nel campione disaggregato per fase di campionamento.

La tabella 3.11 mostra i risultati della statistica descrittiva per l'IBE e per le classi di qualità dell'acqua. I valori relativi all'I.B.E. sono compresi tra un minimo di 4 ed un massimo di 10, mentre la media è pari a 7,61. Per la classe di qualità I.B.E. si registrano valori compresi tra 1,00 e 4,00, con una media pari a 2,42. La classe di qualità più frequente è la II (57% delle stazioni di campionamento), che corrisponde agli "ambienti in cui sono evidenti alcuni effetti dell'inquinamento" (Fig. 3.2); abbastanza comune è anche la classe III (32% delle stazioni), che corrisponde agli "ambienti inquinati". Molto meno frequenti sono i casi attribuiti alla classe IV ("ambienti molto inquinati": 7% delle stazioni) e alla classe I ("ambienti non inquinati": 4% delle stazioni), mentre risulta assente la classe V, che identifica gli "ambienti fortemente inquinati".

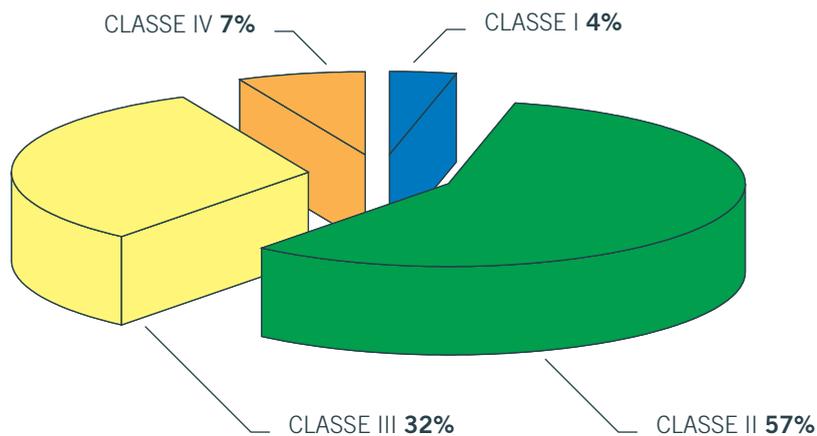


figura 3.2 - Carta ittica di II livello - Frequenze percentuali delle classi di qualità I.B.E. nel campione complessivo.

Il confronto fra i sottobacini evidenzia la presenza di differenze altamente significative all'Anova sia per l'I.B.E. ($F = 9,36$; $p = 0,00$) che per la classe di qualità ($F = 9,12$; $p = 0,00$): il bacino del Nera si distingue nettamente

dagli altri sottobacini per i valori di I.B.E. più elevati (media: 8,03) (Tab. 3.12), a cui corrisponde ovviamente la prevalenza delle classi di qualità migliori (media: 2,21).

Tab. 3.12 - Statistica descrittiva dei parametri biologici nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	53	6,85	1,35	4,00	9,00	7,00
Nera	72	8,03	1,09	5,00	10,00	8,00
Nestore	31	7,32	1,38	5,00	9,00	7,00
Paglia	47	7,68	1,00	5,00	9,00	8,00
Tevere	96	7,79	1,05	6,00	10,00	8,00

tabella 3.12 a - I.B.E..

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	53	2,81	0,74	2,00	4,00	3,00
Nera	72	2,21	0,60	1,00	4,00	2,00
Nestore	31	2,71	0,74	2,00	4,00	3,00
Paglia	47	2,32	0,63	2,00	4,00	2,00
Tevere	96	2,33	0,59	1,00	3,00	2,00

tabella 3.12 b - Classe di qualità I.B.E..

Il bacino del Chiascio, al contrario, presenta i valori medi di I.B.E. più modesti (media: 6,85), con una qualità dell'acqua (media: 2,81) che è la più scadente fra tutti i sottobacini considerati. Dall'analisi della figura 3.3, che rappresenta nel dettaglio la classe di qualità I.B.E. dei corsi d'acqua indagati, si evince che le situazioni meno compromesse riguardano la parte alta del bacino del Tevere (torrente Antirata, tratto montano del torrente Aggia e tratto centrale del torrente Assino) ed il bacino del fiume Nera (torrente Argentina, fiume Vigi, fiume Nera all'altezza di Arrone) (Classe I di qualità dell'acqua). I fenomeni di inquinamento più intensi, in cui si riscontra la presenza di settori fluviali in classe IV, sono localizzati nel bacino del fiume Topino (nel tratto terminale dell'asta principale e nel fiume Clitunno), nel bacino del Nestore (nell'asta principale e nel canale dell'Anguillara), nel bacino del Paglia (nel tratto più a monte del torrente Chiani e nel torrente Astrone) ed in un settore del fiume Velino. Si eviden-

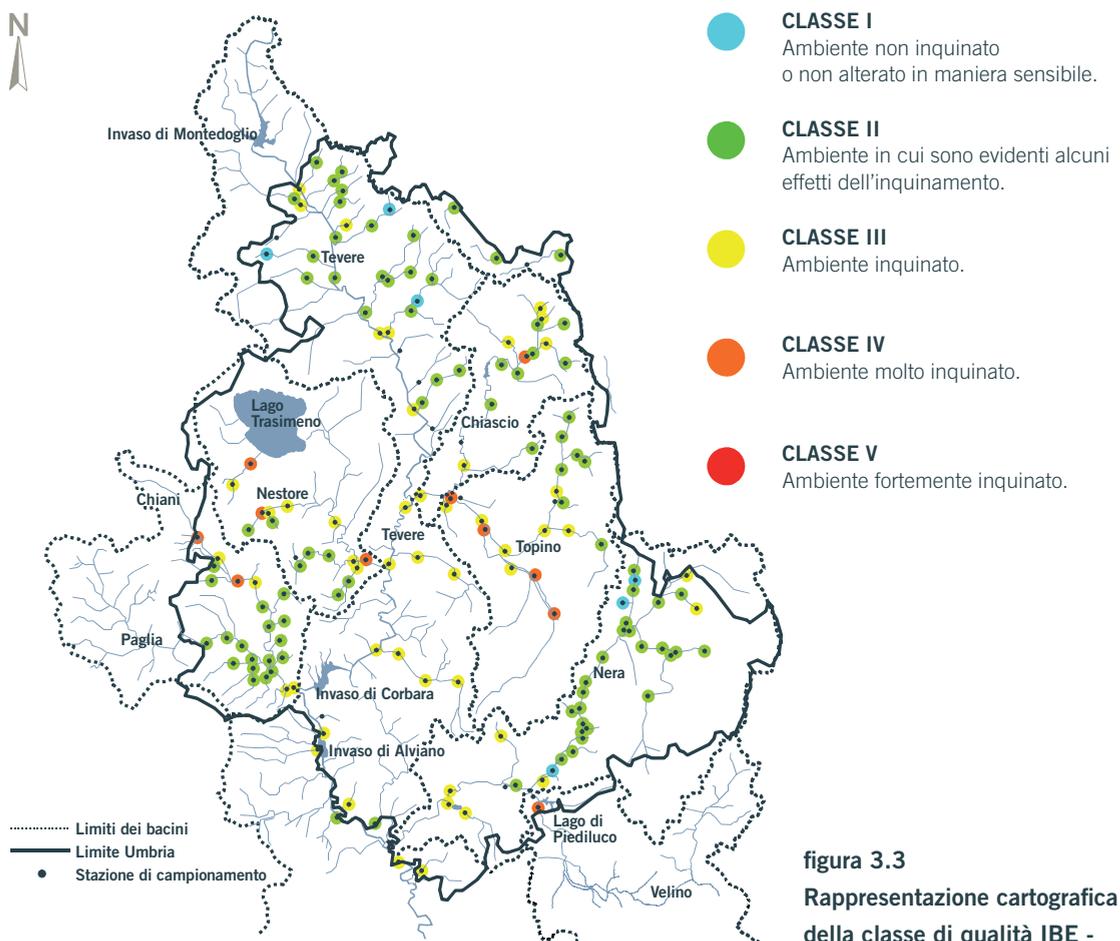


figura 3.3
Rappresentazione cartografica della classe di qualità IBE - wfase 1.

ziano alcune divergenze rispetto ai risultati delle analisi chimico-fisiche; il fenomeno è probabilmente da attribuire alla diversa tipologia di degrado della qualità delle acque, che nel caso dei parametri biologici rivela soprattutto la presenza di un inquinamento di tipo organico, dovuto agli scarichi civili ed agricoli, piuttosto che ad un inquinamento industriale. Va inoltre sottolineato che mediante l'applicazione degli indici biotici è possibile individuare e quantificare gli effetti prodotti anche da scarichi saltuari o accidentali, non rilevabili con le comuni analisi fisico-chimiche se non effettuando un campionamento nei periodi immediatamente successivi allo sversamento (Ghetti, 1986).

Rispetto alla Carta Ittica di 1° livello le analisi rilevano la tendenza ad un netto miglioramento ambientale, particolarmente evidente soprattutto nel caso dei bacini del Paglia, del Nestore e dell'asta principale del bacino del Tevere: qui, infatti, la Carta Ittica di 1° livello aveva rilevato la presenza di numerosi settori fluviali attribuibili alla IV classe di qualità, mentre attualmente gli stessi settori possono essere fatti rientrare nella classe III

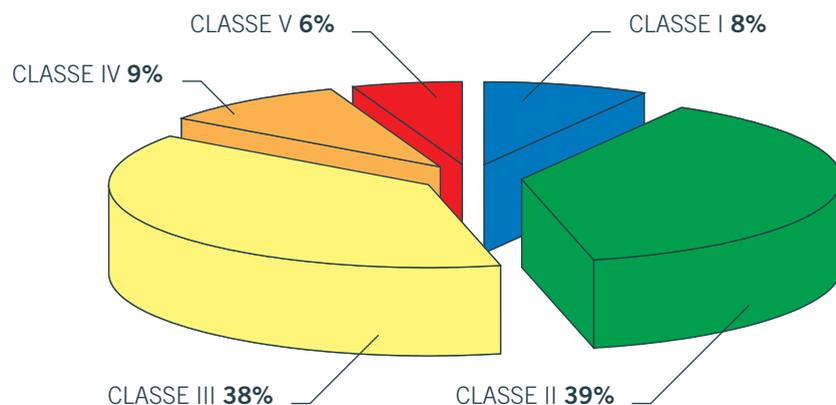


figura 3.4 - Carta ittica di 1° livello (1996) - Frequenze percentuali delle classi di qualità I.B.E..

(Fig. 3.4). Nel monitoraggio della Carta Ittica di 1° livello la classe più frequente risultava come oggi la II, ma raggiungeva allora solo il 39% delle stazioni di campionamento, molto comune era anche la classe III (38% delle stazioni). I casi attribuiti nel passato alla classe IV assommavano al 9% del totale, mentre l'8% erano quelli assegnati alla classe I; nel 1996 risultava presente anche la classe V, con il 6% dei casi. Nella Carta Ittica di 1° livello, quindi, i settori fluviali che presentavano un evidente grado di compromissione ambientale (Classi III, IV e V di qualità I.B.E.) assommavano complessivamente ad oltre la metà delle stazioni di campionamento censite (53% del totale), mentre attualmente tale valore è sceso al 39% del totale.

3.2 Analisi delle componenti principali: i risultati

L'analisi delle componenti principali (PCA) è l'analisi statistica multivariata utilizzata per rappresentare in modo sintetico le relazioni esistenti nell'area indagata fra i vari parametri ambientali analizzati. I risultati sono riportati nelle tabelle 3.13 - 14. La prima componente giustifica il 22,06% della varianza totale (Tab. 3.13) e mostra l'esistenza di una correlazione positiva fra quota altimetrica ed I.B.E., mentre la relazione è inversa con distanza dalla sorgente, bacino sotteso, conducibilità, B.O.D.₅, nitriti, solfati, fosforo totale, fosforo ortofosfato, cloruri, classi di qualità I.B.E., larghezza della sezione e sezione utile (Tab. 3.14). La seconda componente giustifica il 14,40% della varianza (Tab. 3.13) e riflette una correlazione positiva fra

Numero valore	Autovalore	Totale varianza %	Cumulo autovalore	Cumulo %
1	6,40	22,06	6,40	22,06
2	4,18	14,40	10,57	36,46
3	2,09	7,21	12,66	43,67
4	1,79	6,17	14,46	49,85
5	1,67	5,74	16,12	55,59
6	1,38	4,76	17,50	60,35
7	1,10	3,80	18,60	64,15
8	1,04	3,58	19,64	67,73
9	0,90	3,09	20,54	70,82
10	0,87	2,99	21,41	73,81
11	0,86	2,96	22,46	76,77
12	0,78	2,67	23,04	79,45
13	0,70	2,42	23,74	81,87
14	0,67	2,30	24,41	84,17
15	0,61	2,12	25,02	86,29
16	0,59	2,03	25,61	88,32
17	0,51	1,75	26,12	90,07
18	0,48	1,66	26,60	91,73
19	0,44	1,51	27,04	93,24
20	0,43	1,47	27,47	94,72
21	0,36	1,23	27,82	95,94
22	0,30	1,03	28,12	96,97
23	0,24	0,83	28,36	97,80
24	0,16	0,56	28,53	98,36
25	0,13	0,45	28,66	98,81
26	0,12	0,41	28,77	99,22
27	0,10	0,34	28,87	99,56
28	0,07	0,24	28,94	99,80
29	0,06	0,20	29,00	100,00

tabella 3.13 - Autovalori delle Componenti Principali estratte dall'analisi.

distanza dalla sorgente, bacino sotteso, larghezza della sezione, velocità media, portata e sezione utile (Tab. 3.14). La prima componente (PC1)

	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5
Distanza dalla sorgente (km)	-0,627506	0,507450	0,257430	0,045481	-0,256841
Bacino sotteso (km ²)	-0,633695	0,564932	0,171237	0,021818	-0,207196
Quota (m s.l.m.)	0,587621	0,101936	-0,169167	-0,436969	0,091270
Pendenza (%)	0,398626	-0,324375	-0,109975	0,146616	0,006985
pH (unità di pH)	0,178145	-0,095738	0,314342	-0,049360	0,106759
Conducibilità (µS/cm)	-0,576303	-0,492569	0,149986	0,396494	0,041973
BOD ₅ (mg/l)	-0,646276	-0,342789	-0,124045	-0,027979	-0,103669
C.O.D. (mg/l)	-0,390075	-0,205312	-0,379779	-0,127695	-0,226143
NNO ₃ (mg/l)	-0,374118	-0,362218	-0,220270	0,110503	-0,478363
NNO ₂ (mg/l)	-0,525326	-0,445908	-0,214600	-0,342816	-0,168001
NNH ₃ (mg/l)	-0,399711	-0,399187	-0,095580	-0,348081	-0,220545
SO ₄ (mg/l)	-0,566269	-0,223528	0,259961	0,384001	0,035600
PPO ₄ (mg/l)	-0,527632	-0,143768	-0,137665	-0,307455	0,348504
Ptot (mg/l)	-0,605124	-0,366342	-0,216692	-0,371907	-0,066008
Cloruri (mg/l)	-0,556816	-0,496295	0,116478	0,301717	-0,043310
Tacqua	-0,457076	-0,084798	0,210842	0,031930	-0,228852
O ₂ (mg/l)	0,216109	0,238740	-0,724499	0,479104	-0,008499
O ₂ %	0,125885	0,237050	-0,731326	0,392572	-0,140536
I.B.E.	0,621359	0,103601	0,122534	-0,019264	-0,586807
Classi di qualità I.B.E.	-0,619085	-0,100081	-0,116916	0,066638	0,576981
Larghezza sezione (m)	-0,623700	0,598301	0,044374	0,030274	-0,060218
Profondità (m)	-0,257216	0,373066	0,125019	-0,006302	0,163320
Velocità media (m/s)	-0,097813	0,660549	-0,254706	-0,257158	-0,038515
Portata (m ³ /s)	-0,423638	0,682531	0,021793	-0,001838	0,008046
Sezione_utile (m ²)	-0,534770	0,651715	-0,002568	-0,085079	0,055439
Sup Ombreggiata media	0,380832	-0,403276	0,155971	-0,073778	0,049237
Cover	0,245313	0,018769	0,259564	0,370446	0,143139
Copertura vegetale	-0,172937	-0,046243	-0,292018	-0,071124	0,478945
Granulometria	0,328810	0,040920	0,170533	-0,255456	-0,045230

tabella 3.14 - Analisi delle Componenti Principali: punteggi fattoriali delle variabili; in rosso i valori > 0,5.

sembra rappresentare molto bene l'evoluzione longitudinale del fiume: i risultati ottenuti, infatti, mostrano come nell'area indagata unitamente alla

diminuzione di quota e all'aumento della distanza della sorgente si osserva un'evoluzione morfologica del corso d'acqua, che comporta un aumento del bacino sotteso e della sezione fluviale. A questo gradiente si associa anche un progressivo scadimento della qualità dell'acqua, denunciato chiaramente dalla diminuzione dell'I.B.E. e dall'aumento della conducibilità e della maggior parte dei parametri chimici.

L'analisi effettuata evidenzia, quindi, come il degrado ambientale non sia uniforme in tutta l'area, ma interessi soprattutto i corsi d'acqua che scorrono nelle aree pianeggianti, dove maggiore è l'antropizzazione. La prima componente (PC1) estratta dall'analisi, proprio per questa sua capacità di ben rappresentare i legami esistenti fra i vari parametri ambientali esaminati, sarà utilizzata nelle successive elaborazioni come un indicatore generale delle variazioni che avvengono lungo il gradiente longitudinale. La PC1, cioè, sarà utilizzata per riprodurre i cambiamenti che avvengono nel suo decorso monte-valle in un ipotetico fiume che è la sintesi di tutti i corsi d'acqua presenti nel bacino umbro del fiume Tevere.

3.3 Censimento ittico: quante specie, quali specie

Nel corso della ricerca è stata rilevata la presenza di 36 specie ittiche (Tab. 3.15). Di queste soltanto 14 sono di origine autoctona; delle restanti 22 specie alloctone, 9 risultano traslocate da altri bacini italiani, mentre

Nome scientifico	Nome comune	Provenienza	Confronto Carta Ittica 1° livello
<i>Alburnus alburnus alborella</i> (De Filippi, 1844)	alborella	traslocata	presente
<i>Ameiurus melas</i> (Rafinesque, 1820)	pesce gatto	trapiantata	presente
<i>Anguilla anguilla</i> (Linnaeus, 1758)	anguilla	autoctona	presente
<i>Barbus barbus</i> (Linnaeus, 1758)	barbo del Danubio	trapiantata	assente
<i>Barbus plebejus</i> Bonaparte, 1839	barbo del Po	autoctona	presente
<i>Barbus tyberinus</i> Bonaparte, 1839	barbo tiberino	autoctona	presente
<i>Carassius auratus</i> (Linnaeus, 1758)	carassio dorato	trapiantata	presente
<i>Chondrostoma genei</i> (Bonaparte, 1839)	lasca	traslocata	presente
<i>Chondrostoma soetta</i> Bonaparte, 1840	savetta	traslocata	presente
<i>Cobitis bilineata</i> Linnaeus, 1758	cobite	traslocata	presente

tabella 3.15 a - Elenco delle specie censite.

13 sono state trapiantate da bacini esteri. Rispetto ai risultati ottenuti nel corso della Carta Ittica di 1° livello (Mearelli *et alii*, 1996), si assiste alla comparsa di 6 nuove specie alloctone, di cui 4 appartengono alla famiglia dei ciprinidi (barbo del Danubio, gobione, rodeo, rutilo), una alla famiglia dei salmonidi (temolo), una alla famiglia dei siluridi (siluro).

Nome scientifico	Nome comune	Provenienza	Confronto Carta Ittica 1° livello
<i>Cottus gobio</i> Linnaeus, 1758	scazzone	autoctona	presente
<i>Cyprinus carpio</i> Linnaeus, 1758	carpa	trapiantata	presente
<i>Esox lucius</i> Linnaeus, 1758	luccio	autoctona	presente
<i>Gambusia holbrooki</i> Girard, 1859	gambusia	trapiantata	presente
<i>Gasterosteus aculeatus</i> Linnaeus, 1758	spinarello	autoctona	presente
<i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758)	gobione	traslocata	assente
<i>Lepomis gibbosus</i> (Linnaeus, 1758)	persico sole	trapiantata	presente
<i>Leuciscus cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	cavedano comune	autoctona	presente
<i>Leuciscus lucumonis</i> Bianco, 1982	cavedano etrusco	autoctona	presente
<i>Micropterus salmoides</i> Lacépède, 1802	persico trota	trapiantata	presente
<i>Oncorhynchus mykiss</i> (Walbaum, 1792)	trota iridea	trapiantata	presente
<i>Padogobius martensii</i> (Gunther, 1861)	ghiozzo padano	traslocata	presente
<i>Padogobius nigricans</i> (Canestrini, 1867)	ghiozzo di ruscello	autoctona	presente
<i>Perca fluviatilis</i> Linnaeus, 1758	persico reale	traslocata	presente
<i>Pseudorasbora parva</i> (Schlegel, 1842)	pseudorasbora	trapiantata	presente
<i>Rhodeus sericeus</i> (Pallas, 1776)	rodeo amaro	trapiantata	assente
<i>Rutilus erythrophthalmus</i> Zernian, 1982	triotto	traslocata	presente
<i>Rutilus rubilio</i> (Bonaparte, 1837)	rovella	autoctona	presente
<i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758)	rutilo	trapiantata	assente
<i>Salmo trutta</i> Linnaeus, 1758	trota fario	autoctona	presente
<i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758)	scardola	autoctona	presente
<i>Silurus glanis</i> Linnaeus, 1758	siluro	trapiantata	assente
<i>Stizostedion lucioperca</i> (Linnaeus, 1758)	lucioperca	trapiantata	presente
<i>Telestes souffia</i> Risso, 1826	vairone	autoctona	presente
<i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758)	temolo	traslocata	assente
<i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758)	tinca	autoctona	presente

tabella 3.15 b - Elenco delle specie censite.

