



Facoltà di Scienze Matematiche, Fisiche e Naturali

Dottorato in Biologia Vegetale XIX Ciclo

Settore Disciplinare Bio/07

Dipartimento di Ecologia

Tesi di Dottorato

**VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DEL FIUME CRATI
SULLA BASE DELLE COMUNITÀ DI DIATOMEE**

TUTOR

Dott.ssa Luana GALLO

CO-TUTOR

Dott. M. Battezzore

COORDINATORE

Prof.ssa A. M. INNOCENTI

DOTTORANDO

Dott. Andrea DE FILIPPIS

Anno Accademico 2005-2006

INDICE**INTRODUZIONE**..... Pag. 001**CAPITOLO I****LE ALGHE BENTONICHE**..... “ “ 006

1.1 Diversità tassonomica e morfologica delle alghe bentoniche..... “ “ 006

1.2 Gli habitat delle alghe bentoniche di acque dolci..... “ “ 009

1.3 Le Diatomee o Alghe Silicee..... “ “ 010

1.3.1 La parete cellulare, le ornamentazioni del frustalo..... “ “ 010

1.3.2 Diatomee Centriche e Diatomee Pennate..... “ “ 012

1.3.3 Il citoplasma, il nucleo..... “ “ 014

1.3.4 La riproduzione vegetativa e la riproduzione sessuata “ “ 015

1.4 Ecologia delle Diatomee..... “ “ 017

1.4.1 Generalità..... “ “ 017

1.4.2 La Velocità di Corrente..... “ “ 018

1.4.3 Il pH..... “ “ 019

1.4.4 La Temperatura..... “ “ 020

1.4.5 L'Ossigeno Disciolto..... “ “ 020

1.4.6 La Silice..... “ “ 021

1.4.7 La Sostanza Organica..... “ “ 021

1.4.8 La Salinità..... “ “ 023

1.4.9 I Sali Nutritivi..... “ “ 024

1.5 Utilità delle Diatomee..... “ “ 025

CAPITOLO II**INDICI BIOTICI**..... “ “ 028

2.1 Le Diatomee come bioindicatori..... “ “ 028

2.2 L'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione o EPI-D. “ “ 029

2.2.1 Interpretazione dei risultati..... “ “ 033

2.2.2 Confronto con altri indici diatomici Europei..... “ “ 035

2.2.3 Parametri chimici correlati con l'EPI-D.....	“ “ 036
2.3 Indice Biotico Esteso (I.B.E.).....	“ “ 037
2.3.1 Generalità.....	Pag. 037

CAPITOLO III

MATERIALI E METODI.....	“ “ 042
3.1 Studi Preliminari.....	“ “ 042
3.2 Descrizione dell' Area di Studio.....	“ “ 042
3.3 Geologia del Bacino del Fiume Crati.....	“ “ 043
3.4 Criteri di individuazione dei siti di monitoraggio chimico-biologico.....	“ “ 045
3.5 Stazioni di Campionamento.....	“ “ 046
Stazione C1: Ponte Aprigliano.....	“ “ 046
Stazione B1: fiume Busento.....	“ “ 047
Stazione C2: Cosenza, Arenella.....	“ “ 048
Stazione C3: Contrada Malavicina.....	“ “ 049
Stazione C4: Bivio Rose.....	“ “ 050
Stazione C5: Mongrassano.....	“ “ 050
Stazione C6: Terranova da Sibari.....	“ “ 051
Stazione C7: Thurio.....	“ “ 052
3.6 Metodiche.....	“ “ 53
Determinazione dei Parametri Chimico - Fisici.....	“ “ 053
3.6.1 Temperatura e pH.....	“ “ 053
3.6.2 Conducibilità Elettrica.....	“ “ 054
3.6.3 Cloruri.....	“ “ 054
3.6. 4 Determinazione dei Materiali in Sospensione.....	“ “ 055
3.6.5 Determinazione della Durezza.....	“ “ 056
3.6.6 Determinazione dell'Ossigeno Disciolto.....	“ “ 059
3.6.7 Determinazione dell'Azoto Ammoniacale.....	“ “ 062
3.6.8 Determinazione dell'Azoto Nitrico.....	“ “ 063
3.6.9 Determinazione del Fosforo Reattivo Solubile.....	“ “ 064
3.6.10 Determinazione della Silice.....	“ “ 065

3.6.11 Determinazione del B.O.D. ₅	“ “ 066
3.6.12 Determinazione del C.O.D.....	“ “ 067
Analisi Statistiche.....	“ “ 070
3.6.13 Valutazione dei contributi ambientali sulle comunità di diatomee (CCA).....	“ “ 070
3.6.14 Valutazione del disturbo fisico (NNS e NNS').....	Pag. 070
3.6.15 <i>Two Way Indicator Species Analysis</i> (TWINSPAN).....	“ “ 071
3.7 Il lavoro in campo.....	“ “ 072
3.7.1 Substrati idonei e tecniche di campionamento.....	“ “ 072
3.7.2 Etichettatura e fissaggio dei campioni.....	“ “ 073
3.8 Il lavoro in laboratorio.....	“ “ 074
3.8.1 Eliminazione della sostanza organica.....	“ “ 074
3.8.2 Trattamento con perossido di idrogeno a 110-130 volumi, a caldo.....	“ “ 074
3.8.3 Preparazione dei vetrini permanenti.....	“ “ 075
3.8.4 Identificazione dei taxa al microscopio ottico.....	“ “ 076
3.8.5 Valutazione delle abbondanze dei taxa nei campioni..	“ “ 076

CAPITOLO IV

RISULTATI E DISCUSSIONE	“ “ 079
4.1 Premessa.....	“ “ 079
4.2 Considerazioni sui regimi idrologici relativi alle due campagne di campionamento.....	“ “ 081
4.3 Parametri chimico fisici della colonna d'acqua.....	“ “ 082
4.4 Inquadramento ecologico delle stazioni sulla base dell'assetto tassonomico delle comunità diatomiche.....	“ “ 089
4.5 Indice NNS'.....	“ “ 095
4.6 Confronto tra EPI-D (Eutrofication/Pollution Index- Diatom based) ed I.B.E. (Indice Biotico Esteso).....	“ “ 098
Analisi degli assetti tassonomici dei principali gruppi di stazioni assimilabili in termini di taxa preferenziali.....	“ “ 102
4.7 Campionamento del mese di luglio 2004.....	“ “ 102
4.7.1 Gruppo C1 – C2.....	“ “ 106
4.7.2 Gruppo B1 – C3.....	“ “ 106

4.7.3 Gruppo C4 – C5.....	“ “ 107
4.7.4 Gruppo C6 – C7.....	“ “ 108
4.8 Campionamento del mese di dicembre 2004.....	“ “ 109
4.8.1 Gruppo C1 – C4.....	“ “ 113
4.8.2 Gruppo B1 – C7.....	“ “ 114
4.9 Analisi delle relazioni tra struttura delle comunità diatomiche e variabili ambientali monitorate.....	“ “ 114
<i>CAPITOLO V</i>	
<i>CONCLUSIONI</i>	“ “ 119
<i>BIBLIOGRAFIA</i>	“ “ 121
<i>ALLEGATO I</i>	
<i>ALLEGATO II</i>	

INTRODUZIONE

Nell'ambito della Direttiva Europea WFD (Water Frame Directive, CE 2000/60), per la classificazione dello stato di qualità dei corpi idrici assumono rilevante interesse gli indicatori biologici, tra cui le Diatomee, quali maggiori componenti nel fitobenthos fluviale. Essa, inoltre, prevede che nella valutazione dello stato ecologico dei fiumi oltre alle componenti del fitobenthos, dei macroinvertebrati bentonici e dell'ittiofauna si tenga conto anche delle cosiddette "macrofite", costituite essenzialmente da alghe, briofite e fanerogame acquatiche.

I corsi d'acqua sono popolati in tutta la loro lunghezza da alghe micro- e macroscopiche afferenti soprattutto alle seguenti classi: *Cyanophyceae* o alghe azzurre o Cianobatteri; *Chrysophyceae* o alghe dorate; *Xanthophyceae* o alghe gialle; *Bacillariophyceae* o Diatomee, *Rhodophyceae* o alghe rosse; *Chlorophyceae*, *Zygothryxaceae* e *Charophyceae*, tutte alghe verdi.

Tra tutte le alghe, però, sono le Diatomee che si rivelano le più idonee al monitoraggio delle acque correnti in quanto presenti con una elevata diversità in tutti i fiumi, ed essendo completamente immerse in acqua e ben fisse al substrato con il loro apparato vegetativo sono sensibili alle caratteristiche chimiche e fisiche del corpo idrico. Le Diatomee, inoltre, sono ben conosciute sia dal punto di vista sistematico che ecologico (Descy, 1979).

Il Testo Unico sulle Acque (Decreto Legislativo 152/1999 e s.m.i.), già in vigore in Italia prima dell'emanazione della WFD, aveva recepito questi elementi innovativi in linea di principio, ma non aveva individuato indici biologici diversi dai macroinvertebrati bentonici da utilizzare nei piani di monitoraggio previsti a livello Regionale. Pertanto, allo stato attuale, è importante approfondire la reale applicabilità alla situazione italiana dei metodi citati, compresi quelli basati sulle diatomee, in modo che, quando verranno stabiliti gli indici biologici di riferimento per l'attuazione della WFD in Italia (che ad oggi è l'unico Paese Membro della UE a non aver recepito la WFD nella propria legislazione nazionale), lo si potrà fare con una base di conoscenze adeguate.

La WFD introduce due concetti nuovi rispetto alla normativa nazionale (D. Lgs 152/99 e successivo 258/00): l'individuazione dei corpi idrici superficiali suddivisi per

ecoregioni e la fissazione di condizioni di riferimento tipiche e specifiche per tipologia di corpo idrico superficiale.

In accordo all'Allegato II della WFD ciascuna categoria di acqua superficiale (lago, fiume, acque di transizione, acque costiere) deve essere classificata in rispettivi corpi idrici significativi, nell'ambito del distretto idrografico (area di terra e di mare, costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi e dalle rispettive acque sotterranee e costiere) seguendo due tipologie di classificazione, cioè il sistema A o il sistema B. Se si segue il sistema A, una volta individuata l'ecoregione (ecoregione n° 3: Italia, Corsica e Malta e la n° 4 Alpi), il tipo di corpo idrico viene caratterizzato in base all'altitudine, alle dimensioni del bacino idrografico, ed alla composizione geologica. Se gli Stati membri decidono di utilizzare il sistema B, devono avvalersi comunque dei parametri del sistema A, a cui si aggiungono descrittori opzionali (distanza dalla sorgente del fiume, energia di flusso, larghezza e profondità del corpo idrico, pendenza media, trasporto solido, etc.).

Per ciascun tipo di corpo idrico, caratterizzato secondo i sistemi A o B, devono essere fissate le condizioni di riferimento, che rappresentano i valori degli elementi di qualità idromorfologici, fisici e chimici in stato ecologico elevato ed in modo analogo devono essere fissate le condizioni biologiche di riferimento che rappresentano i valori corrispondenti allo stato elevato. Nella WFD sono elencati gli elementi biologici, chimici e idromorfologici e le caratteristiche di tali elementi affinché si possa avere lo stato ecologico elevato, insieme alle caratteristiche che determinano lo stato ecologico buono e sufficiente. In relazione alle Diatomee lo stato ecologico elevato è raggiunto quando la composizione tassonomica presenta una elevata biodiversità.

L'impressione che si ha leggendo la direttiva europea è quella di un profondo rinnovamento culturale in chiave ecologica che ha indotto la Comunità Europea a strutturare una serie di gruppi di lavoro, costituiti da esperti dei paesi europei, con il compito di rendere più agevole l'applicazione della direttiva stessa nei singoli paesi.

Lo studio di comunità di Diatomee negli ambienti fluviali risale ormai a decine di anni fa, per cui alcune informazioni circa le specie più e meno sensibili a pressioni antropiche esistono. Si tratta di approfondire, invece, lo studio sulla composizione delle comunità quando si va ad applicare l'indice diatamico in realtà fluviali profondamente diverse tra loro, come possono essere torrenti di tipo alpino confrontati con tratti fluviali

di pianura o corsi d'acqua in zone particolarmente siccitose. L'indice diatomico ad oggi è stato sperimentato in modo approfondito nella zona dell'Appennino centrale con proprie caratteristiche idrogeologiche e climatiche non del tutto sovrapponibili ad altre situazioni della penisola.

Vengono qui presentate le linee guida essenziali per la messa in opera dell'indice diatomico EPI-D espressamente elaborato per il monitoraggio biologico dei corsi d'acqua d'Italia.

L'**EPI-D**, ovvero “**Eutrophication/Pollution Index-Diatom based**” (Dell'Uomo, 1996, 1999), è un indice integrato ponderato di eutrofizzazione/polluzione basato sulla sensibilità delle Diatomee alle condizioni ambientali, soprattutto alla sostanza organica, ai nutrienti ed ai sali minerali disciolti in acqua, in particolare ai cloruri. L'indice esprime pertanto un giudizio sulla qualità globale del corpo idrico, con riferimento al suo stato trofico ed ai fenomeni di inquinazione organica e minerale.

Il monitoraggio tramite Diatomee, ognuna portatrice di un proprio messaggio ecologico, è ormai largamente utilizzato, nelle sue varianti nazionali, in quasi tutti i paesi d'Europa, dove già istituzionalizzato, dove ancora in fase di sperimentazione.

L'indice proposto è complementare all'I.B.E. (Ghetti, 1997) e solo in alcuni casi può sostituirsi ad esso, quando ad esempio ci si trova in prossimità delle sorgenti o quando i corsi d'acqua sono molto profondi, perché le Diatomee sono ovunque presenti e consentono il campionamento, con opportuni accorgimenti, in qualsiasi situazione. Il monitoraggio tramite Diatomee, come tutti i tipi di biomonitoraggio, non sostituisce le tradizionali analisi chimiche, tuttavia se ne rende autonomo.

CAPITOLO I

LE ALGHE BENTONICHE

1.1 Diversità Tassonomica e Morfologica delle Alghe Bentoniche

Le alghe bentoniche sono produttori primari capaci di sfruttare il fiume come habitat. Esse rappresentano un gruppo di organismi altamente diversi che svolgono numerose ed importanti funzioni negli habitat acquatici.

La biomassa di perifiton prodotta negli ecosistemi acquatici può essere ascritta a numerosi possibili “comparti” energetici:

- **accumulo**, come quantità di alghe che si depositano;
- **respirazione**, come CO_2 (per esempio la decomposizione);
- **consumo**, da parte degli erbivori (grazing);
- **esporto**, come sostanza sospesa.

Ognuno di questi processi comporta differenti sviluppi ed, a sua volta, ha diverse implicazioni per il flusso di energia attraverso le reti alimentari acquatiche (Fig. 1.1).

Le alghe bentoniche sono considerate la principale sorgente di energia per i più alti livelli trofici in molti fiumi delle regioni temperate (Minshall, 1978).

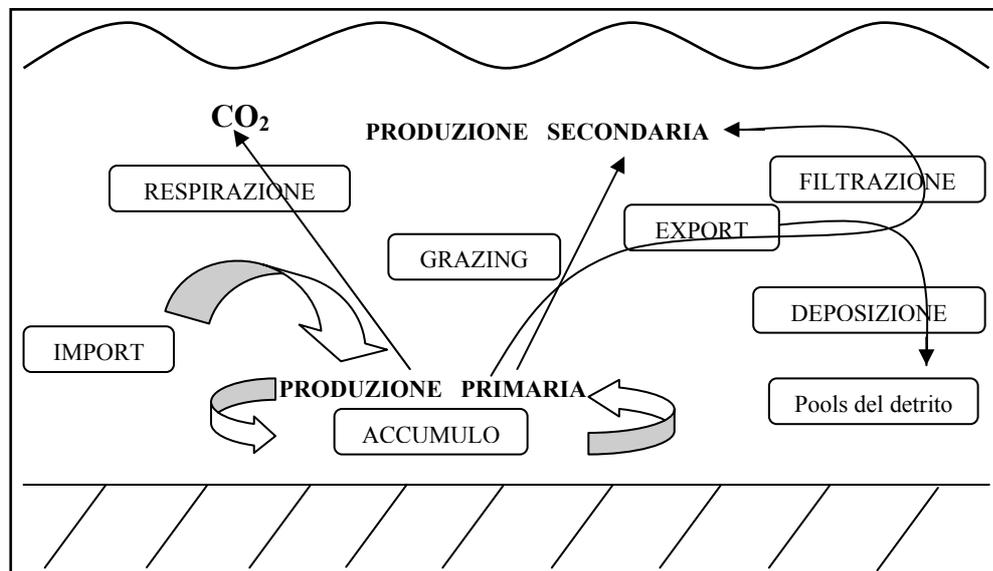


Figura 1.1 – Diagramma dei processi e dei destini che subisce la produzione primaria bentonica negli ecosistemi acquatici

Grazie alla loro rapida risposta ai cambiamenti ambientali ed alla capacità di intercettare i nutrienti, sia organici che inorganici (Mulholland, 1996), le alghe

bentoniche sono degli ottimi indicatori della qualità dell'acqua ed offrono anche un valido contributo nella purificazione delle acque fluviali (Vymazal, 1988).

Le alghe bentoniche costituiscono dei modulatori chimici negli ecosistemi acquatici in quanto trasformano alcuni prodotti chimici inorganici in forme organiche (Lock *et al.*, 1984). La conversione dell' N_2 atmosferico a NH_3 ed amminoacidi, da parte delle alghe blu-verdi e delle diatomee associate ad alghe endosimbiontiche blu-verdi, potrebbe permettere un'alta produttività primaria in quegli habitat a basso contenuto di azoto (Peterson & Grimm, 1992; Deyoe *et al.*, 1992). Le alghe bentoniche sono anche i raccoglitori primari del fosforo inorganico e dell'azoto presenti nei fiumi (Mulholland, 1996). Esse, sulla superficie dei sedimenti e delle piante, intercettano i nutrienti presenti prima di rilasciarli nella colonna d'acqua. Gli effetti dell'assorbimento attivo dei nutrienti durante il giorno, da parte delle alghe, spiegherebbero la variazione diurna nelle concentrazioni dei nitrati nei fiumi (Triska *et al.*, 1989).

Il perifiton, inoltre, costituisce una preziosa risorsa alimentare negli ecosistemi acquatici influenzando, con la sua presenza ed abbondanza, la fitness degli organismi che di esso si nutrono.

Nei sistemi bentonici la completa disponibilità di perifiton per i consumatori, sia in senso spaziale che temporale, è relativamente alta rispetto a quella delle piante acquatiche o degli input derivanti da altre sorgenti alloctone. Virtualmente, tutti i gruppi trofici degli invertebrati (non soltanto quelli erbivori) consumano e si cibano delle alghe bentoniche (Gregory, 1983; Lamberti & Moore, 1984).

Le alghe bentoniche possono essere driftate, quando si staccano dal substrato, o vengono rimosse dai grazers (Lamberti *et al.*, 1987, 1989; Stevenson & Peterson, 1989; Barnese & Lowe, 1992) e, una volta liberate nella colonna d'acqua, sono o intercettate e consumate dai collettori filtratori, contribuendo significativamente alla produzione animale, o rideposte con il detrito fine per essere poi consumate dai collettori aspiratori (Lamberti & Moore, 1984).

La maggior parte degli studi sulla composizione chimica delle alghe indica che le qualità nutrizionali delle alghe risultano essere superiori a quelle del cibo bentonico non animale (detrito). In generale, le proteine ed il contenuto in azoto delle alghe è più alto di quello del detrito bentonico, le proteine combinate ed il contenuto in lipidi si aggira intorno al 29 – 65 % del peso secco cellulare, in funzione del gruppo tassonomico.

Le clorofite coloniali appaiono essere più nutritive, mentre i cianobatteri (le alghe blu – verdi) presentano il più alto contenuto in azoto (in relazione al fatto che sono specializzate nella fissazione di tale elemento).

Alcuni amminoacidi ed acidi grassi necessitano alla crescita ed allo sviluppo degli erbivori (Crawley, 1983), e determinate alghe contengono le più alte proporzioni di queste molecole (Steinman *et al.*, 1987; Ahlgren *et al.*, 1992).

Le alghe bentoniche possono anche costituire degli importanti habitat per molti altri organismi: le alture di *Chara* riescono a supportare grosse diversità e densità di invertebrati acquatici nei fiumi, come anche *Cladophora* ed altre alghe filamentose che ospitano un gran numero di piccoli invertebrati, tra cui chironomidi, anfipodi, ed altra piccola meiofauna (Dodds & Gudder, 1992).

Le alghe sono un gruppo evolutivo diversificato di organismi fotoautotrofici con clorofilla “a” e strutture riproduttive unicellulari.

Da vari schemi tassonomici il numero di divisioni varia da 4 a 13 per ognuna delle 24 classi e circa 26.000 specie (Bold & Wynne, 1985; Raven & Johnson, 1992).

Le alghe bentoniche vivono su o in associazione ai substrati, mentre il fitoplancton è costituito da alghe sospese nella colonna d’acqua.

Un’alga individuale può essere bentonica o planctonica da un momento all’altro, ma molte specie vengono caratteristicamente ritrovate solo in uno dei due habitat (Stevenson, 1996). Molte alghe bentoniche presenti negli habitat di acque correnti sono alghe blu - verdi (CHLOROPHYTA), diatomee (BACILLARIOPHYTA), o alghe rosse (RHODOPHYTA). Comunque, oltre a queste, molte altre divisioni di alghe possono ritrovarsi nelle acque dolci.

Le CHRYSOPHYTA, le XANTHOPHYTA, le CRYPTOPHYTA e le PYRROPHYTA comprendono diverse specie, usualmente presenti nel fitoplancton, che possono trovarsi, in alcuni habitat bentonici, anche in forme fisiologicamente attive. Anche se questi gruppi presentano grandi differenze evoluzionistiche, genetiche e chimiche, mostrano le stesse forme di crescita.

Le diatomee, le alghe verdi e le blu - verdi mostrano la più grande diversità morfologica con forme unicellulari, coloniali e filamentose.

Ognuna delle forme di crescita può presentarsi mobile o immobile (Tab. 1.1).

Morfologia						
Taxon	Unicellulare		Coloniale		Filamentosa	
	Mobile	Non Mobile	Mobile	Non Mobile	Mobile	Non Mobile
Cyanophyta (alga blu - verde)		✓		✓	✓	✓
Chlorophyta (alga verde)	✓	✓	✓	✓		✓
Bacillariophyta (diatomee)	✓	✓		✓		✓
Rhodophyta (alghe rosse)						✓
Chrysophyta (crisofite)	✓	✓	✓	✓		✓
Xanthophyta (xantofite)						✓
Euglenophyta (Euglena)	✓					
Pyrrophyta (dinoflagellati)	✓	✓		✓		
Cryptophyta (Criptomonas)	✓					

Tabella 1.1 – variabilità morfologica nelle divisioni delle alghe bentoniche

1.2 Gli habitat delle Alghe Bentoniche di Acque Dolci

L'abilità delle alghe bentoniche a crescere e prosperare nei fiumi è conseguenza di una complessa serie di interazioni tra fattori idrologici, biotici e qualità dell'acqua. Tali fattori riflettono le caratteristiche ambientali del bacino idrografico come la topografia, la pendenza, l'uso del territorio e la vegetazione, e dipendono dalla geologia, dal clima e dalle attività umane (Biggs *et al.*, 1990).

Le alghe bentoniche d'acqua dolce sono state trovate nella zona fotica dei fiume e dei torrenti, dei laghi e delle zone umide. Molti termini sono stati usati per distinguere i gruppi di organismi bentonici che vivono in differenti habitat acquatici.

L'uso comune del termine **Benthos** si riferisce a quegli organismi che vivono sul fondo o associati ai substrati negli habitat acquatici, quali pesci, invertebrati macroscopici e meiofauna, funghi, batteri ed organismi iporeici (che vivono sotto la superficie del substrato).

Perifiton e **Aufwuchs** sono termini più o meno sinonimi della definizione di alga bentonica. **Aufwuchs** è un termine tedesco che letteralmente significa “crescere sotto”, ma ormai viene usato soltanto raramente nella moderna letteratura.

Il **perifiton** è il termine comunemente usato in riferimento a tutta la microflora presente sui substrati (Wetzel, 1983). Esso include tutte le alghe, batteri, funghi e microzoi contenuti all'interno di una matrice di polissaccaridi secreta dagli stessi organismi viventi sui substrati o ad essi associati (Lock *et al.*, 1984). La natura dell'habitat in cui vengono trovati questi organismi dipende dal tipo di substrato e dalla taglia degli organismi (Burkholder, 1996).

Le **alghe epilittiche** crescono su substrati duri, relativamente inerti, come la ghiaia ed i ciottoli.

Le **alghe epifitiche** crescono su piante ed alghe di dimensioni maggiori, sono molto attive metabolicamente e possono rappresentare un grande rifornimento di nutrienti (Burkholder, 1996).

Le **alghe epipsammiche** attecchiscono sulla sabbia dura e relativamente inerte. Le alghe che crescono su sedimenti organici ed inorganici vengono chiamate “epipeliche”, e sono rappresentate da grandi diatomee mobili, alghe blu-verdi filamentose mobili e da grandi flagellati mobili come l'*Euglena*.

Il **metafiton** rappresenta quelle alghe presenti nella zona fotica non direttamente attaccate ai substrati, né liberamente sospese nella colonna d'acqua. Generalmente il metafiton è formato da cuscini di alghe verdi filamentose, come *Spirogyra*, *Mougeotia*, o *Zygnema*, che comunemente non sono fisse ai substrati, ma diventano labilmente aggregate ed associate ai substrati presenti nelle aree protette dalle correnti o dalle onde.

1.3 Le Diatomee o Alghe Silicee

1.3.1 La parete cellulare, le ornamentazioni del frustulo

Le Diatomee (Divisione *Bacillariophyta*, Classe *Bacillariophyceae*) sono alghe unicellulari, talora riunite in colonie, delle dimensioni che vanno da pochi μm fino ad oltre mezzo mm. Sono organismi eucarioti, autotrofi per la presenza di clorofilla “a” e di altri pigmenti (Sabatini & Coletti, 1997). Popolano in gran numero tutti gli habitat sia delle acque dolci che salate, ma con generi e specie diverse a seconda delle caratteristiche geografiche, idrologiche e chimico-fisiche del corpo idrico che le ospita

(Dell’Uomo, 2004). Ne sono state descritte circa 10.000 specie, ma si stima che ne possano esistere più di 200.000 (De Agostini, 1984-1999). La particolarità che meglio distingue le diatomee è la parete cellulare fortemente silicizzata. Essa è costituita da una componente inorganica e da una organica. Quella inorganica, che costituisce oltre il 50% del peso secco della cellula, è formata da silice idrata ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) rinforzata da metalli come alluminio, magnesio, ferro e titanio. Quella organica è data essenzialmente da sostanze pectiche (che derivano dalla polimerizzazione dell’acido galatturonico) e polisaccaridi come mannosio, arabinosio, xilulosio, etc. (De Agostini, 1984-1999).

La parete cellulare, fortemente impregnata di silice e detta *frustulo* (Fig. 1.2). Esso è formato da due metà diseguali chiamate “valve”, che s’incastano l’una nell’altra come una scatola ed il suo coperchio. Il coperchio prende il nome di *epivalva*, il fondo della scatola quello di *ipovalva*. Le superfici di fondo del coperchio e della scatola rappresentano le placche valvari. Queste si prolungano entrambe verso il fianco della scatola con una o più *bande connettivali* che risultano parzialmente sovrapposte nella porzione mediana del frustulo. Le placche valvari, a differenza delle bande connettivali che sono generalmente lisce, si presentano ricche di ornamentazioni. Essenzialmente, l’ornamentazione risulta di **pori** o di **alveoli**.

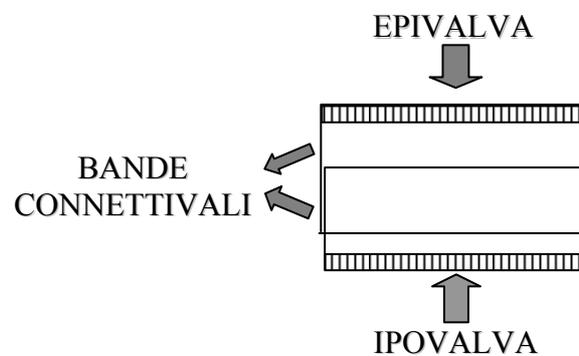


Figura 1.2 – Schema della struttura del frustulo in sezione trasversale

I *pori* sono perforazioni tondeggianti della valva, che possono essere chiuse o meno da sottili opercoli silicei finemente crivellati. Le valve che possiedono i pori sono costituite da un’unica lamina di silice e possono essere rinforzate da ispessimenti lineari chiamati “coste”.