La tabella 3.16 riporta le frequenze percentuali della presenza delle specie ittiche disaggregate per sottobacino. Le percentuali di frequenza più elevate si riferiscono tutte a specie autoctone. La specie più diffusa è risultata infatti la rovello, che è stata censita nel 63,06% delle stazioni indagate, seguita dal barbo tiberino (60,19%), dal cavedano comune (57,64%), dalla trota fario (46,50%) e dal vairone (45,54%). In particolare la rovello raggiunge le percentuali più elevate nel bacino del Nestore

Specie	Stazioni totali	Chiascio	Nera	Nestore	Paglia	Tevere
<i>Alburnus alburnus alborella</i>	29,94	19,82	5,33	45,45	46,81	33,65
<i>Ameiurus melas</i>	5,41	2,82	0,00	3,03	10,64	9,62
<i>Anguilla anguilla</i>	18,15	16,82	14,67	15,15	29,79	11,54
<i>Barbus barbus</i>	7,01	1,82	0,00	3,03	12,77	14,42
<i>Barbus plebejus</i>	3,50	1,82	0,00	0,00	12,77	4,81
<i>Barbus tyberinus</i>	60,19	39,82	13,33	66,67	76,60	79,81
<i>Carassius auratus</i>	21,97	18,82	8,00	36,36	25,53	21,15
<i>Chondrostoma genei</i>	25,80	7,82	6,67	24,24	51,06	36,54
<i>Chondrostoma soetta</i>	0,32	1,82	1,33	0,00	0,00	0,00
<i>Cobitis bilineata</i>	9,24	4,82	0,00	18,18	21,28	9,62
<i>Cottus gobio</i>	0,96	4,82	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Cyprinus carpio</i>	17,83	10,82	10,67	18,18	25,53	20,19
<i>Esox lucius</i>	0,96	1,82	4,00	0,00	0,00	0,00
<i>Gambusia affinis</i>	0,32	1,82	0,00	0,00	0,00	0,96
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	3,18	4,82	8,00	0,00	0,00	0,96
<i>Gobio gobio</i>	5,10	3,82	0,00	3,03	0,00	12,50
<i>Lepomis gibbosus</i>	10,19	9,82	4,00	3,03	8,51	15,38
<i>Leuciscus cephalus</i>	57,64	35,82	9,33	66,67	74,47	79,81
<i>Leuciscus lucumonis</i>	36,31	14,82	1,33	57,58	53,19	53,85
<i>Micropterus salmoides</i>	0,96	2,82	0,00	0,00	0,00	1,92
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	2,55	3,82	4,00	0,00	6,38	0,00
<i>Padogobius martensii</i>	7,64	1,82	0,00	0,00	0,00	23,08
<i>Padogobius nigricans</i>	37,26	27,82	0,00	30,30	63,83	49,04
<i>Perca fluviatilis</i>	2,87	1,82	5,33	0,00	0,00	4,81
<i>Pseudorasbora parva</i>	12,10	5,82	0,00	21,21	21,28	16,35

tabella 3.16 a - Frequenze percentuali delle presenze delle specie censite disaggregate per sottobacino.

Specie	Stazioni totali	Chiascio	Nera	Nestore	Paglia	Tevere
<i>Rhodeus sericeus</i>	0,32	1,82	0,00	0,00	0,00	0,96
<i>Rutilus erythrophthalmus</i>	3,82	1,82	8,00	0,00	2,13	4,81
<i>Rutilus rubilio</i>	63,06	37,82	14,67	84,85	78,72	82,69
<i>Rutilus rutilus</i>	0,64	1,82	0,00	0,00	0,00	1,92
<i>Salmo trutta</i>	46,50	39,82	92,00	12,12	17,02	25,96
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	4,78	1,82	6,67	3,03	0,00	8,65
<i>Silurus glanis</i>	0,32	1,82	0,00	0,00	0,00	0,96
<i>Stizostedion lucioperca</i>	2,55	1,82	0,00	0,00	2,13	6,73
<i>Telestes souffia</i>	45,54	31,82	16,00	66,67	27,66	63,46
<i>Thymallus thymallus</i>	0,64	1,82	0,00	0,00	0,00	1,92
<i>Tinca tinca</i>	6,05	5,82	2,67	12,12	8,51	4,81

tabella 3.16 b - Frequenze percentuali delle presenze delle specie censite disaggregate per sottobacino.

(84,85%); il barbo tiberino ed il cavedano comune risultano le specie più diffuse nel bacino del Tevere (79,81%), mentre la trota fario rappresenta la specie più diffusa nel bacino del Nera, in cui è presente nel 92% delle stazioni indagate. Tra le restanti specie autoctone alcune risultano abbastanza comuni, come è il caso del ghiozzo di ruscello (37,26%) e del cavedano etrusco (36,31%).

Per quanto riguarda le specie esotiche il confronto con i dati della Carta Ittica di 1° livello evidenzia come per la maggior parte dei casi si osservi un notevole incremento delle presenze. Attualmente le specie maggiormente diffuse risultano l'alborella (29,94%), la lasca (25,80%) ed il carassio dorato (21,97%): si tratta di specie introdotte in Umbria ormai da molti anni che si sono acclimatate e diffuse in molti dei corsi d'acqua indagati (Mearelli *et alii*, 1996). Va sottolineata l'elevata frequenza che caratterizza anche la pseudorasbora (12,10%), una specie esotica di introduzione abbastanza recente (Lorenzoni *et alii*, 1997) che si è ampiamente propagata nel corso degli ultimi anni attraverso le connessioni della rete idrografica; le percentuali maggiori sono state comunque riscontrate nei bacini del Nestore (21,21%) e del Paglia (21,28%). È preoccupante anche il dato relativo alla diffusione del barbo del Danubio (7,01%) e del gobione (5,10%), la cui presenza non era stata rilevata nel corso della Carta ittica di 1° livello, ma che risultano in rapida espansione soprattutto nel bacino residuo del Tevere (Mearelli *et alii*, 1996).

3.4 Densità e standing crop: un campione molto variabile

La densità complessiva di tutta la comunità ittica presente nelle singole stazioni di campionamento i valori risultano compresi tra un minimo di 0,00 ed un massimo di 6,48 ind/m² (Tab. 3.17), con una media che si attesta su 0,79 ind/m². I valori relativi allo standing crop risultano compresi tra 0,06 e 417,28 g/m², con una media pari a 18,96 g/m²; per entrambi i parametri la deviazione standard evidenzia la presenza di un'elevata

	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Densità	312	0,79	0,98	0,00	6,48	0,45
Standing crop	312	18,96	30,67	0,06	417,28	12,25

tabella 3.17 - Statistica descrittiva dei parametri ittici nel campione complessivo.

variabilità del campione analizzato. Dal confronto fra le fasi di campionamento non emerge la presenza di differenze significative, anche se, sia per la densità ($t = 1,15$; $p = 0,25$) che per lo standing crop ($t = 0,75$; $p = 0,45$), la fase 2 si caratterizza per il riscontro di valori leggermente più elevati (0,86 ind/m² e 20,26 g/m²) rispetto alla fase 1 (0,73 ind/m² e 17,64 g/m²). Il confronto tra sottobacini evidenzia la presenza di differenze altamente significative all'Anova per la densità ($F = 14,98$; $p = 0,00$), ma non altrettanto per lo standing crop ($F = 1,60$; $p = 0,17$): il bacino del fiume Paglia si contraddistingue per i valori più elevati di entrambi i parametri (medie rispettivamente pari a 1,27 ind/m² e 25,11 g/m²) (Tabb. 3.18 - 19).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	54	0,30	0,37	0,02	1,80	0,18
Nera	74	0,36	0,56	0,01	3,65	0,17
Nestore	33	0,88	0,77	0,06	3,98	0,66
Paglia	47	1,27	1,01	0,18	5,30	1,02
Tevere	104	1,11	1,22	0,00	6,48	0,65

tabella 3.18 - Statistica descrittiva della densità nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	54	24,43	57,97	0,51	417,28	12,61
Nera	74	18,89	25,86	0,47	205,47	12,26
Nestore	33	12,93	11,49	1,28	42,25	9,04
Paglia	47	25,11	27,45	0,83	123,07	15,74
Tevere	104	15,31	14,19	0,06	76,90	12,35

tabella 3.19 - Statistica descrittiva dello standing crop nel campione disaggregato per sottobacino.

Per quanto riguarda la densità, i bacini del Chiascio (media: 0,30 ind/m²) e del Nera (media: 0,36 ind/m²), presentano valori medi nettamente inferiori a quelli degli altri bacini. Tale situazione appare ampiamente giustificata dalla più spiccata vocazione salmonicola e dalla minore produttività dei corsi d'acqua presenti nei sottobacini della sinistra idrografica dell'area in esame. Per quanto riguarda lo standing crop si evidenzia la presenza di una situazione molto diversa rispetto a quanto osservato relativamente alla densità: in questo caso i valori medi meno elevati caratterizzano il bacino del fiume Nestore (media: 12,93 g/m²) ed in misura minore quello del fiume Tevere (media: 15,31 g/m²). Ciò è evidentemente dovuto al fatto che i bacini del Tevere e del Nestore sono caratterizzati da dimensioni medie degli esemplari catturati nettamente inferiori rispetto a quelli presenti nel resto dell'area indagata.

La relazione esistente tra la densità e lo standing crop e la prima componente dell'analisi delle componenti principali, che ricordiamo è un modo per rappresentare il gradiente longitudinale, è illustrata nelle figure 3.5

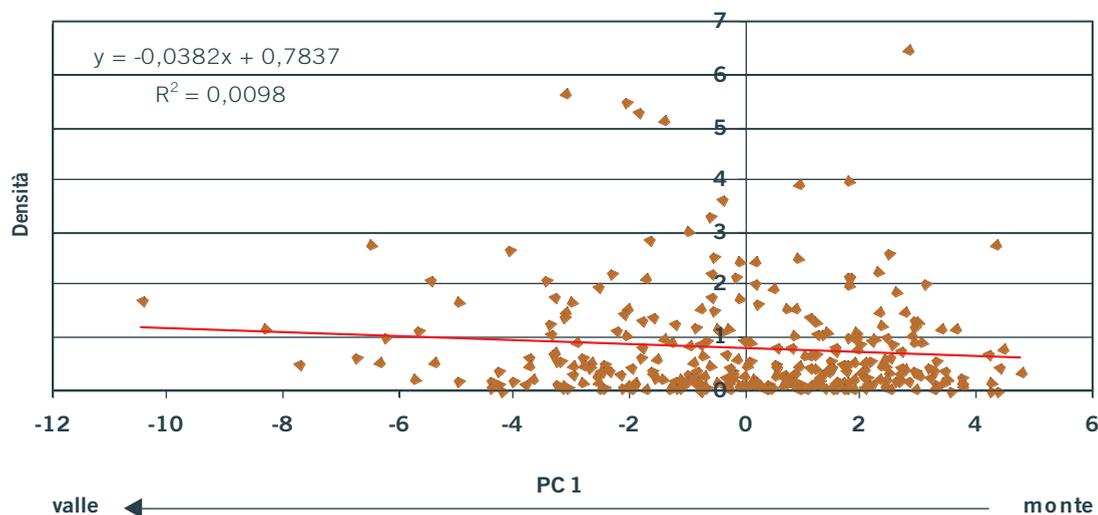


figura 3.5 - Regressione densità - PC 1.

e 3.6: sia la densità che lo standing crop mostrano una tendenza all'aumento da monte verso valle, ma i valori dei coefficienti di correlazione con la prima componente principale (PC1) dimostrano l'indipendenza di entrambe le variabili dal decorso monte-valle di un fiume (densità: $r = -0,099$, $p = 0,083$) (standing crop: $r = -0,082$, $p = 0,150$).

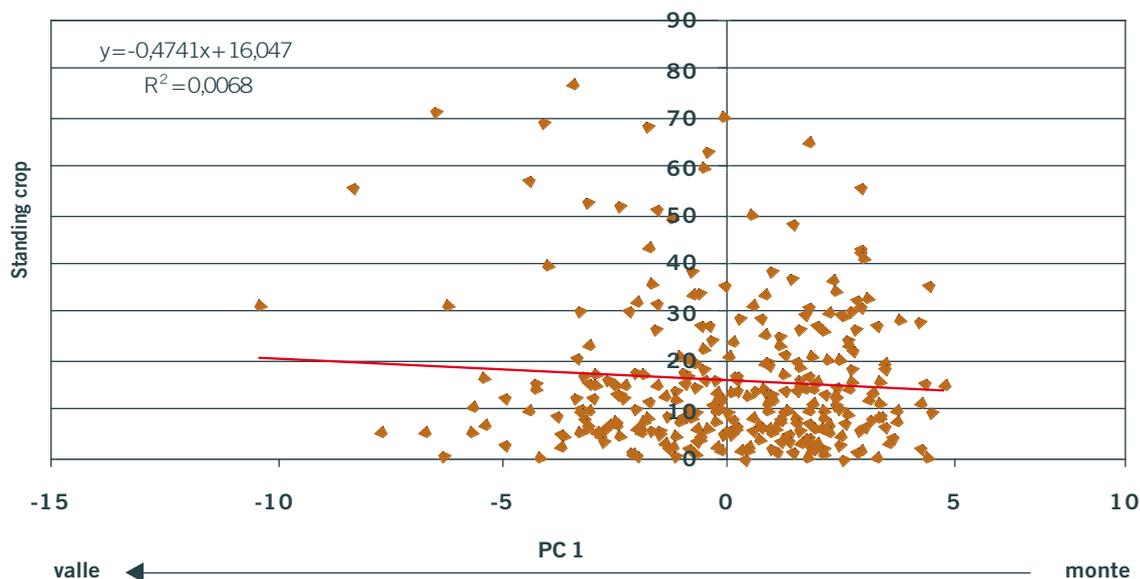


figura 3.6 - Regressione standig crop - PC 1.

Nelle tabelle 3.20 - 21 sono riportati rispettivamente i risultati relativi alla statistica descrittiva dei valori di densità e standing crop disaggregati per zona ittica. Per quanto riguarda la densità, i valori medi più elevati caratterizzano la zona del barbo (media: 1,00 ind/m²) e la zona della carpa e tinca (media: 0,87 ind/m²); valori inferiori si riscontrano invece nella zona inferiore della trota (media: 0,48 ind/m²).

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Zona del barbo	191	1,001	1,098	0,018	6,484	0,637
Zona inferiore trota	26	0,483	0,486	0,010	1,689	0,381
Zona superiore trota	74	0,347	0,449	0,014	2,699	0,215
Zona della carpa e tinca	21	0,866	1,081	0,005	3,984	0,470

tabella 3.20 - Statistica descrittiva della densità nel campione disaggregato per zona ittica.

Per lo standing crop, i valori più elevati sono stati registrati nella zona superiore della trota (media: 22,47 g/m²), mentre ancora una volta quelli più bassi qualificano la zona inferiore della trota (media: 11,17 g/m²). I corsi d'acqua della zona inferiore della trota, quindi, sembrano caratterizzarsi in assoluto per la minore abbondanza di pesce, mentre nella zona superiore della trota sembrano essere presenti meno esemplari, ma di dimensioni medie più elevate, rispetto ai settori a vocazione ciprinicola (zona del barbo e zona della carpa e della tinca). La variabilità dei valori è comunque molto elevata anche all'interno delle singole zone ittiche, tanto che le differenze fra i valori medi calcolati appaiono significative per la densità, ma non per lo standing crop. Il valore di riferimento dello standing crop per giudicare ben popolato un corso d'acqua è pari a 20 g/m² per le acque a salmonidi, mentre tale valore sale a 40 g/m² per le acque a ciprinidi, ciò in considerazione delle maggiori opportunità alimentari che caratterizzano i settori più caldi e produttivi dei tratti di pianura.

Sottobacino	Numero valori	Media	Deviazione standard	Minimo	Massimo	Mediana
Zona del barbo	191	18,472	23,801	0,153	205,465	11,801
Zona inferiore trota	26	11,169	11,877	0,058	52,240	6,812
Zona superiore trota	74	22,473	48,746	0,971	417,283	13,876
Zona della carpa e tinca	21	20,685	16,334	0,231	57,398	17,178

tabella 3.21 - Statistica descrittiva dello standig crop nel campione disaggregato per zona ittica.

La carta della figura 3.7 riporta la distribuzione dello standing crop medio per tutti i settori indagati nel corso della ricerca. Si può osservare come, per le acque a salmonidi, i valori di riferimento sopra riportati sono oltrepassati soltanto in alcuni corsi d'acqua della sinistra idrografica del Chiascio (Doria, Vetorno e Vaccara) e del Topino (Fosso dei Bagni). Nel bacino del fiume Nera le situazioni con la maggiori abbondanze ittiche sono costituite dalla parte montana del Campiano, del Corno e del Sordo, il tratto intermedio del Vigi e da alcuni piccolissimi tributari della sinistra idrografica del bacino, come il torrente Monterivoso e la Forma del Principe. Nella maggior parte dei casi tali elevati valori di biomassa ittica sono giustificati dal fatto che nei relativi settori fluviali il prelievo ittico è impedito dalla presenza di alcune bandite di pesca. Da sottolineare che in nessun caso il fiume Nera, che sicuramente rappresenta il più importante corso d'acqua salmonicolo della regione, raggiunge valori di standing crop pari o superiori allo standard di riferimento. Per quanto riguarda le acque a ciprinidi, il valore di riferimento di 40 g/m² di biomassa ittica complessiva è raggiunto quasi esclusivamente nei corsi

d'acqua di dimensioni maggiori ed in prossimità degli invasi artificiali. Nel bacino del fiume Tevere le maggiori abbondanze, infatti, si rilevano soltanto in due settori fluviali dell'asta principale, localizzati nei pressi dell'abitato di S.Giustino e a monte dell'invaso di Alviano, e nel torrente Assino in prossimità della confluenza nel Tevere. Nel bacino del Chiascio i settori in cui si concentra più biomassa sono dati dal torrente Rasina e da un tratto del Chiascio stesso a valle dell'invaso di Valfabbrica. Un settore nel Paglia, uno nel Chiani e il Fosso dell'Abbadia, per il bacino del Paglia, e due settori del torrente Aia (a monte e a valle dell'invaso di Re-centino) per il bacino del Nera sono gli altri tratti fluviali che oltrepassano lo standard di riferimento per le acque a ciprinidi; nessun corso d'acqua con abbondanze ittiche superiori a tale valore sono infatti presenti nel bacino del Nestore.

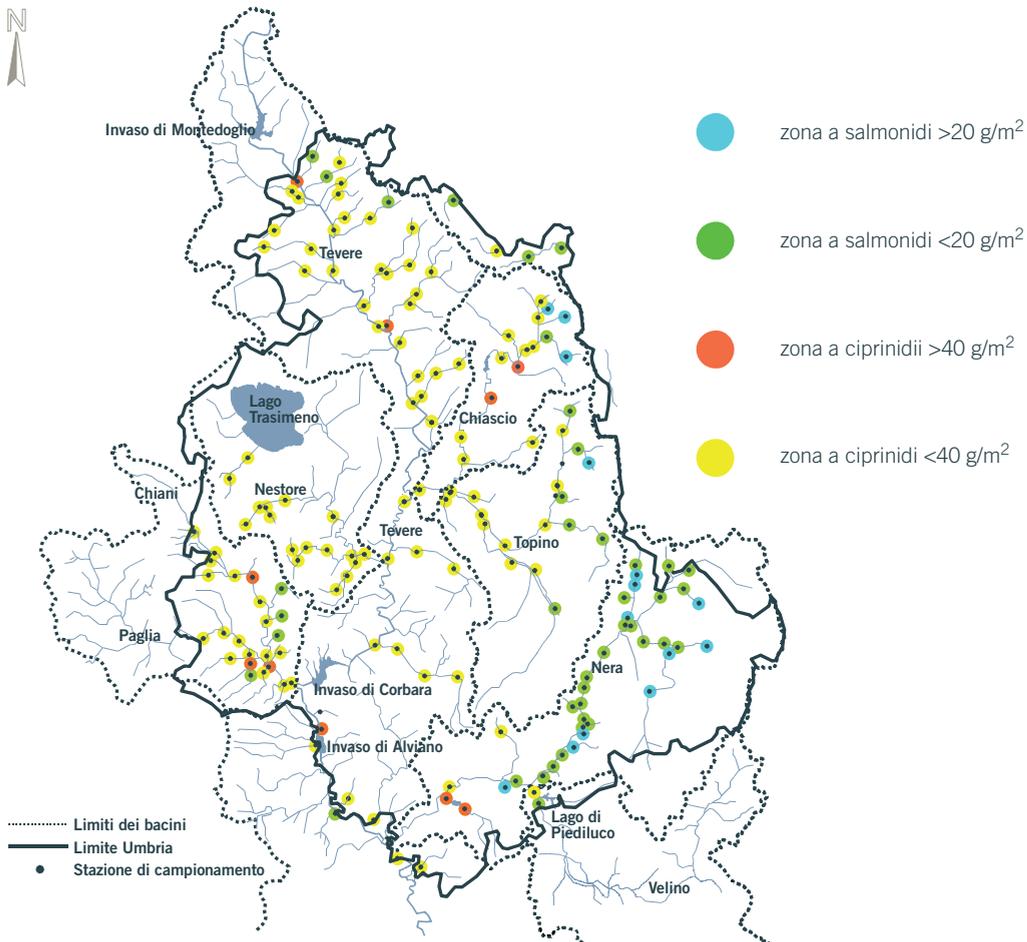


figura 3.7 - Rappresentazione cartografica standing crop nell'area indagata.

3.5 Densità e standing crop delle specie ittiche.

Il grafico della figura 3.8 riporta i valori medi di densità e biomassa areale calcolati per le singole specie ittiche: nel computo delle medie sono state considerate soltanto le presenze e, quindi, esclusi per una data specie i valori di densità e biomassa pari a 0. Per quanto riguarda la densità le specie più abbondanti sono tutte indigene: la specie che in assoluto raggiunge i valori medi più elevati è rappresentata dalla rovella (0,33 ind/m²), seguita dal cavedano comune (0,25 ind/m²), dalla trota fario (0,17 ind/m²), dal vairone (0,25 ind/m²) e dal ghiozzo di ruscello (0,15 ind/m²); per quanto riguarda le specie introdotte le densità medie più alte sono proprie di trota iridea (0,26 ind/m²), lasca (0,12 ind/m²), alborella (0,12 ind/m²) e pseudorasbora (0,11 ind/m²).

Per quanto riguarda la biomassa areale il valore medio più elevato è raggiunto dallo scazzone (16,2 g/m²), dal cavedano comune (13,4 g/m²) e dalla trota fario (11,7 g/m²) e, fra le specie esotiche, dal carassio dorato (9,6 g/m²). Nel bacino umbro del fiume Tevere, quindi, le specie più diffuse sono in massima parte anche le più abbondanti. La trota iridea e lo scazzone, rappresentano in questo contesto un'eccezione e possono essere indicate come delle specie molto localizzate: pur essendo presenti in un numero molto limitato di settori fluviali, sono in grado di raggiungere localmente abbondanze anche molto elevate.

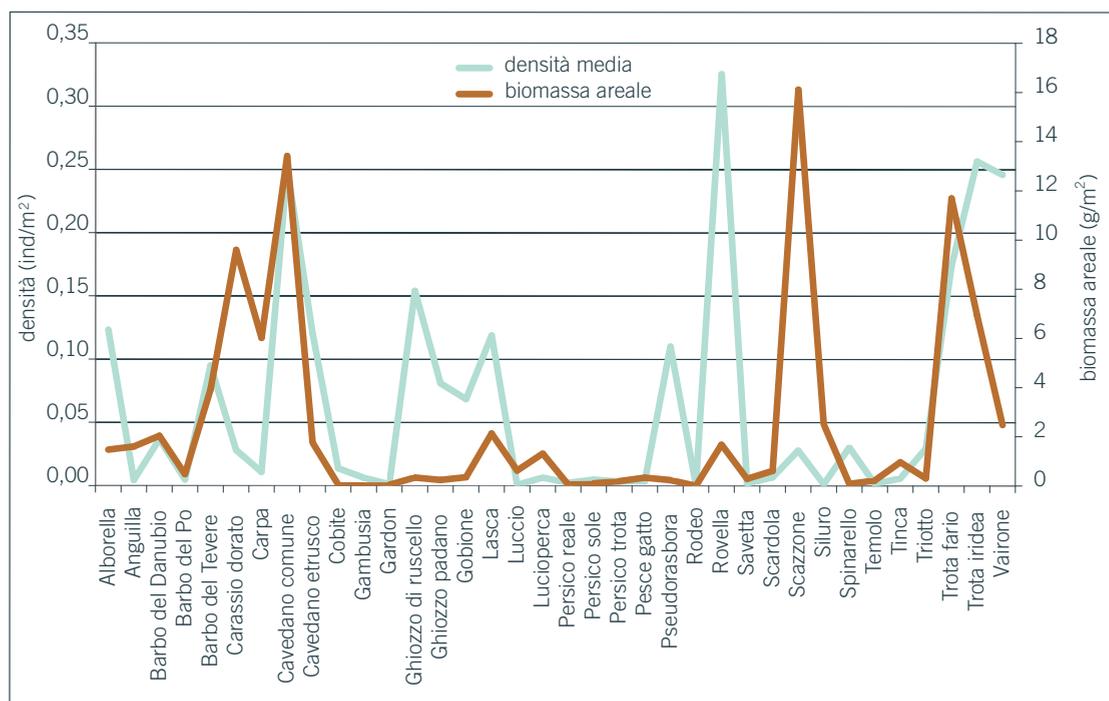


figura 3.8 - Valori medi di densità e standig crop delle specie ittiche.

3.6 Associazione fra specie: le cose in comune

Il modo in cui le diverse specie ittiche sono risultate associate fra loro, sulla base di comuni esigenze ecologiche ed in risposta ai gradienti ambientali, è stato analizzato mediante cluster analysis, che è un tipo di elaborazione che consente di suddividere un campione composito in gruppi di casi omogenei fra loro: il dendrogramma riportato nella figura 3.9 permette quindi di rappresentare graficamente le relazioni esistenti tra le diverse specie ittiche presenti nell'area indagata. Ad un primo livello di analisi è possibile distinguere due associazioni, in cui si separano da una

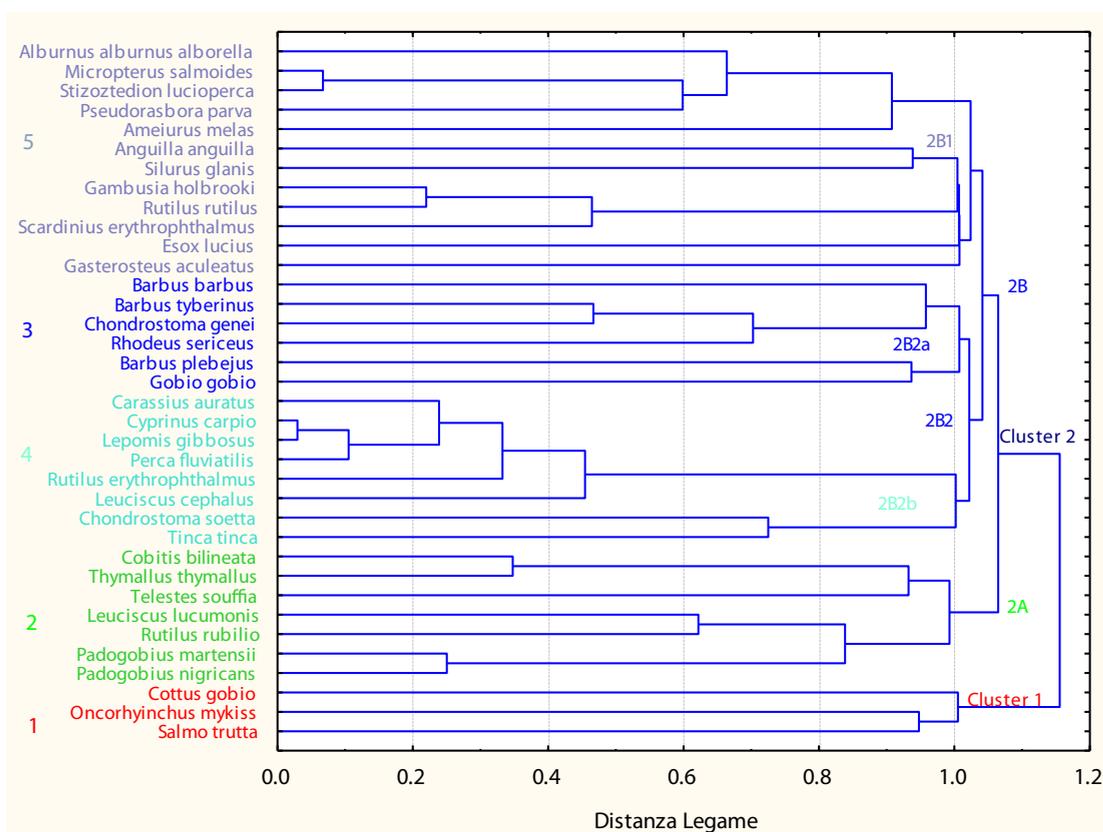


figura 3.9 - Risultati della cluster analysis.

parte le specie tipiche del tratto montano dei corsi d'acqua (cluster 1), cioè i salmonidi (trota fario e trota iridea) e lo scazzone, mentre dall'altra si collocano tutte le restanti specie (cluster 2). Questa seconda associa-

zione, ad una distanza di legame inferiore (valore pari a 1,05), è composta a sua volta da due gruppi, dei quali il primo (cluster 2A) è meno numeroso e comprende le specie più reofile e tipiche del tratto alto-collinare dei corsi d'acqua (vairone, cavedano etrusco, rovello, ghiozzo di ruscello, ghiozzo padano e temolo); nel secondo gruppo (cluster 2B) vengono riunite le rimanenti specie. All'interno di questo secondo raggruppamento le specie limnofile tipiche del tratto terminale dei corsi d'acqua (come ad esempio la scardola, il luccio, alle quali si aggiungono molte specie introdotte, come la pseudorasbora, la sandra ed il pesce gatto) si riuniscono assieme (cluster 2B1) e si separano (distanza di legame pari a 1,02) da un'ulteriore agglomerazione al cui interno sono presenti i più importanti ciprinidi reofili della zona del barbo (barbo del Tevere, barbo del Po, barbo del Danubio, cavedano e lasca, ecc...) a loro volta associati assieme (cluster 2B2). Rispetto ai classici schemi di zonazione, risulta abbastanza anomala la posizione della carpa, della tinca e del carassio dorato, che per l'analisi risultano più affini al barbo, al cavedano ed alla lasca, piuttosto che ad altre specie più tipicamente limnofile (alborella, luccio, scardola, luccio, ecc...): ciò molto probabilmente è da attribuire all'azione concomitante di alcuni fattori che hanno in parte modificato la diffusione originale della fauna ittica, come i ripopolamenti, l'introduzione delle specie esotiche e la presenza di degrado ambientale che insiste soprattutto sui tratti fluviale di pianura. Nonostante tali eccezioni, i risultati della cluster analysis evidenziano in modo molto chiaro la presenza di 5 associazioni di specie che possono essere ordinate in funzione decrescente del loro grado di adattamento alla corrente e che nel grafico sono colorate in modo diverso. Il gruppo 1 (colore rosso: cluster 1) comprende le specie più tipicamente reofile: trota fario, scazzone e trota iridea. Il gruppo 2 (colore verde: cluster 2A) è costituito da: ghiozzo di ruscello, ghiozzo del Po, rovello, cavedano etrusco, temolo e cobite. Il gruppo 3 (colore blu: cluster 2B2a) è formato da: gobione, rodeo, lasca e le tre specie di barbo. Nel gruppo 4 (colore celeste: cluster 2B2b) sono presenti: tinca, savetta, cavedano, triotto, persico reale, persico sole, carpa e carassio dorato. Infine nel gruppo 5 si riuniscono assieme tutte le rimanenti specie che appaiono caratterizzate dalla più spiccata vocazione limnofila (colore indaco: cluster 2B1): spinarello, luccio, scardola, gardon, gambusia, siluro, anguilla, pesce gatto, pseudorasbora, lucioperca, persico trota e alborella. L'analisi conferma la possibilità di raggruppare fra loro in modo efficace le specie ittiche presenti sulla base della loro affinità ecologica e nel modo in cui si adattano alla corrente. In tal modo, quindi, si conferma la validità degli schemi di zonazione adottati.

3.7 Zonazione ittica adottata: l'Umbria e i suoi pesci

Durante la stesura delle Carte Ittiche di 2° livello, ogni settore fluviale è stato attribuito ad una delle 4 zone ittiche previste dallo schema di zonazione adottato per il bacino del fiume Tevere (Mearelli *et alii*, 1995). L'assegnazione è avvenuta essenzialmente sulla base della composizione delle comunità ittiche rilevata durante i monitoraggi ittici, ma evidentemente non può non avere risentito della parzialità delle elaborazioni, che sono state effettuate singolarmente per ogni sottobacino. Nella scelta se attribuire un settore fluviale ad una zona piuttosto che ad un'altra possono anche aver pesato considerazioni gestionali di ordine pratico. Ora, invece, è possibile superare tale visione settoriale, conducendo mediante l'analisi descritta un'elaborazione complessiva delle informazioni che verifichi in modo più oggettivo la validità di quanto già proposto in precedenza. Nella tabella 3.22 sono riportate le frequenze delle specie censite in ognuna delle 4 zone ittiche proposte: i valori riportati rappresentano, in pratica, la percentuale delle volte in cui una specie è stata catturata in una data zona ittica (in rosso le percentuali delle specie caratterizzanti). Nella zona superiore della trota è stata rilevata la presenza della trota fario nel 98,65% delle stazioni campionate; anche per il vairone si riscontra una percentuale alquanto elevata (16,22%), mentre il barbo tiberino

	Zona superiore della trota	Zona inferiore della trota	Zona del barbo	Zona della carpa e della tinca
Alborella	0,00	7,69	38,34	76,19
Anguilla	8,11	19,23	18,13	47,62
Barbo del Danubio	0,00	0,00	7,77	33,33
Barbo del Po	0,00	3,85	5,18	0,00
Barbo tiberino	8,11	19,23	86,23	33,33
Carassio	1,35	0,00	25,39	85,71
Carpa	2,70	0,00	19,17	76,19
Cavedano comune	0,00	26,92	80,83	85,71
Cavedano etrusco	0,00	23,08	52,85	19,05
Cobite	0,00	0,00	12,95	19,05
Gambusia	0,00	0,00	0,00	4,76
Gardon	0,00	0,00	0,00	9,52

tabella 3.22 a - Frequenza percentuale di presenza delle specie censite nelle zone ittiche.

	Zona superiore della trota	Zona inferiore della trota	Zona del barbo	Zona della carpa e della tinca
Ghiozzo di ruscello	0,00	15,38	56,99	14,29
Ghiozzo padano	0,00	0,00	11,40	0,00
Gobione	0,00	0,00	7,77	4,76
Lasca	0,00	0,00	38,86	23,81
Luccio	0,00	3,85	0,00	9,52
Lucioperca	0,00	0,00	0,52	33,33
Persico reale	0,00	0,00	3,11	9,52
Persico sole	0,00	7,69	10,88	42,86
Persico trota	0,00	0,00	1,04	4,76
Pesce gatto	0,00	0,00	4,66	38,10
Pseudorasbora	0,00	0,00	14,51	47,62
Rodeo	0,00	0,00	0,52	0,00
Rovella	5,41	50,00	87,05	61,90
Savetta	0,00	0,00	0,52	0,00
Scardola	0,00	3,85	3,11	38,10
Scazzone	0,00	0,00	1,04	0,00
Siluro	0,00	0,00	0,00	4,76
Spinarello	0,00	11,54	2,59	9,52
Temolo	0,00	0,00	1,04	0,00
Tinca	0,00	3,85	5,18	33,33
Triotto	0,00	3,85	4,66	9,52
Trota fario	98,65	80,77	26,42	4,76
Vairone	16,22	46,15	58,03	0,00

tabella 3.22 b - Frequenza percentuale di presenza delle specie censite nelle zone ittiche.

e l'anguilla risultano presenti nell'8,11% dei casi. Nella zona inferiore della trota la specie che fa rilevare il maggior numero di presenze è sempre la trota fario (80,77% dei casi), seguita in questo caso dalla rovella (50,00%) e dal vairone (46,15%); percentuali consistenti sono state rilevate anche per altri ciprinidi reofili, come il cavedano comune (26,92%) ed il cavedano etrusco (23,08%). Nella zona del barbo le specie con il maggior numero di presenze risultano la rovella (87,05%), il barbo tiberino (86,53%) ed il cavedano comune (80,83%); percentuali abbastanza rilevanti si registrano anche per il vairone (58,03%), il ghiozzo di ruscello (56,99%), la lasca (38,86%) e l'alborella (38,34%). Per quanto riguarda

la zona della carpa e della tinca, le specie con la percentuale più elevata risultano il cavedano comune ed il carassio (85,71% in entrambi i casi); considerevole risulta anche la presenza di carpa (76,19%), alborella (76,19%), rovela (61,90%), pesce gatto (38,10%), anguilla e pseudorasbora (47,62%). Per tinca, barbo del Danubio, barbo tiberino e lucioperca si è riscontrata per ciascuna specie una percentuale pari al 33,33%. Dall'analisi della figura 3.10, che rappresenta graficamente la ripartizione percentuale delle stazioni di campionamento nelle 4 zone ittiche, si evince come la zona del barbo sia la zona ittica più diffusa con il 61% dei settori indagati (193 stazioni di campionamento).

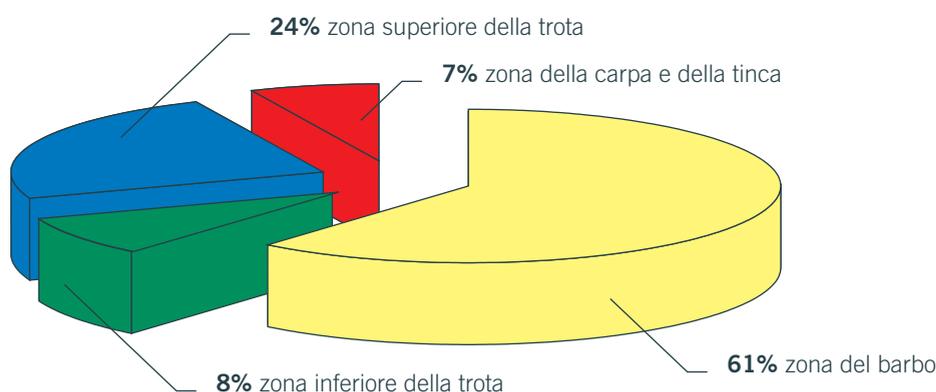


figura 3.10 - Frequenze percentuali delle diverse zone ittiche.

Osservando la carta della zonazione ittica (Fig. 3.11), emerge che le stazioni classificate in questa zona ricadono prevalentemente nel bacino del fiume Tevere e nei bacini dei suoi affluenti di destra: il fiume Paglia ed il fiume Nestore. In questi 3 sottobacini la percentuale delle stazioni attribuite alla zona del barbo è identica e pari al 79% del totale (Tab. 3.23);

Sottobacino	Zona superiore della trota (%)	Zona inferiore della trota (%)	Zona del barbo (%)	Zona della carpa e della tinca (%)
Chiascio	25	5	69	0
Nera	77	7	13	3
Nestore	0	0	79	21
Paglia	0	17	79	4
Tevere	2	10	79	10

tabella 3.23 - Frequenze percentuale delle zone ittiche disaggregate per sottobacino.

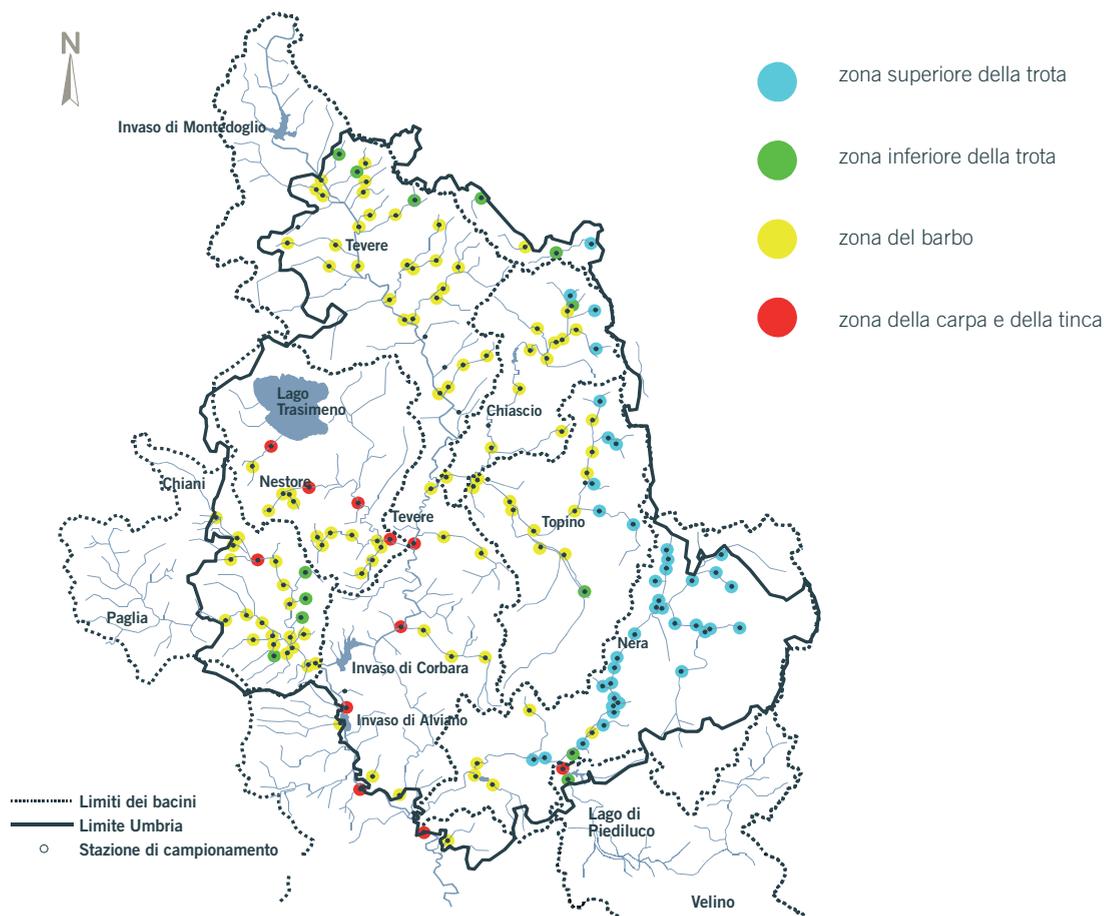


figura 3.11 - Carta della zonazione.

tale percentuale è leggermente inferiore nel caso del bacino del Chiascio (69%, 38 stazioni di campionamento), mentre appare nettamente più bassa nel bacino del Nera (13%, 10 stazioni di campionamento). Alla zona superiore della trota appartiene invece il 24% delle stazioni totali; la maggior parte dei tratti fluviali attribuiti a questa zona ricade nella parte montana dei bacini del fiume Nera (77%), e del fiume Chiascio (25%), entrambi affluenti di sinistra del fiume Tevere. La vocazione salmonicola di questi corsi d'acqua va attribuita prevalentemente alle caratteristiche geologiche ed ambientali che li rendono idonei ad ospitare una specie ittica esigente come la trota fario. L'8% dei settori campionati rientra nella zona inferiore della trota; in questo caso si può osservare che a tale zona sono stati attribuiti alcuni affluenti di sinistra del torrente Chiani (bacino del Paglia), alcuni affluenti del Tevere localizzati nella

parte più settentrionale del bacino e dei corsi d'acqua di risorgiva, quali il fiume Clitunno (bacino del Chiascio), la Forma Quattrini e la Forma di Mezzo (bacino del Nera). Alla zona della carpa e tinca appartengono 21 stazioni di campionamento (7% del totale) distribuiti prevalentemente nel bacino del Nestore, in cui la percentuale di stazioni attribuite a questa zona è pari al 21% e nella parte meridionale del bacino del Tevere (10% del totale).

3.8 Analisi delle corrispondenze canoniche: lungo il bacino del Tevere

L'analisi delle corrispondenze canoniche è una tecnica statistica multivariata molto utile per interpretare il modo in cui i vari fattori ambientali condizionano la presenza e la distribuzione degli organismi viventi, determinando in questo modo la composizione delle comunità. In ecologia fluviale è un metodo di analisi molto utilizzato per comprendere i cambiamenti ambientali che avvengono in senso longitudinale nel decorso di un fiume e definire quindi le risposte della fauna ittica a tali variazioni. I risultati della CCA (Tab. 3.24, Figg. 3.12 - 14) generano, infatti, dei diagrammi che mostrano la collocazione delle singole specie ittiche e delle rispettive stazioni di campionamento (rappresentate da punti) rispetto all'influenza delle variabili ambientali. I diagrammi sono presentati separatamente, ma

Parametro	Coefficienti canonici		Correlazioni con gli assi	
	AX1	AX2	AX1	AX2
Distanza dalla sorgente (km)	0,177	-0,462	0,411	0,347
Bacino sotteso dalla stazione (km ²)	-0,205	1,183	0,365	0,430
Quota altimetrica (m s.l.m.)	-0,391	-0,005	-0,646	0,041
Pendenza media (%)	-0,014	0,050	-0,146	-0,286
pH (unità di pH)	0,038	0,071	0,010	-0,220
Conducibilità elettrica specifica (µS/cm)	0,302	0,055	0,684	-0,225
B.O.D. ₅ (mg/l)	0,230	-0,012	0,569	-0,112
C.O.D. (mg/l)	-0,021	-0,073	0,326	-0,097
NNO ₃ (mg/l)	-0,100	0,003	0,245	0,050
NNO ₂ (mg/l)	-0,234	-0,134	0,412	-0,106
NNH ₃ (mg/l)	0,034	0,095	0,360	-0,073

tabella 3.24 a - Analisi delle corrispondenze canoniche (in rosso le correlazioni risultate p < 0,05).

Parametro	Coefficienti canonici		Correlazioni con gli assi	
	AX1	AX2	AX1	AX2
SO ₄ (mg/l)	-0,056	0,144	0,511	0,007
PPO ₄ (mg/l)	-0,045	-0,311	0,255	0,008
P totale (mg/l)	-0,035	0,573	0,310	0,084
Cloruri (mg/l)	0,253	-0,324	0,715	0,331
Temperatura dell'acqua (°C)	0,109	-0,112	0,487	-0,050
Ossigeno disciolto (mg/l)	0,246	0,027	-0,115	0,035
Ossigeno percentuale V.S. (%)	-0,358	0,081	-0,124	0,189
I.B.E.	-0,166	-0,120	-0,482	-0,083
Larghezza media dell'alveo (m)	0,306	-0,350	0,332	0,245
Profondità media (m)	0,068	-0,139	-0,003	0,204
Velocità media corrente (m/s)	-0,336	0,337	-0,276	0,500
Portata (m ³ /s)	0,288	-0,139	0,073	0,446
Sezione utile (m ²)	-0,425	0,132	0,148	0,348
Ombreggiatura dell'alveo	0,010	-0,150	-0,311	-0,226
Cover	-0,151	-0,035	-0,155	-0,067
Copertura vegetale del fondo	0,004	0,356	0,022	0,154
Granulometria prevalente	0,010	-0,155	-0,157	-0,234

tabella 3.24 b - Analisi delle corrispondenze canoniche (in rosso le correlazioni risultate p < 0,05).

in realtà possono essere letti come se fossero sovrapposti l'uno sull'altro. Nel diagramma dei parametri ambientali (Fig. 3.12) questi ultimi sono rappresentati da frecce che si dirigono in una determinata direzione e la cui lunghezza è proporzionale alla rispettiva correlazione con l'asse di ordinamento: una freccia lunga indica, quindi, una forte correlazione con l'asse del grafico verso cui punta. Variabili ambientali che si dirigono nella stessa direzione saranno di conseguenza correlate in modo diretto fra loro, mentre se si rivolgono verso direzioni opposte la correlazione sarà di tipo inverso. La posizione dei punti (Figg. 3.13 - 14: specie ittiche e stazioni di campionamento) indica la relazione tra ciascun punto e la variabile rappresentata dalla freccia (ter Braak, 1986): punti molto prossimi saranno influenzati dalle medesime variabili ambientali. La CCA rende, quindi, possibile l'analisi del grado di associazione fra specie ittiche, fra stazioni di campionamento e, in modo contemporaneo, anche fra le prime e le seconde. L'analisi è allo stato attuale uno dei mezzi più validi per spiegare l'influenza dei gradienti ambientali sulla composizione delle



figura 3.12 - CCA: grafico dei parametri ambientali.

comunità ittiche e come tale risulta molto utile per sottoporre a verifica il modello di zonazione longitudinale.