Gli *alveoli* sono invece presenti nelle valve costituite da due sottili lamelle di silice sovrapposte. Essi sono più complessi rispetto ai semplici pori e la loro struttura è

evidenziata dal microscopio elettronico a scansione. Alloggiate nello spessore compreso fra le due lamelle della valva si trovano tante camerette contigue a base esagonale, comunicanti fra di loro tramite ampie aperture laterali. Ciascuna cameretta, inoltre, è aperta sia superiormente che inferiormente mediante un poro il polo superiore, o quello inferiore, a seconda della specie, risulta poi chiuso da una sottile placca finemente perforata. La disposizione e la densità dei pori, delle coste e degli alveoli rappresentano una costante tipica di ogni specie ed hanno quindi grande valore sistematico (Torrisi *et al.*, 2004). Le Diatomee presentano due viste principali: la vista valvare, quando il frustulo viene visto dall'alto o dal basso; e la vista connettivale, o commessurale, quando ne viene osservato il fianco, dove avviene la parziale sovrapposizione delle bande connettivali delle valve. Le due viste sono notevolmente diverse anche perché la prima presenta le ornamentazioni, la seconda ne è solitamente priva.

1.3.2 Diatomee Centriche e Diatomee Pennate

La forma e la disposizione delle ornamentazioni delle valve consentono di riconoscere due grandi gruppi di Diatomee:

- **Diatomee centriche** (Ordine Centrales): valve circolari, triangolari, quadrate o poligonali, ornamentazioni disposte come i raggi di una ruota, oppure in cerchi concentrici;
- **Diatomee pennate** (Ordine Pennales): valve allungate, lanceolate od ellittiche, ornamentazione bilaterale simmetrica rispetto all'asse longitudinale.

Le Diatomee centriche (Fig. 1.3) si trovano tipicamente nel plancton, lacustree marino; esse rivestono pertanto una importanza secondaria nei riguardi del monitoraggio fluviale. Le Diatomee pennate sono invece bentoniche, popolano in gran numero le acque correnti e richiedono pertanto una descrizione più particolareggiata.



Figura 1.3 – Diatomea Centrica (*Cyclotella meneghiniana*)

Lungo la valva allungata delle Diatomee pennate (Fig. 1.4) è spesso presente una linea longitudinale mediana, il *rafe*, ai lati della quale le ornamentazioni sono disposte come le barbe di una penna.

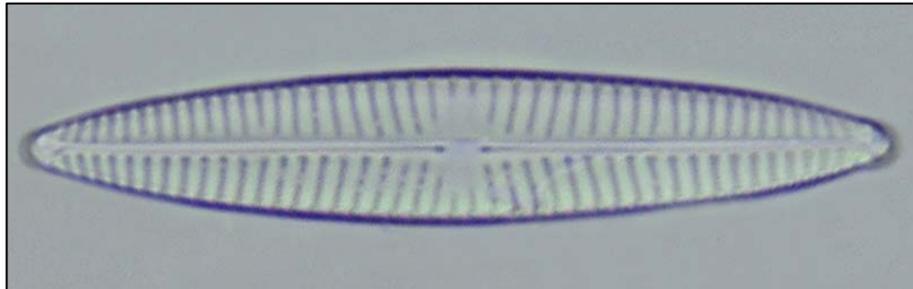


Figura 1.4 – Diatomea Pennata (*Navicula tripunctata*) in vista valvare; sono ben evidenti le ornamentazioni

Il rafe è in realtà una fenditura a forma di S in sezione trasversale, che ha inizio dai due opposti poli della valva dove si trovano due ispessimenti che prendono il nome di *noduli polari*, e si interrompe al centro della valva, in corrispondenza di un grosso ispessimento interno, il *nodulo centrale*. In realtà i due bracci del rafe comunicano al centro della valva attraverso dei sottili canalicoli alloggiati nello spessore del nodulo (Fig. 1.5).

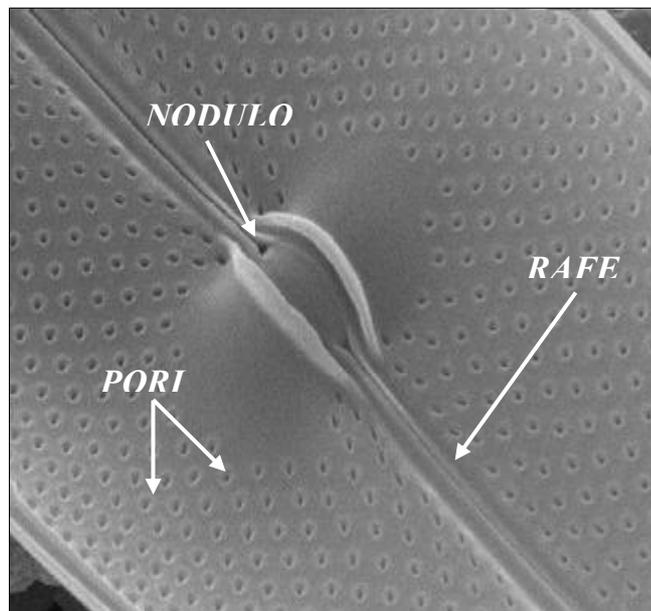


Figura 1.5 – Alcune strutture di una diatomea (foto in M. E.)

Ornamentazioni in forma di strie sono presenti ai due lati del rafe. Le strie possono essere punteggiate, quando sono formate da una serie di punti (così appaiono i pori al microscopio ottico) disposti in serie lineare, oppure lineolate se risultano di tante lineette (in realtà piccole fessure della valva) vicine le une alle altre e disposte perpendicolarmente alla stria stessa. Pori e fessure possono essere chiusi da placche perforate.

In alcune forme il rafe non decorre in posizione longitudinale centrale ma lungo il bordo della valva, in una sorta di cresta rilevata o chiglia percorsa dal canale del rafe, interrotto da tante lamine ad andamento perpendicolare al canale stesso che prendono il nome di *fibule*. Le fibule si alternano con i pori carenati, che sono gli spazi liberi tra le fibule. Dai pori terminali e centrali del rafe, in seguito a stimoli ambientali e trofici, la cellula estrude dei corpi mucillagginosi (De Agostini, 1984-1999). Questa mucillaggine forma piccoli filamenti che si attaccano al substrato. Mediante trazione di queste piccole “funi”, la cellula avanza in direzione opposta alla trazione stessa; ovvero la diatomea avanza e retrocede a scatti in direzione rettilinea e secondo l’asse di lunghezza grazie all’attrito che si crea tra mucillaggine e substrato. La velocità di spostamento varia tra i 2 e i 14 $\mu\text{m/s}$ in base al genere di diatomea, alla consistenza del substrato e all’intensità dello stimolo (Torrìsi *et al.*, 2004). Se il rafe è presente su entrambe le valve, le Diatomee sono dette birafidee; se si trova solo su una valva le Diatomee sono monorafidee; se, infine, il rafe manca in entrambe, le Diatomee sono arafidee (Fig. 1.6). Il rafe non è mai presente nelle Diatomee centriche.

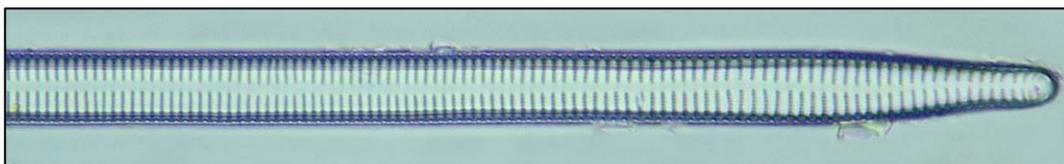


Figura 1.6 – Diatomea pennata arafidea (*Fragilaria biceps*) con un’area longitudinale assiale priva di rafe detta pseudorafe

1.3.3 Il citoplasma, il nucleo

All’interno del frustulo si trova il plasmalemma, seguono il citoplasma ed il nucleo. Nelle Diatomee centriche è presente un unico grande vacuolo che occupa la maggior parte del volume cellulare, con il citoplasma ridotto ad un sottile straterello periferico che include il nucleo e numerosi piccoli plastidi discoidali. Nelle Diatomee

pennate i vacuoli sono in numero di due ed il nucleo è in posizione centrale; anche i plastidi sono in numero di due, parietali, grandi e spesso lobati.

I plastidi contengono la clorofilla “a” e “c”, il β -carotene e varie xantofille, tra cui la diatoxantina, la diadinoxantina e la fucoxantina. Quest’ultima, di colore bruno e particolarmente abbondante, maschera spesso il colore verde della clorofilla, per cui tutta la cellula assume solitamente il colore bruno.

Le principali sostanze di riserva sono date dalla crisolaminarina, un polimero del β -glucosio disciolto in appositi vacuoli, e da abbondanti materiali oleosi.

Immersi nel citoplasma vi sono, poi, due o più cromatofori (corpuscoli di forma e posizione variabili da specie a specie, contenenti pigmenti). Questi hanno colore giallo-bruno o decisamente bruno e sono forniti di clorofilla *a* (pigmento fotosintetico primario) e di pigmenti accessori: clorofilla *c*, *beta* carotene e varie xantofille, tra cui la diatoxantina, la diadinoxantina, la luteina e la fucoxantina (Dell’Uomo, 2004); sono esse che conferiscono alle diatomee il colore brunastro, mascherando il colore verde della clorofilla, soprattutto la fucoxantina in quanto particolarmente abbondante (Torrise *et al.*, 2004). Le principali sostanze di riserva sono date dalla crisolaminarina, un polimero del beta-glucosio disciolto in appositi vacuoli, leucosina ed oli sottoforma di piccolissime gocce: manca l’amido (Mauseth, 2000).

Altri caratteri citologici sono gli stessi che si ritrovano in tutti gli organismi eucarioti.

1.3.4 La riproduzione vegetativa e la riproduzione sessuata

Le Diatomee si riproducono sia per via agamica che sessuata. La riproduzione agamica (Fig. 1.7) si attua per semplice divisione cellulare: il protoplasto si accresce, fa pressione sulla parete e divarica le due teche; seguono la divisione mitotica del nucleo e del citoplasma; il piano di divisione è parallelo alle due valve.

Quando le due cellule figlie si separano, ciascuna eredita dalla cellula madre una teca e forma ex novo la teca mancante, che risulta sempre una ipoteca, indipendentemente dal fatto che abbia ereditato l’epiteca o l’ipoteca. Di conseguenza, in una popolazione di Diatomee derivanti da una stessa cellula madre, si verifica che, dopo numerose divisioni, alcuni individui conservano le dimensioni originarie, mentre altri vanno progressivamente rimpicciolendosi. Questo processo non può però andare avanti

all'infinito: quando i frustuli raggiungono le dimensioni minime compatibili con la vita delle cellule, scatta la riproduzione sessuata, il cui compito è quello di ripristinare le dimensioni massime della specie.

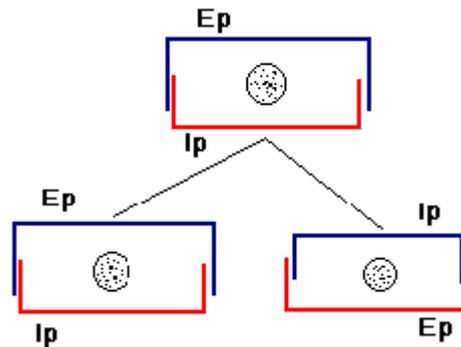


Figura 1.7 – Schema della divisione vegetativa di una diatomea

Nelle Diatomee pennate due cellule vicine si circondano di un comune involucro mucillaginoso e, mentre le loro valve si vanno aprendo, subiscono ciascuna la meiosi. Dei quattro nuclei aploidi che si formano in ogni cellula solitamente due degenerano; avviene quindi la divisione cellulare, o citodieresi, con formazione di due gameti di dimensioni leggermente diverse. I quattro gameti risultanti dalle divisioni delle due cellule iniziali si vanno allora incontro a due a due con movimenti di tipo ameboide: il gamete più piccolo prodotto da una cellula si fonde con quello più grande formato dall'altra cellula, e viceversa. Si originano in tal modo due zigoti che inizieranno un processo di accrescimento, chiamato auxosporulazione. Lo zigote, detto anche auxospora, si divide infine in due cellule che hanno le dimensioni massime della specie e che si circonda ognuna di un nuovo frustulo.

Nelle Diatomee centriche la riproduzione sessuata decorre in modo alquanto differente. Alcune cellule, quelle della linea femminile, in seguito a meiosi e degenerazione di vari nuclei, formano uno o due gameti, di dimensioni relativamente grandi e immobili: i gameti femminili od oosfere. Altre cellule invece, quelle della linea maschile, formano per meiosi, seguita da varie mitosi, fino a 64 piccoli gameti provvisti di un solo flagello: i gameti maschili o anterozoidi. La gamia è quindi qui una oogamia e lo zigote che ne risulta andrà anch'esso incontro al processo di auxosporulazione. Si può rilevare che il gamete maschile delle Centriche rappresenta l'unico stadio flagellato

nel ciclo vitale delle Diatomee, le quali possiedono tutte meiosi terminale, o gametica, e ciclo monogenetico diploide.

Alcune Diatomee, in certi momenti del loro ciclo vitale, che coincide di solito con le condizioni ambientali avverse, sono in grado di formare cisti silicee o statospore; quando le condizioni ritornano favorevoli, le statospore, che conducevano vita latente, riprendono l'aspetto di normali cellule vegetative.

1.4 Ecologia delle Diatomee

1.4.1 Generalità

Le Diatomee colonizzano con un gran numero di specie, di volta in volta differenti, le acque dolci (sorgenti, ruscelli, torrenti, fiumi, laghi, paludi, torbiere, etc.), le acque salmastre e quelle salate (mari ed oceani). Esse possono essere suddivise, in base all'habitat, in due principali categorie: ***bentoniche*** e ***planctoniche***.

Le Diatomee del benthos sono tipicamente le Pennate, quelle provviste cioè di rafe; esse si trovano in tutti gli ambienti acquatici fin dove c'è penetrazione di luce: rocce stillicidiose, alveo e sponde di un fiume, torbiere e paludi, rive lacustri e marine, etc.

Nelle acque correnti le Diatomee planctoniche (vale a dire le centriche) sono, invece, rappresentate da pochi generi, ed ognuno con un numero limitato di specie (Dell'Uomo A., 2004).

Le Diatomee, assieme alle Dinoficee, rappresentano la componente decisamente più importante del plancton marino, le prime dominando nelle acque fresche primaverili ed autunnali, le seconde nelle acque calde e calme della stagione estiva. In un metro cubo d'acqua di mare sono state contate fino a otto milioni di Diatomee, da cui anche la denominazione di "foraggio del mare". Le Diatomee, insieme a tutta la frazione del plancton rappresentata dalle alghe, costituiscono il ***fitoplancton***, che si trova al primo anello della catena trofica nei bacini ed è alimento indispensabile per lo zooplancton, secondo anello di questa catena.

Le Diatomee sono talmente sensibili alle variazioni della salinità e della temperatura che la loro distribuzione permette di stabilire con precisione il percorso delle correnti marine.

I frustuli delle Diatomee si conservano inalterati dopo la loro morte e, accumulandosi in grande quantità sul fondo dei bacini, formano depositi conosciuti con il nome di diatomite o farina fossile. Questi depositi sono talora molto vasti e di notevole spessore.

Molte specie che si rinvencono nelle rocce sedimentarie possiedono i requisiti di fossili guida ed assumono importanza in stratigrafia. Altre, più numerose, rivestono grande interesse in paleoecologia. È facile, ad esempio, dopo aver esaminato al microscopio ottico un campione di farina fossile, dire se la deposizione è avvenuta in bacino lacustre o alla foce di un fiume oppure in mare aperto. Il grande accumulo sul fondo dei bacini di materiale organico dovuto alle Diatomee ha contribuito, nel corso delle ere geologiche, alla formazione degli ingenti giacimenti di petrolio.

A conclusione di queste brevi considerazioni di carattere generale si vuole tuttavia ricordare che le forme maggiormente coinvolte nel monitoraggio fluviale, oggetto del presente studio, sono quelle bentoniche (soprattutto le Pennate), che possiedono meccanismi per aderire o fissarsi al substrato; nelle acque correnti le Diatomee planctoniche (vale a dire le Centriche) sono invece rappresentate da pochi generi, ed ognuno con un numero limitato di specie.

Lo sviluppo e le variazioni stagionali delle Diatomee dipendono da numerosi fattori: velocità di corrente, temperatura, pH, luce, composizione chimica del corpo idrico.

Segue una breve rassegna dei parametri che maggiormente influenzano la distribuzione delle Diatomee, con particolare riferimento alle forme reofile.

1.4.2 La Velocità di Corrente

È questo un fattore che condiziona molteplici aspetti del metabolismo delle Diatomee, come la respirazione o l'assorbimento delle sostanze disciolte.

Di norma le acque rapide sono anche molto bene ossigenate. Si possono distinguere in proposito:

- ✓ Diatomee ***reobionti***: colonizzano esclusivamente le acque correnti, in particolare i torrenti di alta e media montagna; possiedono appositi adattamenti per l'adesione al substrato;

- ✓ Diatomee **reofile**: hanno una netta predilezione per le acque correnti, ma si incontrano anche in quelle stagnanti;
- ✓ Diatomee **limnofile**: prediligono le acque stagnanti (laghi) o lentamente fluenti, come sono tipicamente quelle del tratto terminale dei fiumi;
- ✓ Diatomee **limnobionti**: vivono esclusivamente nelle acque tranquille (laghi, paludi, etc.);
- ✓ Diatomee indifferenti alla corrente: sono ugualmente rappresentate nelle acque correnti (ambienti lotici) ed in quelle stagnanti (ambienti lentic).

1.4.3 Il pH

È questo un altro fattore di notevole importanza nel determinare la distribuzione delle Diatomee. Le acque a reazione acida, alcalina o neutra danno insediamento a differenti comunità di Diatomee. La suddivisione che tiene conto della loro sensibilità al pH, le distingue nelle seguenti classi:

- ✓ Diatomee **alcalibionti**: esigono ambienti a reazione alcalina (es.: *Anomoeoneis sphaerophora*, *Campylodiscus hibernicus*, *Diatoma vulgare*, *Gomphonema olivaceum*, *Gyrosigma acuminatum*, *Navicula pygmaea*, *Navicula tuscula*);
- ✓ Diatomee **alcalifile**: prediligono un pH superiore a 7 (es.: *Achnanthes lanceolata*, *Amphora ovalis*, *Caloneis amphisbaena*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymatopleura elliptica*, *Meridion circolare*, *Nitzschia clausii*, *Rhoicosphenia abbreviata*) insieme alle precedenti, popolano corsi d'acqua che solcano terreni di natura calcarea;
- ✓ Diatomee **neutrofile**: hanno uno sviluppo ottimale a valori di pH prossimi a 7 (es.: *Aulacoseira granulata*, *Cymbella amphicephala*, *Diatoma moniliformis*, *Fragilaria arcus*, *Gomphonema productum*, *Navicula mutica*, *Neidium dubium*, *Nitzschia dubia*, *Surirella linearis*); possono essere qui incluse le forme che da alcuni autori vengono chiamate indifferenti al pH;
- ✓ Diatomee **acidofile**: prediligono un pH inferiore a 7 (es.: *Anomoeoneis exilis*, *Eunotia praerupta*, *Eunotia glacialis*, *Pinnularia major*, *Pinnularia subcapitata*, *Tabellaria flocculosa*); si trovano più frequentemente in corsi d'acqua che scorrono su substrati silicei;

- ✓ Diatomee **acidobionti**: si sviluppano sempre a pH inferiore a 7, hanno pH ottimale attorno a 5, prediligono le acque decisamente acide delle torbiere a sfagni; non sono molte le forme che si incontrano negli ambienti lotici, tra queste si possono ricordare *Eunotia exigua*, *Frustulia rhomboides* var. *saxonica*, *Pinnularia brauniana*.

1.4.4 La Temperatura

È uno dei parametri più problematici da mettere in correlazione diretta con le Diatomee perché le sue variazioni influenzano tutta una serie di fattori chimici e biologici come la solubilità e la diffusione dei composti chimici, l'ossigenazione e la viscosità dell'acqua, la solubilità dell'anidride carbonica, il metabolismo e la riproduzione delle Diatomee. Queste alghe, tuttavia, mostrano una decisa predilezione per le acque fresche primaverili ed autunnali e sembrano non tollerare, se non per breve tempo, temperature superiori a 40°C. Prendendo in considerazione la loro tolleranza alle variazioni di temperatura, le Diatomee possono essere distinte in:

- ✓ **stenoterme**, se tollerano solo piccole oscillazioni di temperatura, dell'ordine di 10°C;
- ✓ **euriterme**, quando sopportano oscillazioni di temperatura di maggiore ampiezza.

Se invece si prendono in considerazione i valori assoluti della temperatura le Diatomee possono essere suddivise in:

- ✓ **oligoterme**, quando si incontrano solo a basse temperature, inferiori a 15°C;
- ✓ **mesoterme**, se vivono a temperature comprese tra 15 e 30°C;
- ✓ **euterme** o **politerme**, quando esigono acque calde, con temperature superiori a 30°C.

1.4.5 L'Ossigeno Disciolto

Rispetto alle loro esigenze nei confronti dell'ossigeno disciolto, Van Dam (1994) suddivide le Diatomee in cinque classi:

- ✓ specie che esigono una ossigenazione del corpo idrico molto elevata (100% di saturazione), es.: *Achnanthes flexella*, *Diatoma hyemalis*, *Surirella spiralis*;

- ✓ specie che necessitano comunque di una forte quantità di ossigeno (saturazione > 75%), es.: *Gomphonema olivaceum*, *Meridion circolare*, *Navicula radiosa*;
- ✓ specie che si sviluppano in presenza di una moderata ossigenazione (saturazione > 50%), es.: *Caloneis amphisbaena*, *Cymatopleura solea*, *Diatoma tenuis*;
- ✓ specie per le quali è sufficiente una bassa quantità di ossigeno (saturazione > 30%), es.: *Anomoeoneis sphaerophora*, *Navicula gregaria*, *Surirella ovalis*;
- ✓ specie che riescono a vivere in ambienti con una quantità di ossigeno molto bassa (circa 10% di saturazione); sono molto poche, tra queste *Navicula accomoda* e *Nitzschia umbonata*.

1.4.6 La Silice

Le Diatomee hanno bisogno di silice per la costruzione della loro parete cellulare (frustulo), pertanto il loro sviluppo è condizionato dal tenore in silice del corpo idrico. Ogni specie possiede un proprio optimum per quanto riguarda la concentrazione della silice, che viene assunta in forma solubile come $\text{Si}(\text{OH})_4$. Le necessità variano inoltre nel corso del ciclo vitale dell'alga e con le condizioni chimico-fisiche del mezzo ambiente. Il frustulo risulta di quarzite, o silice amorfa idrata, cui possono essere associate piccole quantità di alluminio, magnesio, ferro e titanio; questa componente inorganica è avvolta da una componente organica costituita da aminoacidi e zuccheri, ma nei diversi generi di Diatomee vengono prodotte anche altre secrezioni extracellulari.

1.4.7 La Sostanza Organica

All'inizio del secolo appena trascorso Kolkwitz e Marsson (1902, 1908, 1909) hanno potuto dimostrare, dopo tutta una serie di osservazioni sui corsi d'acqua della Germania, che esiste una chiara relazione tra organismi acquatici e corpi idrici sottoposti ad inquinamento organico. Era così nato il "sistema degli organismi saprobi" o "sistema saprobico" che, per successive elaborazioni (tra gli altri: Liebmann, 1962; Fjerdingsstad, 1964, 1965; e soprattutto Sládeček, 1973, 1986) ha portato alla suddivisione degli organismi acquatici in vari livelli, o gradi, che manifestano un'affinità o una tolleranza crescente per la sostanza organica. Le Diatomee, che sono

alghe ben integrate nel sistema saprobico, possono essere suddivise nei seguenti cinque livelli:

- ✓ Diatomee ***xenosaprobie***: non tollerano la sostanza organica. Ne sono esempi: *Achnanthes flexella*, *Diatoma hyemalis*, *Pinnularia divergens*;
- ✓ Diatomee ***oligosaprobie***: tollerano solo piccole quantità di sostanza organica. Esempi: *Cymbella affinis*, *Neidium binode*, *Navicula radiosa*;
- ✓ Diatomee ***β-mesosaprobie***: si sviluppano bene in presenza di una moderata quantità di sostanza organica, che viene completamente degradata. Esempi: *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Cymatopleura solea*;
- ✓ Diatomee ***α-mesosaprobie***: si trovano in ambienti con elevate quantità di sostanza organica, la cui demolizione è solo parziale, si arresta quando l'ossigeno disponibile risulta tutto consumato. Esempi: *Caloneis amphisbaena*, *Navicula cuspidata*, *Nitzschia hungarica*;
- ✓ Diatomee ***polisaprobie***: sopportano una polluzione organica molto forte, in ambienti dove i processi riduttivi dominano su quelli ossidativi, con formazione di composti tossici. Esempi: *Navicula accomoda*, *Navicula goeppertiana*, *Navicula saprophila*.

I principali parametri coinvolti nel sistema saprobico sono il BOD₅, che aumenta progressivamente passando dal primo (BOD₅ < 2 mg/l) al quinto livello (BOD₅ > 10 mg/l), l'ossigeno disciolto, che invece va diminuendo, ed il popolamento batterico che diviene via via più importante.

La stretta gamma di relazioni che intercorre tra la sostanza organica e gli organismi acquatici è molto complessa. Si può tuttavia ricordare brevemente che la sostanza organica disciolta contiene:

- ✓ alcuni principi nutritivi (soprattutto amminoacidi liberi);
- ✓ importanti mediatori chimici che svolgono azione per lo più oligodinamica nei confronti degli organismi viventi. Tra questi: la vitamina B₁ (o tiamina), la vitamina B₁₂ (o cianocobalamina) essenziale per l'accrescimento di molte Diatomee e la vitamina H (o biotina);

- ✓ fattori ad azione antibiotica prodotti soprattutto da batteri, cianoprocaroti (alghe azzurre), Dinofìcee e funghi, che agiscono eterospecificamente a tutti i livelli della catena trofica.

L'affinità/tolleranza delle Diatomee per la sostanza organica è parte integrante dell'indice EPI-D. Gli altri parametri che influenzano direttamente questo indice sintetico sono la polluzione minerale ed il grado trofico, dei quali si parla in successione.

1.4.8 La Salinità

La capacità di adattamento delle Diatomee alle variazioni della concentrazione salina ed in particolare ai cloruri (NaCl , MgCl_2) è talora molto limitata (forme *stenoaline*), altre volte la loro capacità di osmoregolazione è decisamente elevata (forme *eurialine*). Le prime si trovano tipicamente in acqua dolce (fiumi, laghi) ed in acqua salata (mari ed oceani al largo della zona costiera), le seconde in acqua salmastra, dove le condizioni di salinità sono molto variabili (acque costiere, foci di fiumi).

Vari autori hanno tentato di elaborare un "sistema di salinità" o "sistema alobico" riferito espressamente alle Diatomee; tra questi: Kolbe (1927), Hustedt (1956), Van Dam *et al.* (1994).