Nella CCA elaborata partendo dai dati rilevati nel corso della ricerca (Tab. 3.24) il primo asse spiega il 10,40% della variabilità complessiva (inerzia totale = 5,534) e sembra rappresentare molto bene i cambiamenti ambientali che si verificano nei corsi d'acqua del bacino del Tevere lungo il gradiente longitudinale. Si osserva che all'aumentare delle dimensioni del corso d'acqua corrisponde anche l'incremento nel carico di materiale organico ed inorganico trasportato dal fiume; lungo tale gradiente si osserva anche un progressivo declino nella qualità dell'acqua (Fig. 3.12). Infatti il primo asse (Tab. 3.24) risulta correlato in modo diretto con la distanza dalla sorgente, la superficie del bacino sotteso, la larghezza della sezione dell'alveo fluviale, la conducibilità, il B.O.D.₅, il C.O.D., i composti dell'azoto e del fosforo, i solfati, i cloruri e la temperatura dell'acqua; la correlazione è invece inversa per la quota altimetrica, la pendenza, la velocità di corrente, l'I.B.E., la superficie ombreggiata, il cover, la granulometria e l'ossigeno. Il secondo asse è meno informativo (6,60% della

variabilità complessiva): la correlazione è positiva per la distanza dalla sorgente, il bacino sotteso, il valore di saturazione percentuale dell'ossigeno, la larghezza, la profondità, la portata, la sezione utile e la copertura vegetale del fondo, mentre la correlazione è inversa con la pendenza, il pH, la conducibilità, i cloruri, l'ombreggiatura dell'alveo e la granulometria. Gli autovalori degli assi canonici sono significativi al Monte Carlo test ($p < 0,001$) e ciò evidenzia una stretta associazione fra variabili ambientali e composizione della fauna ittica (ter Braak, 1986).

I risultati della CCA sembrano confermare appieno le indicazioni già emerse nelle analisi precedenti. Nel diagramma della figura 3.13 infatti, la posizione delle singole componenti ittiche appare fortemente condizionata dal gradiente longitudinale. Nella CCA, infatti, la disposizione dei punti tale da formare una curva (curva tipologica) indica la presenza di un prevalente gradiente ambientale (effetto "ferro di cavallo") (Verneaux, 1973). In particolare nel nostro caso si nota che le diverse specie ittiche si dispongono in successione, procedendo da monte verso valle, lungo una curva che segue abbastanza fedelmente i modelli teorici di zonazione. Nella zona montana dell'area indagata si posizionano le specie più spiccatamente reofile, cioè la trota fario e lo scazzone: la loro abbondanza, infatti, è associata all'incremento di quota, velocità di corrente e qualità

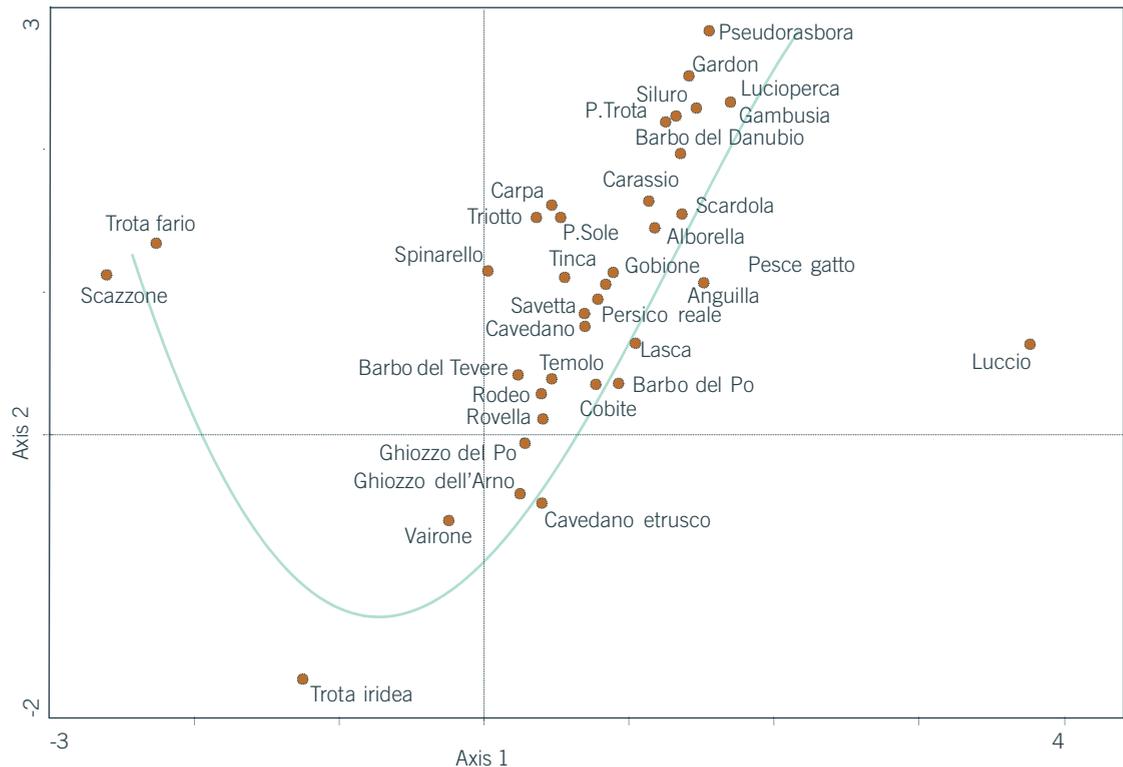


figura 3.13 - CCA: grafico delle specie ittiche.

dell'acqua (I.B.E.) e alla riduzione di distanza dalla sorgente e temperatura dell'acqua. Queste specie vengono sostituite, procedendo verso valle, da un'associazione fra trota iridea, vairone, ghiozzo di ruscello, cavedano etrusco e rovello, che caratterizza il corso intermedio dei fiumi indagati. Nella porzione centrale della curva prevalgono i ciprinidi reofili e le altre specie ittiche che caratterizzano la zona del barbo, mentre all'estremo della curva si posizionano le specie ittiche più limnofile, tipiche del tratto inferiore dei corsi d'acqua: carpa, carassio dorato, scardola, persico trota; appartengono a questo gruppo anche molte specie esotiche di recente introduzione, come la pseudorasbora, il siluro ed il gardon.

Nella figura 3.14 viene riportato il grafico delle stazioni di campionamento: ogni singola stazione è contrassegnata da un colore che indica la rispettiva attribuzione alle diverse zone ittiche proposte. Ciò permette di verificare in modo più oggettivo la correttezza dell'assegnazione effettuata durante le elaborazioni relative alle singole Carte Ittiche di 2° livello. In linea generale si può osservare come ci sia una buona sovrapposizione

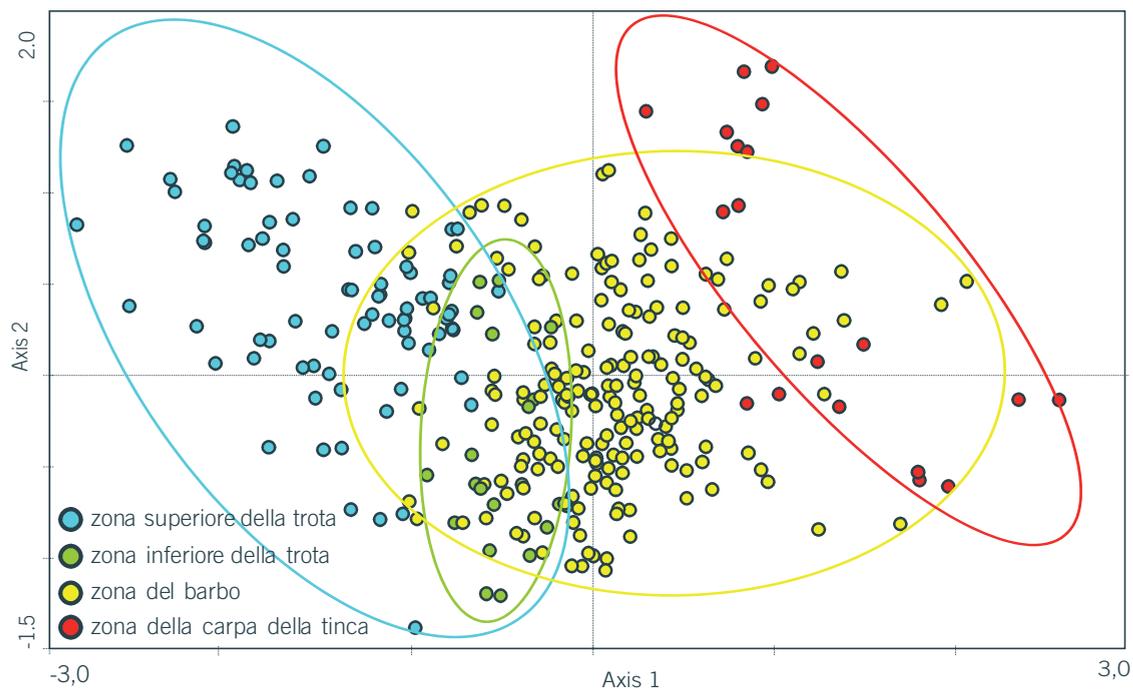


figura 3.14 - CCA: grafico delle stazioni di campionamento.

fra evoluzione longitudinale dei corsi d'acqua (Fig. 3.12), composizione delle comunità ittiche (Fig. 3.13) e assegnazione delle stazioni di campionamento alle rispettive zone ittiche (Fig. 3.14). I settori attribuiti alla zona superiore della trota risultano abbastanza ben delineati e contraddistinti dalle caratteristiche ambientali proprie dei corsi fluviali montani, con ac-

que fresche, veloci e ben ossigenate. Altrettanto ben differenziata risulta la zona del barbo, che per le caratteristiche ambientali presenti nell'area indagata è sicuramente quella che interessa la maggior parte dei corsi d'acqua presenti. Dall'analisi è evidente, come già sottolineato più volte in precedenza, come la separazione fra una zona ittica e l'altra sia tuttavia abbastanza sfumata e di conseguenza come i diversi popolamenti tendano a sovrapporsi e a mescolarsi in vario modo fra loro. In particolare le stazioni attribuite alla zona inferiore della trota si configurano come un raggruppamento poco omogeneo e non troppo ben caratterizzabile da un punto di vista ambientale. Ciò è in parte causato dal fatto che in questa categoria rientrano ambiti fluviali diversi fra loro. Oltre ad esservi inseriti quei settori di transizione fra la zona più tipicamente montana, popolata dalla trota fario, e i tratti pedemontani dominati dai ciprinidi reofili, alla zona inferiore della trota appartengono anche alcuni ambienti di risorgiva che in quanto tali sono difficilmente inquadrabili in uno schema classico di evoluzione longitudinale di un fiume. A complicare la situazione, inoltre, c'è da aggiungere che la presenza della fario, specie caratterizzante tale zona ittica, è stata spesso ampliata in modo artificiale dall'uomo che tende ad introdurla con i ripopolamenti anche in alcuni ambienti non del tutto compatibili con le caratteristiche ecologiche della specie. Da questo punto di vista, l'analisi rappresenta sicuramente lo strumento più adatto per rivedere e correggere alcune delle assegnazioni fatte in precedenza e correggere alcune pratiche gestionali consolidate. Anche per quanto riguarda la zona della carpa e della tinca si possono fare alcune considerazioni: l'area indagata interessa il tratto alto e medio del bacino del fiume Tevere e in quanto tale è evidente che i settori fluviali attribuibili a tale zona dovrebbero interessare esclusivamente quei limitati settori fluviali dell'asta principale più prossimi ai confini con il Lazio. Anche in questo caso, tuttavia, sono sicuramente intervenuti dei fattori perturbativi di origine antropica che hanno alterato la composizione faunistica

Codice stazione	Corso d'acqua	Sottobacino	Zonazione	Nuova attribuzione
02VELI01	Fiume Velino	Nera	Zona inferiore trota	Zona del barbo
04CAMO01	Fosso Cavalmorto	Paglia	Zona inferiore trota	Zona del barbo
04ELMO01	Fosso dell'Elmo	Paglia	Zona inferiore trota	Zona del barbo
04MIGL01	Fosso Migliari	Paglia	Zona inferiore trota	Zona del barbo
06AGGI01	Torrente Aggia	Tevere	Zona del barbo	Zona inferiore trota
06ANTI01	Fosso dell'Antirata	Tevere	Zona inferiore trota	Zona del barbo
06CERT01	Fosso Certano	Tevere	Zona inferiore trota	Zona del barbo

tabella 3.25 - Cambiamenti proposti nella zonazione ittica delle stazioni di campionamento.

originale di alcuni dei settori fluviali indagati attribuiti a tale zona ittica. I più importanti dei quali sono sicuramente l'inquinamento, la presenza di sbarramenti e l'introduzione delle specie esotiche, tutti elementi che favoriscono l'espansione delle specie limnofile più adattabili alle alterate condizioni ambientali. Nella tabella 3.25 è riportata la proposta di cambiamento nella zonazione adottata per alcuni settori fluviali, che deriva dai risultati delle nuove elaborazioni qui riportate.

3.9 Abbondanza delle specie ittiche lungo il gradiente longitudinale

Mediante analisi della regressione è stata indagata la relazione esistente fra la densità delle singole specie ittiche ed il primo asse della CCA: ciò rappresenta un tentativo di delineare gli aspetti quantitativi che legano l'abbondanza di una specie ittica al gradiente longitudinale, al fine di approfondire ulteriormente le conoscenze sulle preferenze ecologiche che caratterizzano la fauna ittica presente nel bacino umbro del fiume Tevere. I risultati di tale indagine sono illustrati nelle figure 3.15 – 50, mentre nella tabella 3.26 sono riportati i valori dei parametri che descrivono le varie regressioni calcolate.

Il primo gruppo esaminato è quello dei salmonidi, che conferma di essere composto da specie essenzialmente reofile, anche se dall'analisi risulta anche evidente la presenza di alcune differenze interne a tale gruppo (Figg. 3.15 - 17). La trota fario appare sicuramente la specie che più di tutte risulta adattata alle correnti impetuose: le sue densità diminuiscono progressivamente man mano che ci si sposta verso valle e si annullano

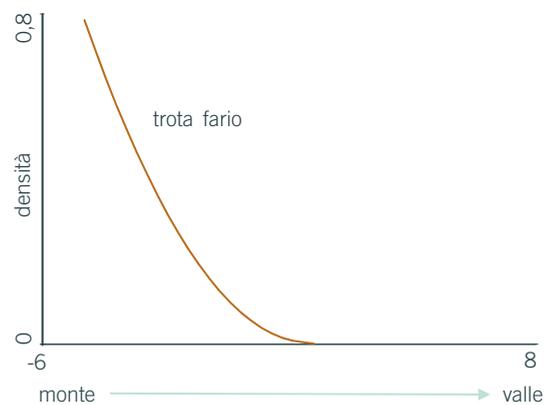


figura 3.15 - Andamento della densità della trota fario lungo il primo asse della CCA.

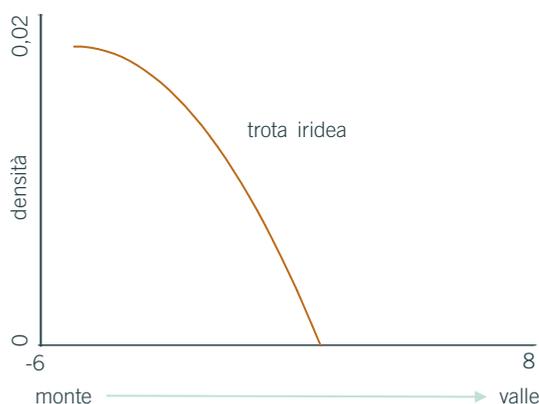


figura 3.16 - Andamento della densità della trota iridea lungo il primo asse della CCA.

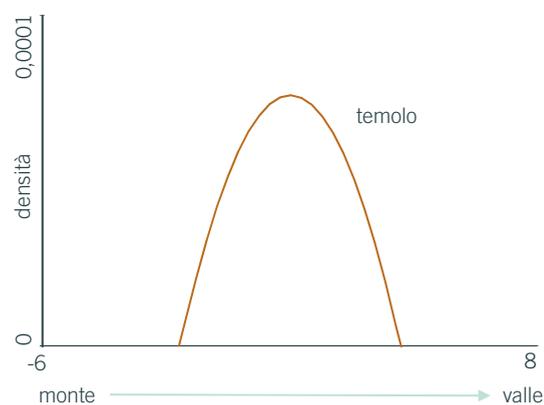


figura 3.17 - Andamento della densità del temolo lungo il primo asse della CCA.

già a partire dal tratto centrale dei corsi d'acqua esaminati. Andamento abbastanza simile è quello mostrato dalla trota iridea (Fig. 3.16), anche se tale specie raggiunge le proprie abbondanze massime più a valle rispetto alla fario. Ancora meno reofilo delle specie precedenti è il temolo (Fig. 3.17), che nel bacino umbro del fiume Tevere mostra di prediligere soprattutto i settori fluviali intermedi, essendo assente sia nei tratti più montani che in quelli di pianura. In tale andamento, tuttavia, il temolo è condizionato dalla estrema limitatezza della propria diffusione nell'area indagata.

Il gruppo delle "altre specie" è piuttosto eterogeneo ed è costituito da specie con preferenze ecologiche molto diverse (Figg. 3.18 - 23). La spe-



figura 3.18 - Andamento della densità dello scazzone lungo il primo asse della CCA.

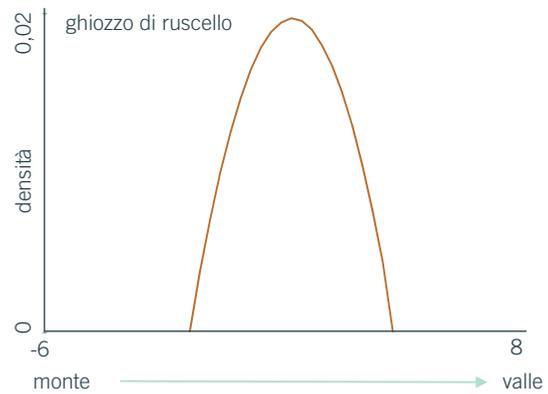


figura 3.19 - Andamento della densità del ghiozzo di ruscello lungo il primo asse della CCA.



figura 3.20 - Andamento della densità del ghiozzo padano lungo il primo asse della CCA.

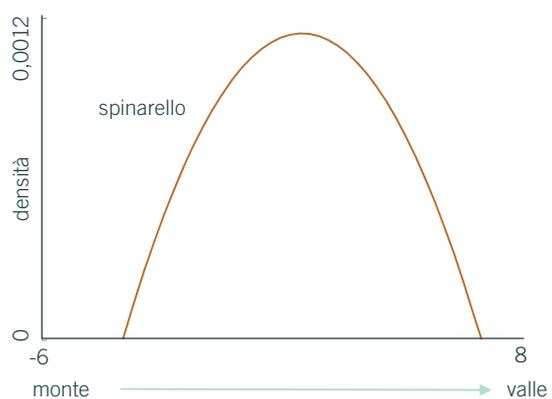


figura 3.21 - Andamento della densità dello spinarello lungo il primo asse della CCA.

cie in assoluto più reofila è costituita dallo scazzone, la cui presenza è localizzata esclusivamente nei tratti più montani e le cui densità diminuiscono nettamente in relazione al gradiente longitudinale (Fig. 3.18). Ghiozzo di ruscello (Fig. 3.19), ghiozzo padano (Fig. 3.20) e spinarello (Fig. 3.21), mostrano un comportamento abbastanza simile tra loro, raggiungendo i propri picchi di abbondanza nei settori fluviali centrali e risultando assenti sia nel tratto più montano che in quello più di pianura dei corsi esaminati. Il cobite (Fig. 3.22) risulta abbastanza tollerante alla corrente ed in grado di essere presente in un ampio contesto ambientale, anche se raggiunge le massime abbondanze nei tratti medio-terminali dei corsi d'acqua del bacino del fiume Tevere. Più spiccatamente limnofila appare la gambusia (Fig. 3.23).

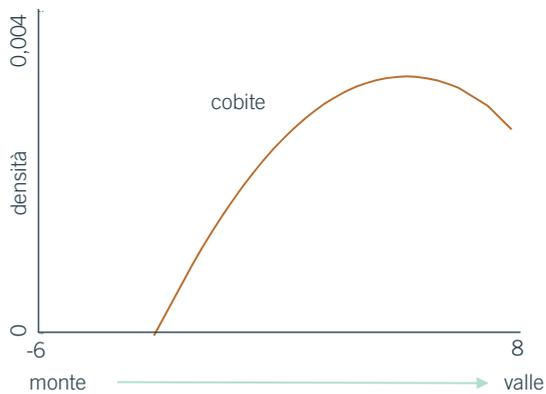


figura 3.22 - Andamento della densità del cobite lungo il primo asse della CCA.

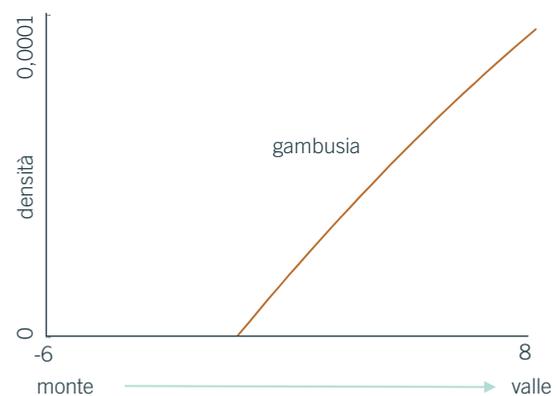


figura 3.23 - Andamento della densità della gambusia lungo il primo asse della CCA.

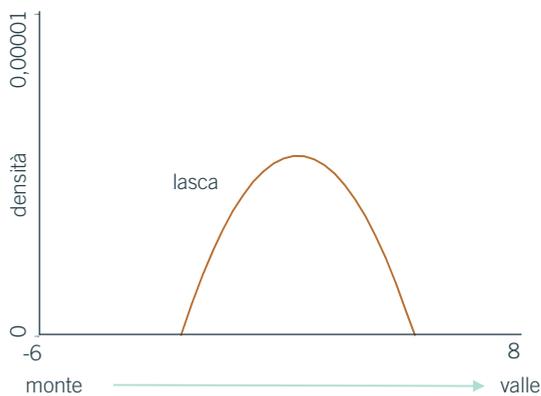


figura 3.24 - Andamento della densità della lasca lungo il primo asse della CCA.