Si propone e si riporta di seguito una classificazione in cinque livelli delle Diatomee che popolano i corsi d'acqua, rielaborata rispetto agli autori citati:

- ✓ Diatomee **alofobe**: forme di acqua dolce che non tollerano i cloruri, se non in concentrazione inferiore a 20 mg.l^{-1} . Esempi: *Achnanthes flexella*, *Diatoma hyemalis*, *Neidium alpinum*;
- ✓ Diatomee **oligoalobie** esigenti: tollerano solo una piccola quantità di cloruri ($20\text{-}50 \text{ mg.l}^{-1}$). Esempi: *Achnanthes minutissima*, *Amphora inariensis*, *Fragilaria capucina*;
- ✓ Diatomee oligoalobie tolleranti: hanno uno sviluppo ottimale a valori di salinità compresi tra 50 e 200 mg.l^{-1} . Esempi: *Cocconeis pediculus*, *Cocconeis placentula*, *Gomphonema parvulum*;
- ✓ Diatomee **alofile**: forme per le quali un moderato contenuto in Sali (cloruri) risulta stimolante; salinità compresa tra 200 e 500 mg.l^{-1} . Esempi: *Caloneis*

amphisbaena, *Entomoneis paludosa*, *Cyclotella meneghiniana*, la cui presenza è il segnale di un moderato inquinamento minerale di origine antropica, se non dovuto, come talvolta può verificarsi (affioramenti di rocce evaporitiche), a cause naturali;

- ✓ Diatomee ***β-mesoalobie***: forme d'acqua oligosalmastra, con salinità che oscilla tra 0,5 e 5 g.l⁻¹. Esempi: *Bacillaria paradoxa*, *Navicula halophila*, *Nitzschia lorenziana*; queste specie, ed altre dal medesimo comportamento ecologico, segnalano un forte inquinamento minerale.

Fin qui le Diatomee che si possono incontrare nei fiumi. Questa classificazione è parte integrante dell'indice diatamico EPI-D in quanto esprime la polluzione minerale del corpo idrico. Se, per completare l'argomento, si vuole estendere la classificazione alle forme che tollerano quantitativi di sali via via più elevati (ma che non interessano l'indice diatamico), si possono aggiungere:

- ✓ Diatomee ***α-mesoalobie***: forme di acqua salmastra con salinità compresa tra 5 e 20 (-30) g.l⁻¹;
- ✓ Diatomee ***eualobie***; forme tipicamente marine, salinità compresa tra 30 e 40 g.l⁻¹;
- ✓ Diatomee ***polialobie*** (o ***iper-alobie***): tollerano valori di salinità superiori a 40 g.l⁻¹.

1.4.9 I Sali Nutritivi

Al sistema trofico, che mette in relazione organismi viventi e contenuto in nutrienti (soprattutto nitrati e fosfati) del corpo idrico, hanno contribuito i lavori di numerosi autori, impossibili da riassumere sia pure sinteticamente in questa sede. Tra gli ultimi che si sono occupati espressamente dei rapporti tra Diatomee e sali nutritivi figurano Hofmann (1994) e Van Dam (1994). Semplificando le varie proposte, possiamo qui suddividere le Diatomee che popolano i corsi d'acqua in:

- ✓ specie caratteristiche di ambienti ipotrofici (o ultraoligotrofi), come *Achnanthes flexella*, *Amphora inariensis* e *Diatoma hyemalis*;

- ✓ specie caratteristiche di ambienti oligotrofi, come *Diatoma mesodon*, *Diploneis elliptica* ed *Ellerbeckia arenaria*;
- ✓ specie caratteristiche di ambienti mesotrofici, come *Diatoma vulgare*, *Melosira varians* e *Navicula viridula*;
- ✓ specie caratteristiche di ambienti eutrofi, come *Navicula capitata*, *Navicula goeppertiana* e *Nitzschia hungarica*;
- ✓ specie caratteristiche di ambienti ipertrofici, come *Navicula accomoda*, *Navicula seminulum* e *Nitzschia capitellata*.

Si è soliti definire questi cinque livelli sulla base della concentrazione in fosforo totale, assumendo per il primo livello un valore inferiore a 4-5 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$; tale valore aumenta progressivamente nei livelli successivi. Sarebbe tuttavia più opportuno, per quanto concerne le Diatomee, definire questi livelli sulla base del contenuto in ortofosfati.

Anche questa classificazione costituisce parte integrante dell'indice diatamico e ad essa si farà riferimento più oltre. Volutamente non sono stati qui inseriti gli ambienti distrofi, ricchi in acidi umici, perché tali ambienti, come ad esempio le torbiere a sfagni, non sono di regola presenti lungo i corsi d'acqua.

1.5 Utilità delle Diatomee

- ✓ Nel biomonitoraggio in quanto il numero e il tipo di specie presenti in un corpo d'acqua può fornire un'importante valutazione delle sue caratteristiche ecologiche e cioè del suo stato (Dell'Uomo, 2004).
- ✓ Come foraggio: le diatomee fanno parte del *fitoplancton*, che si trova al primo anello della catena trofica (Torrìsi *et al.*, 2004).
- ✓ Nelle colture di ostriche forniscono proprietà organolettiche pregiate (Torrìsi *et al.*, 2004).
- ✓ Sono importanti perché emettono ossigeno, fondamentale per la vita animale aerobica.
- ✓ Alcune diatomee sono in grado di degradare gli idrocarburi in ambiente marino.
- ✓ Sono utilizzate nella medicina legale per diagnosticare la morte per annegamento.

- ✓ Dopo la morte della cellula, i frustoli si depositano sul fondale dei bacini lacustri e marini (dove si conservano inalterati grazie alla natura silicea del guscio) formando una roccia sedimentaria (*diatomite*) leggera, porosa, bianca e spesso incoerente. La diatomite trova molte applicazioni in svariate industrie: essa serve nella fabbricazione di mattoni refrattari, da isolante, come sostanza filtrante negli zuccherifici e nelle raffinerie, per fabbricare filtri speciali, come materiale da imballaggio per contenitori di acidi corrosivi, come polvere assorbente nell'industria, per la produzione di antibiotici, come eccipiente di polveri insetticide, come materiale abrasivo (per la presenza di silice), in orticoltura, nell'industria dei colori, etc. (Dell'Uomo, 2004; Torrisi *et al.*, 2004).
- ✓ Molte specie che si rinvencono nelle rocce sedimentarie silicee possiedono i requisiti di fossili guida ed assumono importanza in stratigrafia.
- ✓ Altre, rivestono grande interesse in paleoecologia. Dopo aver esaminato un campione di farina fossile, si può stabilire se la deposizione è avvenuta in bacino lacustre o alla foce di un fiume oppure in mare aperto (Dell'Uomo, 2004).
- ✓ L'accumulo sul fondo dei bacini di materiale organico dovuto alle diatomee ha contribuito, nel corso delle ere geologiche, alla formazione di ingenti giacimenti di petrolio (De Agostini, 1984-1999).
- ✓ Alcune specie per la finezza degli ornamenti dei loro frustoli sono usate per mettere in evidenza il potere di risoluzione e la bontà delle lenti degli obiettivi dei microscopi ottici, nonché per confrontare gli ingrandimenti stessi (De Agostini, 1984-1999).
- ✓ Le diatomee sono così sensibili alle variazioni della salinità e della temperatura, che la loro distribuzione permette di stabilire con precisione il percorso delle correnti marine (De Agostini, 1984-1999).

CAPITOLO II

INDICI BIOTICI

2.1 Le Diatomee come bioindicatori

Le Diatomee, le cui caratteristiche biologiche, sistematiche ed ecologiche sono state brevemente descritte nei capitoli precedenti, rivestono un ruolo decisamente importante nel biomonitoraggio fluviale perché possiedono tutti i requisiti che contraddistinguono gli indicatori d'eccellenza. Infatti:

- ✓ sono presenti tutto l'anno in tutti i corsi d'acqua ed in tutti gli ambienti fluviali, ovviamente con generi e specie differenti a seconda delle condizioni ambientali, della stagione e della tipologia del corso d'acqua;
- ✓ sono molto sensibili alle variazioni dei parametri chimici e fisici del mezzo ambiente;
- ✓ sono completamente immerse, fisse al substrato, facili da campionare;
- ✓ sono ben conosciute sia dal punto di vista sistematico che ecologico;
- ✓ possiedono un basso tempo di resilienza (2-4 settimane); una comunità di Diatomee, danneggiata o distrutta, ha una elevata capacità di ricostituirsi una volta cessato il fattore di disturbo.

Per tutte queste ragioni le Diatomee trovano oggi largo impiego nella valutazione della qualità biologica e nella sorveglianza dei reticoli idrografici di molti paesi europei.

Le Diatomee che vengono prese qui in considerazione sono quelle *bentoniche*, quasi le sole che popolano le acque correnti, e quelle che si lasciano decisamente preferire nel monitoraggio fluviale sono le *epilitiche*, che vengono prelevate nel vivo della corrente con un raschietto o con uno spazzolino a setole rigide, come si vedrà meglio in seguito.

I campionamenti possono variare da due a quattro o più nel corso dell'anno, in dipendenza della tipologia del corso d'acqua e degli obiettivi della ricerca.

In laboratorio, poiché la sistematica delle Diatomee riposa quasi esclusivamente sulle caratteristiche del frustulo siliceo, è necessario distruggere la sostanza organica mediante ossidanti forti e quindi montare i frustuli puliti in una resina ad elevato indice di rifrazione.

2.2 L'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione o EPI-D

L'indice diatomico, elaborato per i fiumi d'Italia dopo un lungo periodo di ricerche sulle alghe e le comunità algali dei corsi d'acqua dell'Appennino centrale in particolare, ma anche con verifiche e confronti relativi ad ambienti lotici alpini ed appenninici meridionali, è l'Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione o **EPI-D** (Eutrophication/Pollution Index–Diatom based) (Dell'Uomo 1996, 1999).

Questo indice si basa sulla sensibilità (affinità/tolleranza) delle Diatomee ai nutrienti, alla sostanza organica e grado di mineralizzazione del corpo idrico, con particolare riferimento ai cloruri, che possono rappresentare un potente fattore di inquinazione delle acque interne. L'indice qui proposto si basa, come la maggior parte degli indici diatomici utilizzati in Europa, sulla formula matematica di Zelinka e Marvan (1961):

$$EPI-D = \frac{\sum_{j=1}^n a_j * r_j * i_j}{\sum_{j=1}^n a_j * r_j}$$

dove:

- **EPI-D** = indice globale di eutrofizzazione/polluzione della stazione considerata;
- **a_j** = abbondanza della specie j ; si parlerà più avanti delle modalità per attribuire i valori di abbondanza;
- **r_j** = affidabilità (dall'inglese "reliability") della specie j , inversamente proporzionale al suo "range" ecologico; valori utilizzati: 5 per un indicatore ottimo, 3 per un indicatore buono, 1 per un indicatore solo sufficiente; si vedrà più avanti come questi valori vengono attribuiti;

- ✦ ij = indice integrato ponderato di sensibilità della specie j ; i valori attribuiti vanno da 0 (per un specie che indica un ambiente di ottima qualità) a 4 (specie che indica un corpo idrico completamente degradato).

Vediamo ora come si è proceduto per attribuire ad ogni taxon il valore di “ i ”. Nella tabella 2.1, con riferimento ai sistemi saprobico, alobico e trofico, di cui si è detto in precedenza e tutti e tre articolati in cinque livelli, sono stati messi in correlazione i corrispondenti livelli di questi sistemi. È stato poi assegnato alle Diatomee caratteristiche di questi livelli un valore numerico che esprima sinteticamente la loro sensibilità (da 0, molto sensibile a 4, molto tollerante) nei confronti dei parametri considerati. Più precisamente, questi valori, ripartiti su cinque livelli, sono stati attribuiti come segue:

- ✓ $i = 0$ alle specie xenosaprobie, alofobe e caratteristiche di ambienti ipotrofici (o ultraoligotrofi), che indicano quindi una eccellente qualità del corpo idrico;
- ✓ $i = 1$ alle specie oligosaprobie, oligoalobie esigenti e tipiche di ambienti oligotrofici che testimoniano una buona qualità del corpo idrico, solo di poco inferiore alla precedente;
- ✓ $i = 2$ alle specie β -mesosaprobie, oligoalobie tolleranti e caratteristiche di ambienti mesotrofici che attestano una mediocre qualità del corpo idrico;
- ✓ $i = 3$ alle specie α -mesosaprobie ed alofile che si sviluppano tipicamente in ambienti eutrofici; queste contraddistinguono una qualità biologica del corpo idrico ormai alquanto compromessa;
- ✓ $i = 4$ alle specie polisaprobie, β -mesoalobie e che popolano ambienti ipertrofici; esse testimoniano un deterioramento molto spinto del corpo idrico.

Il valore di “ i ” così attribuito è pertanto l’indice “integrato” di sensibilità della specie che tiene conto della reattività della specie alla polluzione organica, alla polluzione minerale ed al grado trofico del corpo idrico.

Si tratta, in tutti questi casi, di Diatomee che rivestono un ruolo di “indicatori eccellenti”, in quanto possiedono una valenza ecologica molto ben definita, ovvero un “range” molto stretto nei riguardi dei parametri considerati. Essi hanno pertanto un

grado di affidabilità, o peso indicatore, molto elevato nella diagnosi di qualità biologica del corpo idrico, quindi $r = 5$.

<i>Livello saprobico</i>	<i>Livello alobico</i>	<i>Livello trofico</i>	i_e $r = 5$	i_b $r = 3$	i_s $r = 1$
xenosaprobia	alofoba	ipotrofico	0	0.5	
oligosaprobia	oligoalobia esigente	oligotrofico	1	1.5	1
β -mesosaprobia	oligoalobia tollerante	mesotrofico	2	2.5	2
α -mesosaprobia	alofila	eutrofico	3	3.5	3
polisaprobia	β -mesoalobia	ipertrofico	4		

Tabella 2.1 - Schema teorico della corrispondenza tra i vari tipi di approccio all'ecologia delle Diatomee e metodo pratico per attribuire a ciascuna di esse un indice integrato di sensibilità "i" (da 0 molto sensibile a 4 molto tollerante) nei confronti dei fenomeni di eutrofizzazione e inquinazione; "r" esprime il grado di affidabilità del bioindicatore, inversamente proporzionale al suo "range" ecologico: $r = 5$ indicatore eccellente (i_e), $r = 3$ indicatore buono (i_b), $r = 1$ indicatore sufficiente (i_s). (Da: Dell'Uomo, 1996, modificato)

Ma non tutte le Diatomee possiedono un "range" ecologico così ben definito, avendo molte altre un comportamento intermedio tra due livelli successivi, per cui anche il loro indice di sensibilità assumerà un valore intermedio. Ad esempio, se una specie è β - α -mesosaprobia, da oligoalobia ad alofila e tipica di ambienti mesoeutrofici, essa assumerà un valore di "i" intermedio tra 2 e 3, cioè 2,5. Specie con questo comportamento sono indubbiamente buoni indicatori, ma un pò meno affidabili dei precedenti, quindi $r = 3$.

Il valore intermedio fra due successivi livelli, inoltre, può collocarsi un pò più in basso o un pò più in alto del valore centrale (es.: 2,3 o 2,7, invece di 2,5) a seconda che la specie tenda ad avvicinarsi con il suo comportamento ecologico all'uno o all'altro di questi livelli. Ancora più tolleranti, o meno sensibili, sono infine le Diatomee la cui

valenza ecologica abbraccia tre successivi livelli. Ad esempio, se una specie è xeno- β -mesosaprobica, da alofoba ad oligoalobica tollerante e si trova in ambienti da ipotrofici a mesotrofici, il suo valore di “ i ” sarà intermedio tra 0 e 2, cioè **1**, ma allora il valore di r sarà basso ($r = 1$) perché in questo caso la specie considerata, data la sua ampia valenza ecologica, è un indicatore meno affidabile dei precedenti. In questo modo, se anche due specie possiedono lo stesso valore di i , come ad esempio *Cocconeis pediculus* e *Gomphonema augur* ($i = 2$), esse risultano tuttavia molto ben differenziate se si va a vederne il valore di r (Allegato 1). La prima, infatti, con $r = 1$ è un indicatore solo sufficiente, mentre la seconda, con $r = 5$, risulta un indicatore eccellente del corpo idrico in cui viene rinvenuta.

Quelli appena descritti sono altrettanti esempi di come si è proceduto al calcolo dei valori di i ed r , secondo quanto schematizzato nella tabella 1. Questi parametri, indispensabili per il calcolo dell’indice diatomico, sono riportati accanto ad ognuno dei taxa dell’Allegato 1, dove figurano tutte le specie, comprese le loro più comuni sinonimie, che sono state prese in considerazione fino a questo momento per il calcolo dell’EPI-D.

Altra precisazione importante: non sempre le Diatomee hanno un comportamento univoco, come parrebbe dagli esempi sopra esposti, nei confronti dei tre sistemi di riferimento, vale a dire i sistemi saprobico, alobico e trofico. Una specie, ad esempio, potrebbe avere un indice di sensibilità 0 nei confronti della salinità, un indice 1 per quanto riguarda la sostanza organica e un indice 2 se si considerano i nutrienti. In casi come questi i valori di i che troviamo nell’Allegato 1 “mediano”, seppure in maniera ponderata, non aritmetica, fra le sensibilità della specie ai vari parametri ambientali. Quindi l’indice i risulta, oltre che “integrato”, anche “ponderato”. Tra i tre valori di i , la media ponderata tiene sempre in maggior conto quello più elevato.

Per l’assegnazione dell’indice i a ciascuna delle specie riportate nell’Allegato 1 si è tenuto conto dei numerosi dati sull’ecologia delle Diatomee presenti in letteratura, in particolare quelli dovuti a Van Dam *et al.* (1994) e Hofmann (1994), ma anche e soprattutto dell’esperienza personale relativa ai corsi d’acqua italiani. Infatti, ad ogni regione geografica corrisponde anche una ben definita regione ecologica dove si sviluppano caratteristici ecotipi, ciascuno portatore di un proprio messaggio ecologico e di questi ecotipi è necessario tenere conto nella messa a punto degli indici biologici.

2.2.1 Interpretazione dei risultati

Il risultato fornito dall'indice EPI-D, che si ottiene estendendo la sommatoria a tutte le specie della stazione considerata, è un valore compreso tra 0 e 4, dove i valori prossimi allo 0 indicano acque pulite, mentre quelli via via più elevati stanno a significare acque sempre più compromesse. Per cogliere anche piccole, ma significative variazioni dell'indice diatomico lungo un corso d'acqua, il calcolo va effettuato alla seconda cifra decimale. L'interpretazione del risultato è stata proposta inizialmente in otto classi di qualità (Dell'Uomo, 1996, 1999; Dell'Uomo et al., 1999), come mostrato in tabella 2.2:

<i>VALORI EPI-D</i>	<i>QUALITÀ</i>	<i>COLORE</i>
$0.0 < \text{EPI-D} \leq 1.0$	ambiente di qualità eccellente	<i>Celeste</i>
$1.0 < \text{EPI-D} \leq 1.5$	ambiente di buona qualità	<i>Blu</i>
$1.5 < \text{EPI-D} \leq 1.8$	ambiente di qualità sufficiente	<i>Verde scuro</i>
$1.8 < \text{EPI-D} \leq 2.0$	ambiente leggermente alterato	<i>Verde chiaro</i>
$2.0 < \text{EPI-D} \leq 2.2$	ambiente moderatamente inquinato	<i>Giallo</i>
$2.2 < \text{EPI-D} \leq 2.5$	ambiente fortemente inquinato	<i>Arancio</i>
$2.5 < \text{EPI-D} \leq 3.0$	ambiente pesantemente inquinato	<i>Rosso</i>
$3.0 < \text{EPI-D} \leq 4.0$	ambiente completamente degradato	<i>Marrone</i>

Tabella 2.2 - Interpretazione, in otto classi di qualità, del risultato fornito dall'indice EPI-D

Tuttavia, allo scopo di mettere in correlazione i risultati forniti dall'EPI-D con quelli derivanti da altri indici diatomici e biotici in generale (es.: IBE), ma anche chimici (es. LIM = Livello di Inquinamento da Macrodescrittori) (Cavaliere e Mazzoni, 2002) ordinariamente articolati in cinque classi, viene qui proposto anche per l'EPI-D un giudizio in cinque classi di qualità (Tab. 2.3)

<i>VALORI EPI-D</i>	<i>CLASSE</i>	<i>QUALITÀ</i>	<i>COLORE</i>
$0.0 < \text{EPI-D} < 1.0$	I	ottima	<i>Blu</i>
$1.0 < \text{EPI-D} < 1.7$	II	buona	<i>Verde</i>
$1.7 < \text{EPI-D} < 2.3$	III	mediocre	<i>Giallo</i>
$2.3 < \text{EPI-D} < 3.0$	IV	cattiva	<i>Arancio</i>
$3.0 < \text{EPI-D} < 4.0$	V	pessima	<i>Rosso</i>

Tabella 2.3 - Interpretazione, in cinque classi di qualità, del risultato fornito dall'indice EPI-D

I risultati che si collocano attorno ai valori soglia (1.0 ± 0.05 ; 1.7 ± 0.05 ; 2.3 ± 0.05 ; 3.0 ± 0.05) vanno interpretati come classi di passaggio. Ad esempio, per valori compresi tra 0.95 e 1.05 si può ben parlare di passaggio da una I ad una II classe (qualità da ottima a buona, colore blu-verde).

Il tipo non lineare d'interpretazione proposta, con le classi di qualità più ampie alle estremità e progressivamente più strette verso il centro, rappresenta un correttivo al comportamento ecologico delle Diatomee ed al loro modo di riunirsi in comunità composite. Diatomee ad ampia valenza ecologica, infatti, si associano solitamente, sia in acque decisamente "pulite" che in acque molto pollute, alle specie che sono caratteristiche di queste due situazioni limite. Alcuni esempi: a *Diatoma hyemalis*, che contraddistingue inequivocabilmente acque di ottima qualità, si associa spesso *Cymbella minuta*. Insieme a *Navicula accomoda*, che caratterizza acque molto deteriorate, si può trovare *Nitzschia paleacea*. La presenza di specie come *Cymbella minuta* e *Nitzschia paleacea*, che sono organismi ad ampio "range" ecologico e indicatori (con $r = 1$) decisamente meno importanti degli altri due ($r = 5$), comporta un certo addensamento dei risultati, data la struttura dell'indice EPI-D, verso i valori centrali e di questo si è tenuto conto nelle tabelle 2.2 e 2.3.

L'indice diatomico esprime giudizi globali sulla qualità del corpo idrico, sommando eutrofizzazione naturale ed eutrofizzazione di origine antropica, inquinazione naturale e inquinazione dovuta alle attività umane. Per rilevare l'impatto dovuto ad una industria, ad un allevamento, ad un centro abitato, sarà però sufficiente confrontare i valori dell'indice diatomico rilevati a monte e a valle dell'insediamento, ovviamente adottando in entrambi i casi la stessa metodica di campionamento. Sicuramente, però, c'è ancora del lavoro da fare in questa direzione per trovare dei valori di riferimento, o di qualità attesa. Un errore da evitare è quello di considerare come inquinamento antropico quello dovuto, talora, alla natura geologica del terreno, come ad esempio la presenza di evaporiti fossili ricche in cloruri nel bacino idrografico di un fiume. In questo caso l'indice diatomico sale pur non essendoci riscontri oggettivi nella situazione reale. E' sempre opportuno consultare la carta geologica in cui è compreso il bacino idrografico di un fiume.

Per la stessa ragione, come si dirà più avanti, si deve assolutamente evitare di effettuare campionamenti in prossimità della foce di un corso d'acqua, potendosi avere la risalita del cono salino.

2.2.2 Confronto con altri indici diatomici Europei

In molti paesi d'Europa vengono ormai utilizzati indici diatomici per la valutazione della qualità biologica degli ambienti lotici. Questi indici, messi a punto per le varie realtà geografiche (ecoregioni), sono anche proposti in scale differenti. Tuttavia, al fine di uniformare e poter facilmente confrontare i risultati da essi forniti, possono tutti essere ricondotti ad una scala 1-20 tramite il software OMNIDIA (Lecoite *et al.*, 1993 e successivi aggiornamenti).

Per quanto riguarda più precisamente l'EPI-D, la conversione dei valori ottenuti in scala 0-4 (EPI-D₀₋₄) a quelli in scala 1-20 (EPI-D₁₋₂₀) si effettua con la seguente formula:

$$EPI-D_{1-20} = (-4,75 \times EPI-D_{0-4}) + 20$$

Nella tabella 2.4, i valori dell'EPI-D che definiscono le cinque classi di qualità sono stati trasformati, con qualche arrotondamento, in quelli in scala 1-20

<i>VALORI EPI-D IN SCALA 1-20</i>	<i>CLASSE</i>	<i>QUALITÀ</i>	<i>COLORE</i>
20 > EPI-D > 15	I	ottima	Blu
15 > EPI-D > 12	II	buona	Verde
12 > EPI-D > 9	III	mediocre	Giallo
9 > EPI-D > 6	IV	cattiva	Arancio
6 > EPI-D > 1	V	pessima	Rosso

Tabella 2.4 - I giudizi di qualità dell'EPI-D₀₋₄, vengono trasformati in scala 1-20 per compararli con gli altri indici diatomici europei

In questa trasformazione, come mostra la tabella 2.4, i valori prossimi a 20 significano acque "pulite" mentre i valori prossimi a 1 segnalano ambienti via via più compromessi; quindi l'interpretazione dei valori si inverte rispetto a quella che si ottiene con l'EPI-D in scala 0-4, pur restando identico, ovviamente, il giudizio finale. Il calcolo dell'EPI-D₁₋₂₀ si effettua alla prima cifra decimale. Anche con questo tipo di

interpretazione è opportuno considerare come classi di passaggio quelle i cui i risultati sono a cavallo dei valori soglia; si può assumere come intervallo di passaggio un ± 0.5 .

Le principali differenze tra gli indici diatomici europei sono dovute alla presenza di caratteristici ecotipi nelle diverse realtà territoriali, alle differenti liste di specie prese in considerazione, al metodo (alcuni indici considerano solo o soprattutto la sensibilità delle Diatomee alla sostanza organica). Applicando la matrice di correlazione di Pearson ad un gran numero di campioni (160) provenienti da vari corsi d'acqua appenninici nel loro percorso dalla sorgente alla foce, è stata messa in evidenza, pur nella diversità dei valori assoluti, una correlazione altamente significativa (Torrizi, 2003) tra l'EPI-D e alcuni tra i più utilizzati indici diatomici europei presenti nel software OMNIDIA, tra cui IPS, IBD, CEE e SLA.

2.2.3 Parametri chimici correlati con l'EPI-D.

I più importanti parametri chimici che influenzano l'indice EPI-D che, si ribadisce, prende in considerazione la sensibilità delle Diatomee al carico organico, al grado di mineralizzazione del corpo idrico ed alla concentrazione in nutrienti, sono i seguenti:

- ✓ Ossigeno Disciolto e % del di saturazione;
- ✓ BOD₅;
- ✓ COD;
- ✓ Fosforo Totale e soprattutto Ortofosfati;
- ✓ Azoto Ammoniacale;
- ✓ Azoto Nitrico;
- ✓ Cloruri;
- ✓ Solfati;
- ✓ Durezza Totale;
- ✓ Conducibilità.

La correlazione, data la natura dell'indice (integrato, ponderato) non avviene di regola con un singolo fattore, ma con l'insieme degli stessi, che interagiscono nel corpo idrico.

2.3 INDICE BIOTICO ESTESO (I.B.E.)

2.3.1 Generalità

Il rilevamento degli effetti di attività umane sull'ambiente è uno dei compiti più ardui che gli enti di controllo si trovano a dover affrontare: appare chiaro, pertanto, quanto sia importante avere disponibilità di metodi di indagine assolutamente affidabili.

Una valutazione attendibile ed oggettiva degli effetti delle attività antropiche sull'ambiente non è semplice da ottenere. Tra i problemi che frequentemente si incontrano possiamo annoverare la bassa concentrazione di inquinanti propagati da scarichi puntiformi o diffusi e la discontinuità degli sversamenti.

I primi metodi biologici di classificazione della qualità delle acque correnti risalgono all'inizio del secolo e vengono riuniti in 3 grandi gruppi:

- *Indici Saprobici* basati sulla relazione fra presenza di specie e qualità dell'acqua
- *Indici di Diversità* basati sulla diversità globale della comunità
- *Indici Biotici* basati contemporaneamente sul valore di indicatore di alcune specie e sulla ricchezza in taxa della comunità.

L'indice più frequentemente utilizzato in Italia per la classificazione della qualità biologica degli ecosistemi ad acqua corrente è l'I.B.E. (Indice Biotico Esteso) (Ghetti, 1997), derivazione del T.B.I. (Trent Biotic Index), messo a punto per la prima volta da F.S. WOODIWISS sul fiume Trent in Inghilterra nel 1964, e rielaborato poi come Extended Biotic Index - EBI. Tale indice, basato sul significato indicatore dei macroinvertebrati bentonici ed adattato per un'applicazione standardizzata ai corsi d'acqua italiani (Ghetti e Bonazzi, 1981; Ghetti, 1986), permette la formulazione di diagnosi della qualità di ambienti di acque lotiche basandosi sulle modificazioni della composizione delle comunità di macroinvertebrati bentonici che albergano sul substrato fluviale, rispetto alla composizione attesa nelle differenti zone ecologiche che naturalmente si susseguono sulla base del continuum monte-valle di fattori limitanti.

Questi organismi sono composti da numerose popolazioni che presentano differenti ruoli ecologici e cicli vitali relativamente lunghi ma, soprattutto, differenti livelli di sensibilità rispetto alle modificazioni ambientali indotte da fattori di

inquinamento delle acque e dei sedimenti o da significative alterazioni fisiche dell'alveo bagnato.

L'applicazione di tale indice consente di fornire un giudizio sintetico e di facile interpretazione sulla qualità complessiva dell'ambiente fluviale permettendo un giudizio complementare al controllo chimico – fisico e verificando l'effetto d'insieme prodotto dalle cause inquinanti. Inoltre, consente di individuare e quantificare gli effetti di scarichi saltuari o accidentali di sostanze inquinanti, difficilmente rilevabili con altri metodi se non si campiona al momento dello sversamento.

Tali caratteristiche conferiscono all'I.B.E. una buona capacità di sintesi rendendolo particolarmente adatto a rilevare, nel tempo, gli effetti dovuti al complesso dei fattori di stress sull'ambiente.

Quando tale indice viene applicato bisogna seguire alcune accortezze onde evitare errori nel calcolo del medesimo. Infatti:

1. non bisogna eseguire prelievi nel periodo immediatamente successivo ad una secca o ad una forte piena (vanno rispettati i tempi di completa ricolonizzazione che variano da stagione a stagione) (Marti *et al.*, 1994);
2. non si deve campionare immediatamente a valle di uno scarico o di un affluente (occorre rispettare una distanza che garantisca il completo rimescolamento delle acque con quelle del corpo ricevente);
3. si deve dare una particolare attenzione ai fenomeni di *drift* (trasporto di individui dai tratti a monte per effetto della corrente che, pertanto, non vanno considerati perché non facenti parte della comunità in esame (Ghetti, 1986).

Il calcolo dell'Indice Biotico Esteso viene realizzato utilizzando i dati relativi al numero ed alle tipologie di taxa campionati in alveo. Questi vengono introdotti in una tabella a due entrate (Tab. 2.5): quella verticale facente riferimento ad intervalli numerici predefiniti di taxa, e quella orizzontale alle tipologie sistematiche di organismi, ordinate, dall'alto in basso, sulla base del loro valore crescente di euriecia.

Ad ogni coppia di valori di coordinate corrisponde un valore dell'indice (come risultante della combinazione: ricchezza tassonomica – significato di bioindicatore dei taxa presenti) che viene, così, assegnato al segmento di alveo campionato.

La qualità biologica di un corso d'acqua viene, quindi, sintetizzata da valori numerici convenzionali, caratteristica, questa, condivisa con altri tipi di indici biotici.

Complessivamente, l'I.B.E. può assumere valori che vanno da 0 a 12 (eccezionalmente fino a 13 o 14) che, a loro volta, vengono introdotti in una seconda tabella (Tab. 2.6) nella quale si realizza la conversione nel corrispondente giudizio di qualità ambientale.

I valori dell'indice sono stati raggruppati in 5 classi di qualità (C.Q.B.), facilmente visualizzabili in cartografia mediante colori convenzionali, rendendo così possibile la realizzazione di mappe di qualità utili per l'analisi dello stato delle acque di un bacino, per organizzare i piani di monitoraggio e per valutare, nel tempo, l'efficacia degli interventi di risanamento.

Ricordiamo, infine, che l'I.B.E., producendo una stima della biodiversità degli ambienti lotici, fornisce indicazioni sulla qualità biologica relativa all'alveo bagnato e, solo indirettamente, sulla "qualità chimica e fisica" delle acque e dei sedimenti.

Gruppi faunistici che determinano l'ingresso orizzontale in tabella		N°. Tot. delle Unità Sistematiche costituenti la comunità								
		0-1	2-5	6-10	11-15	16-20	21-25	26-30	31-35	36
Plecoptera (<i>Leuctra</i>)°	+ di una U. S.	-	-	8	9	10	11	12	13	14
	Una sola U. S.	-	-	7	8	9	10	11	12	13
Ephemeroptera (escl. <i>Baetidae</i> e <i>Caenidae</i>)°	+ di una U. S.	-	-	7	8	9	10	11	12	-
	Una sola U. S.	-	-	6	7	8	9	10	11	-
Trichoptera (incl. <i>Baetidae</i> e <i>Caenidae</i>)	+ di una U. S.	-	5	6	7	8	9	10	11	-
	Una sola U. S.	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Gammaridae e/o Atiidae e/o Palaemonidae	Tutte le U.S. sopra assenti	-	4	5	6	7	8	9	10	-
Asellidae e/o Niphargidae	Tutte le U.S. sopra assenti	-	3	4	5	6	7	8	9	-
Oligochaeta o Chironomidae	Tutte le U.S. sopra assenti	1	2	3	4	5	-	-	-	-
Altri organismi	Tutte le U.S. sopra assenti	0	1	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 2.5 - Tabella per il calcolo del valore dell'I.B.E. con relativa legenda

Legenda:

- °: quando *Leuctra* è presente come unico taxon di Plecotteri, contemporaneamente all'assenza degli Efemerotteri (o presenti solo *Baetidae* e *Caenidae*), questa deve essere considerata a livello dei Tricotteri;
- °°: l'ingresso orizzontale in tabella delle famiglie *Baetidae* e *Caenidae* è considerato a livello dei Tricotteri;
- : giudizio dubbio, per errore di campionamento, per presenza di organismi di drift, per ambiente non colonizzato adeguatamente, per tipologie non valutabili con l'I.B.E;

Una volta assegnate tutte le stazioni di rilevamento indagate alla relativa classe, e attribuite loro le corrispondenti codifiche cromatiche, è possibile predisporre una cartografia tematica che produce, in merito alla qualità biologica di interi corsi o bacini fluviali, un impatto visivo di efficace immediatezza.

CLASSI DI QUALITÀ	VALORI DI I.B.E.	GIUDIZIO	COLORE DI RIFERIMENTO
Classe di qualità I	10-11-12- - -	Ambiente non inquinato o non alterato in modo sensibile	Azzurro
Classe di qualità II	8-9	Ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	Verde
Classe di qualità III	6-7	Ambiente inquinato o alterato	Giallo
Classe di qualità IV	4-5	Ambiente molto inquinato o molto alterato	Arancio
Classe di qualità V	0-1-2-3	Ambiente eccezionalmente inquinato o alterato	Rosso

Tabella 2.6 - Tabella di conversione dei valori di I.B.E., in classi di qualità, con relativo giudizio e colore per la rappresentazione cartografica

CAPITOLO III

MATERIALI E METODI

3.1 Studi Preliminari

Per poter localizzare in modo corretto le stazioni di campionamento lungo un corso d'acqua si richiede un ampio quadro conoscitivo dell'ambiente in cui si dovrà operare. Per queste ragioni, prima dell'inizio dell'attività sperimentale, è stata svolta una ricca ricerca bibliografica congiuntamente ad una serie di sopralluoghi e pre – campionamenti, tutto mirato ad una più profonda conoscenza del bacino idrografico del fiume da monitorare, attraverso i quali è stato possibile definirne le caratteristiche naturali, ovvero la natura geo – pedologica del bacino, la conformazione dell'asta fluviale, l'entità ed il tipo di copertura boschiva, la vegetazione di margine, le fonti autoctone ed alloctone di sostanza organica e l'eventuale immissione di affluenti.

Oltre alle caratteristiche naturali è stato necessario accertare l'esistenza di eventuali attività antropiche che potessero interessare direttamente il fiume monitorato come la localizzazione dei centri abitati e delle attività umane, presenza di scarichi urbani ed industriali, impianti di depurazione, attività agricole, captazioni, localizzazione di opere idrauliche (dighe, prese, briglie) e strutture artificiali in alveo.

3.2 Descrizione dell'Area di Studio

Il fiume Crati costituisce il corpo d'acqua più importante della Calabria, sia per l'estensione del bacino (2.432 Km²) sia per la lunghezza dell'asta principale (81,4 Km).

Il fiume ha origine con il nome di Craticello dalle pendici del Timpone Bruno, massiccio granitico ad occidente del monte Botte Donato.

Nel primo tratto del percorso il fiume scende a valle con un dislivello quasi di 1.500 m in neanche 10 Km. A partire dalla città di Cosenza, dove si unisce al Busento, il fiume scorre in una ampia valle, assumendo caratteristiche di corso d'acqua di pianura pur essendo lontano dalla foce. La valle del Crati ha dapprima andamento sud-nord e poi nord-est, fino a confluire nella Piana di Sibari. In corrispondenza di Tarsia la valle si restringe per qualche chilometro ed in questo punto, nel 1951, è stato costruito uno sbarramento artificiale che rimane aperto nei mesi invernali.

Durante il suo percorso il Crati accoglie numerosi, fiumi. Tra questi degno di nota è il Mucone, che perviene dal lago Cecita e che, essendo utilizzato per alimentare le centrali dell'ENEL, ha un deflusso regolato.

Il maggiore affluente del Crati è il fiume Coscile, proveniente dalle pendici del Monte Pollino, che immettendosi nel Crati a soli 10 Km dalla foce è quasi sempre considerato come un bacino a se stante.

Le colture agrarie occupano circa il 60% del bacino e di queste circa il 20% sono irrigue. Per irrigare la valle del Crati vengono utilizzati una derivazione del Crati a sud di Cosenza, il serbatoio sul Fiume Mucone, e l'invaso di Tarsia, che copre in totale i fabbisogni idrici agricoli di 12.120 ha.

La piovosità media del bacino, come si ricava dai dati di 19 stazioni poste nel bacino con un periodo di osservazione uguale o superiore ai 20 anni, risulta pari a 1,205 mm, valore poco più alto di quella media relativa a tutte le regioni (1,176 mm). I mesi che presentano le maggiori precipitazioni sono novembre, dicembre e febbraio, ma le portate del fiume Crati sono maggiori nei mesi di gennaio, febbraio e marzo, essendoci meno assorbimento da parte del terreno, che è imbibito parzialmente delle piogge dei mesi precedenti.

La portata media del Crati (escluso il Coscile) è di 26,1 m³/sec, con ampie variazioni stagionali ed annuali che vanno da un valore nullo di portata fino a 1.120 m³/sec.

Nel bacino del Crati risiedono circa 360.000 persone, di cui quasi la metà concentrate nella zona Cosenza – Rende. I centri abitati del bacino sono spesso sprovvisti di impianti di depurazione funzionanti. Sono assenti insediamenti industriali di rilevante importanza, anche se a nord di Cosenza sono insediate industrie conserviere, petrolifere, del legno e della ceramica.

3.3 Geologia Del Bacino Del Fiume Crati

Il bacino del Crati si sviluppa nell'area di raccordo tra la porzione alpina, a Sud, e la porzione appenninica, a Nord, della catena "Appennino – Maghrebide". Da ciò deriva la particolare complessità geologica dell'area. Infatti tale catena è caratterizzata da un edificio a falde in cui, insieme alle unità plastiche e rigide dei flysch e delle rocce carbonatiche, di età essenzialmente secondaria, sono estesamente rappresentati terreni

più antichi, metamorfici e cristallini (Ogniben, 1969; Haccard *et al.*, 1972; Bousquet, 1973; Amodio-Morelli *et al.*, 1976; Dubois, 1976; Grandjacquet & Mascle, 1978).

Il bacino del Crati rappresenta una fossa tettonica formatasi in epoca plio-pleistocenica in seguito al sollevamento finale della catena "Appennino-Maghrebide", avvenuto attraverso il gioco di una rete di faglie normali. Tale fossa tettonica è costituita da due porzioni: una meridionale ed una settentrionale. La porzione meridionale, la valle del Crati in senso stretto, è allungata in direzione N-S ed è compresa tra la Catena Costiera, ad Ovest, e la Sila ad Est. La porzione settentrionale, pianura di Sibari, si estende in direzione NE-SW ed è chiusa a nord dalla Catena del Pollino.

L'intera ossatura della Catena del Pollino risulta costituita da unità calcario-dolomitiche che, lungo il bordo occidentale del bacino del Crati, affiorano anche in finestre tettoniche. Nella parte orientale del bacino le unità più basse che affiorano sono le filladi mentre l'intera ossatura del massiccio silano è formata da rocce metamorfiche di medio-alto grado. Associate alle rocce metamorfiche si osservano masse granitiche con rapporti di probabili intrusioni. L'intero complesso di rocce cristallino-metamorfiche è intensamente tettonizzato ed interessato da una profonda alterazione che, almeno nelle porzioni più superficiali, le rende simili a dei sabbioni.

Anche ad occidente le unità più basse che affiorano sono le filladi, mentre la copertura cristallina della Catena Costiera è formata da rocce metamorfiche di medio-alto grado. Sono ancora presenti argilloscisti, rocce verdi, calcari e quarzoareniti. Lungo l'asse, sui fianchi della Catena Costiera e sul bordo silano affiorano conglomerati, arenarie e calcari arenacei di norma ben cementati e a grana medio-grossa, mentre in una stretta fascia, che borda ad oriente la Catena Costiera, affiorano dei conglomerati contenenti evaporiti, marne ed argille con intercalazioni di gessi ed arenarie. Esse segnano una serie di bacini esigui ed in probabile collegamento gli uni con gli altri nei quali la deposizione finale degli ambienti evaporitici, cioè i complessi di salgemma e sali potassici, diventano prevalenti nella sezione più settentrionale del bacino. Perciò i depositi relativi alla fase evaporitica alto-miocenica sono rappresentati:

- 1) nei dintorni di Cosenza, Cerisano, Marano etc., dove si hanno in prevalenza calcari evaporitici biancastri associati a sporadiche lenti di gesso. Anche se non cartografati, è probabile che sia nelle argille, che sempre accompagnano questa formazione, sia nei gessi vi siano lenti di salgemma.

- 2) nella zona a nord di Montalto, e nell'area di Lattarico e Rota Greca, dove diventano invece importanti i gessi accompagnati da esigue e sporadiche lenti di salgemma;
- 3) nell'area di Altomonte, Lungro e Saracena, dove è noto da secoli, perché sfruttato fino al 1975, un grande deposito di sale.

3.4 Criteri di individuazione dei siti di monitoraggio chimico-biologico

La valutazione dello stato ecologico ha interessato sia il bacino del fiume Crati sia uno tra i suoi principali affluenti, il fiume Busento.

Affinché il suddetto obiettivo venisse adeguatamente raggiunto è stato necessario, innanzitutto, individuare un numero opportuno di stazioni di campionamento (Fig. 3.1), in relazione alle caratteristiche del reticolo idrologico ed alla presenza, sul territorio, di

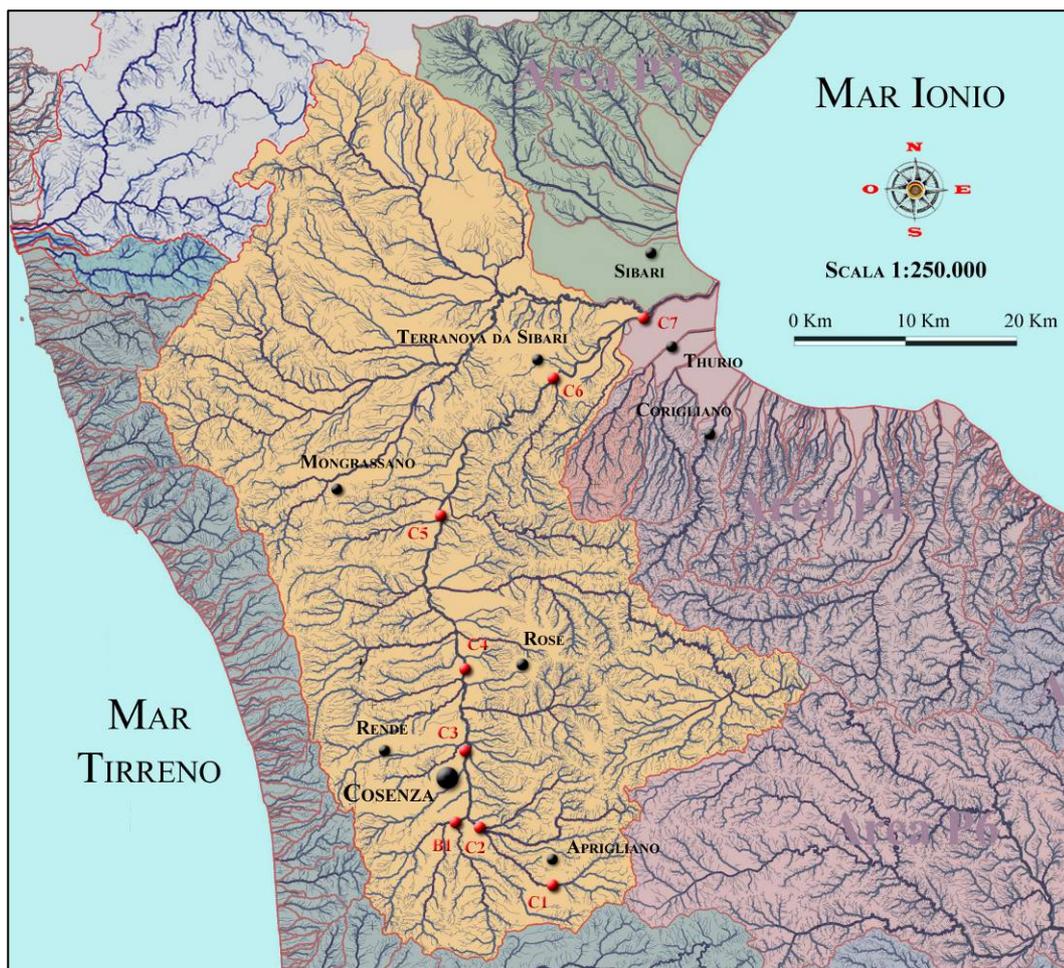


Figura 3.1 – Bacino idrografico del Fiume Crati e stazioni di campionamento

zone ben conservate e zone impattate da attività antropiche e stabilire, in secondo luogo, la frequenza di realizzazione dei campionamenti rispetto alle finalità preposte.

Grazie all'attività conoscitiva preliminare, congiuntamente all'utilizzo delle carte I.G.M. a scala 1:25.000, è stato possibile individuare 8 stazioni di campionamento, ritenute più idonee alla realizzazione del presente studio, 7 ubicate lungo il fiume Crati ed 1 sul fiume Busento, alle quali sono state assegnate delle sigle contenenti un elemento di riferimento al bacino di appartenenza ed uno di progressione numerica rispetto allo sviluppo longitudinale dell'asta fluviale (es.: F. Crati: Cn, dove $n=1, 2, 3$, etc.). Queste sono state scelte valutando anche l'accessibilità al corso d'acqua (strade, ponti, guadi, etc.), i punti di ingresso dei tributari per apprezzare gli effetti dell'immissione nel corpo idrico principale di volumi d'acqua provenienti da altri bacini, le sorgenti puntiformi di inquinamento, etc..

Tanto in occasione della fase di individuazione delle stazioni quanto in quelle successive di campionamento si è proceduto ad una valutazione quantitativa e qualitativa di un complesso di caratteristiche (coordinate geografiche, altitudine, caratteristiche idrologiche, vegetazionali, tipologia del substrato, etc.) che ha consentito l'acquisizione di un complesso di elementi informativi estremamente utili per ottimizzare la diagnosi sullo stato ecologico dei tratti di fiume sottoposti ad analisi.

3.5 Stazioni di Campionamento

Stazione C1: Ponte Aprigliano

Si trova nel comune di Aprigliano in provincia di Cosenza (Foto 3.1); è la stazione situata più a monte, ad un'altitudine di 609 metri s.l.m. ed ad una distanza dalla foce di circa 79 km, con coordinate geografiche N 39° 14' 11,2" E 16° 19' 54,8". L'accesso è possibile attraverso una stradina di campagna che dalla strada principale conduce al fiume. La sezione dell'alveo bagnato oscilla mediamente tra i 3 metri, nei tratti più ristretti, ed i 5 metri in quelli più ampi.

Dalla sorgente, e sino a questo punto, il fiume mostra le caratteristiche tipiche di un torrente montano (Rhithron), con una discreta turbolenza che ne permette una buona ossigenazione, e con una sostenuta velocità di corrente, soprattutto nel periodo invernale.

La componente minerale si presenta granulometricamente ben diversificata, caratterizzata da ghiaia, ciottoli (in prevalenza) e massi in posto, distribuiti in differente misura tra raschi e pozze che garantiscono, nel complesso, una varietà di microhabitat in grado di ospitare una ricca fauna invertebrata.

L'alveo si presenta ben conservato con una ricca vegetazione riparia. La copertura vegetale è continua, folta e compatta, al punto da mantenere il corso d'acqua quasi sempre in ombra.



Foto 3.1 – Stazione C1

Stazione B1: fiume Busento

Questa stazione è situata sul fiume Busento, uno dei principali affluenti del Crati, in prossimità della loro confluenza, ad un'altitudine di 268 metri s.l.m. e distante dalla foce circa 70 km (Foto 3.2). Le sue coordinate geografiche sono N 39° 17' 25,7" E 16° 15' 12,4". Qui l'impatto antropico è consistente, concretizzandosi nella completa rimozione della vegetazione arborea ripariale, nella costruzione di una serie di briglie e nella totale arginatura del fiume che ne hanno completamente stravolto la natura e la fisionomia. L'alveo bagnato misura circa 6 metri che arrivano anche a 12 m. nei periodi di piena. Il substrato è ricco di ghiaia e sassi, mentre elevata è la copertura algale che costituisce circa il 90% della superficie del fondo, mentre il 10% è costituito da macrofite.



Foto 3.2 – Stazione B1

Stazione C2: Cosenza, Arenella

Le stazioni C2 (Foto 3.3) e C3 sono state posizionate una all'inizio del centro abitato di Cosenza e l'altra a valle degli scarichi fognari per valutare l'apporto antropico al fiume e l'interferenza del primo immissario di una certa entità (Fiume Busento).

Questa stazione, situata nei pressi della zona mercato dell'Arenella, si trova a circa 271 m. s.l.m. a 69 km di distanza dalla foce con coordinate geografiche N 39° 17' 24,4" E 16° 15' 40,9".

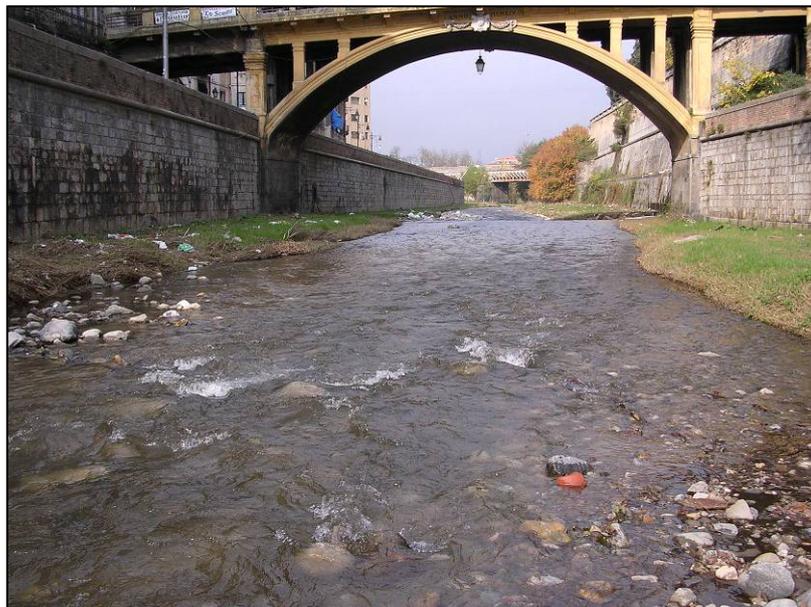


Foto 3.3 – Stazione C2

L'alveo misura un minimo di 5 metri ed un massimo di 12 metri, con una profondità media di 25 cm.

Il substrato é costituito da ciottoli e pietre in prevalenza, con una discreta quota di sabbia. Poca é la vegetazione acquatica. L'antropizzazione è forte e risulta fisionomicamente simile alla vicina stazione posta sul Busento (Foto 3.3).

Stazione C3: Contrada Malavicina

Questa stazione si trova a valle di Cosenza, in corrispondenza del centro commerciale Carrefour, in contrada Malavicina, e rappresenta il luogo in cui confluiscono tutti gli scarichi provenienti dal centro urbano di Cosenza.

La sua altitudine è di 237 m. s.l.m. con coordinate geografiche N 39° 18' 39,8" EO 16° 15' 44,2" ed è posta a circa 67 km dalla foce (Foto 3.4).

Il substrato é costituito da ciottoli in prevalenza, poi da ghiaia e sabbia; la vegetazione riparia, è scarsa, quella acquatica é costituita per il 5-10% da alghe. Il letto del fiume é arginato e presenta in questa zona una serie di piccole briglie. L'accesso é facilitato dal fatto che una strada carrozzabile corre parallela all'argine.



Foto 3.4 – Stazione C3

Stazione C4: Bivio Rose

La stazione C4 è stata posta a valle degli insediamenti industriali situati a nord di Cosenza. Ricade nel comune di Rose, provincia di Cosenza, a circa 57 km dalla foce, posizionata ad un'altitudine di 161 m. s.l.m. con coordinate geografiche N 39° 24' 25,7" EO 16° 15' 26,0" (Foto 3.5). Si trova in prossimità del bivio di Rose, a valle di una ditta che tratta il legname e di una ditta di ceramica. La vegetazione riparia è quasi del tutto assente, il substrato è costituito da una piccola quota di ciottoli ed una grossa percentuale di sabbia e limo, per cui manca quasi del tutto la vegetazione acquatica. Si accede tramite una diramazione della strada provinciale.



Foto 3.5 – Stazione C4

Stazione C5: Mongrassano

Questa stazione ha permesso di valutare gli effetti dell'unico affluente, il Mucone, che deriva direttamente da un lago della Sila (lago Cecita). È posta a monte della diga di Tarsia in prossimità della stazione ferroviaria di Mongrassano Scalo, provincia di Cosenza, ad un'altitudine di 81 m. s.l.m. ed a una distanza dalla foce di 40 km (Foto 3.6). Le sue coordinate geografiche sono N 39° 32' 23,7" EO 16° 14' 09,8". Il substrato è costituito prevalentemente da sabbia e ghiaia, è presente una discreta vegetazione riparia, mentre quella acquatica è pressoché assente. Poco a monte è presente una

robusta briglia che ne smorza fortemente la velocità facendo assumere al fiume caratteristiche potamali.



Foto 3.6 – Stazione C5

Le stazioni C6 e C7 poste, rispettivamente, a valle della diga di Tarsia e subito prima della confluenza con il F. Coscile, hanno permesso di chiudere il quadro delle condizioni di salute del fiume nel tratto terminale.

Stazione C6: Terranova da Sibari

La stazione C6, sita a valle della diga di Tarsia, si trova nel comune di Terranova da Sibari, provincia di Cosenza (Foto 3.7).

L'accesso alla stazione è agevole, vi si arriva tramite una stradina sterrata posta in prossimità del ponte della strada provinciale di Terranova. Qui la quota inizia a scendere notevolmente (47 m. s.l.m.) e ci stiamo avvicinando alla foce che dista circa 20 Km. Le coordinate geografiche sono N 39° 38' 33,1" EO 16° 20' 51,1".

Il fiume in questo tratto è un Potamon con substrato costituito da piccoli sassi e ghiaia; la vegetazione spondale é formata prevalentemente da salici, poca é la vegetazione acquatica.



Foto 3.7 – Stazione C6

Stazione C7: Thurio

Si trova nella frazione di Thurio, comune di Corigliano, in provincia di Cosenza. La foce dista circa 20 km e l'altitudine è di appena 7 m. s.l.m.. Le coordinate sono N 39° 42' 04,1" EO 16° 27' 37,6". Il substrato è costituito da sabbia e ghiaia, ricca è la vegetazione riparia ed acquatica. Si accede tramite l'argine che decorre parallelamente al fiume. Questa stazione è stata ubicata distante dalla foce al fine di evitare la penetrazione del cono salino e quindi la contaminazione dell'acqua dolce con l'acqua salata, poiché l'indice diatamico è tarato per le acque dolci e considera l'NaCl un fattore inquinante.