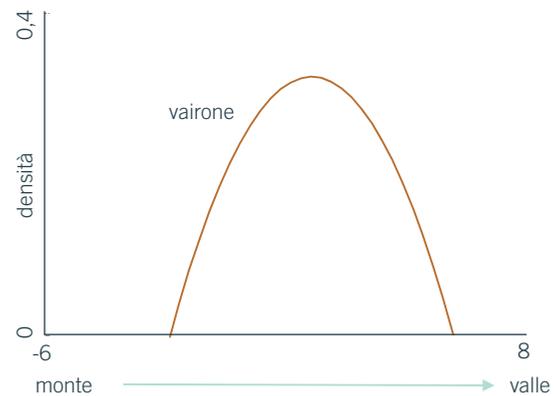


figura 3.25 - Andamento della densità del vairone lungo il primo asse della CCA.

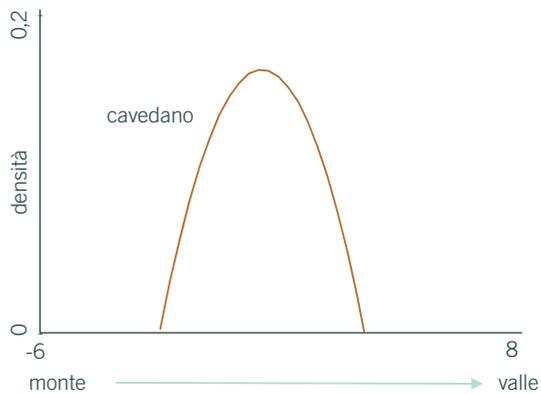


figura 3.26 - Andamento della densità del cavedano lungo il primo asse della CCA.

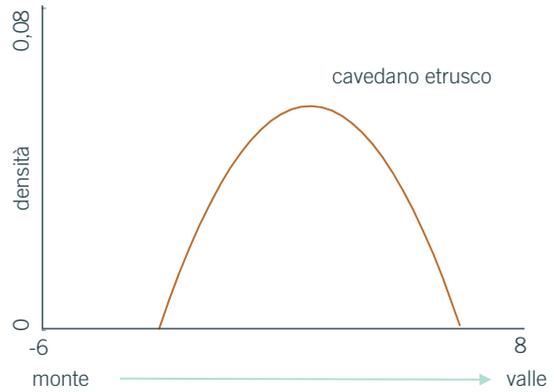


figura 3.27 - Andamento della densità del cavedano etrusco lungo il primo asse della CCA.



figura 3.28 - Andamento della densità del barbo tiberino lungo il primo asse della CCA.



figura 3.29 - Andamento della densità del barbo del Po lungo il primo asse della CCA.

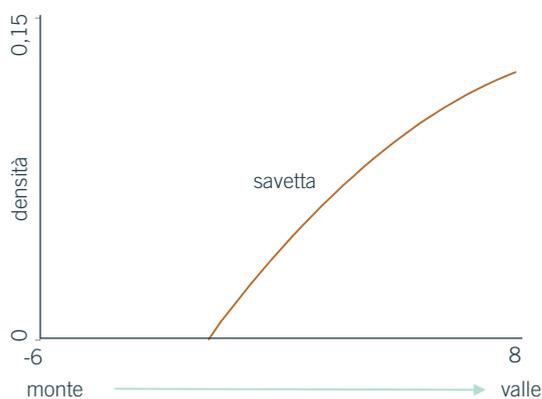


figura 3.30 - Andamento della densità della savetta lungo il primo asse della CCA.

Il gruppo dei ciprinidi reofili, che è raffigurato nelle figure 3.24 - 31, appare meno omogeneo di quanto comunemente si ritiene. Spiccatamente reofila è la lasca (Fig. 3.24), unitamente alla totalità delle specie indigene per l'area indagata, quali vairone (Fig. 3.25), cavedano comune (Fig. 3.26), cavedano etrusco (Fig. 3.27) e barbo tiberino (Fig. 3.28): le loro preferenze ecologiche risultano molto simili, raggiungendo in tutti i casi le massime densità nella parte centrale dei corsi d'acqua indagati e riducendosi sia a monte che a valle. Leggermente più spostato a valle è il picco di abbondanza del barbo del Po (Fig. 3.29), mentre ancora più spiccatamente limnofili risultano la savetta (Fig. 3.30)

e, in modo ancor più netto, il barbo del Danubio (Fig. 3.31).
 Tra i ciprinidi associati (Figg. 3.32 - 37), la rovella (Fig. 3.32) ed il rodeo (Fig. 3.33) hanno un comportamento simile fra loro ed anche abbastanza

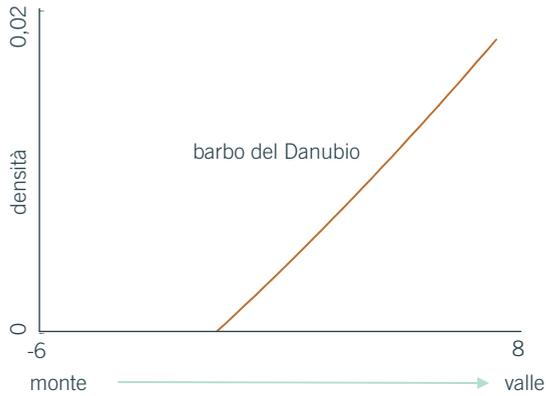


figura 3.31 - Andamento della densità del barbo del Danubio lungo il primo asse della CCA.

analogo a quello dei ciprinidi più tipicamente reofili (barbo, cavedano, vairone).

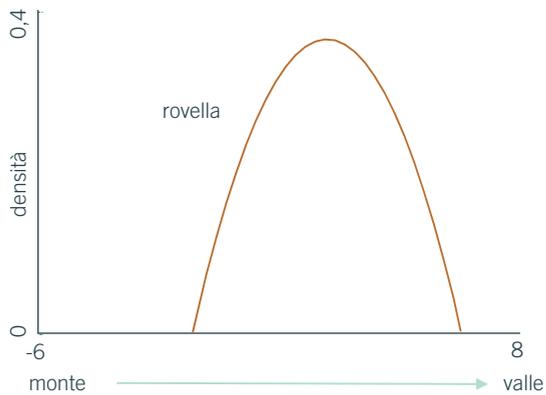


figura 3.32 - Andamento della densità della rovella lungo il primo asse della CCA.

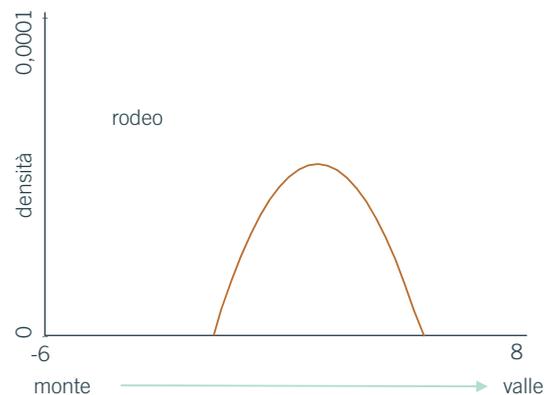


figura 3.33 - Andamento della densità del rodeo lungo il primo asse della CCA.

Il gobione (Fig. 3.34) risulta diffuso in un più ampio contesto longitudinale e mostra di raggiungere il proprio massimo di abbondanza più a valle rispetto alle specie precedenti. Triotto (Fig. 3.35), alborella (Fig. 3.36) e pseudorasbora (Fig. 3.37) risultano più spiccatamente limnofili.

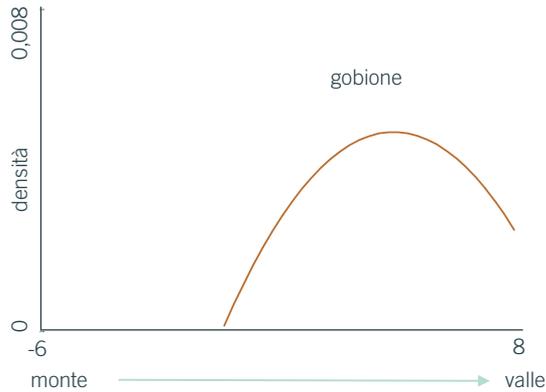


figura 3.34 - Andamento della densità del gobione lungo il primo asse della CCA.

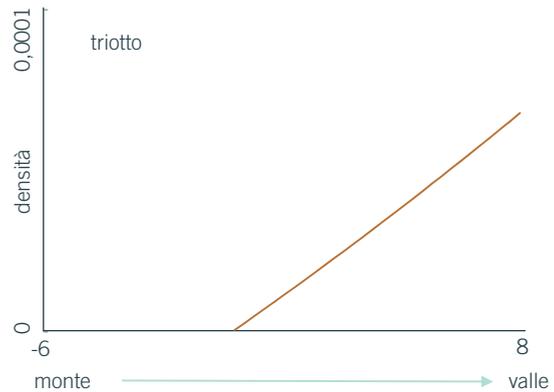


figura 3.35 - Andamento della densità del triotto lungo il primo asse della CCA.



figura 3.36 - Andamento della densità dell'alborella lungo il primo asse della CCA.

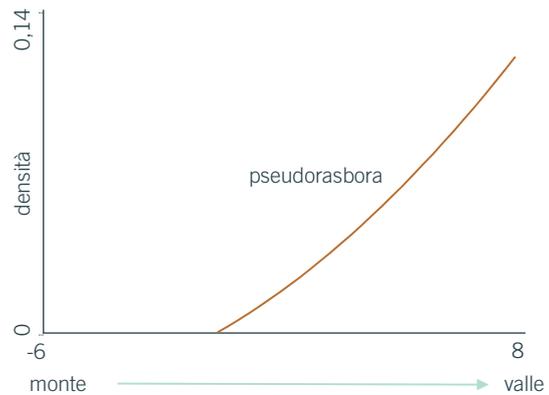


figura 3.37 - Andamento della densità della pseudorasbora lungo il primo asse della CCA.

Tra i predatori (Figg. 3.38 - 45) l'anguilla (Fig. 3.38) è in grado di colonizzare una gamma molto estesa di settori fluviali e le sue abbondanze non si annullano in nessun punto del gradiente longitudinale, anche se i massimi di densità sono localizzati preferibilmente nei settori più a valle. Il persico sole (Fig. 3.39) sembra preferire la parte centrale dei corsi d'ac-

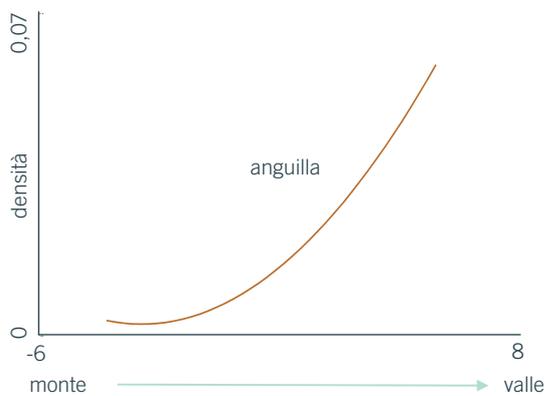


figura 3.38 - Andamento della densità dell'anguilla lungo il primo asse della CCA.

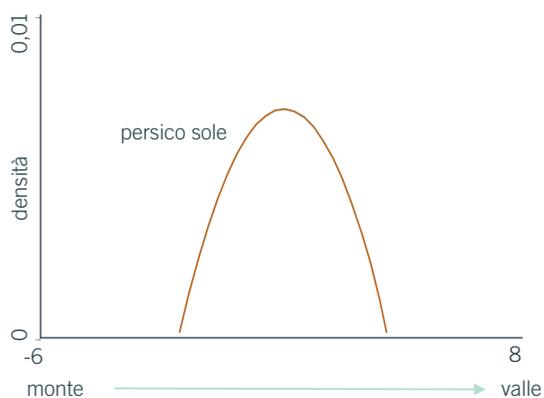


figura 3.39 - Andamento della densità del persico sole lungo il primo asse della CCA.



figura 3.40 - Andamento della densità del persico reale lungo il primo asse della CCA.

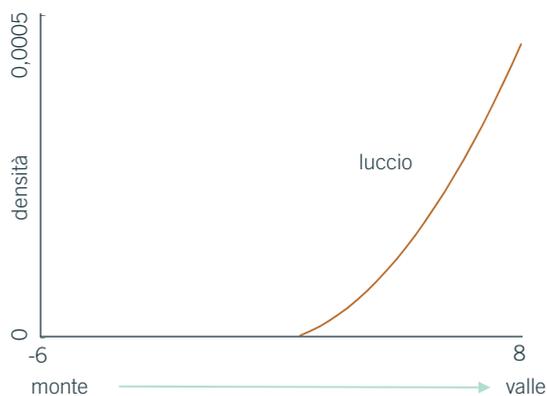


figura 3.41 - Andamento della densità del luccio lungo il primo asse della CCA.

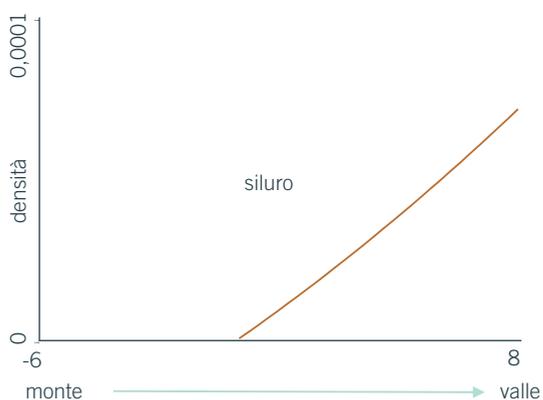


figura 3.42 - Andamento della densità del siluro lungo il primo asse della CCA.

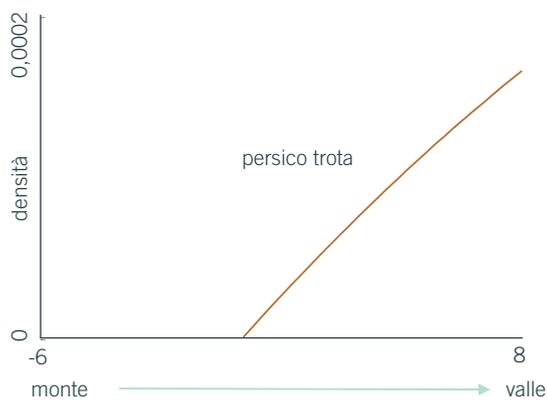


figura 3.43 - Andamento della densità del persico trota lungo il primo asse della CCA

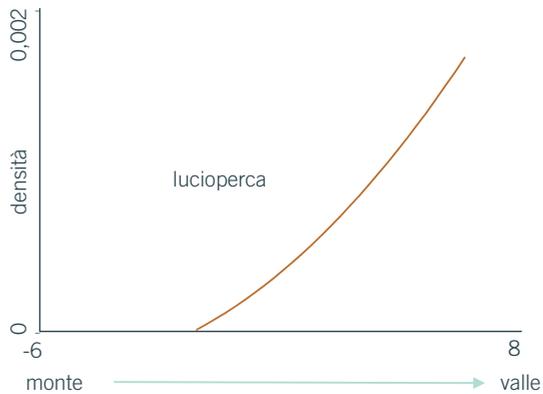


figura 3.44 - Andamento della densità del lucioperca lungo il primo asse della CCA.

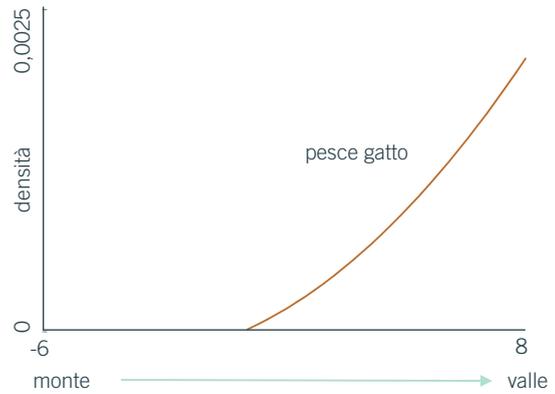


figura 3.45 - Andamento della densità del pesce gatto lungo il primo asse della CCA.

qua indagati, mentre l'optimum del persico reale (Fig. 3.40) è più spostato a valle. Più spiccatamente limnofili sono tutti gli altri predatori, che come il luccio (Fig. 3.41), il siluro (Fig. 3.42), il persico trota (Fig. 3.43), il lucioperca (Fig. 3.44) ed il pesce gatto (Fig. 3.45) appaiono localizzarsi di preferenza nei settori più tipicamente di pianura con abbondanze progressivamente crescenti procedendo verso valle.

Il gruppo dei ciprinidi limnofili (Figg. 3.46 - 50) comprende specie che appaiono fortemente vincolate nella propria diffusione al tratto terminale dei corsi d'acqua indagati. La carpa (Fig. 3.46) ed il gardon (Fig. 3.47) si discostano dagli altri membri del gruppo. In modo abbastanza atipico la carpa sembra localizzare le sue presenze più a monte di una tipica spe-

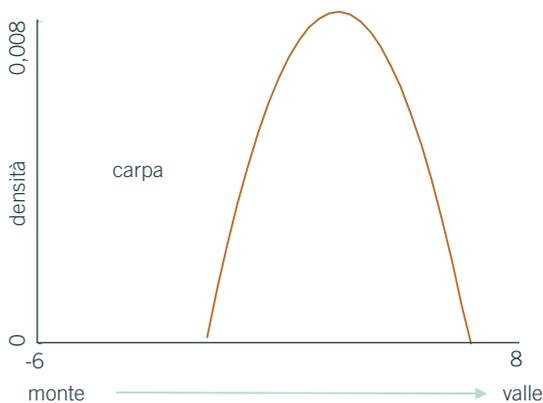


figura 3.46 - Andamento della densità della carpa lungo il primo asse della CCA.

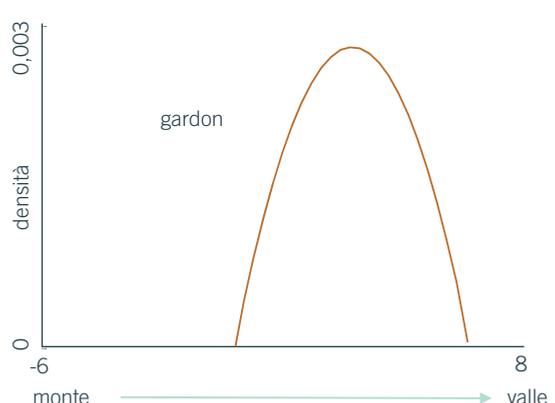


figura 3.47 - Andamento della densità del gardon lungo il primo asse della CCA.

cie limnofila; come già detto in alcune delle precedenti analisi, è tuttavia molto probabile che questo suo andamento sia fortemente condizionato dai ripopolamenti, che tendono a propagare la specie anche in ambienti non propriamente ottimali. Per le caratteristiche della propria curva densità - Axis 1 della CCA, il gardon potrebbe anche essere annoverato tra i ciprinidi associati, più che tra le specie limnofile propriamente dette; è possibile tuttavia che la recente introduzione di tale specie in Umbria sia alla base dell'andamento della sua abbondanza in funzione del gradiente longitudinale.

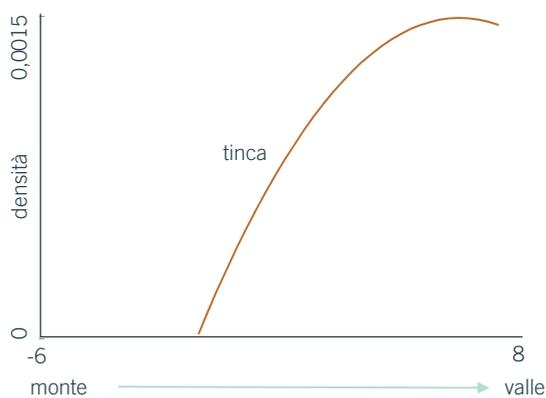


figura 3.48 - Andamento della densità della tinca lungo il primo asse della CCA.



figura 3.49 - Andamento della densità del carassio dorato lungo il primo asse della CCA.

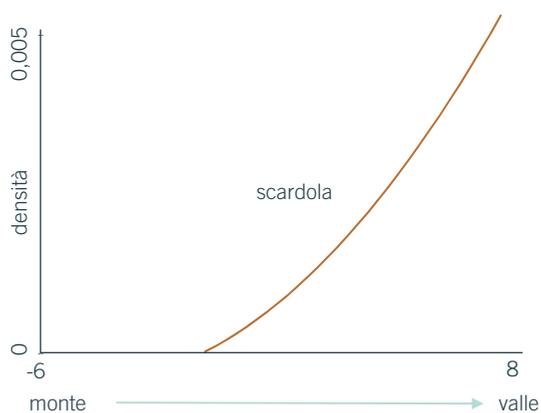


figura 3.50 - Andamento della densità della scardola lungo il primo asse della CCA.

La tabella 3.26a - b riporta in dettaglio le equazioni calcolate fra le densità delle singole specie ittiche presenti nel bacino del fiume Tevere umbro con il primo asse della CCA.

Specie	Equazione	F	P
Alborella	$0,046 + 0,027 x - 0,001x^2$	10,01	0,001
Anguilla	$0,001 + 0,001 x + 0,001x^2$	3,49	0,031
Barbo del Danubio	$0,003 + 0,001 x + 0,001x^2$	4,84	0,008
Barbo del Po	$0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	1,31	0,272
Barbo del Tevere	$0,072 + 0,018 x - 0,005x^2$	11,25	0,001
Carassio dorato	$0,010 + 0,006 x + 0,001x^2$	4,61	0,011
Carpa	$0,005 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,52	0,407
Cavedano comune	$0,141 + 0,013 x - 0,020x^2$	4,97	0,007
Cavedano etrusco	$0,054 + 0,012 x - 0,004x^2$	1,72	0,181
Cobite	$0,002 + 0,001 x - 0,001x^2$	2,01	0,124
Gambusia	$0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,52	0,404
Ghiozzo del Po	$0,016 + 0,002 x - 0,002x^2$	0,72	0,489
Ghiozzo di ruscello	$0,038 + 0,006 x - 0,004x^2$	3,13	0,044
Gobione	$0,005 + 0,002 x - 0,001x^2$	1,07	0,345
Lasca	$0,039 + 0,020 x - 0,001x^2$	7,27	0,001
Luccio	$-0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	22,73	0,001
Lucioperca	$0,001 + 0,001 x + 0,001x^2$	1,86	0,158
Persico reale	$0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,64	0,472
Persico sole	$0,005 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,24	0,214
Persico trota	$0,005 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,84	0,432
Pesce gatto	$0,001 + 0,001 x + 0,001x^2$	7,35	0,001
Pseudorasbora	$0,016 + 0,013 x + 0,001x^2$	3,05	0,049
Rodeo	$0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,20	0,184
Rovella	$0,259 + 0,056 x - 0,024x^2$	10,20	0,001
Rutilo o gardon	$0,002 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,61	0,467
Savetta	$0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	0,23	0,205
Scardola	$0,001 + 0,001 x + 0,001x^2$	2,84	0,060
Scazzone	$-0,001 - 0,001 x + 0,001x^2$	2,67	0,071

tabella 3.26 a - Equazioni delle regressioni fra densità delle specie ittiche e primo asse della CCA.

Specie	Equazione	F	P
Siluro	$0,001 + 0,001 x + 0,001x^2$	0,62	0,460
Spinarello	$0,001 + 0,079 x - 0,026x^2$	0,05	0,049
Temolo	$0,001 + 0,001 x - 0,010x^2$	0,30	0,261
Tinca	$0,001 + 0,001 x - 0,001x^2$	2,09	0,126
Triotto	$0,001 + 0,001 x + 0,001x^2$	1,17	0,313
Trota fario	$0,023 - 0,080 x + 0,019x^2$	66,34	0,001
Trota iridea	$0,006 - 0,004 x + 0,001x^2$	0,51	0,398
Vairone	$0,203 + 0,070 x - 0,014x^2$	12,00	0,001

tabella 3.26 b - Equazioni delle regressioni fra densità delle specie ittiche e primo asse della CCA.

3.10 Composizione in specie delle zone ittiche: un'analisi indicativa, ma utile

Le informazioni riportate nel paragrafo precedente permettono di dare una indicazione sintetica sulla composizione specifica di ogni zona ittica. I risultati di tali analisi sono raffigurate nella figura 3.51 a-b. Si precisa ancora una volta che tale prospetto è da ritenersi puramente indicativo, in quanto la maggior parte delle specie presenti nel bacino del fiume Tevere è in grado di tollerare un'ampia gamma di condizioni ambientali e quindi

Specie	Zona superiore della trota	Zona inferiore della trota	Zona del barbo	Zona della carpa e della tinca
Scazzone	comune			
Trota iridea	rara	comune		
Trota fario	dominante	dominante	rara	
Vairone		dominante	dominante	
Spinarello		comune	rara	rara
Rovella		comune	dominante	rara
Barbi del Tevere		rara	dominante	rara
Cavedano comune		rara	dominante	comune
Cobite		rara	rara	rara
Ghiozzo di ruscello		rara	dominante	

figura 3.51a - Composizione in specie delle zone ittiche.

Legenda	dominante	comune	rara	localizzata

Specie	Zona superiore della trota	Zona inferiore della trota	Zona del barbo	Zona della carpa e della tinca
Cavedano etrusco		rara	localizzata	
Lasca			comune	
Ghiozzo padano			comune	
Persico sole			comune	
Temolo			rara	
Gobione			comune	
Rodeo			rara	
Barbo del Po			rara	comune
Carpa			comune	comune
Triotto			rara	rara
Persico reale			rara	rara
Barbo del Danubio			rara	comune
Pesce gatto			rara	comune
Alborella			rara	comune
Pseudorasbora			rara	dominante
Carassio dorato			rara	dominante
Savetta			rara	rara
Scardola				comune
Luccio				rara
Gambusia				rara
Persico trota				rara
Gardon				rara
Siluro				rara
Lucioperca				rara
Tinca				rara
Anguilla	rara	rara	comune	comune

figura 3.51b - Composizione in specie delle zone ittiche.

Legenda	dominante	comune	rara	localizzata
----------------	-----------	--------	------	-------------

può risultare presente in più zone ittiche diverse. Il tentativo di caratterizzare ogni zona ittica con una propria composizione in specie, quindi, ha soprattutto lo scopo di fornire un contributo alla razionalizzazione dei criteri di selezione dei settori fluviali: ciò permette di raggrupparli in grup-

pi omogenei per i quali è possibile adottare criteri gestionali comuni. Lo schema proposto nella figura 3.51 non si discosta in modo sostanziale da quanto proposto per il bacino del fiume Tevere in precedenti ricerche (Mearelli *et alii*, 1991; Mearelli *et alii*, 1994; Mearelli *et alii*, 1996) e ciò conferma ancora una volta la validità dei modelli di zonazione adottati. Un contributo innovativo rispetto al passato è dato dall'indicazione che alcune specie (scazzone, trota iridea, cavedano etrusco e spinarello, quest'ultimo limitatamente alle risorgive), in quanto estremamente localizzate ed assenti nella maggior parte nel reticolo idrografico indagato, risultano caratterizzare con la loro presenza una determinata zona ittica molto meglio di quanto indicato dai picchi di abbondanza analizzati nel paragrafo precedente. Altra considerazione da fare è che i ripopolamenti hanno alterato la diffusione, ampliandola artificialmente, di alcune specie ittiche utilizzate di frequente come caratterizzanti le rispettive zone ittiche; ciò appare particolarmente significativo nel caso della trota fario per la zona inferiore della trota e della carpa per la zona della carpa e della tinca. Pertanto lo schema nella figura 3.51 appare particolarmente utile, perché permette di effettuare l'attribuzione di un settore fluviale ad una data zona sulla base della composizione dell'intera comunità ittica e non soltanto sulla presenza od assenza di una o poche specie indicatrici. In tal modo si può limitare il margine di errore insito nella scelta.

3.11 Ricchezza di specie

Nella tabella 3.27 vengono riportati i risultati relativi alla statistica descrittiva del numero di specie: l'analisi evidenzia come la ricchezza di specie nel bacino del fiume Tevere sia in media abbastanza modesta. Il numero

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Richness	314	5,51	3,58	1,00	16,00	5,00

tabella 3.27 - Statistica descrittiva della ricchezza di specie nel campione complessivo.

di specie censite nelle singole stazioni di campionamento varia da un minimo di 1 ad un massimo di 16, con una media pari a 5,51.

Dal confronto fra le due fasi di campionamento (Tab. 3.28), non emerge

	N° Valori fase 1	Media fase 1	Deviazione Standard fase 1	N° Validi fase 2	Media fase 2	Deviazione Standard fase 2	t	p
Richness	156	5,51	3,70	158	5,53	3,45	0,05	0,96

tabella 3.28 - Confronto fra fasi di campionamento.

la presenza di differenze significative ($t = 0,05$; $p = 0,96$). In generale si osserva un'elevata omogeneità dei valori in entrambe le fasi.

Il confronto fra i sottobacini evidenzia la presenza di differenze significative nel numero medio di specie presenti (Tab. 3.29): il Nera si distingue dagli altri sottobacini per la minore ricchezza di specie (media: 2,36), al

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	5,65	3,00	1,00	11,00	6,00
Nera	75	2,36	2,64	1,00	14,00	1,00
Nestore	33	5,91	2,83	2,00	16,00	6,00
Paglia	47	6,72	3,39	1,00	15,00	7,00
Tevere	104	7,03	3,35	1,00	15,00	6,00

tabella 3.29 - Statistica descrittiva della ricchezza di specie nel campione disaggregato per sottobacino.

contrario il Tevere si caratterizza per le medie più elevate (media: 7,03) (Fig. 3.52). All'analisi della varianza le differenze fra i valori medi calcolati sono risultate altamente significative ($F = 27,80$; $p = 0,001$).

I risultati ottenuti sono giustificati dal fatto che il bacino del Nera è caratterizzato dalla presenza di comunità ittiche spesso monospecifiche, per la presenza della sola trota fario, specie che si aggiudica il monopolio delle risorse disponibili. Nel caso del Tevere, al contrario, si osserva la

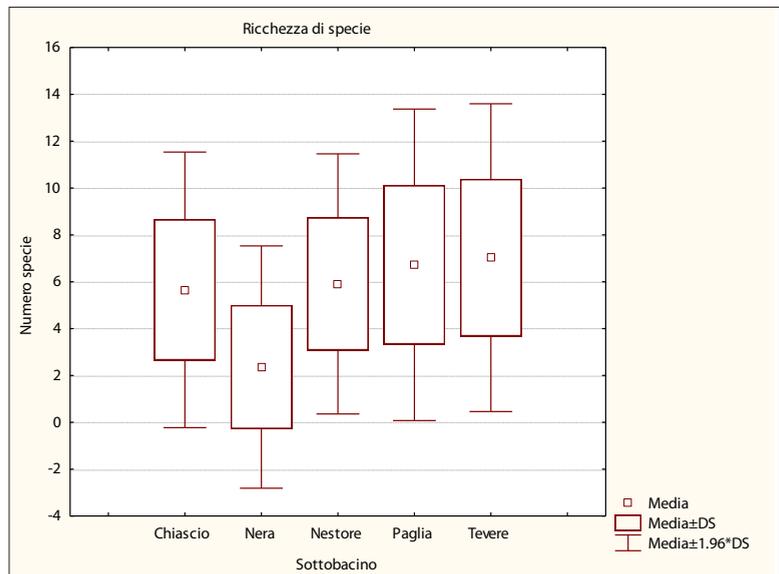


figura 3.52 - Plot box and whisker della ricchezza di specie disaggregata per sottobacino.

prevalenza di corsi d'acqua con vocazione ciprinicola, in cui le comunità ittiche risultano più ricche ed articolate: ciò è anche giustificato dal fatto che all'interno di tale sottobacino sono presenti i corsi d'acqua di maggiori dimensioni. È nota, infatti, la relazione che nelle acque correnti lega la ricchezza di specie al gradiente longitudinale (Marchetti, 1993). Tale ipotesi risulta pienamente confermata dai risultati mostrati nella tabella 3.30, in cui è riportata la statistica descrittiva della ricchezza di specie nel campione disaggregato per zona ittica: nella zona superiore della trota il

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Zona del barbo	193	6,90	3,00	1,00	15,00	7,00
Zona inferiore trota	26	3,77	1,70	1,00	7,00	3,50
Zona superiore trota	74	1,55	1,17	1,00	6,00	1,00
Zona della carpa e tinca	21	8,81	3,64	2,00	16,00	9,00

tabella 3.30 - Statistica descrittiva della ricchezza di specie nel campione disaggregato per zona ittica.

numero di specie è mediamente inferiore rispetto agli altri settori fluviali. La zona della carpa e tinca si caratterizza, al contrario, per i valori più elevati di tale parametro, mentre la zona inferiore della trota e la zona del barbo si collocano in una situazione intermedia (Fig. 3.53).

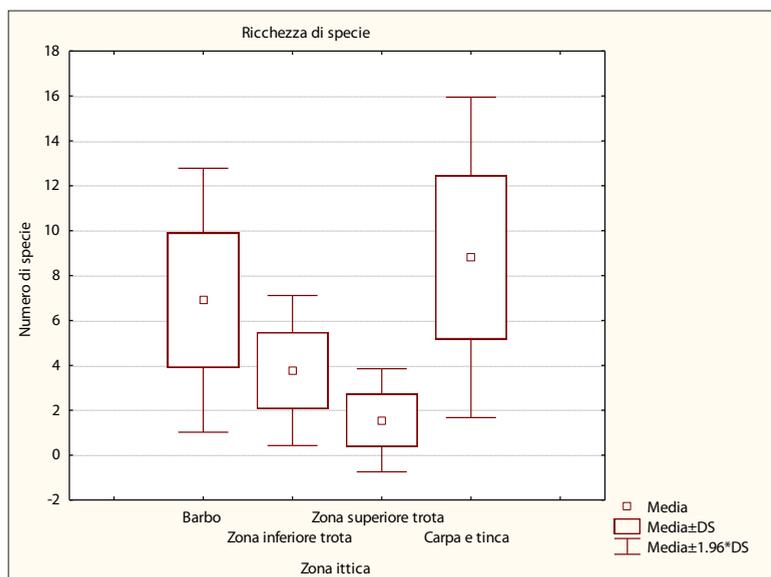


figura 3.53 - Plot box and whisker della ricchezza di specie disaggregata per zona ittica.

Le differenze osservate fra i valori medi sono risultate altamente significative all'analisi della varianza ($F = 87,77$; $p = 0,001$).

La relazione che lega l'andamento del numero di specie al decorso longitudinale di un ipotetico fiume che rappresenta la sintesi delle caratteristiche di tutti i corsi d'acqua indagati, è mostrata dal grafico della figura 3.54. In tale figura viene rappresentata la relazione che lega il primo fattore estratto dall'analisi delle componenti principali (PC1) con la ricchezza di specie: è evidente il progressivo aumento delle specie presenti andando da monte verso valle, con un incremento che è più rapido nei settori intermedi, mentre si riduce nei successivi tratti di pianura.

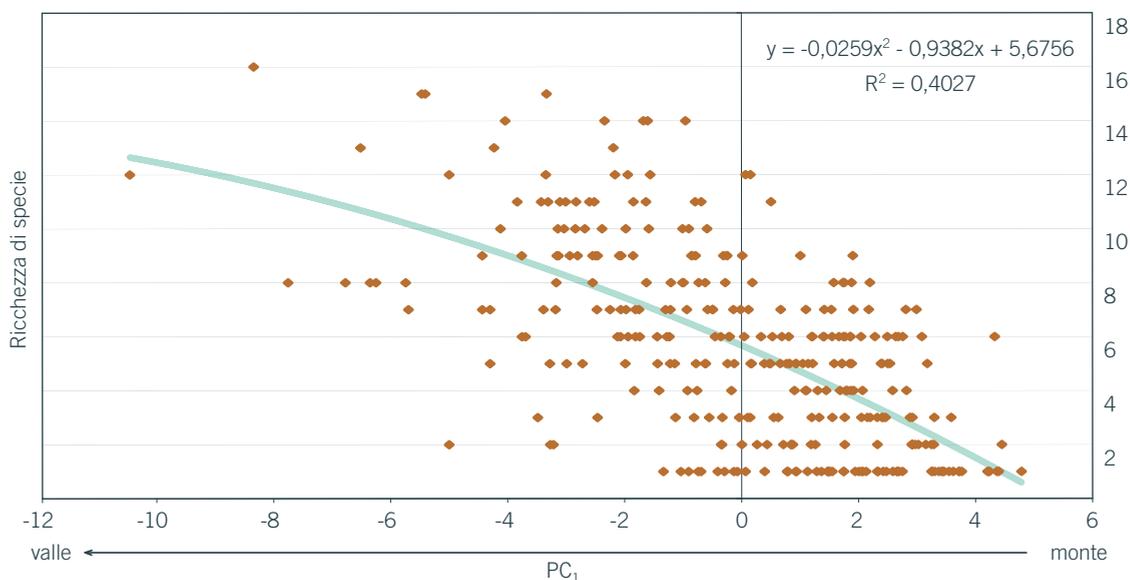


figura 3.54 - Regressione ricchezza di specie - PC1.

Nella tabella 3.31 vengono riportati i risultati relativi alla statistica descrittiva per i parametri relativi al numero di specie autoctone, esotiche, traslocate e trapiantate. Per il numero di specie autoctone i valori registrati

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Moda	Minimo	Massimo	Mediana
Numero specie autoctone	314	3,85	1,97	1,00	0,00	8,00	4,00
Numero specie esotiche	314	1,66	2,32	0,00	0,00	11,00	1,00
Numero specie traslocate	314	0,84	1,21	0,00	0,00	5,00	0,00
Numero specie trapiantate	314	0,82	1,47	0,00	0,00	9,00	0,00

tabella 3.31 - Statistica descrittiva del numero di specie suddivise per provenienza nel campione complessivo.

oscillano tra 0,00 e 8,00, mentre la media è pari a 3,85. Nel caso delle specie esotiche si rileva un intervallo di variazione più ampio, compreso tra 0,00 e 11,00 (media: 1,66). Relativamente al numero di specie traslocate, i valori variano da un minimo di 0,00 ad un massimo di 5,00; la media riscontrata non raggiunge l'unità (0,84). I valori registrati per il numero di specie trapiantate rientrano nell'intervallo compreso tra 0,00 e 9,00, mentre il valore medio si attesta su 0,82.

In generale non si osserva nessuna differenza statisticamente significativa al *t*-test ($p < 0,05$) nel numero di specie disaggregato per origine nel confronto fra le due fasi di campionamento (Tab. 3.32).

	N° Valori fase 1	Media fase 1	Deviazione Standard fase 1	N° Valori fase 2	Media fase 2	Deviazione Standard fase 2	<i>t</i>	<i>p</i>
N° specie autoctone	156	3,87	2,09	158	3,84	1,84	0,16	0,16
N° specie esotiche	156	1,63	2,26	158	1,69	2,38	0,24	0,81
N° specie traslocate	156	0,83	1,24	158	0,85	1,18	0,11	0,91
N° specie trapiantate	156	0,79	1,42	158	0,84	1,52	0,28	0,78

tabella 3.32 - Statistica descrittiva del numero di specie suddivise per provenienza nel campione disaggregato per fase di campionamento.

Il confronto fra sottobacini evidenzia la presenza di differenze statisticamente significative all'analisi della varianza (Tab. 3.33): il Nera si distingue dagli altri sottobacini per possedere i valori medi meno elevati in tutti i parametri analizzati, mentre il Paglia e il Tevere si caratterizzano per le medie più elevate relativamente al numero di specie esotiche complessive (media: 2,34), ma anche per quelle traslocate (medie rispettivamente pari a 1,21 ed 1,23) e trapiantate (medie rispettivamente pari a 1,13 ed 1,11).

Sottobacino	N° valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	4,36	2,12	1,00	8,00	5,00
Nera	75	1,83	1,37	1,00	6,00	1,00
Nestore	33	4,15	1,73	0,00	7,00	4,00
Paglia	47	4,43	1,54	1,00	8,00	4,00
Tevere	104	4,69	1,42	1,00	8,00	5,00

tabella 3.33 a - Statistica descrittiva del numero di specie AUTOCTONE suddivise per provenienza nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	N° valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	1,29	1,70	0,00	8,00	1,00
Nera	75	0,52	1,47	0,00	8,00	0,00
Nestore	33	1,76	2,18	0,00	10,00	1,00
Paglia	47	2,34	2,26	0,00	9,00	2,00
Tevere	104	2,34	2,79	0,00	11,00	1,00

tabella 3.33 b - Statistica descrittiva del numero di specie ESOTICHE suddivise per provenienza nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	N° valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	0,55	0,77	0,00	3,00	0,00
Nera	75	0,27	0,86	0,00	5,00	0,00
Nestore	33	0,88	1,02	0,00	3,00	1,00
Paglia	47	1,21	1,08	0,00	3,00	1,00
Tevere	104	1,23	1,50	0,00	5,00	1,00

tabella 3.33 c - Statistica descrittiva del numero di specie TRASLOCATE suddivise per provenienza nel campione disaggregato per sottobacino.

Sottobacino	N° valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	0,75	1,11	0,00	5,00	0,00
Nera	75	0,25	0,70	0,00	3,00	0,00
Nestore	33	0,88	1,45	0,00	7,00	0,00
Paglia	47	1,13	1,51	0,00	7,00	1,00
Tevere	104	1,11	1,88	0,00	9,00	0,00

tabella 3.33 d - Statistica descrittiva del numero di specie TRAPIANTATE suddivise per provenienza nel campione disaggregato per sottobacino.

Il Tevere risulta il bacino con il valore medio più elevato (4,69) anche per quanto riguarda il numero di specie autoctone (Figg. 3.55 - 58).

Le relazioni che legano il numero di specie autoctone ed il numero di specie esotiche all'evoluzione monte-valle di un ipotetico fiume rappresentativo del complesso delle condizioni presenti nel bacino umbro del

fiume Tevere, sono rappresentate nella figura 3.59. Le regressioni trovate sono pari a:

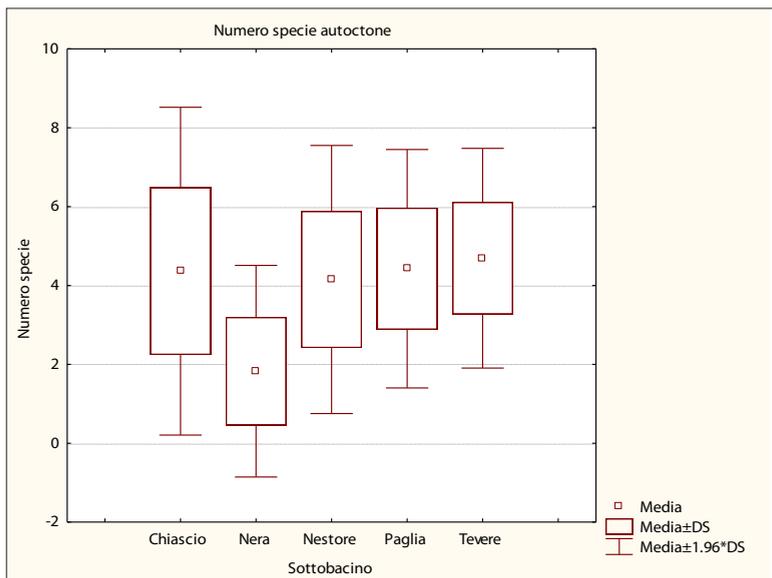


figura 3.55 - Plot box and whisker del numero di specie AUTOCTONE disaggregato per sottobacino.

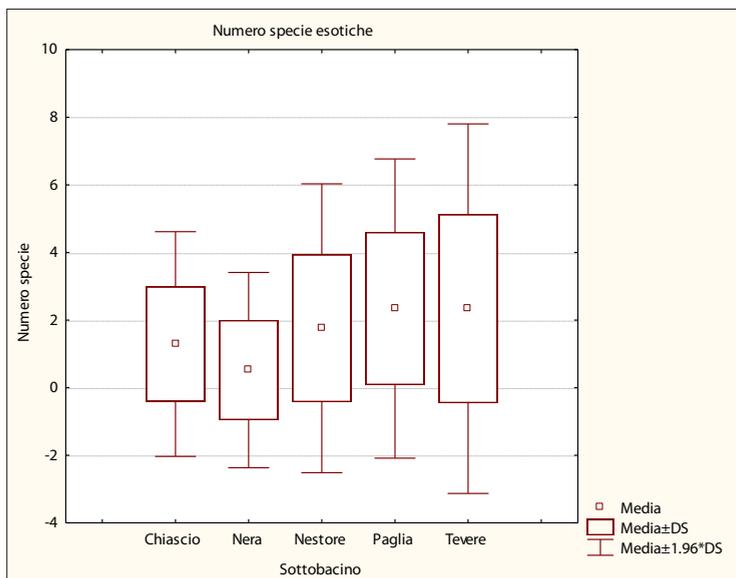


figura 3.56 - Plot box and whisker del numero di specie ESOTICHE disaggregato per sottobacino.

$y = 4,100 - 0,357 x - 0,039 x^2$ ($R^2 = 16,96\%$) per le specie autoctone e a:
 $y = 1,577 - 0,577 x + 0,013 x^2$ ($R^2 = 43,49\%$) per le specie esotiche.

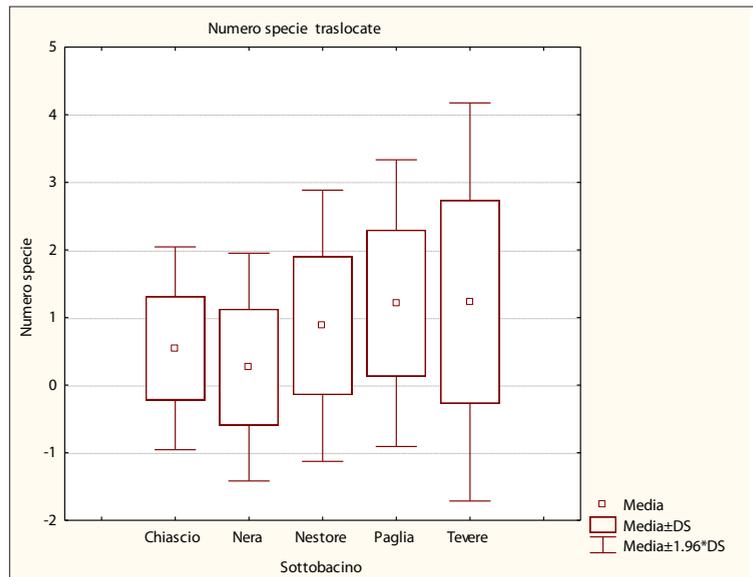


figura 3.57 - Plot box and whisker del numero di specie TRASLOCATE disaggregato per sottobacino.