Foto 3.7 – Stazione C7

3.6 METODICHE

Per quanto attiene alla frequenza dei campionamenti, relativi tanto alla determinazione degli indici biotici che ai parametri chimico-fisici, si è deciso di effettuare due campagne di campionamento, in primavera-estate (giugno - luglio 2004) ed in autunno (ottobre - novembre 2004).

◆ *Indici Biotici*

In tutte le stazioni sono stati determinati l'EPI-D (Dell'Uomo *et al.*, 1999), l'IBE (Ghetti, 1997) e, con l'ausilio del software Omnidia (Lecoite *et al.*, 1993), sono stati anche calcolati 6 indici largamente utilizzati da tempo in campo europeo al fine di verificare la loro affinità con l'EPI-D: l'IPS (Cemagref, 1982), lo SLA (Sladeczek, 1986), il DES (Descy, 1979), l'ILM (Leclercq & Maquet, 1987) e l'IBD di (Lenoire & Coste, 1996). Le diatomee sono state classificate utilizzando i manuali di Krammer-Lange-Bertalot (1986, 1988, 1991, 2000).

◆ *Parametri Chimico – Fisici*

temperatura, pH, conducibilità elettrica, cloruri, materiali in sospensione, durezza, ossigeno disciolto, azoto ammoniacale, fosforo reattivo solubile, azoto nitrico, silice.

Determinazione dei Parametri Chimico - Fisici

C.N.R. – I.R.S.A. (1994)

3.6.1 *Temperatura e pH*

Le misurazioni della temperatura e del pH sono state effettuate sul campo contestualmente al prelievo dell'acqua da esaminare. Per tale scopo è stato utilizzato il pHmetro da campo, munito di sonda di temperatura in °C, della *Hanna Instruments* mod. *HI 8314*.

L'elettrodo per la misurazione del pH e la sonda della temperatura si immergono nell'acqua e si attende sino a quando i valori, letti direttamente sul display degli strumenti, non si stabilizzano.

Prima delle misurazioni viene effettuata, in laboratorio, la taratura dello strumento secondo le istruzioni della casa produttrice, utilizzando le idonee soluzioni di calibrazione a pH 4 e 7.

3.6.2 Conducibilità Elettrica

La conducibilità elettrica è stata misurata in campo, all'atto del prelievo, utilizzando il conduttimetro della *Hanna Instruments* mod. *HI 8733*.

Per la misurazione, si immerge la cella conduttimetrica nell'acqua in esame, facendo attenzione che non perdurino al suo interno bolle d'aria.

Come per il pH, si rende necessario effettuare, a priori, la taratura del conduttimetro utilizzando la soluzione a conducibilità nota fornita dal produttore.

3.6.3 Cloruri

Per la valutazione dei cloruri è stato utilizzato il kit colorimetrico Idrimeter – Carlo Erba.

Campo di Applicazione

Il metodo è applicabile alle acque grezze e depurate, acque di circuiti termici, acque di piscina ed acque potabili.

Il suo campo d'applicazione è compreso tra 0,5 - 20 mg/l Cl⁻.

Principio del Metodo

Il principio sfrutta una reazione colorimetrica, cioè si misura l'intensità della colorazione rosso - arancio del solfocianuro ferrico formatosi in seguito alla reazione del solfocianuro di mercurio con i cloruri presenti nell'acqua da analizzare, in presenza di un sale di ferro.

Procedimento

Prima di iniziare l'analisi il campione viene accuratamente miscelato. Utilizzando una siringa si introducono in due provette 3 ml del campione di acqua da analizzare. Una delle due provette verrà utilizzata come bianco.

Nella seconda provetta si introducono 4 gocce di reattivo *Cloruri A* (ferro nitrato in acido nitrico diluito) e si agita. Sempre nella stessa provetta si aggiungono 4 gocce del reattivo *Cloruri B* (mercurio solfocianuro in dimetilsolfossido), si agita e si attendono 5 minuti.

Le due provette, riposte nei loro alloggiamenti, si osservano dall'alto facendo ruotare la base del comparatore sino a che la colorazione del campione non corrisponde a quella della scala cromatica posta al di sotto della prova in bianco.

A questo punto si può leggere il valore di concentrazione in mg/l come Cl^- .

3.6. 4 Determinazione dei Materiali in Sospensione

Principio del Metodo

La valutazione dei materiali in sospensione viene effettuata mediante filtrazione su di un apposito filtro a membrana e determinata per via gravimetrica dopo essiccamento del filtro ad una data temperatura fino a peso costante.

La determinazione ponderale del filtro, prima e dopo filtrazione, e la relativa differenza, permette di calcolare l'ammontare di solidi in sospensione sul volume di liquido filtrato.

Campionamento e Conservazione del Campione

Il campione prelevato secondo la procedura usuale, deve avere un volume di almeno 1 litro e non richiede particolari modalità di conservazione se non quella di tenerlo in frigotermostato a 4 °C (l'analisi deve essere eseguita entro le 24 ore dal prelievo).

Apparecchiature Richieste

- Apparecchio per filtrazione sottovuoto;
- membrane filtranti con pori di diametro pari a 0,45 μm ;
- stufa a convenzione naturale con termostato (± 2 °C);

- essiccatore contenente cristalli di silice;
- bilancia analitica.

Procedimento

Si pone un filtro a membrana per 1 ora in stufa alla temperatura di 105 °C; la si lascia raffreddare in essiccatore per 30 minuti per poi determinarne il peso al decimo di milligrammo.

Successivamente si colloca la membrana filtrante nell'apparecchio per filtrazione, si preleva almeno 1 l di acqua da analizzare, accuratamente rimescolata, e la si sottopone a filtrazione sottovuoto.

Ultimata la filtrazione, si trasferisce il filtro con il filtrato in stufa alla temperatura di 105 °C per un'ora.

Il filtro essiccato, trascorsa l'ora, si lascia raffreddare in essiccatore per 30 minuti, al termine dei quali lo si pesa mediante bilancia analitica.

Calcoli

La determinazione del contenuto dei materiali in sospensione viene realizzata applicando la seguente formula:

$$\text{Materiali in sospensione (mg/l)} = [(M_1 - M_0)] \cdot 1000 / V$$

dove:

- M_1 è il peso in milligrammi del filtro + il residuo dopo essiccamento;
- M_0 è il peso in milligrammi del filtro dopo essiccamento;
- V è il volume in millilitri del campione sottoposto ad analisi.

3.6.5 Determinazione della Durezza

Principio del Metodo

La durezza totale si determina mediante complessazione con l'acido etilendiammino tetracetico (EDTA), operando su un campione di acqua tamponato a pH 10 in presenza di Nero Eriocromo T come indicatore.

Una soluzione contenente Ca^{++} e Mg^{++} acquista, in queste condizioni, un colore rosso vino. Quando tutto il calcio ed il magnesio sono stati complessati dall'EDTA la soluzione passa dal colore rosa al colore azzurro; questo è il punto finale della titolazione, che permette il dosaggio totale degli ioni calcio e magnesio (durezza totale) (I.R.S.A.- C.N.R., 1994).

Campo di Applicazione

Il metodo è applicabile alle acque naturali, in particolare a quelle adibite ad uso potabile ed industriale.

Apparecchiature Richieste

- Normale vetreria di laboratorio;
- agitatore magnetotermico;
- buretta da 25 ml al decimo di ml;
- bilancia analitica.

Controllo del titolo della soluzione di EDTA (standardizzazione con una soluzione di carbonato di calcio)

1 g di carbonato di calcio anidro viene pesato ed introdotto in un beker da 500 ml. Si aggiungono, mediante pipetta pasteur, piccole quantità di HCl concentrato sino a quando tutto il carbonato non si è disciolto.

Aggiunti 200 ml di acqua distillata, si pone il beker su di un agitatore magnetotermico con la piastra riscaldante accesa.

Si fa bollire la soluzione per 5 minuti per allontanare la CO_2 prodotta, quindi si aggiunge qualche goccia dell'indicatore rosso metile, dopo aver fatto raffreddare la soluzione.

Successivamente si introducono alcune gocce di HCl concentrato fino a che la soluzione non assume un colore arancione tenue e si porta a volume in un cilindro da 1 l. Questa soluzione possiede una concentrazione finale di 1 mg di CaCO_3 /ml. La soluzione di EDTA preparata dovrebbe avere una concentrazione tale che 1 ml di questa

titoli pienamente 1 ml della soluzione di CaCO_3 (ovvero 1 ml EDTA 0,01 M = 1 mg di CaCO_3).

Per controllare tale equivalenza, si esegue la determinazione della durezza come indicato nella procedura sottostante, altrimenti si introduce un fattore di correzione dato da:

$$F.C. = \text{Volume atteso} / \text{Volume ottenuto.}$$

Tale fattore va introdotto nella formula finale per la determinazione della concentrazione dei carbonati.

Procedimento

Si prelevano 100 ml di campione e si introducono in una beuta da 250 ml posta sopra un agitatore magnetotermico, con all'interno un'ancoretta magnetica di adeguate dimensioni. Al campione si aggiungono 5 ml di tampone a pH 10 e successivamente 5 gocce di indicatore Nero Eriocromo T.

A questo punto si inizia la titolazione con EDTA 0.01 M sino al viraggio dal rosa all'azzurro.

Calcoli

La determinazione della durezza, espressa come carbonato di calcio, si ottiene applicando la seguente formula:

$$\text{Durezza (mg/l CaCO}_3) = (V_{EDTA} \cdot 1000 \text{ ml}) \cdot F.C. / V_{campione}$$

F.C. = fattore di correzione del titolo

3.6.6 Determinazione dell'Ossigeno Disciolto

Principio del Metodo

Il metodo chimico è eseguito mediante determinazione iodometrica secondo Winkler, opportunamente modificato da Alstersberg, per evitare, mediante aggiunta di sodio - azide, interferenze di sostanze ossidanti o riducenti presenti nell'acqua.

Il metodo si basa sulla proprietà dell'ossigeno di ossidare l'idrato manganoso a manganico: quest'ultimo libera, dallo ioduro di potassio opportunamente aggiunto, quantità di I_2 equivalente all' O_2 disciolto, titolato volumetricamente con tiosolfato di sodio ($Na_2S_2O_3$), che viene ossidato a tetrionato ($Na_2S_4O_6$), in presenza di idoneo indicatore di viraggio (saldia d'amido).

Dalla quantità di tiosolfato usata nella titolazione dello iodio si risale alla quantità di ossigeno disciolto espressa in ppm o in % rispetto alla saturazione.

Il metodo ha una precisione di 0,02 mg/l.

Campo di Applicazione

Il metodo, nelle sue varianti, è applicabile ad acque di scarico, superficiali, potabili e di mare, per valori di concentrazione di ossigeno disciolto superiori a 0.5 mg/l.

Campionamento e Conservazione del Campione

Il campione è prelevato con sifonamento, immergendo nella colonna d'acqua bottiglie di vetro munite di tappo in gomma a due fori nei quali sono inseriti due tubi del diametro di circa 5 mm. Il tubo, che pesca sul fondo della bottiglia sporgente di circa 1 cm, serve ad assicurare il riempimento della bottiglia senza gorgogliamento dell'acqua; il secondo, che penetra nella bottiglia e che sporge dal tappo di alcuni cm, serve ad espellere gradualmente l'aria durante il riempimento.

Al momento del prelievo si determina e si annota la temperatura del campione.

Apparecchiature Richieste

➤ Bottiglie di vetro da circa 250 ml con tappo a smeriglio o meglio a becco di flauto;

- normale vetreria di laboratorio;
- agitatore magnetotermico;
- termometro (da campo) a 1/10 di grado nel campo utile di temperatura;
- buretta da 50 ml graduata a 0,1 ml.

Procedimento

In campo si aggiungono nella bottiglia 2 ml di solfato di manganese (*Winkler A*) e 2 ml della soluzione alcalina di ioduro di potassio e sodioazide (*Winkler B*). Chiusa la bottiglia (avendo cura di eliminare eventuali bolle d'aria), si rimescola il contenuto capovolgendolo più volte per facilitarne la reazione.

In laboratorio si ripete l'operazione e si attende la completa chiarificazione della soluzione soprastante il precipitato.

Si aggiungono 2 ml di acido solforico concentrato, avendo cura di farlo fluire lungo il collo della bottiglia, il che determina la liberazione dello iodio molecolare.

Si capovolge numerose volte la bottiglia fino ad ottenere un omogeneo rimescolamento dello iodio evoluto.

Una volta decantata la soluzione, si prelevano 100 ml esatti di campione, ed, aggiungendo poche gocce di salda d'amido usata come indicatore, si titolano con la soluzione di tiosolfato 0,0125 N fino alla scomparsa del colore azzurro.

Calcolo dell' Ossigeno Disciolto

L'ossigeno disciolto si ricava dalla seguente formula:

$$O_2 \text{ (mg/l)} = a \cdot N \cdot (F.C.) \cdot f \cdot 8 \cdot 1000 / 100$$

dove:

- a = ml di tiosolfato usati per la titolazione;
- N = normalità del tiosolfato (0,0125 N);
- f = fattore di correzione per il volume di campione spostato in ragione del volume totale di reagenti impiegati per la precipitazione;
- 8 = peso equivalente dell'ossigeno;
- 1000 = fattore moltiplicativo degli ml per 1 litro;

- 100 = volume di campione in ml, utilizzato per la titolazione;
- $F.C.$ = fattore di correzione del titolo della soluzione di tiosolfato di sodio 0,0125 N.

Calcolo della Percentuale di Saturazione

Una volta determinata la concentrazione dell'ossigeno disciolto si può procedere al calcolo della percentuale di saturazione dell'acqua in esame.

Tale valore corrisponde al rapporto percentuale tra la concentrazione dell'ossigeno disciolto, determinata sperimentalmente, e la corrispondente concentrazione di saturazione alla temperatura registrata al momento del prelievo, entrambe espresse in mg/l.

Controllo del Titolo

Il controllo del titolo della soluzione di tiosolfato di sodio 0.1 N viene generalmente eseguito usando bicromato di potassio; in tal caso 0,0981 g di bicromato di potassio $K_2Cr_2O_7$ (da essiccare in stufa a 110 °C per due ore) vengono sciolti in 100 ml di acqua. Si aggiungono 2 g di ioduro di potassio (KI) e 7 ml di acido cloridrico (HCl) concentrato, quindi si mescola e si titola subito dopo con la soluzione di tiosolfato, usando la salda d'amido come indicatore.

Il titolo si ricava dalla seguente espressione:

$$\text{Normalità } (Na_2S_2O_3) = p \cdot 1000 / 49,035 \cdot V$$

dove:

- p = quantità in grammi di $K_2Cr_2O_7$ usata per la titolazione;
- V = ml della soluzione di $Na_2S_2O_3$ utilizzati per la titolazione;
- $49,035$ = peso equivalente del bicromato di potassio.

3.6.7 Determinazione dell'Azoto Ammoniacale

Principio del Metodo

L'ammoniaca, per reazione con fenolo e ipoclorito, forma indofenolo il quale, in ambiente alcalino ed in presenza di nitroprussiato sodico come catalizzatore, assume una colorazione blu misurabile spettrofotometricamente.

Campo di Applicazione

Il metodo è applicabile alle acque naturali, dolci, salmastre o marine, alle acque potabili ed agli scarichi industriali e domestici.

L'intervallo di concentrazione utile è compreso tra 0,05 ed 1 mg/l di N – NH₄⁺ eseguendo il dosaggio direttamente su 25 ml di acqua in esame. Il campo può essere esteso a concentrazioni superiori a 1 mg/l previa diluizione del campione.

Apparecchiature Richieste

- Normale vetreria di laboratorio;
- agitatore magnetotermico;
- spettrofotometro UV/visibile.

Procedimento

Ad una aliquota di campione pari a 50 ml vengono aggiunti, miscelando accuratamente, 1 ml della soluzione di nitroprussiato di sodio ed 1 ml della miscela ossidante, ottenuta combinando una soluzione di trisodiocitrato diidrato con una soluzione di dicloroisocianurato di sodio.

Preparati i campioni, si esegue la lettura spettrofotometrica ad una lunghezza d'onda pari a 690 nm, dopo 1 ora, con cuvette di quarzo dal cammino ottico di 1 cm.

L'azoto ammoniacale, presente nel campione, viene calcolato attraverso i valori delle assorbanze che, sottratti del bianco, vengono convertiti in concentrazione utilizzando la retta di calibrazione precedentemente prodotta.

3.6.8 Determinazione dell'Azoto Nitrico

Principio del Metodo

Il metodo si basa sulla reazione tra nitrati ed il salicilato di sodio in soluzione acida per acido solforico.

Il composto ottenuto ha, in soluzione alcalina, un colore giallo stabile misurabile spettrofotometricamente alla lunghezza d'onda di 420 nm.

Campo di Applicazione

Il metodo è applicabile alle acque naturali (superficiali, sotterranee e potabili), alle acque trattate ed agli scarichi domestici ed industriali nell'intervallo di concentrazione da 0,5 a 5 mg/l di azoto nitrico.

Apparecchiature Richieste

- Normale vetreria di laboratorio;
- agitatore magnetotermico;
- spettrofotometro UV/visibile.

Procedimento

Per la determinazione dell'azoto nitrico si utilizzano capsule di porcellana lavate con acido solforico concentrato (H_2SO_4). In queste si introducono 10 ml di campione insieme ad 1 ml di soluzione di sodio salicilato, le si pongono in un bagnomaria e si fa evaporare fino a secchezza completa.

Non appena l'acqua è evaporata completamente, si lascia raffreddare e si riprende il residuo con 2 ml di acido solforico concentrato.

Dopo 10 minuti esatti, si aggiungono 15 ml di acqua distillata, quindi 15 ml di una soluzione di tartrato di sodio e potassio e di idrossido di sodio (sale di Seignette) che determina lo sviluppo di una colorazione gialla. Si miscela il tutto con l'ausilio di una bacchetta di vetro e si esegue la lettura spettrofotometrica a 420 nm contro il bianco dei reattivi, entro 2 ore, utilizzando cuvette in quarzo dal cammino ottico di 1 cm.

Le concentrazioni sono estrapolate dai valori di assorbanza dei campioni, previa costruzione di una retta di calibrazione utilizzando standard di concentrazione adeguata.

3.6.9 Determinazione del Fosforo Reattivo Solubile

Principio del Metodo

Gli ioni ortofosfato reagiscono con il molibdato di ammonio e con il tartrato di ossido di antimonio e potassio in ambiente acido, formando un eteropoliacido che viene ridotto a blu di molibdeno con acido ascorbico.

Campo di Applicazione

Il metodo è applicabile alle acque naturali, acque di mare comprese. L'intervallo di concentrazione di fosforo è compreso tra 0,03 e 0,3 mg/l.

Apparecchiature Richieste

- Normale vetreria di laboratorio;
- agitatore magnetotermico;
- spettrofotometro UV/visibile.

Procedimento

Mediante pipetta tarata, si prelevano 100 ml di campione e si introducono in una beuta da 250 ml. A questi si aggiungono 10 ml di reagente misto, cioè una miscela ottenuta mescolando insieme una soluzione di molibdato di ammonio, acido solforico, acido ascorbico e tartrato di antimonio e potassio.

Dopo 10 e non oltre 15 minuti l'aggiunta del reattivo, si esegue la misura del contenuto di fosforo nel campione, presente come ortofosfato, per via spettrofotometrica ad una lunghezza d'onda di 885 nm, utilizzando cuvette in quarzo dal cammino ottico di 1 cm.

Dai valori di assorbanza della soluzione, sottratti del bianco, ed utilizzando direttamente la retta di calibrazione prodotta con gli standard, si otterrà il valore di concentrazione.

3.6.10 Determinazione della Silice

Principio del metodo

Il metodo si basa sulla reazione dello ione silicico con molibdato di ammonio, con formazione di un complesso giallo, successivamente ridotto a blu di molibdeno, la cui assorbanza viene misurata alla lunghezza d'onda di 650 nm.

Campo di applicazione

Il metodo è applicabile ad acque naturali e di scarico nell'intervallo di concentrazioni 0,5-2,5 mg/L, utilizzando celle aventi cammino ottico di 1 cm.

Apparecchiature richieste

- Spettrofotometro UV/visibile;
- normale attrezzatura da laboratorio.

Tutto il materiale utilizzato deve essere di polietilene, lavato con HCl diluito 1+1 e quindi risciacquato opportunamente con acqua.

Procedimento

50 mL di campione vengono filtrati per eliminare la silice insolubile. A 50 mL di filtrato si aggiungono nell'ordine: 1 mL di HCl diluito 1+1 e 2 mL del reattivo molibdico. Agitare e, dopo 5 minuti di riposo, si aggiungono nell'ordine 1,5 mL di acido ossalico e 2 mL di soluzione riducente. Dopo aver agitato energicamente e, allo scadere dei 15 minuti dall'aggiunta della soluzione riducente, si legge l'assorbanza a 650 nm in celle da 1 cm di cammino ottico contro un bianco di acqua trattata alla stessa maniera del campione.

Calcoli

La concentrazione della silice solubile e/o colloidale si ottiene dalla formula:

$$SiO_2 (mg/L) = m/V$$

dove:

- $m = \mu\text{g SiO}_2$ letti sulla curva di taratura in base al valore di assorbanza misurata, dopo sottrazione del valore dell'assorbanza del bianco;
- $V = \text{volume (mL)}$ di campione prelevato per la determinazione.

3.6.11 Determinazione del B.O.D. (Domanda Biologica di Ossigeno)

Principio del metodo

Il metodo si basa sulla determinazione dell'ossigeno disciolto nel campione da analizzare prima e dopo incubazione, al buio ed alla temperatura di 20 °C, di cinque giorni. La differenza tra le due determinazioni dà il valore del B.O.D.₅ del campione, espresso in mg/L di ossigeno.

Campo di applicazione

Il metodo può essere applicato ad acque naturali e di scarico purché non siano presenti sostanze inibitrici, i valori di pH siano compresi tra 6,3 e 8,5 e sia garantita una adeguata flora batterica.

Campionamento e conservazione del campione

La determinazione del B.O.D. deve essere effettuata entro il minor tempo possibile dal prelievo del campione onde evitare valori in difetto conseguenti all'attività batterica. Ove ciò non sia possibile, occorre conservare il campione a 3 – 4 °C per un periodo non superiore a 48 ore.

Apparecchiature richieste

- Bottiglie di incubazione fornite di tappo a smeriglio a tenuta;
- Frigotermostato;
- Pompa Millipore.

Procedimento

Da ciascun campione d'acqua si prelevano due aliquote equivalenti che, successivamente, sono state introdotte in bottiglie da 500 ml ed ivi sottoposte ad

insufflazione di aria per un periodo di 20 minuti (sufficiente a saturare completamente l'aliquota di ossigeno).

Delle due una è stata sottoposta a titolazione, per la determinazione dell'ossigeno disciolto, e l'altra è stata incubata, al buio, in frigotermostato, alla temperatura di 20 °C.

Trascorsi cinque giorni, anche le aliquote poste ad incubare sono state sottoposte alla medesima procedura analitica che ha consentito di definire l'ossigeno disciolto presente nel campione (vedi paragrafo precedente).

Calcoli

Una volta calcolati i ml di ossigeno disciolto presenti nel campione, rispettivamente prima (X) e dopo l'incubazione (Y), il B.O.D. viene calcolato dalla relazione:

$$B.O.D. (mg/L di O_2) = (X - Y)$$

3.6.12 Determinazione del C.O.D. (Domanda Chimica di Ossigeno)

Principio del metodo

La determinazione del C.O.D. prevede l'ossidazione delle sostanze organiche ed inorganiche presenti in un campione d'acqua, mediante una soluzione di bicromato di potassio in presenza di acido solforico concentrato e di solfato d'argento come catalizzatore dell'ossidazione. L'eccesso di bicromato viene titolato con una soluzione di solfato di ammonio e ferro (II). La concentrazione delle sostanze organiche ed inorganiche ossidabili è proporzionale alla quantità di bicromato di potassio consumato. Prima della misurazione del C.O.D. è necessario determinare la concentrazione dei cloruri (Cl⁻) poiché possono essere presenti in concentrazioni tali da produrre un'interferenza significativa con le modalità di svolgimento del saggio producendo, così, una sovrastima dei valori effettivi del C.O.D..

Campo di applicazione

Il metodo è applicabile ad acque naturali e di scarico (urbane e industriali) aventi una concentrazione di $\text{Cl}^- \leq 1000 \text{ mg/L}$ (per valori superiori si utilizzano procedure modificate). Per concentrazioni di C.O.D. $> 50 \text{ mg/L}$ si utilizza una soluzione di bicromato di potassio 0,25 N. Per concentrazioni di C.O.D. inferiori a 50 mg/L si utilizza una soluzione di bicromato di potassio 0,025 N.

Campionamento e conservazione del campione

Se il campione non può essere analizzato subito dopo il prelievo, al fine di evitare eventuali perdite conseguenti ad ossidazione biologica delle sostanze organiche, esso deve essere preservato per acidificazione fino a un pH 1 – 2 con acido solforico. In ogni caso è preferibile effettuare l'analisi il più presto possibile.

Apparecchiature richieste

- Provettoni in vetro robusto, resistenti alle alte temperature e chiusi da canne refrigeranti;
- Burette per titolazioni;
- Termoreattore VELP Eco 6 (necessario per l'ebollizione dei campioni).

Procedimento

Il C.O.D. si determina su un campione di acqua di 20 ml previa aggiunta di una quantità, in mg, di solfato di mercurio (II) (HgSO_4) sufficiente a bloccare la quantità di cloruri disciolti (in media 100 mg di HgSO_4 complessano 10 mg di cloruri). Al campione si aggiungono 10 ml della soluzione di bicromato di potassio $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.25 N, 30 ml di reattivo all'acido solforico (contenente 5,4 grammi di solfato di argento in 545 ml di acido solforico concentrato) e alcune sfere di vetro da ebollizione. Iniziato il riscaldamento fino a $150 \text{ }^\circ\text{C}$ (punto di ebollizione della soluzione di H_2SO_4 al 50 % utilizzata) si lascia bollire per due ore. Interrotto il riscaldamento, previo raffreddamento e opportuna diluizione dei campioni (in maniera da ottenere un volume finale di circa 210 ml), si procede alla titolazione, utilizzando l'1,10 – fenantrolina – solfato ferroso come indicatore, dell'eccesso di bicromato con la soluzione di ammonio solfato ferroso (II) 0,125 N fino a viraggio del colore dal blu –verde al bruno – rosso.

Inoltre si esegue, in parallelo, una prova in bianco sostituendo i 20 ml del campione con 20 ml di acqua distillata.

Calcoli

I valori di C.O.D. si calcolano con l'espressione:

$$C.O.D. (mg/L) = [(m_1 - m_2) \times N \times 8000 \times fc \times fd] / V$$

dove:

m_1 = ml usati per la titolazione del bianco;

m_2 = ml usati per la titolazione del campione;

N = normalità della soluzione di bicromato di potassio (0,25 N);

8000 = peso equivalente dell'ossigeno (8) moltiplicato per 1000 per ottenere il valore di C.O.D. presente in un litro;

fc = fattore di correzione del titolo della soluzione di bicromato di potassio;

fd = fattore di diluizione del campione che viene introdotto allorché il carico organico è molto elevato;

V = volume del campione usato nell'analisi.

Controllo del titolo della soluzione di solfato d'ammonio ferroso (0,125 N)

Si prelevano 100 ml di acqua distillata, si aggiungono 10 ml di bicromato di potassio 0,25 N, 30 ml di H₂SO₄ concentrato e la soluzione di solfato di ammonio ferroso 0,125 N come agente titolante; se al volume di bicromato (10 ml) corrisponde un volume di solfato di ammonio ferroso di 20 ml la normalità corrisponde a 0,125, altrimenti, si calcola il fattore di correzione come rapporto $20/n$ dove n è il numero dei ml di solfato di ammonio ferroso utilizzati.

Analisi Statistiche

3.6.13 Valutazione dei contributi ambientali sulle comunità di diatomee (CCA)

Per quanto riguarda l'analisi statistica complessiva di tutti i campioni per la caratterizzazione chimico-fisica e quelli delle diatomee, i dati sono stati elaborati con il programma PC-ORD (McCune e Mefford, 1999), grazie al quale è stata effettuata un'analisi canonica delle corrispondenze (CCA), secondo Jongman et al., 1995.

La CCA è un metodo di ordinazione che permette di mettere in relazione i dati relativi alla composizione tassonomica di diversi campioni con i dati relativi a parametri chimici, chimico-fisici ed ambientali, al fine di verificare l'importanza di ciascuno dei secondi nel discriminare le presenze tassonomiche emerse nel corso dei campionamenti.

Sono stati prodotti grafici con rappresentazione dei primi due assi significativi dell'analisi, dei vettori corrispondenti alle variabili ambientali e delle 64 specie principali. Analogo diagramma è stato realizzato per le venti stazioni considerate.

3.6.14 Valutazione del disturbo fisico (NNS e NNS')

Nella presente tesi è stato calcolato l'indice NNS (Battezzatore *et. al.*, 2004). Tale indice serve per valutare il grado di disturbo fisico ed è basato sulla proporzione delle specie diatomiche mobili appartenenti ai generi *Navicula* (N), *Nitzschia* (N) e *Surirella* (S). Il disturbo fisico è dovuto ai fenomeni di sedimentazione e risospensione. L'indice NNS si calcola con la seguente formula:

$$NNS = \frac{S_{Navicula} S_{Nitzschia} S_{Surirella}}{S_{tot}} * 100$$

Dove:

$S_{Navicula}$ è il numero di taxa appartenenti al genere *Navicula*,

$S_{Nitzschia}$ è il numero di taxa appartenenti al genere *Nitzschia*,

$S_{Surirella}$ è il numero di taxa appartenenti al genere *Surirella*,

S_{tot} è il numero totale di taxa appartenenti a tutta la comunità.

Tale metodo è di fatto una stima del grado di prevalenza dei taxa più adatti al movimento rispetto alla comunità nel suo complesso, e si basa sul principio che i taxa mobili aumentano sia in termini tassonomici che numerici a seguito di eventi (sedimentazione, erosione, risospensione) che incidano negativamente sui taxa meno mobili. Tali eventi, ovviamente possono avere cause sia naturali che antropiche.

I valori dell'indice possono variare fra 0 e 100. Non esiste una scala di riferimento con classi o giudizi di qualità come previsto nell'EPI-D, in quanto il metodo è ancora sperimentale e non standardizzato. A seguito di una applicazione in una ampia gamma di condizioni ambientali, ne potrà essere valutata l'utilità ed eventualmente proposta una standardizzazione.

Nel presente studio viene preso in considerazione soprattutto l'NNS' (Battezzare *et. al.*, 2006), che differisce dall'NNS in quanto prende in considerazione il numero di individui appartenenti ai generi mobili *Navicula*, *Nitzschia* e *Surirella* ed il numero totale di individui del campione di diatomee.

3.6.15 Two Way Indicator Species Analysis (TWINSpan)

La *Two Way Indicator Species Analysis* (TWINSpan) è un' importante metodica "di classificazione" dell'analisi multivariata.

A differenza della *Cluster Analysis* che può generare, partendo dallo stesso dataset, un numero enorme di dendrogrammi differenti, ma tutti egualmente validi (considerando che ci sono almeno due metodologie molto comuni per determinare la "distanza" = indice di Sorensen e la distanza Euclidea e quattro criteri di formazione dei cluster= singolo link, link completo, UPGMA - *Unweighted Pair-Groups Methods using arithmetic Averages* - e quello della minima varianza) nel caso del TWINSpan una volta fissati i "livelli di pseudospecie" (ovvero le classi di rappresentatività ritenute significative nell'ambito delle popolazioni presenti convertendo così una distribuzione continua di organismi in livelli discreti di presenza - assenza) si ottiene una tabella nella quale si ricava contemporaneamente la classificazione delle stazioni di campionamento lungo un gradiente (il primo asse dell'ordinazione dell'Analisi di Corrispondenza) e quella degli attributi (il livello di risoluzione tassonomico raggiunto) lungo un gradiente equivalente, che mostra la frequenza delle unità tassonomiche in ciascuna stazione di campionamento. Si ottiene così un dendrogramma (unico) che classifica le unità

tassonomiche in maniera dicotomica ed un secondo dendrogramma (unico anch'esso) che classifica sempre dicotomicamente le stazioni di campionamento.

Altro aspetto di estremo interesse è che la classificazione così realizzata permette di individuare (nel caso delle stazioni di campionamento) quale siano gli organismi (ovvero i relativi livelli di pseudospecie) ritenuti preferenziali per ciascun gruppo di stazioni individuato e quelli non preferenziali (perché presenti con uguale rappresentatività in tutte le stazioni).

I dati sono prima stati trasformati in $\ln(x+1)$ e poi la relativa normalità è stata controllata applicando il test di Kolmogorov-Smirnov mediante software *Minitab v13.2*.

Il TWINSPAN è stata eseguito utilizzando il programma *PC-ORD v4*.

3.7 IL LAVORO IN CAMPO

3.7.1 Substrati idonei e tecniche di campionamento

Il sito scelto per il campionamento (10m) deve essere rappresentativo del fiume considerato e non deve mai risultare completamente ombreggiato dalla vegetazione delle sponde, essendo le Diatomee organismi fotosintetizzanti. Il campionamento va realizzato, quando possibile, su tutto il transetto, evitando eventuali immissioni puntiformi o particolari microambienti come le anse morte o le pozze di ristagno dell'acqua dove si vengono a creare microhabitat.

I substrati devono essere ripetuti in tutte le stazioni e prelevati preferibilmente dal filone centrale del fiume, nella zona eufotica, evitando il più possibile le zone dove la velocità di corrente è inferiore ai 20 cm/s. I substrati sui quali effettuare il prelievo sono le superfici sommerse ed esposte alla luce di massi, pietre e ciottoli, facendo attenzione che questi ultimi, date le minori dimensioni e la forma smussata, non abbiano subito recenti rotolamenti con conseguente perdita di parte della comunità diatomologica.

Il prelievo viene fatto su circa 5 ciottoli raschiando il substrato con una lama, oppure utilizzando uno spazzolino (Foto 3.8) a setole dure con cui si gratta a più riprese la superficie litica. Indicativamente, la superficie totale da raschiare o grattare va da un minimo di 100 cm² ad un massimo di circa 500 cm², a seconda dell'abbondanza del rivestimento algale.



Foto 3.8 - Fasi del prelievo



Foto 3.9 - Aggiunta del fissativo

Se non dovessero essere presenti substrati litici, si può grattare la superficie sommersa dei piloni di ponti, “spremere” macrofite o alghe filamentose presenti o optare per la scelta di substrati artificiali come mattonelle, mattoni, lucidi per stampante, etc., facendo attenzione a riprenderli dopo almeno 2 – 4 settimane.

3.7.2 Etichettatura e fissaggio dei campioni

I campioni ottenuti vengono immessi in contenitori di plastica da 50 ml, meglio se a doppia chiusura, e riempiti fino a circa tre quarti con l'acqua della stazione di raccolta. Si aggiungono, come fissativo, 2 ml di Formaldeide al 4 – 5 %, (in alternativa si possono utilizzare da 1 a 5 gocce di Lugol per 100 ml o etanolo) (Foto 3.9) quindi si chiude con cura e si agita il contenitore. Ad ogni contenitore viene apposta un'etichetta che riporta data, luogo di raccolta ed il tipo di substrato utilizzato. Informazioni più complete e dettagliate, per ogni stazione, risulteranno dalla scheda di campionamento.

3.8 IL LAVORO IN LABORATORIO

3.8.1 Eliminazione della sostanza organica

I caratteri che consentono il riconoscimento risiedono quasi esclusivamente nella parete cellulare (frustulo). Hanno importanza sistematica la forma e le dimensioni del frustulo, la presenza o assenza del rafe, la forma e la posizione del rafe, le ornamentazioni delle valve, la loro disposizione e densità, etc. Per rendere ben visibili tutti questi caratteri occorre eliminare completamente la sostanza organica, ciò può essere ottenuto in vario modo.

3.8.2 TRATTAMENTO CON PEROSSIDO DI IDROGENO A 110 – 130 VOLUMI, A CALDO

Questo è il metodo più utilizzato ed il più indicato quando nel campione è presente argilla, ed anche quello consigliato per l'applicazione di routine dell'indice EPI-D (Dell'Uomo, 1999).

1. Eliminare le impurità grossolane dal campione.
2. Prelevare una piccola quantità del campione in vivo ed osservarlo al microscopio al fine di valutare la presenza di frustuli vuoti. La presenza di troppe diatomee morte può indicare un effetto di drift eccessivo. Una parte del campione va conservata per sicurezza.
3. Scuotere ed omogeneizzare bene il campione, trasferirne una piccola quantità (5 – 10 ml) in un beaker.
4. Decantare o centrifugare delicatamente a 1.500 giri/min. per 4 – 5 minuti. Decantare e togliere il sovrantante. Il ciclo centrifugazione – decantazione – diluizione va ripetuto alcune volte.
5. Riprendere il deposito con acqua distillata e trasferirlo in un beaker. Aggiungere 20 – 30 ml di perossido di idrogeno (H_2O_2) e riscaldare su piastra elettrica a non più di 90 °C fino a quando tutta la sostanza organica sia stata ossidata (tempo occorrente: da 1 a 3 ore; si ottiene un composto bianchescente). Dopo 30 minuti si possono eliminare le eventuali macrofite presenti.
6. Prelevare una piccola quantità del campione ed osservarlo al microscopio per valutare se tutta la sostanza organica è stata ossidata.
7. Lasciar raffreddare.

8. Aggiungere circa 5 ml di HCl 1M, oppure alcune gocce concentrato, per eliminare i carbonati e fino a cessazione dell'effervescenza che indica il completo rilascio dell'anidride carbonica. Con questa operazione, sempre necessaria quando sono presenti materiali calcarei, vengono rimossi anche il perossido di idrogeno residuo ed eventuali ossidi di ferro.
9. Lavare accuratamente le pareti interne del beaker con acqua distillata per non perdere parte del materiale.
10. Centrifugare o lasciare decantare, ripetendo più volte il ciclo decantazione/diluizione per rimuovere ogni traccia di acido. Il deposito in fondo al tubo da centrifuga è costituito da frustuli di Diatomee per lo più dissociati in valve.
11. Aggiungere una piccola quantità di acqua distillata e trasferire in fiala ben pulita. Alcune gocce di etanolo serviranno a prevenire la crescita di funghi e permettere la conservazione del campione.

3.8.3 Preparazione dei Vetrini Permanenti

L'indice di rifrazione della silice che costituisce i frustuli è molto vicino a quello dell'acqua e pertanto occorre montare le Diatomee in una resina ad elevato indice di rifrazione. Il Naphrax (con indice di rifrazione 1,74) è la resina più utilizzata in Europa (Dell'Uomo, 1999).

1. Omogeneizzare la sospensione dei frustuli (per lo più scomposti in valve) in un'opportuna quantità d'acqua distillata (metodo n. 1 – 2).
2. Prelevare con una pipetta qualche goccia di sospensione e depositarla su di una lamella coprioggetto, lasciarla quindi asciugare a temperatura ambiente o su di una piastra riscaldante a temperatura molto bassa. Quando l'acqua evapora, le Diatomee restano accollate alla lamella permettendone una facile manipolazione. Osservare al microscopio per vedere se si è trovata la diluizione giusta, circa 10 – 20 valve per campo (1000x) altrimenti preparare due diluizioni per vetrino.

N.B.: se si è adottato il metodo per incenerimento, il montaggio in vetrini permanenti inizia dal successivo punto 3.

3. Porre una goccia di resina (Naphrax) sciolta in xilene o toluene sul vetrino portaoggetto e capovolgere la lamella coprioggetto sulla goccia di resina (ovviamente con i frustuli rivolti verso la resina).
5. Scaldare sulla piastra elettrica a temperature via via più elevate, fino a completa eliminazione del solvente; si sviluppano bolle d'aria che devono essere completamente eliminate. Questa fase può richiedere da una decina di minuti fino ad un'ora circa, in dipendenza delle temperature applicate.
6. Togliere il vetrino dalla fonte di calore, porlo su di una superficie piana e dura e, prima che la resina si raffreddi ed indurisca, fare una delicata pressione sulla lamella coprioggetto al fine ottenere una preparazione il più possibile sottile.
7. Eliminare delicatamente con una lama l'eccesso di resina che fuoriesce dal bordo circolare del coprioggetto.
8. Disporre con un pennellino dello smalto per unghie attorno alla lamella al fine di proteggere la resina dall'attacco dell'olio di cedro.
9. Etichettare infine la preparazione.

Il vetrino è ora pronto per l'osservazione al microscopio ottico, dove si effettueranno le operazioni di identificazione e conteggio, o valutazione delle quantità relative di ogni specie. Si preparano solitamente due vetrini per ogni campione.

3.8.4 Identificazione dei taxa al microscopio ottico

Con l'obiettivo 100x ad immersione si procede all'identificazione di tutte le specie presenti. Per non farsi sfuggire nessuna specie, l'osservazione si farà procedendo a zig – zag, dall'alto verso il basso della lamella.

Utilizzando un vetrino micrometrico biologico si misurano le Diatomee fotografate rilevandone le caratteristiche sistematiche come lunghezza, larghezza, densità delle ornamentazioni nell'unità di misura (di regola assunta in 10 µm), etc..

3.8.5 Valutazione delle abbondanze dei taxa nei campioni

Realizzato l'elenco delle specie, si procede alla stima delle loro abbondanze, dato indispensabile per calcolare l'indice EPI-D. Un metodo molto utilizzato consiste nella conta di circa 400 individui effettuando, a 1.000x, tanti campi microscopici quanti ne occorrono per arrivare al numero prefissato. Si può procedere a zig – zag o lungo determinate direzioni orizzontali, verticali, oblique oppure a caso. Non viene fatta

distinzione tra frustuli interi e valve. Vanno presi in considerazione anche i frustuli rotti purché se ne osservi almeno una metà che ne consenta l'identificazione della specie. Il conteggio così realizzato va integrato con l'osservazione di tutti e due i vetrini per non tralasciare le forme di grandi dimensioni, che spesso sono presenti solo con uno o pochi esemplari (Fig. 3.1).

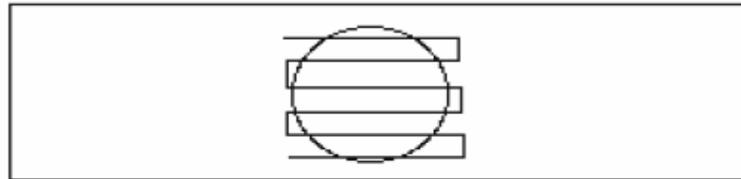


Figura 3.1 – Valutazione delle abbondanze secondo il metodo “zig-zag”

CAPITOLO IV

RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1 Premessa

All'inquadramento tassonomico (a livello di specie) della componente diatomica dei campioni di microstrati epilittici prelevati nei mesi di luglio e dicembre 2004 nelle stazioni collocate lungo l'asta fluviale del fiume Crati. È stato affiancato la classificazione ecologica di Van Dam (1994) relativa alla valenza ambientale delle singole specie rispetto ai valori di pH, ossigeno (come saturazione percentuale), metabolismo dell'azoto totale, sostanza organica (come BOD₅), di nutrienti e di livello idrologico in alveo (escursioni di portata). I risultati di tale analisi sono stati confrontati con quelli dei parametri chimico-fisici determinati sui campioni d'acqua prelevati per verificare l'entità della corrispondenza tra i due gruppi di dati presi in esame (biotici ed abiotici).

Va comunque tenuto presente che, mentre l'assetto di una comunità ed il rapporto tra la quota di taxa tolleranti alle perturbazioni e quella dei taxa intolleranti consentono di tracciare in maniera adeguata lo sviluppo di impatti pregressi, un prelievo idrico "puntiforme" ha il limite di evidenziare solo quello che è presente al momento dell'esecuzione del prelievo stesso (il che vuol dire che risulta sufficientemente informativo rispetto alle condizioni effettive in alveo solo se eseguito con frequenza elevata). Per cui un'eventuale rispondenza, probabilmente, è dovuta ad una "persistenza" della perturbazione rilevata (a meno di confondere l'effetto di un impatto episodico con uno più frequente, ma che si esprime irregolarmente).

Si è poi proceduto al completamento del calcolo dell'Eutrophication/Pollution Index – Diatom based (EPI-D) ed a quello dell'Indice Biotico Esteso (I.B.E.), quest'ultimo relativo ad i macroinvertebrati bentonici, per entrambe le campagne di campionamento. Si è potuto così confrontare sia la diagnosi ambientale, ottenuta dai due relativi indici (descrittori di comunità di organismi rispettivamente autotrofi ed eterotrofi), sia la variazione degli stessi tra le due fasi stagionali, per verificare se eventuali livelli di compromissione delle comunità si modificano (in peggio od in meglio) in "momenti" diversi nel corso di un anno.

Poiché la seconda campagna di campionamento è stata preceduta da eventi pluviali abbastanza frequenti e di differente entità, con conseguenze sui regimi di

portata, sulla stabilità del substrato presente in alveo, sul chimismo della colonna d'acqua e sulle caratteristiche delle biocenosi bentoniche, è stato calcolato anche l'indice NNS' relativo alla rappresentatività, nelle comunità diatomiche, dei generi *Nitzschia*, *Navicula* e *Surirella*, caratterizzati da molte specie ad elevata mobilità (tipiche quindi di ambienti idrodinamicamente perturbati), così da investigare su quale sia l'entità dell'effetto di un regime idrologico più sostenuto con relativo aumento del flusso sulla variazione delle comunità diatomiche.

Successivamente le abbondanze dei taxa individuati sono state sottoposte ad analisi multivariata (*Detrended Correspondence Analysis*: D.C.A. e *Two Way Indicator Species Analysis*: TWINSpan) per esaminare la distribuzione spaziale preferenziale, lungo l'asta fluviale, dei taxa rinvenuti, ovvero il livello di associazione – segregazione (in base al numero di stazioni di campionamento) e la presenza di “gruppi” di stazioni assimilabili per tipologie ed abbondanze di taxa condivisi. Inoltre, utilizzando anche i parametri chimico-fisici, è stata eseguita una *Canonical Correspondence Analysis* (C.C.A.) per verificare quali siano i fattori (abiotici) che hanno un maggiore peso nel determinare l'ordinazione delle specie nell'ambito dell'analisi.

Sulla base della valenza ambientale delle specie facenti parte dei raggruppamenti di stazioni rilevati è stato possibile realizzare un'efficace inquadramento ecologico di questi ultimi (ovvero individuare segmenti del Fiume Crati ove l'azione di determinati fattori limitanti risulti chiaramente prevalente nell'influenzare la struttura delle comunità diatomiche) ed avanzare delle ipotesi sul livello di associazione tra stato delle comunità dei raggruppamenti e presenza di attività antropiche all'interno del bacino.

Si riportano qui di seguito i dati ed i relativi commenti dei parametri chimico-fisici misurati sulla colonna d'acqua nelle due campagne di campionamento, la classificazione ecologica (Van Dam *et al.*, 1994) delle stazioni di campionamento, gli andamenti dell'indice NNS' e degli indici biotici esaminati (EPI-D ed I.B.E.) e la descrizione degli assetti tassonomici delle comunità in riferimento soprattutto a quelle specie migliori indicatrici di condizioni di alterazione ambientale, partendo dai raggruppamenti di stazioni individuati dalla *Two Way Indicator Species Analysis*.

4.2 Considerazioni sui regimi idrologici relativi alle due campagne di campionamento

L'efficacia di un indice biotico nel determinare in maniera adeguata lo stato di un corpo idrico, utilizzando un componente del biota fluviale, risiede, fra l'altro, nella realizzazione di prelievi biologici in condizioni ambientali tali che la struttura della comunità stessa sia il risultato, essenzialmente, della disponibilità di risorse trofiche che l'ambiente indagato mette a disposizione (capacità portante dell'ecosistema) e delle interazioni biotiche che si determinano tra le specie (differenti strategie di colonizzazione, competizione, predazione, parassitismo, mutualismo, etc.), oltre che, ovviamente, di eventuali perturbazioni di origine antropica la cui entità dovrebbe determinare uno scarto negli assetti quantitativi e qualitativi della biocenosi studiata rispetto ad una comunità di "riferimento" presente nella stessa tipologia di ambiente lotico. Ciò vuol dire che se al momento del prelievo l'alveo è interessato, o lo è stato da poco tempo, dallo sviluppo di sensibili modificazioni su base naturale (stagionale) di fattori limitanti è difficile potere separare la variazione della comunità attribuibile a questi ultimi rispetto a quella dovuta alle attività antropiche presenti nell'area di studio.

L'idoneo svolgimento di un protocollo operativo, volto alla determinazione della qualità delle acque superficiali indagando una specifica tipologia di comunità, vuole che le analisi siano realizzate in fasi stagionali diverse. In tal modo si pone a confronto la variazione su base naturale della biocenosi con quella eventualmente indotta dalle pressioni antropiche, ed allo stesso tempo si verifica l'eventuale persistenza, nell'anno, di queste ultime. Tuttavia risulta necessario che i prelievi avvengano in periodi in cui i regimi idrodinamici siano sostanzialmente paragonabili e, preferibilmente, in regime prossimo a quello di magra, così che la comunità non risulti modificata (semplificata) da aumenti di flusso che ne determinano un impoverimento dovuto ad incrementi dell'instabilità del substrato e trascinarsi a valle per processi di *drift*.

Nello studio realizzato nella presente tesi, purtroppo, non è stato possibile realizzare quest'ultimo aspetto in quanto nell'anno in cui le indagini sono state eseguite (2004) si è verificata un'anticipazione, su base stagionale, dell'incremento della frequenza degli eventi pluviali. Ciò ha promosso, a partire dalla seconda metà del mese di ottobre, il permanere in alveo di condizioni di relativa instabilità, tali che le comunità ne hanno risentito nei loro assetti tassonomici, i quali risultavano influenzati

dall'aumento delle nicchie di quegli organismi a maggiore mobilità e capacità di dispersione (taxa delle fasi iniziali della colonizzazione biologica). Ne deriva che mentre il campionamento del mese di luglio 2004 è stato efficacemente utilizzato per una valutazione della possibile associazione tra attività antropiche presenti nel bacino e stato delle comunità diatomiche, quello di dicembre non ha consentito il raggiungimento di tale finalità. Lo studio della biocenosi in tale mese va quindi considerato con cautela in quanto l'incremento di portata ha determinato, da un lato, una modificazione del chimismo naturale delle acque (come interazione tra un effetto di diluizione sulle sostanze in soluzione-sospensione ed il possibile incremento di deflussi, potenzialmente inquinanti, derivanti dal bacino come sorgenti puntiformi e/o diffuse) e dall'altro un effetto sulla struttura della comunità a seguito del depauperamento delle dimensioni delle nicchie di specie associate a condizioni di maggiore stabilità idrodinamica (che ha di fatto "vicariato" la semplificazione della comunità dovuta, nel campionamento estivo, agli impatti associabili alle attività antropiche).

4.3 Parametri chimico fisici della colona d'acqua

Nel mese di luglio 2004 le analisi chimiche hanno restituito dei risultati abbastanza coerenti con quella che è la "dislocazione" lungo l'asta fluviale delle principali attività antropiche, presenti all'interno del bacino, e che possono esercitare un'azione diretta o indiretta a carico del corpo idrico studiato (Fig. 4.1).

La stazione C1 si colloca a valle di due soli centri urbani di una certa dimensione (Aprigliano e Figline Vegliaturo) aventi complessivamente una popolazione di circa 4.000 abitanti.

Nel segmento compreso tra la stazione C1 e la stazione C2 (quartiere Arenella) sono presenti diversi comuni (Rovito, Lappano, Pedace, Trenta, Piane Crati), oltre al centro di Donnici la cui popolazione ammonta, complessivamente, a circa 10.000 unità.

La stazione C3 si trova a valle dell'immissione del fiume Busento e, quindi, risente delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di tale affluente oltre che del deflusso superficiale che si crea nell'area urbana di Cosenza (a seguito del dilavamento delle superfici impermeabili determinato dalle piogge). Va detto che non è noto se i centri a monte del capoluogo siano dotati di impianti di depurazione e, laddove lo siano, quale possa essere il loro stato di efficienza funzionale.



Figura 4.1 – Principali impatti antropici insistenti nel bacino del fiume Crati

La stazione C4 ha lo scopo di monitorare il potenziale impatto dei reflui (trattati) derivanti dalla conurbazione Rende – Cosenza e dei reflui derivanti da attività di trasformazione industriale quale quella della Legnochimica. In aggiunta, a partire da questo tratto e sino a quello in cui è presente la successiva stazione, molto intensa risulta l'estrazione degli inerti destinati alla manifattura del cemento.

La stazione C5 è sita in un'area (Mongrassano) ove si determina una sensibile concentrazione di capannoni industriali (p. es. legati alla trasformazione dei prodotti agricoli) ed essa riceve, presumibilmente, le acque reflue derivanti da questi oltre a quelle del centro del comune di Bisignano dove alquanto sostenute sono le attività conciarie.

La stazione C6 si trova in una zona di bacino ove il suolo è destinato ad attività agricole ed è collocata a valle, e poco distante, dell'invaso artificiale di Tarsia, destinato

a sostenere le necessità irrigue dell'agricoltura locale (prevalentemente di tipo arboricolo: agrumeti). Tale sito risente, pertanto, prevalentemente delle variazioni della falda legate alle fasi di chiusura ed apertura dell'invaso e delle caratteristiche chimico-fisiche dei rilasci idrici (dilavamento e trasporto dei sedimenti accumulati nell'invaso).

La stazione C7 è collocata anch'essa in un'area ad intensa attività agricola e serve a monitorare primariamente i potenziali impatti dei deflussi subsuperficiali che si creano a seguito delle attività di irrigazione e delle precipitazioni pluviali.

Nel campionamento di luglio i valori del C.O.D. appaiono più alti nel tratto individuato dalle stazioni C1 – C4, mentre quelli del percento di saturazione dell'ossigeno suggeriscono la presenza di un deficit che risulta marcato nella stazione C4 (Tab. 4.1). In quelle più a valle, invece, il C.O.D. appare costantemente più basso, mentre il livello di saturazione di ossigeno migliora. D'altro canto nel caso del B.O.D.₅ (Tab. 4.2) i valori più alti si riscontrano nel caso della stazione C4 (zona depuratore Rende–Cosenza), ma negli altri casi i valori apparentemente più elevati si riscontrano nelle stazioni C5 – C7.

	<i>C°</i>	<i>O₂</i> <i>mg/L</i>	<i>% di</i> <i>Saturaz.</i>	<i>pH</i>	<i>Conduc.</i> <i>μS/cm</i>	<i>B.O.D.₅</i> <i>mg/L</i>	<i>C.O.D.</i> <i>mg/L</i>
C1	16,5	9,52	99,8	8,15	188	5,18	8,847
C2	21,9	6,66	79	8,45	291	4,72	14,254
C3	24	6,46	83,8	8,68	370	4,4	15,728
C4	24,8	2,98	35,9	7,81	525	8,92	30,964
C5	19,5	7,52	85,7	8,12	495	7,18	7,864
C6	24	8,38	101,5	8,48	327	8,12	11,796
C7	23,4	7,89	100	8,46	320	6,82	7,864
B1	22,6	7,37	86,2	8,68	441	3,52	7,3725

Tabella 4.1 - Parametri chimico-fisici della colonna d'acqua (luglio 2004)

In primo luogo è ipotizzabile che laddove le aree urbane a monte di Cosenza (di dimensioni ampiamente inferiori) vengano servite da impianti di depurazione, questi siano di piccole dimensioni, dei quali è ben nota la problematicità dell'ideoneo funzionamento e gestione; dal momento, inoltre, che la maggior parte della rete fognaria (Conte *et al.*, 2006) risulta di tipo misto (acque chiare – acque scure) con diluizione del

carico organico, ciò determina una ulteriore riduzione della resa di funzionamento degli impianti a fanghi attivi, dovuta ad una diminuzione dell'attività batterica per scarso ingresso di substrati degradabili. Presumibilmente, quindi, i reflui emessi hanno un valore di B.O.D.₅ modesto, come sembrerebbe risultare nel tratto C1 – C3, ma non irrilevante di C.O.D..