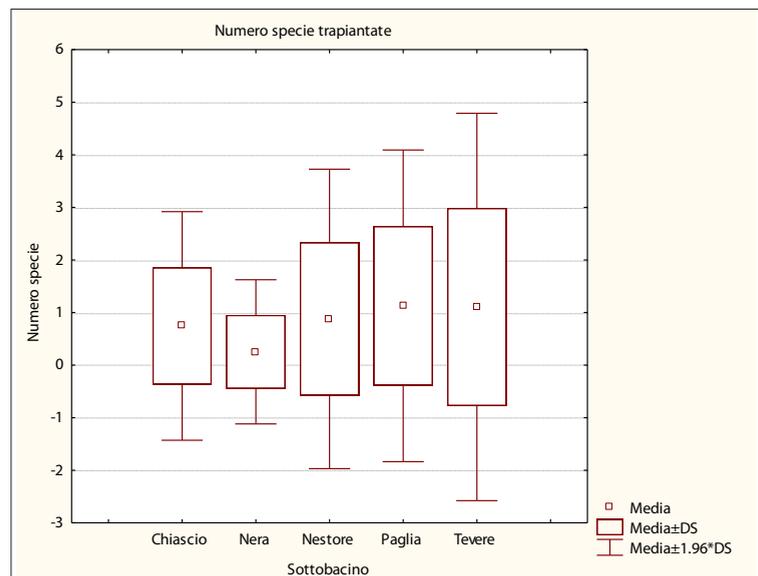


figura 3.58 - Plot box and whisker del numero di specie TRAPIANTATE disaggregato per sottobacino.

	F	P
Numero totale specie	27,80	0,00
Numero specie autoctone	40,20	0,00
Numero specie esotiche	8,97	0,00
Numero specie traslocate	9,87	0,00
Numero specie trapiantate	4,53	0,00

tabella 3.34 - Analisi della varianza nel confronto tra sottobacini.

Dall'analisi del grafico si evince che il numero di specie autoctone ha un andamento crescente lungo il gradiente longitudinale fino al tratto centrale dei corsi d'acqua e successivamente decresce nei tratti di pianura. Per quanto riguarda il numero di specie esotiche si osserva un andamento leggermente diverso in quanto in questo caso i valori sono progressivamente crescenti, procedendo verso valle.

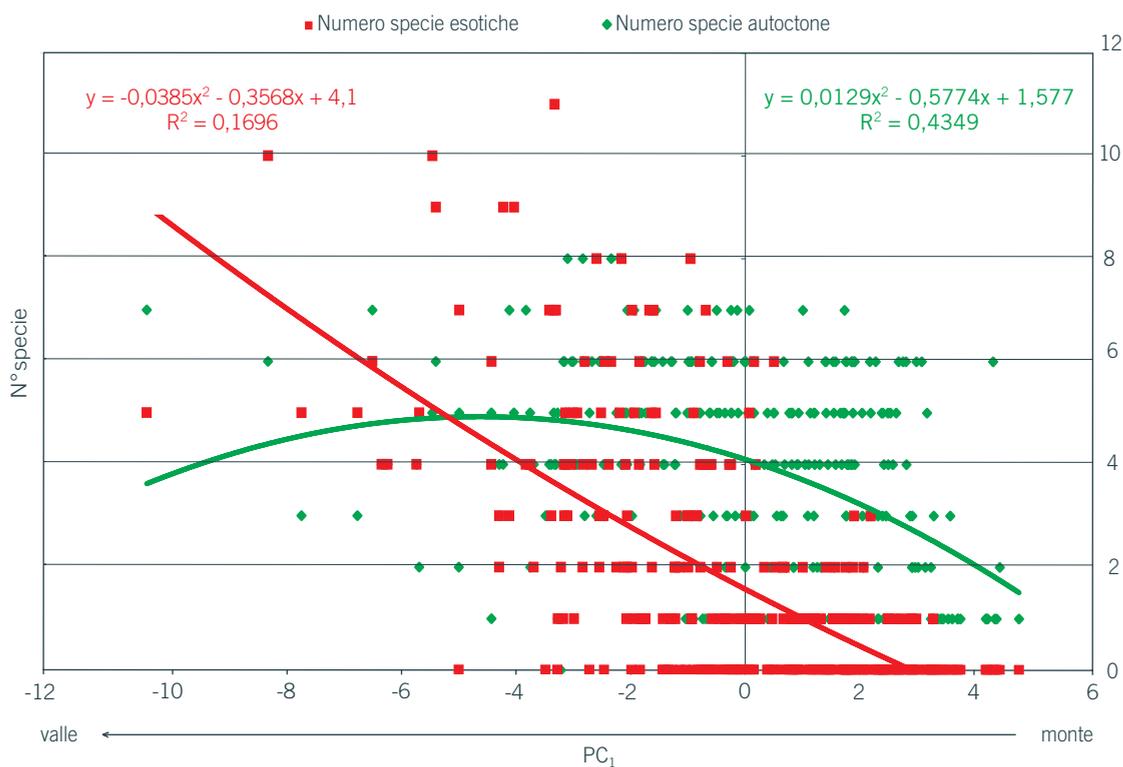


figura 3.59 - Regressioni numero specie AUTOCTONE - PC1 e numero specie ESOTICHE - PC1.

Le relazioni che legano il numero di specie trapiantate ed il numero di specie traslocate al gradiente longitudinale, sono rappresentate nella figura 3.60. In questo caso le regressioni trovate sono pari a:

$y = 0,862 - 0,267 x - 0,003 x^2$ ($R^2 = 29,90\%$) per le specie traslocate e a:
 $y = 0,715 - 0,311 x + 0,016 x^2$ ($R^2 = 35,40\%$) per le specie trapiantate.

L'analisi del grafico evidenzia come in entrambi i casi sia presente un andamento crescente del numero di specie lungo il gradiente longitudinale: si osserva anche come le specie traslocate si spingano leggermente più a monte delle specie trapiantate e come quest'ultime presentino una tendenza ad un incremento più rapido nei settori posti più a valle.

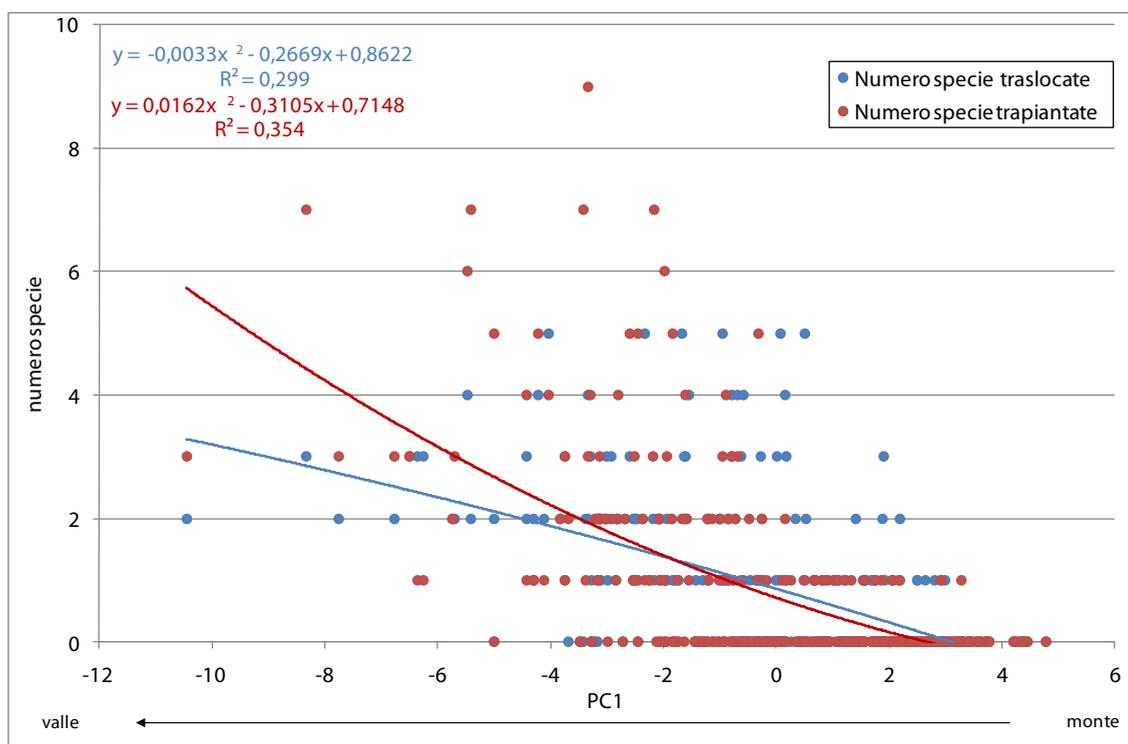


figura 3.60 - Regressioni numero specie TRASLOCATE - PC1 e numero specie TRAPIANTATE - PC1.

3.12 Indice di Integrità Qualitativa (IIQual)

Nella figura 3.61 viene riportata la carta relativa all'Indice di Integrità Qualitativa. Le situazioni di massima integrità delle comunità ittiche da un punto di vista qualitativo (IIQual: 1) si riscontrano: nei settori montani di molti affluenti del Tevere, limitatamente alla parte più settentrionale del bacino; nei tratti montani dei fiumi Chiascio, Topino e Nestore; a livello degli affluenti di sinistra del torrente Chiani; nel bacino del Nera a livello dell'asta principale e della maggior parte degli affluenti presenti nella porzione di bacino a monte della città di Terni. Si riscontrano soltanto due casi di forte alterazione qualitativa della comunità ittica (IIQual: 0-0,24), localizzati nell'asta del Tevere a valle della confluenza del torrente Puglia, e nel canale dell'Anguillara (bacino del Nestore). Situazioni di ambiente molto alterato (IIQual: 0,25-0,49) sono state rilevate lungo l'asta del Tevere (nella parte meridionale del bacino) e nei tratti centrali e terminali del

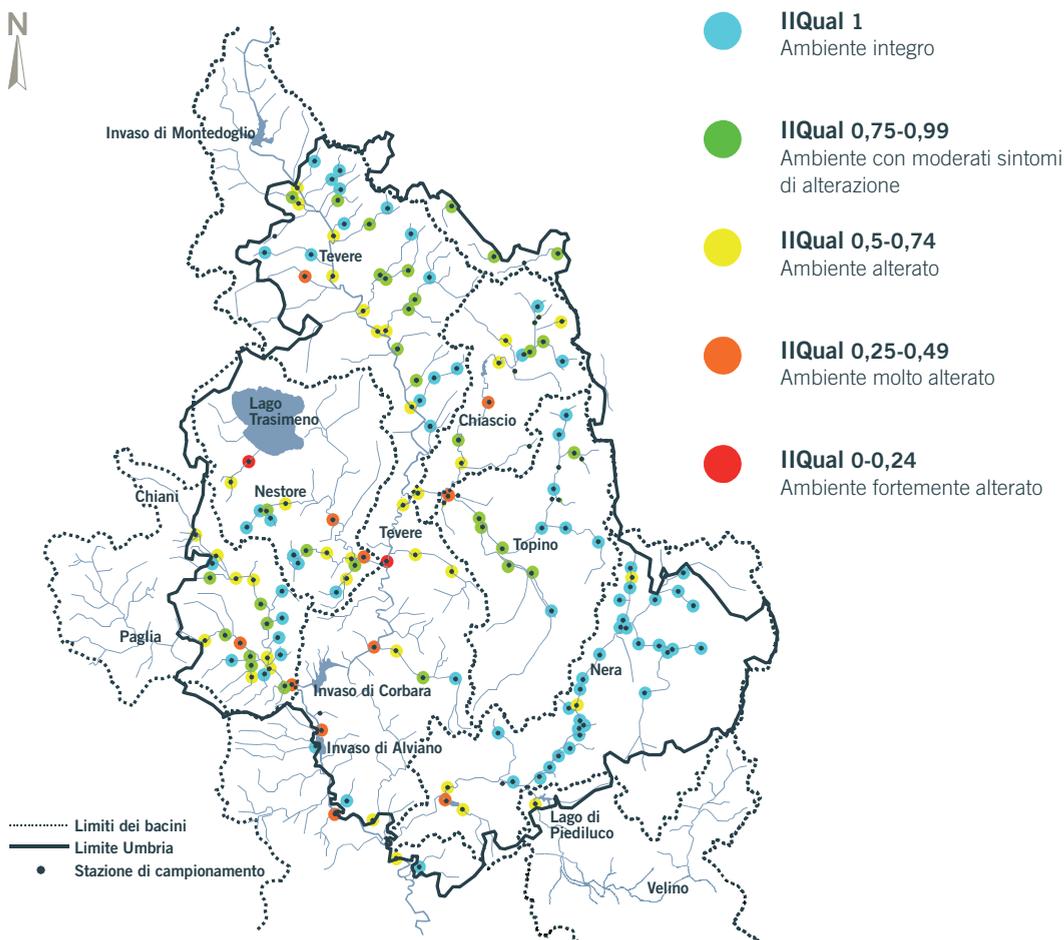


figura 3.61 - Rappresentazione cartografica IIQual fase 1

fiume Nestore e del fiume Paglia.

Nella tabella 3.35 sono riportati i risultati relativi alla statistica descrittiva per l'Indice di Integrità Qualitativa nel campione complessivo. I valori rientrano nell'intervallo compreso tra 0,00 e 1,00, con un valore medio pari a 0,80.

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Moda	Minimo	Massimo	Mediana
IIQual	314	0,80	0,23	1,00	0,00	1,00	0,86

tabella 3.35 - Statistica descrittiva dell'IIQual nel campione complessivo.

	N° Valori fase 1	Media fase 1	Deviazione Standard fase 1	N° Valori fase 2	Media fase 2	Deviazione Standard fase 2	t	p
IIQual	156	0,81	0,23	158	0,80	0,23	0,17	0,86

tabella 3.36 - Statistica descrittiva dell'IIQual nel campione disaggregato per fase di campionamento.

Dal confronto, effettuato mediante *t*-test, fra i valori medi dell'IIQual calcolati per le due fasi di campionamento, si osserva un modesto decremento dei valori nella fase 2 rispetto alla fase 1, senza che tuttavia tali differenze possano ritenersi significative ($t = 0,17$; $p = 0,86$) (Tab. 3.36). Il confronto fra sottobacini (Fig. 3.62) mostra al contrario la presenza di differenze più nette, con il Nera che si distingue dagli altri per la pre-

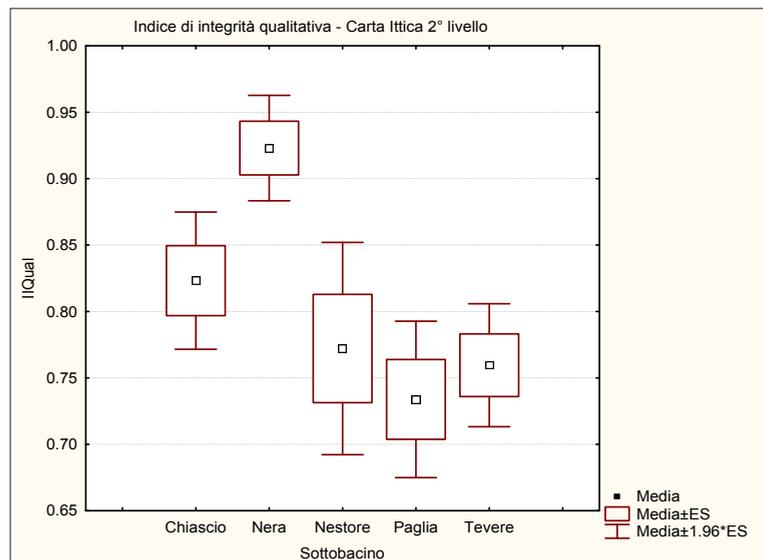


figura 3.62 - Plot box and whisker dell'IIQual nella Carta Ittica di II° livello.

senza di comunità più integre da un punto di vista qualitativo (media: 0,92) (Tab. 3.37), mentre il bacino del Paglia assume i valori più modesti (media: 0,73). Tali risultati sono giustificati ancora una volta dal fatto che la presenza delle specie esotiche appare fortemente vincolata al decorso longitudinale del fiume, per cui nel bacino del Nera, che è essenzialmente montano ed è caratterizzato dalla presenza di corsi d'acqua con vocazione salmonicola, le comunità ittiche risultano meno compromesse che altrove. Il Paglia, al contrario, appare maggiormente penalizzato dalla presenza di un elevato numero di specie ittiche esotiche, la cui presenza fa abbassare il valore medio dell'IIQual. All'analisi della varianza le differenze registrate nel confronto fra i valori medi dell'IIQual sono risultate altamente significative ($F = 8,64$; $p = 0,001$).

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Chiascio	55	0,82	0,20	0,27	1,00	0,86
Nera	75	0,92	0,18	0,36	1,00	1,00
Nestore	33	0,75	0,26	0,00	1,00	0,80
Paglia	47	0,73	0,21	0,33	1,00	0,75
Tevere	104	0,76	0,24	0,14	1,00	0,83

tabella 3.37 - Statistica descrittiva dell'IIQual nel campione disaggregato per sottobacino.

L'IIQual medio calcolato per la Carta Ittica di 1° livello (anni 1989-1994) (Tab. 3.38) è risultato pari a 0,84 e quindi superiore al livello attuale;

	N° Valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
IIQual	228	0,84	0,22	0,13	1,00	0,86

tabella 3.38 - Statistica descrittiva dell'IIQual nel campione della Carta Ittica di I livello.

inoltre il confronto per i singoli sottobacini evidenzia come il grado di compromissione delle comunità ittiche sia aumentato ovunque, ad eccezione del bacino del fiume Nestore (Fig. 3.63), in cui comunque era già molto elevato anche in passato. Le differenze osservate fra i valori medi dell'IIQual nel campione disaggregato per sottobacino e periodo di campionamento risultano altamente significative ($F = 24,183$; $p = 0,006$) all'analisi della varianza.

La relazione esistente tra l'indice IIQual e la prima componente dell'analisi delle componenti principali, che rappresenta il gradiente longitudinale,

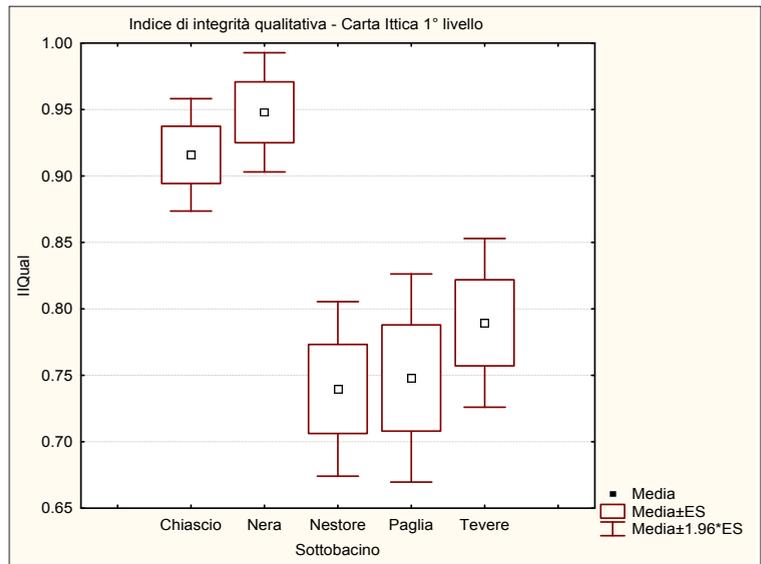


figura 3.63 ↑ Plot box and whisker dell'IIQual nella Carta Ittica di I° livello.

permette di trarre ulteriori indicazioni. Il grafico della figura 3.64 mostra come l'indice IIQual assuma un andamento decrescente lungo il gra-

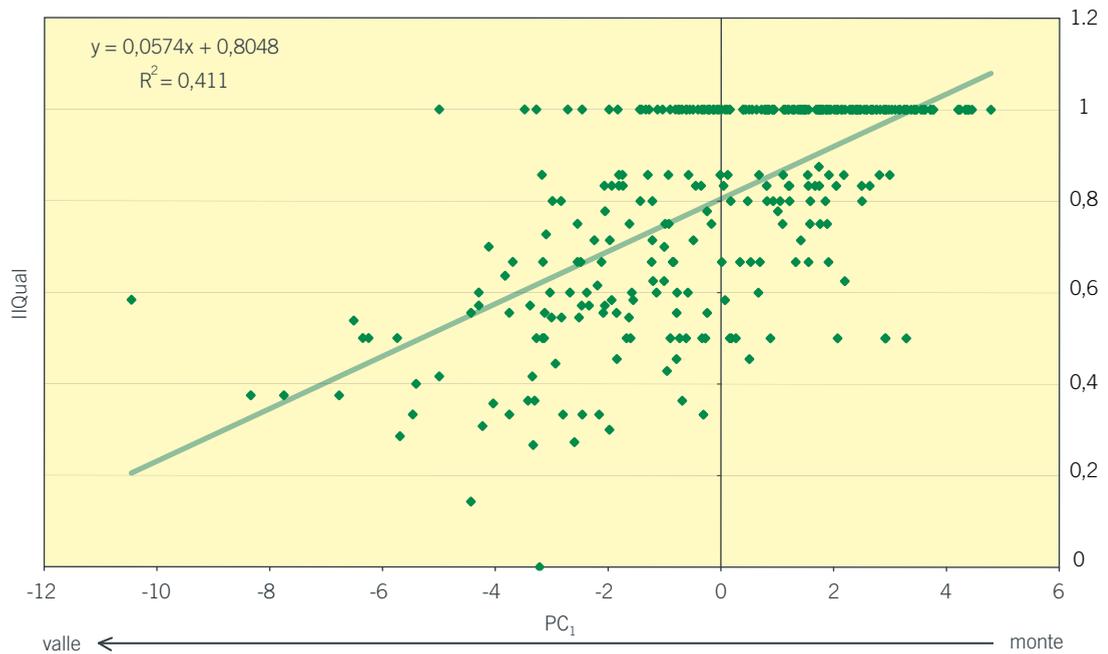


figura 3.64 - Regressioni IIQual - PC1

diente longitudinale dei corsi d'acqua. Il fenomeno è legato al maggior numero di specie esotiche, rispetto a quelle autoctone, presenti nei tratti fluviali situati più a valle.

Nella tabella 3.39 sono riportati i risultati relativi alla statistica descrittiva dei valori dell'IQqual disaggregati per zona ittica. All'analisi della varianza le differenze fra i valori medi registrati nelle diverse zone ittiche sono risultate altamente significative ($F = 49,69$; $p = 0,001$). Ancora una volta procedendo dalla zona superiore della trota fino alla zona della carpa e tinca, la composizione della comunità ittica subisce un progressivo deterioramento, causato dal sempre maggiore prevalere delle specie esotiche; le differenze risultano significative nel confronto dei valori medi. Tali risultati confermano quanto già precedentemente osservato a proposito dei cambiamenti che avvengono nella composizione delle comunità ittiche lungo il gradiente longitudinale.