	<i>Durezza mg/L</i>	<i>Cloruri mg/L</i>	<i>Nitrati mg/L</i>	<i>Ammonio mg/L</i>	<i>Fosfati mg/L</i>	<i>Sol. Sosp. mg/L</i>
C1	81,43	7	0,288	0,1501	0,0202	1,8244
C2	119,24	7	0,352	0,948	0,1846	1,911
C3	167,62	9	0,08	0,8711	0,1389	1,6192
C4	216,11	9	0,245	0,8075	0,4328	1,5222
C5	186,06	20	3,304	1,2614	0,4058	1,3066
C6	129,29	20	0,825	0,8296	0,0938	0,6046
C7	129,71	20	0,395	0,8139	0,0851	0,539
B1	215,28	7	0,012	0,9149	0,0713	1,5164

Tabella 4.2 - Parametri chimico-fisici della colonna d'acqua (luglio 2004)

A valle i carichi organici (C.O.D.) sono più modesti, sebbene con maggiore densità batterica, ma non tale da produrre un deficit apprezzabile di ossigeno nella colonna d'acqua (sebbene i valori rilevati appaiono, probabilmente, sovrastimati). Da notare che nel caso della stazione C6 i valori piuttosto alti di B.O.D.₅ potrebbero ascriversi alla pratica di somministrare, per le attività di fertilizzazione dei suoli, materia organica fresca (poco stabilizzata chimicamente), quali escreti derivanti dagli impianti zootecnici, che giunge in alveo attraverso i deflussi conseguenti alle attività irrigue.

Si evidenziano anche i valori particolarmente elevati di ammonio lungo tutta l'asta fluviale con un picco estremamente elevato in corrispondenza dell'area industriale di Bisignano. In tal senso andrebbe ricordato che le attività di conceria della pelle producono reflui con notevole concentrazioni di NH_4^+ (Tab. 4.2).

Nel caso del fosforo (calcolato come fosforo reattivo totale) questo appare spesso (6 volte su 8) prossimo (stazioni C6 e C7) o superiore (stazioni C2 e C5) alla soglia di eutrofizzazione. In aggiunta, nell'agglomerato urbano di Cosenza, esso risulta associato

a scarsi valori di solidi sospesi, suggerendo la sua origine da reflui civili (dalla degradazione di detersivi e tensioattivi), mentre nelle aree rurali – agricole alquanto elevato appare il carico di materiale in sospensione, e ciò lascia pensare che il fosforo derivi dai fertilizzanti minerali somministrati in tali zone. Va inoltre sottolineato che tale elemento, a monte della diga, mostra valori più elevati, e simile andamento si riscontra per i solidi sospesi, mentre a valle entrambe si riducono sensibilmente (pur rimanendo alquanto alti in senso assoluto) il che indica che l’invaso agisce da vasca di decantazione (*sink*). Trend analogo, sia pure meno marcato, è evidenziabile per l’azoto nitrico (Tab. 4.2).

Nel campionamento di dicembre, nel quale è stato possibile riscontrare in area riparia palesi segni di incremento del livello idrico in alveo (Foto 4.1) si nota un generalizzato aumento del C.O.D. (ad eccezione della stazione C5) mentre, per quanto riguarda il B.O.D.₅, questo aumenta nel tratto C1–C4 e diminuisce nelle stazioni C5 – C7 (Tab. 4.3).



Foto 4.1 - Tracce di sensibili aumenti di portata nelle stazioni C1 (a) e C4 (b)

Nel primo caso si può ipotizzare che l’incremento di portata nella rete fognaria determini lo sviluppo di un carico idrico molto elevato (che in più risolveva i depositi organici anaerobi depositati all’interno delle condutture) il quale sopravanza notevolmente la “capacità in ingresso” degli impianti.

	<i>C°</i>	<i>O₂</i> <i>mg/L</i>	<i>% di</i> <i>Saturaz.</i>	<i>pH</i>	<i>Conduc.</i> <i>μS/cm</i>	<i>B.O.D.₅</i> <i>mg/L</i>	<i>C.O.D.</i> <i>mg/L</i>
C1	10	10,9	97,4	7,7	125	5,16	28,79
C2	12,4	10,8	102,7	8,0	274	6,16	36,60
C3	13,4	10,2	100,0	8,2	114	7,02	20,98
C4	14,2	8,3	81,8	7,9	529	8,56	43,43
C5	13,6	8,7	85,3	7,8	551	5,14	5,86
C6	12,8	9,7	93,9	7,9	470	4,87	19,03
C7	13,6	7,9	77,6	7,8	405	4,44	9,76
B1	12,3	10,8	102,7	8,3	409	8,34	24,89

Tabella 4.3 - Parametri chimico-fisici della colonna d'acqua (dicembre 2004)

Ciò produce un aumento della quota che va verso gli scolmatori determinando un incremento del carico organico con aumento del C.O.D. e del B.O.D.₅, sebbene quest'ultimo non appare molto marcato come appare dalla tabella 4:

<i>Stazioni</i>	<i>B.O.D.₅</i> <i>Luglio/Dicembre</i>	<i>C.O.D.</i> <i>Luglio/Dicembre</i>
C1	0,996	3,25
C2	1,305	2,57
C3	1,595	1,336
C4	0,959	1,405
C5	0,715	0,745
C6	0,599	1,612
C7	0,650	1,241
B1	2,369	3,37

Tabella 4.4 - Rapporti tra i valori di luglio e dicembre del B.O.D.₅ e del C.O.D.

In tal senso vanno notate le stazioni C1, C2 e C4 dove ad un aumento più o meno sensibile del C.O.D. non corrisponde un aumento paragonabile del B.O.D.₅. Ciò potrebbe essere una traccia dei processi di aumento di portata in quanto, in corrispondenza di questi, il risollevarimento dei sedimenti anaerobi depositati in alveo

determina aumento del carico organico ma diluizione del B.O.D.₅ (della quota di batteri aerobi, sul totale, presente nella colonna d'acqua).

Più evidente appare tale processo nelle stazioni C6 e C7, dove sono assenti i contributi da reflui fognari e chiaramente si nota che ad un aumento del C.O.D. corrisponde una flessione dei livelli di B.O.D.₅.

Nel caso del Busento, invece, è rilevabile un chiaro innalzamento da carico organico che probabilmente esercita una influenza sui valori dei parametri di esso descrittivi in corrispondenza della stazione C3 (sita a valle della sua confluenza).

Occorre sottolineare che i valori dell'ossigeno appaiono, mediamente in miglioramento (da un lato perché, come visto, la quota di batteri aerobi presenti nella colonna d'acqua, non appare particolarmente elevata in rapporto a quella di sostanza organica e, dall'altro, probabilmente per una efficace ricostituzione dei suoi livelli per l'abbassamento della temperatura e per la maggiore turbolenza associata all'incremento di portata) sebbene si notino alcuni dati incoerenti con il quadro complessivo (in parte C2 e C3 e, soprattutto B1).

La conducibilità (Tab. 4.5) in 4 stazioni su otto (C1, C2, C3 e B1) mostra una diminuzione dei suoi valori, denotando una diluizione della concentrazione di ioni o molecole recanti carica (per effetto dell'aumento di portata).

	<i>Durezza mg/L</i>	<i>Cloruri mg/L</i>	<i>Nitrati mg/L</i>	<i>Ammonio mg/L</i>	<i>Fosfati mg/L</i>	<i>Sol. Sosp. mg/L</i>
C1	79,8	7	0,08	0,30	0,01	7,6
C2	118,2	9	0,58	0,96	0,06	15,7
C3	192,4	9	0,81	0,78	0,06	9,08
C4	233,1	13	0,75	2,49	0,37	104,6
C5	254,1	13	0,79	2,47	0,17	20,64
C6	217,1	13	1,39	1,78	0,20	54,28
C7	176,3	13	1,08	0,23	0,11	78,12
B1	226,7	9	0,90	1,45	0,07	9,2

Tabella 4.5 - Parametri chimico-fisici della colonna d'acqua (dicembre 2004)

La stazione C4 mostra una sostanziale invarianza, mentre le stazioni C5, C6 e C7 presentano un incremento più marcato nel caso delle ultime due. Per quanto attiene alla stazione C6 è presumibile che ciò dipenda dall'apertura dell'invaso di Tarsia (in quanto in tale fase esiste un'ampia disponibilità naturale di acqua) che determina risollevarimento dei sedimenti (aumento dei solidi sospesi) e del relativo carico di nutrienti. La C7 potrebbe risentire anche della lisciviazione dei suoli agricoli che produce lo sviluppo di deflussi arricchiti di fertilizzanti minerali nonché di particolato organo-minerale (incremento del carico di solidi in sospensione). È interessante notare che in tutte le altre stazioni le concentrazioni di fosfati e nitrati diminuiscono (Tab. 4.5) come conseguenza della diluizione dovuta all'aumento di portata mentre aumentano nelle stazioni a valle dell'invaso. L'ammonio (Tab. 4.5), invece, tende ad aumentare, probabilmente anche perché una sua quota deriva, come detto, dalla risospensione dei sedimenti bentonici, ove l'ambiente scarsamente ossigenato ne rallenta la conversione in nitrati.

4.4 Inquadramento ecologico delle stazioni sulla base dell'assetto tassonomico delle comunità diatomiche

Il lavoro di Van Dam (1994) ha creato le basi per realizzare una classificazione di un segmento fluviale indagato sulla base delle dimensioni della valenza ambientale delle specie di diatomee rinvenute relativamente ad alcuni importanti parametri ecologici. In tal modo è possibile effettuare utili considerazioni su quelli che possano essere i valori che mediamente questi assumono nel tempo, e quindi avanzare delle ipotesi sui fattori (naturali ed antropici) che ne determinano lo sviluppo.

L'attribuzione ad una determinata classe (alla quale corrisponde un intervallo di "intensità" di espressione dei fattori limitanti) avviene sulla base del raggruppamento numerico più abbondante di alghe che hanno una richiesta ambientale, o una tolleranza, sovrapponibile del parametro in esame. Tuttavia va tenuto conto che spesso possono rinvenirsi classi "secondarie" con abbondanze molto simili a quella più numerosa per cui, in tal caso, l'inquadramento ecologico dovrebbero tenere in conto anche queste e non solo quella "dominante" in senso assoluto. Va aggiunto, inoltre, che alcuni dei parametri utilizzati nella classificazione di Van Dam corrispondono (indicatori di carico organico= livello saprobico, metabolismo dell'azoto, livello di ossigeno; indicatori di

carico trofico= stato trofico) con quelli dell'indice EPI-D per cui ci si attenderebbe una relativa corrispondenza in termini di inquadramento delle stazioni. Occorre tuttavia sottolineare che ciascun indice viene "pesato" sulla base delle tipologie tassonomiche specifiche delle differenti realtà idro-geo-pedologiche e climatiche e della relativa storia evolutiva, per cui anche specie identiche potrebbero non avere, in contesti ambientali differenti, l'identica risposta alla variazione dei fattori limitanti (differenze genotipiche che ne modificano la tolleranza, adattamento alle oscillazioni dei principali fattori limitanti). Ciò significa che, probabilmente, non sempre i due indici debbano coincidere strettamente in termini di inquadramento delle comunità. Nel caso del primo campionamento le "diagnosi" ecologiche dei due indici appaiono sostanzialmente paragonabili (Tabb. 4.6, 4.7, 4.8 e 4.9), in particolare ove appaiono le maggiori criticità ambientali (stazioni C4 e C5: EPI-D= classe IV; classificazione di Van Dam denotante un arricchimento della comunità in taxa associati a più alti livelli saprobici, maggior numero di organismi azoto-eterotrofi adattati a bassi livelli di saturazione di ossigeno).

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>B1</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>
<i>EPI-D</i>	1,13	1,79	1,64	1,95	2,37	2,59	2,04	2,13
<i>C.Q.B.</i>	II	III	II	III	IV	IV	III	II

Tabella 4.6 - Valori dell'EPI-D e della classe di qualità del campionamento di luglio 2004

	<i>Livello Saprofico</i>					<i>dominante</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	
<i>C1</i>	52	574	122	40	8	2) β-mesosaprobico
<i>C2</i>	23	420	258	87	38	
<i>C3</i>	8	533	230	100	46	
<i>C4</i>	20	325	254	246	79	
<i>C5</i>	24	250	250	440	16	4) α-mesopoliprobico
<i>C6</i>	16	537	136	160	58	2) β-mesosaprobico
<i>C7</i>	24	373	381	87	71	3) α-mesosaprobico
<i>B1</i>	43	662	154	34	38	2) β-mesosaprobico

Tabella 4.7 - Classificazione delle stazioni sulla base della risposta delle comunità diatomiche all'arricchimento organico della colonna d'acqua (campionamento di luglio 2004)

	<i>Stato Trofico</i>							<i>dominante</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	
C1	4	8	110	88	408	16	249	5) Eutrofico
C2	8	0	23	129	500	38	133	
C3	0	0	27	130	617	50	92	
C4	0	0	20	131	643	79	52	
C5	24	0	52	60	762	16	65	
C6	0	0	8	140	529	62	167	
C7	16	0	12	56	635	71	147	
B1	21	0	13	132	594	38	137	

Tabella 4.8 - Classificazione delle stazioni sulla base della risposta delle comunità diatomiche ai livelli di nutrienti della colonna d'acqua (campionamento di luglio 2004)

	<i>Idratazione del substrato</i>					<i>dominante</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	
C1	108	243	369	32	0	3) Principalmente nei corpi idrici, spesso anche su superfici bagnate ed umide
C2	125	235	413	15	0	
C3	222	307	375	0	0	
C4	143	242	484	36	0	
C5	24	113	762	0	0	
C6	272	210	327	101	0	
C7	190	147	532	75	0	
B1	218	321	372	0	0	

Tabella 4.9 - Classificazione delle stazioni sulla base della risposta delle comunità diatomiche ai differenti livelli idrologici presenti in alveo (campionamento di luglio 2004)

Volendo, in aggiunta, eseguire un confronto tra classificazione di Van Dam con quelli che sono i valori che assumono i corrispondenti macrodescrittori chimici (fermo restando l'indicazione "puntiforme" nel tempo ad essi associata), si possono operare le seguenti considerazioni:

- a) La richiesta ecologica delle comunità rinvenute si adatta abbastanza bene a quelli che sono i valori di saturazione della colonna d'acqua (sebbene una marcata discordanza sia rilevabile soprattutto nel caso della stazione C7).

b) 6 stazioni su 8 mostrano corrispondenza tra inquadramento ecologico, in riferimento al livello saprobico, e sua determinazione analitica come B.O.D.₅ mentre nel caso della stazione C5 risulta sovrastimato ed in quello della C6 sottostimato.

c) Per quanto attiene alle richieste di azoto totale (inorganico ed organico a seconda che la comunità sia formata in prevalenza da organismi marcatamente azoto - autotrofi o marcatamente azoto-eterotrofi) queste si accordano del tutto con l'inquadramento relativo al livello saprobico, suggerendo una corrispondente utilizzazione dell'azoto da substrati organici all'aumentare dei livelli di quest'ultimi in alveo (prevalenza di organismi azoto-eterotrofo facoltativi ed obbligati). È noto difatti, in letteratura, che il fenomeno dell'eterotrofia nelle alghe (organismi fotoeterotrofi o fotoorganotrofi) acquista una certa dimensione soprattutto tra le alghe bentoniche, ove si determina concentrazione di substrati organici, e quando la luce risulta limitante (Tuchman, 1996).

d) Tutte le stazioni sono classificate come tipiche di ambienti eutrofizzati e 6 volte su 8 questo inquadramento si accorda con le concentrazioni ambientali dello ione fosfato.

e) Nel caso del pH le comunità sono classificate come alcalifile e ciò corrisponde del tutto ad i valori misurati in campo.

f) Relativamente ai livelli idrologici è interessante notare che, sebbene tutte le comunità siano formate soprattutto da specie associate a superfici prevalentemente sommerse e con una certa frequenza anche solo bagnate o umide, le stazioni C6 (in particolar modo) e C7 presentano la quota più elevata di organismi che si rinvencono su superfici prevalentemente bagnate, umide o temporaneamente asciutte, denotando come i tratti in cui queste alghe sono state rinvenute possano risentire di flessioni non irrilevanti del livello della falda (presumibilmente per la presenza della diga che genera l'invaso di Tarsia).

Nel caso del secondo campionamento, come detto, il regime idrologico mostra sensibili oscillazioni per l'incremento periodico del deflusso superficiale in bacino dipendente dalla frequenza ed entità degli eventi pluviali.

In tale contesto l'assetto della comunità risente sensibilmente del fatto che taxa associati a condizioni di maggiore stabilità ambientale risultano penalizzati mentre

quelli dotati di maggiore mobilità (e quindi adattati a condizioni di minore stabilità del letto fluviale) diventano più rappresentativi (in termini di abbondanza) nell'ambito della comunità (vedi commento sull'indice NNS').

Il peggioramento della diagnosi ambientale dell'EPI-D nel caso delle stazioni C6 e B1 (Tab. 4.10) è quindi associabile, per la prima, all'apertura dell'invaso che produce uno marcato stress idrodinamico (per il picco di portata e la quota di materiale in sospensione – rotolamento che esercita un forte effetto di sfregamento sul letto) e, per la seconda, come suggeriscono i dati chimici, ad un incremento del carico organico (aumento simultaneo e sensibile di B.O.D.₅ e C.O.D.).

	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>B1</i>	<i>C3</i>	<i>C4</i>	<i>C5</i>	<i>C6</i>	<i>C7</i>
EPI-D	1,72	2,12	1,95	2,02	2,31	2,38	2,33	2,22
C.Q.B.	II	III	III	III	IV	IV	IV	III

Tabella 4.10 - Valori dell'EPI-D e della classe di qualità del campionamento di dicembre 2004

D'altro canto l'aumento notevole di C.O.D. rilevato nelle stazioni C1 – C4 non si associa ad una ulteriore caduta dell'assetto della comunità (valori dell'EPI-D sostanzialmente invariato) e ciò sarebbe coerente con la più debole risposta del B.O.D.₅ la quale, come detto, suggerisce che un contributo all'incremento del carico organico deriva dalla sospensione di sedimenti (anaerobi) dal fondo dell'alveo con scarso effetto sulla riduzione dei livelli di ossigeno. Il sistema di attribuzione ecologica di Van Dam si comporta in maniera solo in parte sovrapponibile all'EPI-D. Nel caso della stazione C6 si nota, in primo luogo, la scomparsa di quella quota (in eccesso rispetto alle altre stazioni) di specie associate preferenzialmente a substrati bagnati e umidi o temporaneamente asciutti (come traccia dell'aumento del livello della falda a seguito dell'incremento di frequenza ed intensità degli eventi pluviali) (Tab. 4.11). Inoltre, benché tutte le stazioni risultino classificate come afferenti ai gruppi 2 per il livello saprobico (Tab. 4.12) ed il metabolismo dell'azoto (2-β-mesosaprobico e taxa azoto autotrofi, tolleranti elevate concentrazioni di azoto organico) nella stazione C6 molto elevata appare il numero di organismi inquadrati nei corrispondenti gruppi 3 (α-mesosaprobico e taxa azoto eterotrofi facoltativi, che necessitano, periodicamente, di elevate concentrazioni di azoto organico) il che deriva, presumibilmente, dalla quota di

taxa del gruppo “*Navicula, Nitzschia, Surirella*” in aumento in tale fase stagionale, caratterizzati da una valenza ambientale relativamente ampia con *optima* biologici intorno a valori relativamente alti di trofia, carico organico e livello di mineralizzazione (Dell’ Uomo, 2004) (oltre che dotati di elevata mobilità).

	<i>Idratazione del substrato</i>					<i>dominante</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	
<i>C1</i>	81	150	533	12	16	3) Principalmente nei corpi idrici, spesso anche su superfici bagnate ed umide
<i>C2</i>	122	114	633	33	12	
<i>C3</i>	137	113	605	60	4	
<i>C4</i>	102	114	667	20	4	
<i>C5</i>	43	115	759	40	0	
<i>C6</i>	99	99	711	16	0	
<i>C7</i>	68	100	696	20	0	
<i>B1</i>	73	194	657	8	0	

Tabella 4.11 - Classificazione delle stazioni sulla base della risposta delle comunità diatomiche ai differenti livelli idrologici presenti in alveo (campionamento di dicembre 2004)

	<i>Livello Saprobico</i>					<i>dominante</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	
<i>C1</i>	16	472	224	89	37	2) β -mesosaprobico
<i>C2</i>	53	392	331	86	53	
<i>C3</i>	52	435	294	113	56	
<i>C4</i>	12	329	322	200	51	
<i>C5</i>	0	379	352	130	95	
<i>C6</i>	0	372	324	166	71	
<i>C7</i>	8	384	264	136	108	
<i>B1</i>	0	573	165	173	44	

Tabella 4.12 - Classificazione delle stazioni sulla base della risposta delle comunità diatomiche all’arricchimento organico della colonna d’acqua (campionamento di dicembre 2004)

D’altro canto se nel caso delle stazioni C1 – C4 permane l’inquadramento nelle classi 2, parzialmente coerente con la debole risposta del B.O.D.₅ all’aumento sostenuto

del C.O.D., meno adeguata appare l'attribuzione per la stazione B1 ai gruppi 2, in quanto i dati incrociati di C.O.D. e B.O.D.₅ suggerirebbero un maggiore contributo da inquinamento antropico all'aumento del carico organico.

Nel caso dello stato trofico (Tab. 4.13) si può notare che la classificazione di Van Dam inquadra tutte le stazioni come siti eutrofizzati mentre le analisi chimiche rilevano che tale condizione si realizza, al momento del prelievo, solo sulla metà di esse, per l'azione diluente esercitata sul fosforo solubile dall'aumento di portata.

	<i>Stato Trofico</i>							<i>dominante</i>
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	
<i>C1</i>	0	0	73	114	500	37	110	5) Eutrofico
<i>C2</i>	0	49	8	147	547	65	98	
<i>C3</i>	12	36	12	77	621	113	52	
<i>C4</i>	12	0	12	82	671	51	94	
<i>C5</i>	0	0	4	142	617	95	99	
<i>C6</i>	0	0	4	150	644	71	55	
<i>C7</i>	8	0	8	72	624	108	80	
<i>B1</i>	0	0	8	65	637	44	202	

Tabella 4.13 - Classificazione delle stazioni sulla base della risposta delle comunità diatomiche ai livelli di nutrienti della colonna d'acqua (campionamento di dicembre 2004)

4.5 *Indice NNS'*

La figura 4.2 mostra la notevole somiglianza fra l'andamento di luglio e quello di dicembre.

In generale i valori di dicembre si mantengono leggermente più elevati rispetto a quelli estivi, in accordo con quanto ci si attende in termini di disturbo fisico dell'ambiente fluviale a seguito della piena. In tal senso va notato che a dicembre, rispetto al precedente campionamento, si assiste alla comparsa di 11 nuovi taxa del gruppo NNS' ed alla scomparsa di 13, tutti aventi una dimensione numerica molto modesta (sostanziale invarianza del bilancio), mentre di quelli che permangono 17 sono in aumento numerico ed 11 in diminuzione.

Nel caso degli altri taxa che costituiscono la comunità se ne assiste alla scomparsa di 23 (generi: *Amphora*, *Cyclotella*, *Cymatopleura*, *Cymbella*, *Diatoma*, *Diploneis*, *Fragilaria*, *Gomphonema* e *Gyrosigma*) ed all'ingresso di 12 nuove specie (generi: *Achnanthes*, *Cymbella*, *Eunotia*, *Fragilaria* e *Gomphonema*) tutti caratterizzati, come nel gruppo NNS' da un'abbondanza alquanto scarsa mentre tra quelli che persistono nel secondo campionamento, 17 sono in riduzione numerica e 5 in aumento.

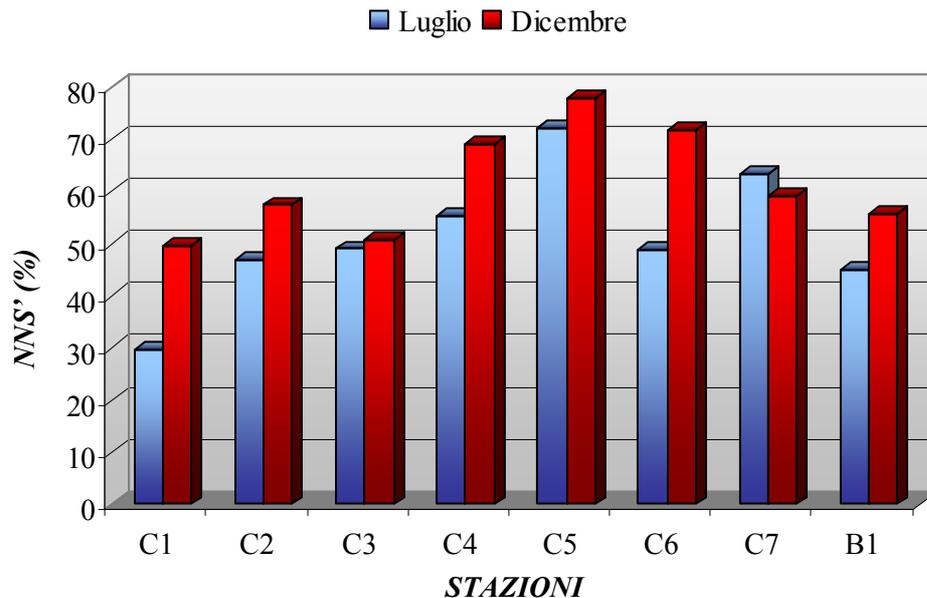


Figura 4.2 - Andamento dell'indice NNS' nei campionamenti di luglio e di dicembre

Tutto ciò conferma chiaramente come gli aumenti di portata non solo favoriscano i taxa a maggiore mobilità ma anche penalizzano (come emerso in precedenza) quelli associati a condizioni di maggiore stabilità idrodinamica. D'altro canto va anche detto che l'invaso agisce da *sink* per particolato ed eventuali inquinanti associati per cui, dal momento che numerosi taxa di tale gruppo sono anche eurivalenti in termini di variazione del carico trofico ed organico, una loro riduzione potrebbe anche derivare da un miglioramento della qualità chimica dell'acqua.

È interessante notare come il disturbo fisico diminuisca nella stazione immediatamente a valle dell'invaso sia a luglio che a dicembre, tuttavia, mentre in regime di magra la riduzione tra la stazione C5 e C6 (grazie all'opera di sedimentazione dell'invaso) è piuttosto repentina, nella campagna invernale, successiva all'ondata di piena, la riduzione longitudinale nello stesso tratto appare più smorzata, risultato

attribuibile sempre alla presenza dell'invaso che esercita un effetto sul fiume inversamente proporzionale alla sua portata.

Nella stazione di chiusura del bacino i valori dell'indice di luglio e di dicembre tornano ad essere molto vicini.

Se si esamina il numero delle specie appartenenti al gruppo “*Nitzschia*, *Navicula* e *Surirella*” (Fig. 4.3), si nota un andamento alquanto dissimile.

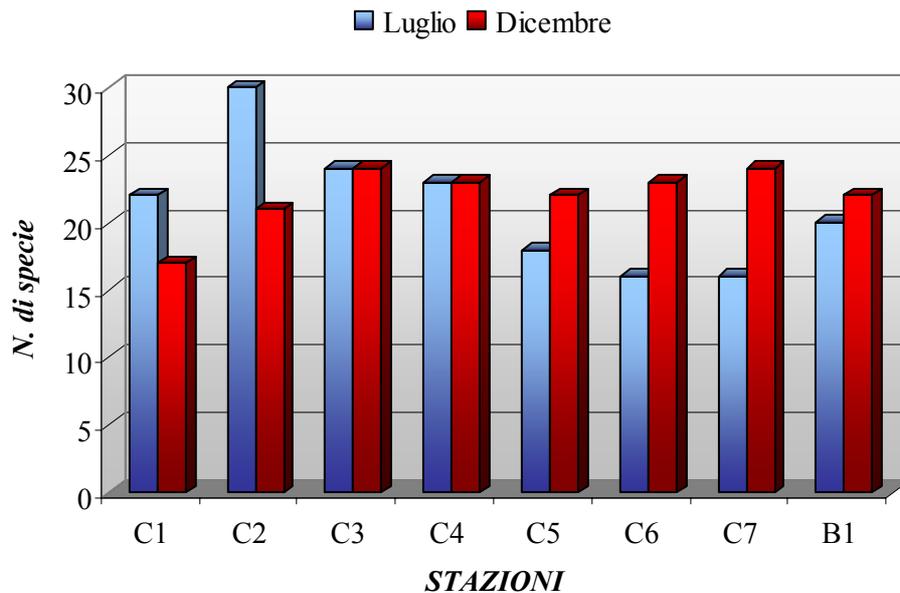


Figura 4.3 - Andamento del numero delle specie appartenenti al raggruppamento NNS nei campionamenti di luglio e di dicembre

A luglio il picco si ha nella stazione C2 che si colloca in un tratto rettificato dell'area urbana di Cosenza ove l'ambiente idrodinamico appare abbastanza semplificato (prevalenza di habitat a raschi e correntini) per cui, sebbene si è in una fase di stabilità idrologica, nella quale la presenza e rappresentatività dei suddetti generi dipenderà prevalentemente dal loro adattamento a perturbazioni antropiche di natura chimica (oltre che agli input di risorse trofiche ed alla natura delle interazioni biotiche), è possibile che la condizione prevalente del flusso locale (in media più sostenuta) promuova la colonizzazione di differenti tipologie di taxa a maggiore mobilità.