	Numero Valori	Media	Deviazione Standard	Minimo	Massimo	Mediana
Zona del barbo	193	0,77	0,20	0,27	1,00	0,80
Zona inferiore trota	26	0,91	0,16	0,50	1,00	1,00
Zona superiore trota	74	0,96	0,13	0,50	1,00	1,00
Zona della carpa e tinca	21	0,43	0,23	0,00	1,00	0,36

tabella 3.39 - Statistica descrittiva dell'IQqual nel campione disaggregato per zona ittica.

4.0 | Conclusioni

Dall'insieme delle analisi condotte appare quindi evidente che nel bacino umbro del fiume Tevere le situazioni più compromesse da un punto di vista qualitativo riguardano i settori fluviali di pianura, evidenziando ancora una volta un legame tra qualità dell'acqua e stato delle comunità: le specie esotiche si avvantaggiano di una situazione di degrado ambientale in quanto generalmente contraddistinte da un'ampia valenza ecologica e da una maggiore tolleranza nei confronti dell'inquinamento rispetto alle specie indigene.

Le specie trapiantate sono rappresentate da forme limnofile generalmente molto adattabili ed in grado pertanto di vivere anche in condizioni ambientali difficili; infatti le caratteristiche che permettono ad una specie ittica di essere allevata con successo sono molto spesso le stesse che le permettono di adattarsi ad ambienti degradati (Rosecchi *et alii*, 1997; McKinney e Lockwood, 1999). Le specie traslocate, al contrario, dimostrano di adattarsi meglio anche alle condizioni ambientali presenti nei settori pedemontani dell'area indagata. In molti casi si tratta di specie provenienti da ambienti con caratteristiche molto simili a quelle dei corsi d'acqua in cui vengono rilasciate ed in grado di adattarsi più facilmente alle nuove condizioni. Si tratta, inoltre, molto spesso di forme reofile che mostrano una notevole capacità di propagazione anche controcorrente ed in grado quindi di colonizzare anche i tratti superiori dei fiumi e i più piccoli corsi d'acqua. Non è escluso che molte di queste specie, la cui introduzione è molto recente (gobione, ghiozzo padano), non abbiano ancora raggiunto nell'area indagata la loro massima diffusione. È possibile quindi che in futuro si possa assistere ad un ulteriore e progressivo ampliamento del loro areale, analogamente a quanto già avvenuto per la lasca e l'alborella, che sono alcune delle specie traslocate di più vecchia introduzione. La letteratura sull'impatto delle introduzioni di specie esotiche comprende numerosi esempi di estinzioni drammatiche di specie autoctone (Zerunian, 2002). Tuttavia molto più spesso la relazione di causa-effetto resta soltanto ipotetica, a causa delle scarse informazioni sullo stato delle specie autoctone precedente all'introduzione. Inoltre la perturbazione degli habitat, che spesso si sovrappone alle introduzioni, rende difficile l'interpretazione di tutti i cambiamenti intervenuti nelle popolazioni naturali (Rosecchi, 1997). Il confronto fra le specie presenti attualmente nel bacino del fiume Tevere rispetto a quanto indicato nel passato (Silvestri, 1892; Anonimo, 1929) indica che le sole specie estinte sono rappresentate dalle forme migratrici anadrome. In questi casi, tuttavia, le cause principali di tali estinzioni possono essere sicuramente

attribuite alle modificazioni nell'habitat fluviale e soprattutto alla presenza di ostacoli che impediscono ai riproduttori di compiere la fase genetica delle loro migrazioni (Sommani, 1967). Silvestri (1892) riporta che lo storione (*Acipenser sturio* L.) risaliva il corso principale del fiume Tevere oltre la confluenza con il fiume Paglia, mentre la lampreda (*Lampetra fluviatilis* L.) giungeva numerosa fino agli affluenti del fiume Topino. Le aree di frega della cheppia (*Alosa fallax* Lacépède) venivano indicate da D'Ancona (1929) nel fiume Paglia e nel Tevere. A livello locale, tuttavia, è indubbio che numerose popolazioni di specie indigene sono drammaticamente diminuite e in alcuni casi giunte all'estinzione. Informazioni più certe al riguardo sono note per i laghi: la rovella è recentemente scomparsa dal lago Trasimeno (Bianco, 1990; Mearelli *et alii*, 1990) e dal lago di Piediluco, in coincidenza con la comparsa del triotto. Più scarse e frammentarie, le notizie sulla distribuzione e l'abbondanza nel passato delle specie ittiche nelle acque correnti dell'Umbria non permettono di trarre conclusioni certe. I dati raccolti nel corso di questa ricerca, tuttavia, rappresentano la premessa fondamentale per seguire l'evoluzione delle abbondanze ittiche nel tempo. I fiumi, inoltre, rappresentano ambienti molto più variabili rispetto alle acque stagnanti ed è probabile che l'estinzione sia a lungo termine resa più difficile dalla ricolonizzazione dai siti limitrofi (Belkessam *et alii*, 1997); il mancato raggiungimento di un equilibrio favorisce la coesistenza di specie anche in presenza di un numero ridotto di nicchie ecologiche a disposizione dalla fauna ittica (teoria del non equilibrio) (Hutchinson, 1961).

L'assenza di talune specie ittiche indigene da alcuni sottobacini sembra più dovuta a cause ambientali o a fattori storici, piuttosto che a fenomeni di esclusione competitiva con le specie introdotte. Il ghiozzo di ruscello non è mai stato segnalato neanche in passato nel fiume Nera (Silvestri, 1892); l'assenza dello spinarello dai sottobacini del Nestore e Paglia sembra più che altro causata dalla mancanza di habitat idonei, così come quella del luccio nel Nestore, Paglia e Chiascio. La presenza dello scazzone nei soli sottobacini della sinistra idrografica del fiume Tevere (Chiascio e Nera) appare giustificata da una espansione dell'areale attraverso collegamenti avvenuti nel passato con i corsi d'acqua dello spartiacque adriatico (Cattuto *et alii*, 1988), dove la specie è maggiormente diffusa (Bianco, 1993). Il grado di compromissione delle comunità ittiche non è omogeneo per tutto il bacino del Tevere, ma sembra strettamente legato al gradiente longitudinale. I risultati della ricerca dimostrano che soprattutto nei settori fluviali di pianura l'azione combinata di inquinamento e introduzione di specie esotiche ha comportato un notevole impatto sulle popolazioni delle specie indigene, causando una progressiva diminuzione della componente autoctona nella comunità ittica. L'indice di integrità qualitativa, infatti, appare particolarmente basso nella parte terminale dei maggiori corsi d'acqua dove generalmente si assiste, oltre alla normale

evoluzione morfologica legata al gradiente longitudinale, ad uno scadimento della qualità dell'acqua. Questi tratti fluviali, originariamente caratterizzati dalla presenza originaria dei ciprinidi limnofili (tinca, scardola) e predatori (luccio e anguilla), infatti, si contraddistinguono attualmente per la presenza del maggior numero di specie introdotte. Al contrario l'indice di integrità qualitativa risulta più elevato nei settori fluviali montani e pedemontani, caratteristici generalmente dei corsi d'acqua di piccole e medie dimensioni con una fauna ittica composta da specie della zona a trota e della zona dei ciprinidi reofili. La trota fario risulta l'unica specie presente in un numero molto elevato di corsi d'acqua, mentre la comunità dei ciprinidi reofili appare composta da un'associazione costituita da barbo tiberino, vairone, cavedano comune, cavedano etrusco, rovello e ghiozzo di ruscello. I risultati della ricerca non permettono di distinguere se la rarefazione delle specie indigene nei settori fluviali di valle sia maggiormente dovuta ai cambiamenti ambientali connessi al gradiente longitudinale (inquinamento, diminuzione corrente, variazioni termiche etc.) o alle interazioni negative con le specie introdotte. Le conseguenze della presenza delle specie esotiche potrebbero essere mitigate in quanto i corsi d'acqua dell'Europa occidentale si contraddistinguono per la presenza di comunità ittiche generalmente non sature di specie, in cui quindi è possibile per le specie introdotte occupare nicchie non utilizzate (Belkessam *et alii*, 1997). Questo appare particolarmente vero per l'Italia centro-meridionale dove la ricchezza di specie è particolarmente bassa (Bianco, 1993). Tuttavia, alcune delle specie di più recente introduzione nel bacino umbro del fiume Tevere ed in particolare alcune specie traslocate, rappresentano forme vicarianti delle specie indigene: in questo caso le loro caratteristiche ecologiche sono molto simili e quindi la probabilità che si instaurino forti fenomeni di tipo competitivo è elevata. In questo caso non si può nemmeno escludere la possibilità che l'esito finale di tali interazioni sia rappresentato dall'estinzione locale delle specie indigene. Le informazioni raccolte nel corso della ricerca costituiscono la premessa indispensabile per intraprendere le politiche gestionali fondamentali per la conservazione delle specie più minacciate e tentare la riabilitazione degli ecosistemi acquatici. I risultati ottenuti suggeriscono che lo stato di alterazione delle comunità ittiche presenti nel bacino umbro del fiume Tevere varia in funzione delle caratteristiche dei settori fluviali indagati. I piccoli corsi d'acqua localizzati nel settore pedemontano del bacino del fiume Tevere costituiscono una zona rifugio per le comunità ittiche indigene, che in molti casi si presentano ancora inalterate: pertanto tali ambienti possono giocare un ruolo fondamentale per il mantenimento della biodiversità ed andrebbero fortemente preservati. Nei tratti fluviali di pianura, dove la situazione appare molto più compromessa, le pratiche gestionali dovrebbero essere maggiormente indirizzate al controllo delle specie esotiche già esistenti e al risanamento delle condizioni ambientali,

avendo come obiettivi principali il miglioramento della qualità dell'acqua e il ripristino degli habitat naturali.

5.0 | Bibliografia

- Anderson R.O. e Neumann R.M., 1996. Length, weight and associated structural indices. In Murphy B.R. e Willis D.W. (editors): *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, 732 pp.
- Anonimo, 1929. *Catalogo delle collezioni di minerali, di rocce, di fossili, di oggetti etnografici, ecc. formanti il Museo di scienze Naturali già costituito dal Conte Toni Francesco di Spoleto*. Tipografia dell'Umbria, Spoleto.
- A.P.H.A., A.W.W.A. e W.P.C.F., 1989. *Standard methods for the examination of water and wast water*. American Public Health Association, Washington.
- Bagenal T.B., 1978. *Methods for assessment of fish production in fresh waters*. Ed. Blackwell, London, 365 pp.
- Belkesam D., Oberdorff T. e Hugueny B., 1997. Unsaturated fish assemblages in rivers of north-western France: potential consequences for species introductions. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **344-345**, 193-204.
- Bianco P.G., 1983. *Leuciscus lucumonis* n. sp. from Italy (*Pisces: Cyprinidae*). *Senckenbergiana biol.*, **4** (1/3), 81-87.
- Bianco P.G., 1990. Proposta di impiego di indici e coefficienti per la valutazione dello stato di degrado dell'ittiofauna autoctona delle acque dolci. *Rivista di Idrobiologia*, **29** (1), 130-149.
- Bianco P.G., 1993. L'ittiofauna continentale dell'Appennino umbro-marchigiano, barriera semipermeabile allo scambio di componenti primarie tra gli opposti versanti dell'Italia centrale. *Biogeographia*, **17**, 427-485.
- Bianco P.G., 1995. A revision of the Italian *Barbus* species (Cypriniformes: Cyprinidae). *Ichthyological Exploration of Freshwater*, **6** (4), 305-324.
- Bianco P.G. e Keitmaier V., 2001. Anthropogenic changes in the freshwater fish fauna of Italy, with reference to the central region and *Barbus graellsii*, a newly established alien species of Iberian origin. *Journal of Fish Biology*, **59** (Suppl A): 190-208.
- Bohlen J., 1997. Differences in the clutch size, egg size and larval pigmentation between *Cobitis taenia* and *C. bilineata* (Cobitidae). *Nine international congress of European Ichthyologist*, Trieste.
- Bohlen J. e Rab P., 2001. Species- and hybrid richness in spined loaches (genus *Cobitis* L.) with a checklist of the species and hybrids of Europe. *Journal of Fish Biology*, **59A**, 75-89.
- Brown M.L. e Austen D.J., 1996. Data management and statistical techniques. In Murphy B. R. e Willis D.W. (editors): *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, 732 pp.
- Carosi A., Corboli M., Ghetti L., Pace R., Pedicillo G., Mearelli M. e Lorenzoni M., 2004. Stato e conservazione delle comunità ittiche del Fiume Tevere in Umbria. *Atti S.It.E.*, **28**.
- Carosi A., Pedicillo G., Bicchi A., Angeli V., Ghetti L. e Lorenzoni M., 2006. Distribuzione e abbondanza delle popolazioni di trota fario (*Salmo trutta* L.) nel bacino del fiume Tevere in Umbria. Torino, *Atti S.It.E.*, **29**. Available at: <http://www.ecologia.it/congressi/XV/>
- Carosi A., Ghetti L., Pedicillo G. e Lorenzoni M., 2007. Distribuzione ed abbondanza di *Barbus tyberinus* Bonaparte, 1839 nel bacino umbro del fiume Tevere. *Atti S.It.E.*, **30**, Available at: <http://www.ecologia.it/congressi/XVI/articles/carosi-310.pdf>

- Casselman J.M., 1967. *Age and growth of Northern pike (Esox lucius Linnaeus) of the Upper St. Lawrence River*. M.S. University of Guelph, 219 pp.
- Cattuto C., Cencetti C. e Gregori, L., 1988. Lo studio dei corsi d'acqua minori dell'Italia Appenninica come mezzo di indagine sulla tettonica del Plio/Pleistocene. *Bollettino del Museo di Storia Naturale della Lunigiana*, **6**, 7 - 10.
- Cowx I.G., 1997. L'introduzione d'espèces de poissons dans les eaux douces européennes: succès économiques ou désastre écologique? *Bulletin Française de la Pêche et de la Pisciculture*, **344-345**, 57-77.
- Dahl K., 1909. The assessment of age and growth in fish. *Int. Revue der gesamt. Hydrobiol. und Hydrogr.*, **2**, 758-769.
- D'Ancona U., 1927. Notizie sulla biologia dell'Alosa finta (Cuv.) del bacino del Tevere. *Notas y Resúmenes*, Ser. II, **19**, 1-19.
- Delmastro G.B., 1986. Problemi relativi all'introduzione di specie esotiche di pesci nelle acque dolci italiane. *Quaderni ETP*, **14**, 85-96.
- De Vries D.R. e Frie R.V. (1996). *Determination of age and growth*. In Murphy B. R. e Willis D.W. (editors): *Fisheries Techniques*. American Fisheries Society, Bethesda, 732 pp.
- Elvira B., 1995. Conservation status of endemic fresh-water fish. *Biological Conservation*, **72**, 129-136.
- Fornieris G., Paradisi S. e Specchi M., 1990. *Pesci d'acqua dolce*. Carlo Lorenzini Editore, Udine, 214 pp.
- Fowler J.E. e Cohen L., 1993. *Statistica per ornitologi e naturalisti*. Franco Muzzio Editore, Padova, pp. 240.
- Gandolfi G., Zerunian s., Torricelli P. e Marconato A., 1991. *I pesci delle acque interne italiane*. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, 616 pp.
- Ghetti P.F., 1986. *I macroinvertebrati nell'analisi di qualità dei corsi d'acqua*. Bertelli, Trento, 105 pp.
- Godinho F.N., Ferreira M.T., Portugal e Castro M.I., 1998. Fish assemblage composition in relation to environmental gradients in Portuguese reservoir. *Aquatic Living Resources*, **11** (5), 325-334.
- Godinho F.N. e Ferreira M.T., 2000, Composition of endemic fish assemblages in relation to exotic species and river regulation in a temperate stream. *Biological Invasions*, **2**, 231-244.
- Holcik J., 1991. Fish introduction in Europe with particular reference to its Central and eastern part. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **48** (1), 13-23.
- Huet M., 1949. Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles dans les eaux courantes. *Revue Suisse d'Hydrologie*, **11**, 332-351.
- Huet M., 1954. Biologie, profils en long et en traverse des eaux courantes. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, **175**, 41-53.
- Huet M., 1962. Influence du courant sur la distribution des poissons dans les eaux courantes. *Revue Suisse d'Hydrologie*, **24**, 412-432.
- Hutchinson G.E., (1961). The paradox of the plankton. *American Naturalist*, 95: 137 - 145.
- Keith P. e Allardi J., 1997. Bilan des introductions de poissons d'eau douce en France. *Bulletin Française de la Pêche et de la Pisciculture*, **344-345**, 181-191.

- Kottelat M., Freyhof J., 2007. *Handbook of European Freshwater Fishes*. Cornol, Switzerland, 646 pp..
- Lagler K.E, Bardach J.E. e Miller R.R., 1962. *Ichthyology, the study of fishes*. Wiley and sons, New York, 545 pp.
- La Porta G., Lorenzoni M., Carosi A. e Mearelli M., 2001. Carta ittica della regione Umbria: aggiornamenti e gestione dei dati. *Quaderni E.T.P.*, **30**, 111-114.
- Lorenzoni M., 2003. *Fauna Ittica*. In: Relazione sullo stato dell'ambiente della Comunità Montana dei Monti Martani e del Serano, Comunità Montana dei Monti Martani e del Serano, Spoleto, 488 pp.
- Lorenzoni M., Carosi A., Giovinazzo G. e Mearelli M., 1997. Presenza e distribuzione di specie ittiche esotiche (Pisces, Osteichthyes) nel bacino del F.Tevere, dalle sorgenti alla confluenza con il F.Nera. *Atti della Società italiana di Scienze Naturali e Museo Civico di Storia Naturale di Milano*, **137** (1-2), 47-63.
- Lorenzoni M., Ghetti L. e Mearelli M., 2006. Native and exotic fish species in the Tiber River watershed (Umbria - Italy) and their relationship to the longitudinal gradient. *Bulletin Française de la Pêche et de la Pisciculture*, **382**, 19-44.
- Lorenzoni M., Mearelli M., Carosi A., Giovinazzo G., Petesse M.L., Santucci A. e Bazzurro F., 1994. Indagini sulla rete idrica dell'alto bacino del F.Tevere (Italia centrale): Comunità ittiche. *Rivista di Idrobiologia*, **33** (1/3), 228-275.
- Lorenzoni M., Pedicillo, Carosi A., Tardiolo D., Viali P., Baldini G., Ghetti L., Zeetti A., Natali M., Biscaro Parrini A., Dolciami R., Mezzetti A., Burchia A., Brizio M., Lancioni T. e Uzzoli C., 2007. *Carta Ittica Regionale. Bacino del Fiume Tevere*. Regione dell'Umbria, Perugia, 337 pp.
- Marchetti R., 1993. *Ecologia applicata*. CittàStudi, Milano, 1055 pp.
- Marconato A. 1991. Metodi per lo studio della struttura delle popolazioni ittiche delle acque interne: la densità di popolazione. *Ist. Naz. di Biologia della Selvaggina, Supplemento alle ricerche di biologia della selvaggina*, **16**, 7-18.
- Maunder M.N. e Punt A.E., 2004. Standardizing catch and effort data: a review of recent approach. *Fisheries Research*, **70**, 141-159.
- McKinney M.L. e Lockwood J. L., 1999. Biotic homogenization: a few winners replacing many losers in the next mass extinction. *Trend in Ecology and Evolution*, **14** (11), 450-453.
- Mearelli M., Mantilacci L. e Lorenzoni M., 1990. Il lago Trasimeno. *Rivista di Idrobiologia*, **29** (1), 353-390.
- Mearelli M., Giovinazzo G., Lorenzoni M. e Costantini L., 1991. Contributo alla Carta Ittica della Regione Umbria: caratterizzazione ambientale e comunità ittiche di alcuni bacini del Tevere umbro. *Atti IV° Convegno AllAD*, Riva del Garda, Trento, 259-270.
- Mearelli M., Lorenzoni M., Giovinazzo G. e Petesse M.L., 1994. Carta ittica della regione Umbria: metodologie adottate e risultati. *Rivista di Idrobiologia*, **33** (1/3), 129-149.
- Mearelli M., Giovinazzo G., Lorenzoni M., Petesse M.L. e Carosi A., 1995. Zonazione ittica dei corsi d'acqua del bacino del fiume Tevere. *SITE Atti*, **16**, 669-671.
- Mearelli M. Lorenzoni M., Petesse M.L., Giovinazzo G., Carosi A., Cingolani L., Ghetti L., Montilli G., Mossone M., Nelli P. e Uzzoli C., 1996. *Carta Ittica della Regione Umbria: bacino del fiume Tevere*. Regione dell'Umbria, Perugia, 238 pp.

Mearelli M., Lorenzoni M., Carosi A., Corboli M., Doerr A.J.M., Giovinazzo G., La Porta G., Michele M., Pedicillo G., Natali M., Bonavia M., Dolciami R., Mezzetti A. e Biscaro Parrini A., 2002. *Progetto pilota per la modernizzazione e la razionalizzazione della pesca nel lago Trasimeno. Ricerca per la messa a punto di un protocollo per l'uso della pesca elettrica*. Provincia di Perugia, Perugia, 95 pp.

Moran P.A.P., 1951. A mathematical theory of animal trapping. *Biometrika*, **38**, 307-311.

Moretti G.P. e Gianotti F.S., 1966. I pesci e la pesca nel Lago Trasimeno. Grafica Salvi, Perugia, 97 pp.

Ombredane D. e Richard A., 1990. Determination de la zone optimale de prélèvement d'écailles chez les smolts de truite de mer (*Salmo trutta* L.). *Bulletin Française de la Pêche et de la Pisciculture*, **319**, 224-238.

Rosecchi E., Poizat G. e Crivelli A.J., 1997. Introductions de poissons d'eau douce et de crevisses en Camargue: historique, origines et modifications des peuplements. *Bulletin Française de la Pêche et de la Pisciculture*, **344-345**, 221-232.

Seber G.A.F. e Le Cren E.D., 1967. Estimating population parameters from catches large relative to the population. *Journal of Animal Ecology*, **36**, 631-643.

Shafland P.L. e Lewis W.M., 1984. Terminology associated with introduced organism. *Fisheries*, **9**, 17-18.

Silvestri F., 1892. *I pesci dell'Umbria*. Tipografia Boncompagni, Perugia.

Sommani E., 1967. Variazioni apportate all'ittiofauna italiana dall'attività dell'uomo. *Bollettino di Pesca, Piscicoltura e Idrobiologia*, **22** (2), 149-166.

Ter Braak C.J.F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, **67**, 1167-1179.

Tukey J.W. 1977. *Exploratory data analysis*. Addison Wesley Publishing Co., Massachusetts, 688 pp.

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R. e Cushing C.E., 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **37**, 130-137.

Verneaux J., 1973. *Cours d'eau de Franche-Comté (Massif du Jura)-recherches écologiques sur le réseau hydrographique du Doubs*. Essai de biotypologie. Thèse Doct. Sci. nat., Univ. Besançon, 257 pp.

Zerunian S., 2002. Condannati all'estinzione? *Biodiversità, biologia, minacce strategie di conservazione dei pesci d'acqua dolce indigeni in Italia*. Edagricole, Bologna, 220 pp.

Zerunian S., 2003. *Piano d'azione generale per la conservazione dei Pesci d'acqua dolce italiani*. Quaderni di conservazione della Natura, 17, Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio, Roma, 123 pp.

Zippin C., 1956. An evaluation of the removal method of estimating animal populations. *Biometrics*, **12**, 163-189.

Zippin C., 1958. The removal method of population estimation. *Journal of Wildlife Management*, **22**, 82-90.