Dalla stazione C2 alla C5 si nota una progressiva diminuzione del numero dei taxa ed un aumento della rappresentatività % nella comunità, probabilmente perché la dilatazione di nicchia dei taxa più tolleranti alle alterazioni ambientali (in tale tratto progressivamente crescenti dall'area urbana a quella industriale: si passa da una III ad

un IV classe di qualità) riduce le opportunità di colonizzazione per altri. A valle della diga, come visto, la rappresentatività % si riduce marcatamente, per la stabilizzazione del flusso (e forse pure per l'abbattimento degli inquinanti) così come il numero dei taxa, sia pure in maniera poco accentuata, e ciò potrebbe "leggersi" come una diminuzione complessiva dell'idoneità delle condizioni del tratto fluviale alla colonizzazione da parte di organismi di tale gruppo (non va neppure sottovalutata l'azione di sbarramento dell'invaso ai processi di drift che potrebbe esercitare un ulteriore contributo a tale risultato). L'insieme delle attività antropiche, quindi, presenti nel bacino (scarichi fognari da insediamenti produttivi e da depuratori, attività agricole intensive, prelievi idrici e di materiali litoidi dall'alveo) può essere visto (anche) come fattore di disturbo fisico crescente in direzione monte valle. Gli effetti di questo disturbo fisico sono regolati da un lato dal regime idrologico (con le piene che tendono ad incrementare il livello generale del disturbo fisico, al contrario di quanto avviene solitamente per i fattori inquinanti di tipo chimico), dall'altro dalla presenza dell'invaso di Tarsia. Quest'ultimo ha un effetto migliorativo sull'impatto fisico (oltre che su quello chimico) a causa dell'intrappolamento dei sedimenti che sottrae una cospicua porzione dei solidi sospesi e degli inquinanti ad essi associati dall'acqua che defluisce a valle in condizioni di magra e morbida. Ovviamente, in condizioni di piena, avviene uno smorzamento dell'effetto benefico in termini di disturbo fisico: la trappola di sedimenti non funziona, anzi in queste fasi idrologiche vi è una risospensione di quelli depositati in precedenza, che vengono portati a mare.

4.6 Confronto tra EPI-D (Eutrofication/Pollution Index - Diatom based) ed I.B.E. (Indice Biotico Esteso)

Esaminando il campionamento di luglio (Figg. 4.4 e 4.5) è possibile verificare che entrambi gli indici denotano la presenza di condizioni alquanto compromesse lungo l'intera asta fluviale del Crati con prevalenza di III e IV classi di qualità ambientale.

Nel caso dell'I.B.E. solo la stazione C1 risulta in I classe (valore I.B.E.= 10) sebbene tale attribuzione appaia dubbia per l'esiguità numerica dell'Ordine dei Plecotteri (suggerendone una forse più idonea attribuzione ad una II classe) mentre in II risultano le stazioni C2 e C7. Per l'EPI-D non vi sono stazioni in I classe e quelle in II sono la C1 e la C7.

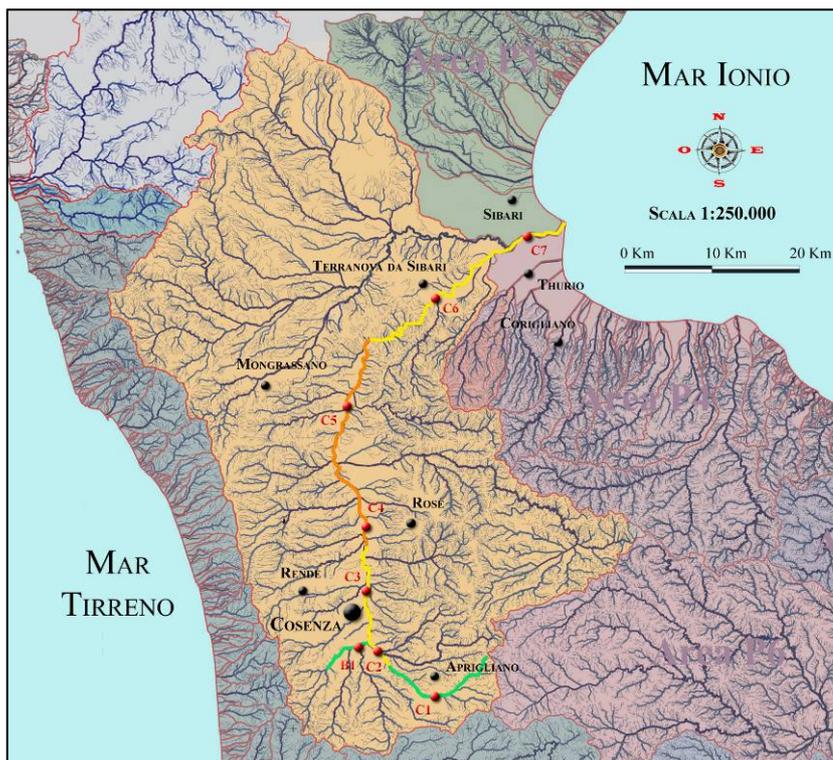


Figura 4.4 - Qualità Biologica secondo l'EPI-D nel campionamento di luglio

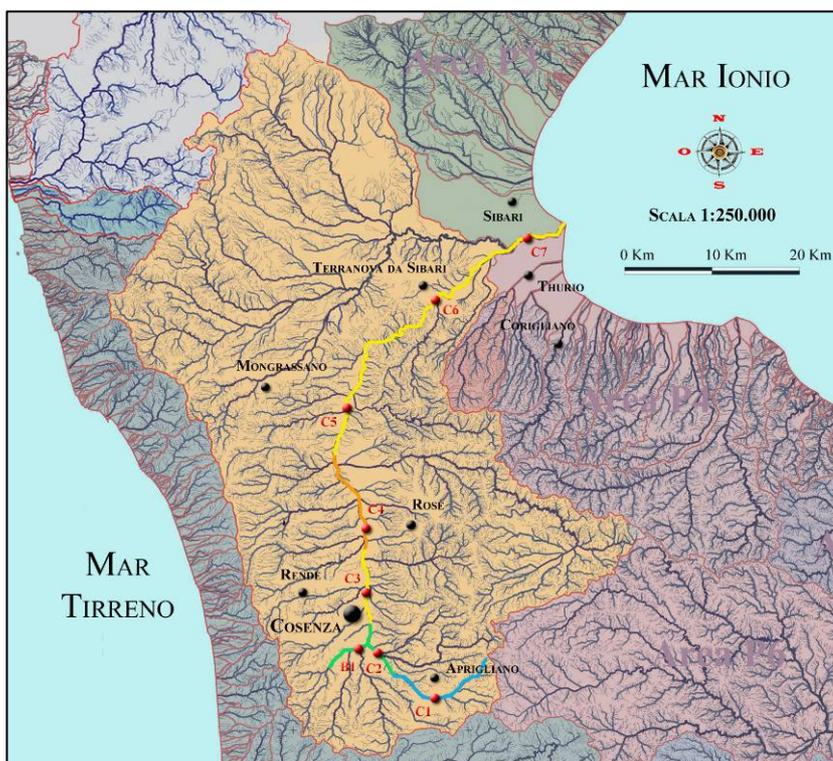


Figura 4.5 - Qualità Biologica secondo l'I.B.E. nel campionamento di luglio

I due indici differiscono sia per il livello di risoluzione tassonomica che essi richiedono (EPI-D= specie; I.B.E.= genere e famiglia), sia per la rispondenza ai fattori limitanti. L'I.B.E. risente delle variazioni delle concentrazioni di O₂ (valori < a 5 mg/L risultano dannosi per molti macroinvertebrati; Alabaster & Loyd, 1980; Becker, 1987; Hellawell, 1986) e del relativo % di saturazione, mentre l'EPI-D risulta sensibile alle variazioni di nutrienti, della sostanza organica e del grado di mineralizzazione del corpo idrico. Coerentemente a ciò l'I.B.E. assume il valore più basso (4; Classe di Qualità= IV) in corrispondenza della stazione C4 ove l'ossigeno mostra un valore di 2,9 mg/L (35% di saturazione) mentre l'EPI-D presenta il suo minimo (2,54; Classe di Qualità= IV) nel caso della stazione C5 dove i parametri da cui esso primariamente dipende si attestano sui valori di maggiore compromissione (cloruri= 20 mg/L, ammonio= 3,30 mg/L, fosfati= 0,40 mg/L, nitrati= 1,26 mg/L).

Nel caso del campionamento di dicembre (Figg. 4.6 e 4.7), l'I.B.E. mostra una diffusa riduzione dei valori di qualità ambientale lungo l'intera asta fluviale, mentre per l'EPI-D la flessione si determina solo nel caso delle stazioni C6 e B1. Come ampiamente detto in tale stagione il fiume risulta interessato da sensibili aumenti di portata per cui le comunità risultano influenzate nei loro assetti compositivi e nella relativa abbondanza (vedi indice NNS') dalla riduzione delle nicchie di organismi associati a condizioni di stabilità idrodinamica e dalla dilatazione di quelle dei taxa a maggiore mobilità e capacità di dispersione. Poiché le diatomee hanno una capacità di ricolonizzazione (nell'ordine di alcune ore) decisamente superiore a quella dei macroinvertebrati (non inferiore a diversi giorni) (Chadiwick Ecological Consultants, 2000; Steinman & McIntire, 1990) ciò potrebbe spiegare il differente esito che si ottiene nell'attribuzione della classe di qualità ambientale utilizzando i due diversi indici. Questo si rileva efficacemente anche realizzando un'analisi di correlazione parametrica (Pearson) tra i valori dei due indici. Sull'intera serie di campionamenti (luglio e dicembre) è evidenziabile un'elevata correlazione statisticamente significativa ($r= 0,805$, $r^2= 0,648$, $p= 0,000$), ma laddove si esegue l'analisi per campionamento si può notare che la migliore correlazione si realizza nel mese di luglio ($r= 0,891$, $r^2= 0,793$, $p= 0,000$), mentre questa peggiora a dicembre, sebbene resti forte e statisticamente significativa ($r= 0,729$, $r^2= 0,531$, $p= 0,040$). Tale risultato è da attribuirsi alla differente resilienza alle perturbazioni idrodinamiche delle comunità diatomiche e marobentoniche.

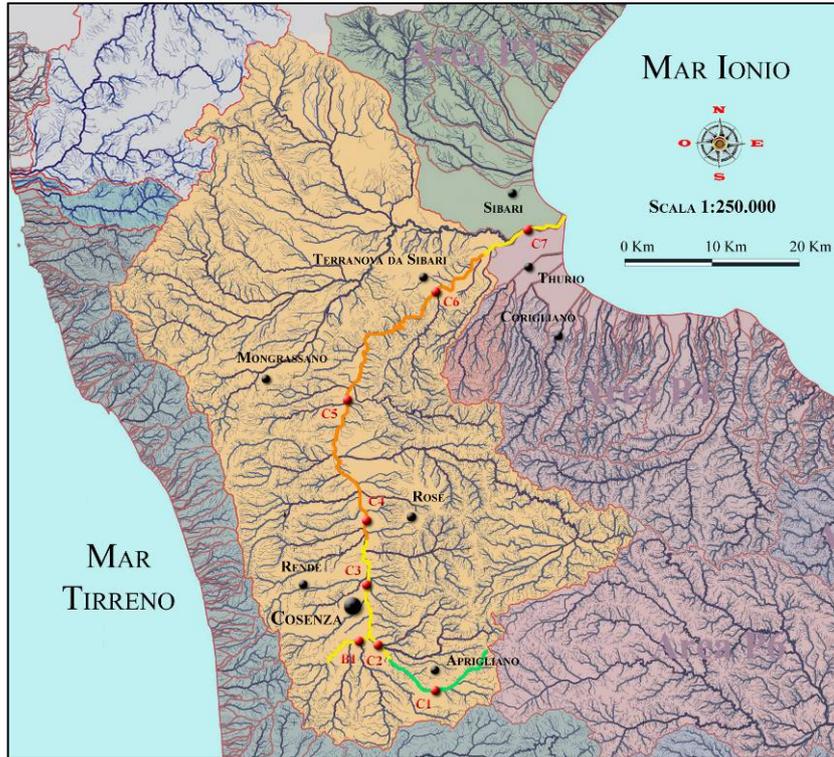


Figura 4.6 - Qualità Biologica secondo l'EPI-D nel campionamento di dicembre

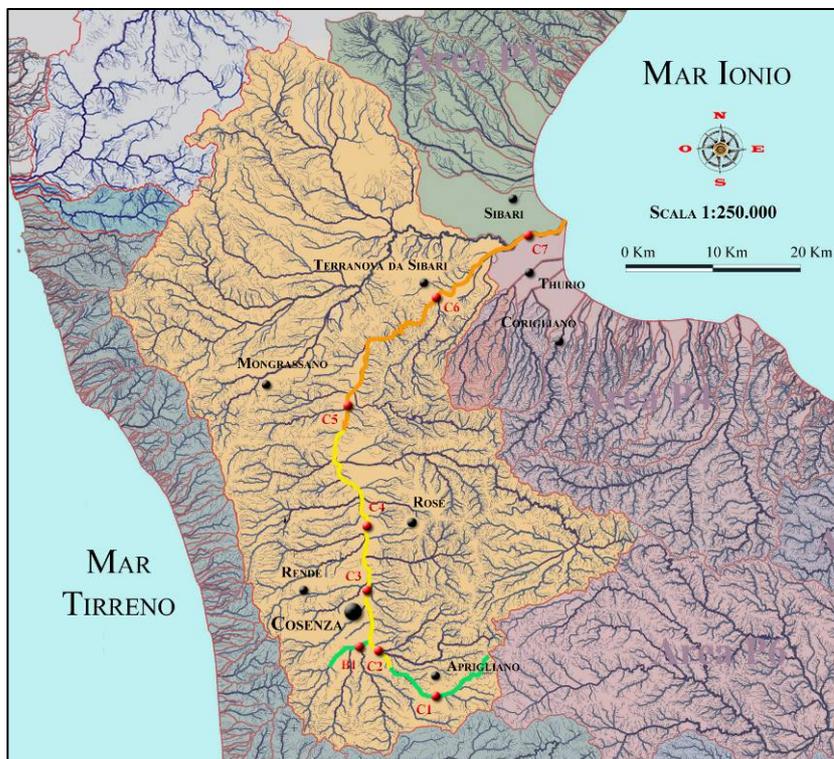


Figura 4.6 - Qualità Biologica secondo l'I.B.E. nel campionamento di dicembre

Analisi degli assetti tassonomici dei principali gruppi di stazioni assimilabili in termini di taxa preferenziali

Lo studio ed il confronto delle relazioni qualitative (tipologie tassonomiche) e quantitative (abbondanze) delle comunità delle stazioni è stato realizzato applicando ai dati ottenuti l'analisi TWINSPAN.

Si è scelto di trattare i dati separatamente per fase stagionale per due motivi:

- non sovrapporre l'analisi di due (eventuali) gradienti: uno fisico legato alla variazione naturale di fattori limitanti lungo l'asta fluviale, ulteriormente complicato dalla distribuzione differenziale di attività antropiche nel tratto medio-inferiore, ed uno temporale, legato alla variazione di espressione dei fattori limitanti (naturali e, forse, anche antropici) su base stagionale;
- evitare di incorrere nell'inconveniente della "pseudoreplicazione" che potrebbe, in una qualche misura, inficiare l'analisi statistica (sebbene il campionamento su base temporale è già nella finalità del lavoro e, quindi, ciò dovrebbe eliminare la falsificazione del numero dei gradi di libertà dell'esperimento).

4.7 Campionamento del mese di luglio 2004

I risultati del mese di luglio (Fig. 4.7) mostrano che è possibile individuare, complessivamente, tre gruppi di stazioni: C1-C2, C3-B1 e C4-C5-C6-C7.

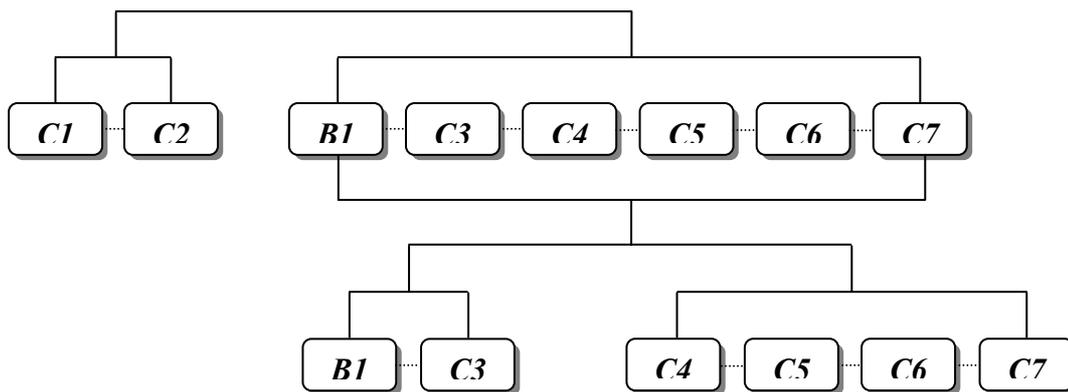


Figura 4.7 - Dendrogramma relativo al campionamento di luglio

In primo luogo sono stati analizzati i valori medi (come mediana) degli indici di sensibilità delle specie appartenenti a tali raggruppamenti e la distribuzione della frequenza degli indici di affidabilità così da inquadrare l'insieme delle relative

comunità, rispetto a tali caratteristiche (sensibilità alle perturbazioni e dimensione della valenza ambientale). È evidente (Figg. 4.8 e 4.9) che nel gruppo C1-C2 le specie mostrano i valori più bassi di indice di sensibilità (adattate a condizioni ambientali di sostanziale integrità) ma un'oscillazione non irrilevante (primo quartile= 0,5, secondo quartile= 2) suggerendo la presenza di taxa con *optima* biologici relativamente dissimili e valenza ambientale abbastanza ampia.

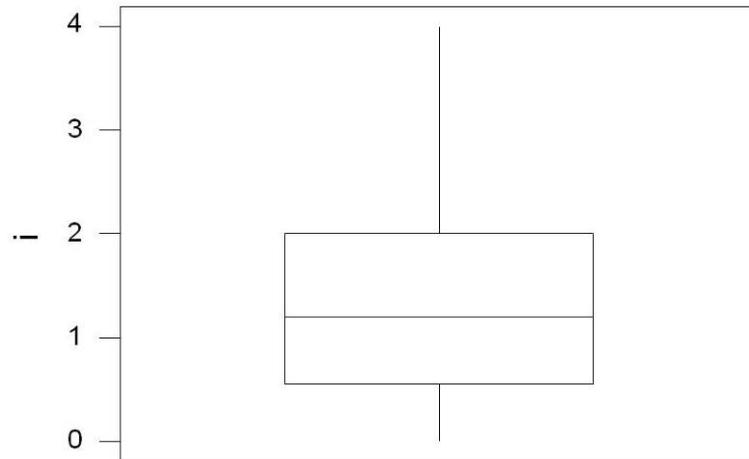


Figura 4.8 - Boxplot eseguito sui valori dell'indice di sensibilità (*i*) relativo al raggruppamento C1-C2 del campionamento di luglio

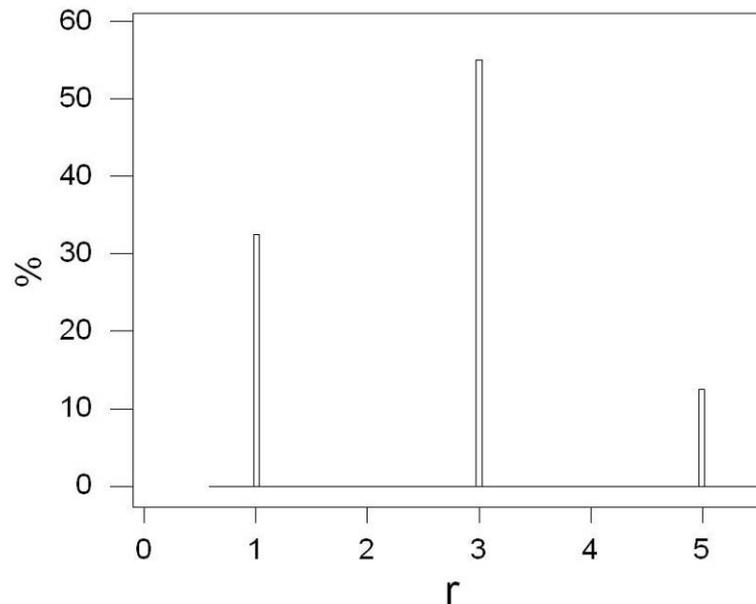


Figura 4.9 - Ripartizione dell'indice di affidabilità (*r*) relativa al raggruppamento C1-C2 del campionamento di luglio

Nel secondo gruppo (Figg. 4.10 e 4.11) l'indice di sensibilità aumenta di circa 1/3 del valore precedente, il che indica che in questo si trovano specie più tolleranti alle alterazioni degli ambienti lotici (mediana = 1,8) ed il suo *spread* è ancora sensibile (differenza I-III quartile= 1,3). La dimensione più ricorrente della valenza ambientale risulta la stessa del gruppo precedente.

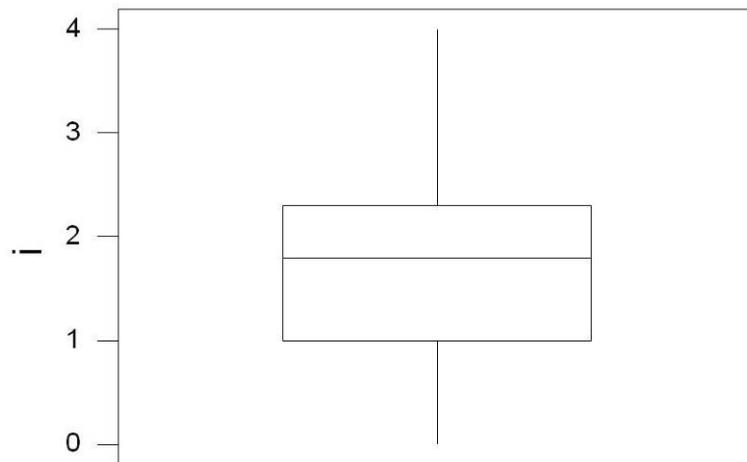


Figura 4.10 - Boxplot eseguito sui valori dell'indice di sensibilità (*i*) relativo al raggruppamento C3-B1 del campionamento di luglio

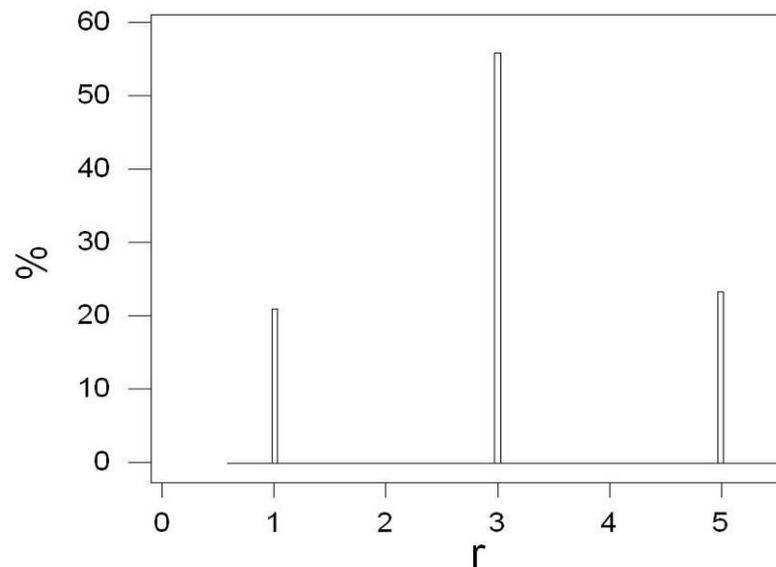


Figura 4.11 - Ripartizione dell'indice di affidabilità (*r*) relativa al raggruppamento C3-B1 del campionamento di luglio

Infine il terzo gruppo (Figg. 4.12, 4.13) si caratterizza per la mediana più elevata dell'indice di sensibilità (2,15) che denota la maggiore rappresentatività di taxa ad elevata tolleranza alle perturbazioni ambientali e per una contrazione dell'intervallo in cui sono compresi i valori tra I e III quartile (pari a 0,8) suggerendo che una quota pari al 50% dei taxa mostra un optimum biologico abbastanza simile, sebbene il valore più frequente dell'indice di affidabilità resta pari a 3 (relativamente dilatata) indicando la presenza di condizioni "spaziali" abbastanza omogenee (ambiente semplificato).

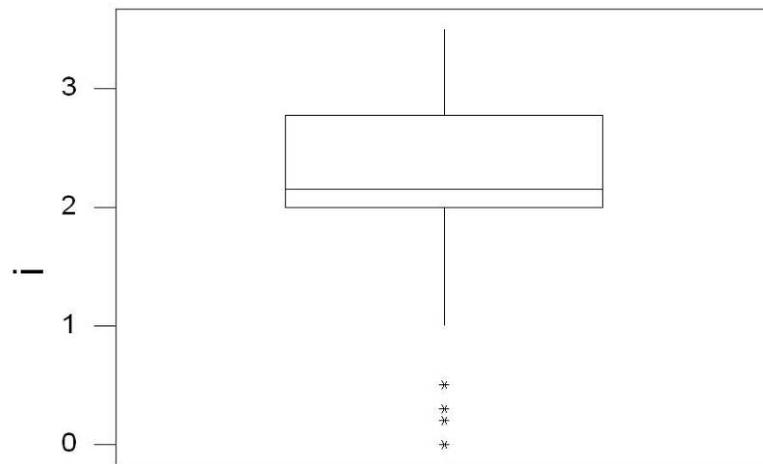


Figura 4.12 - Boxplot eseguito sui valori dell'indice di sensibilità (i) relativo al raggruppamento C4-C7 del campionamento di luglio

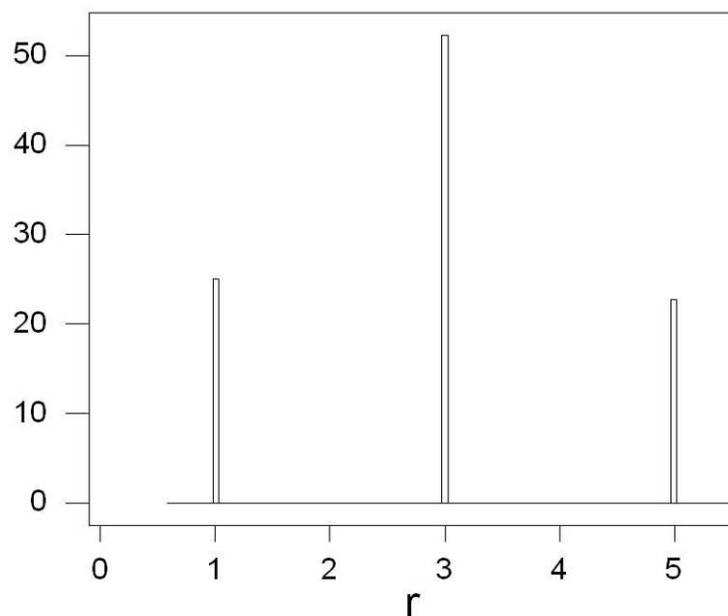


Figura 4.13 - Ripartizione dell'indice di affidabilità (r) relativa al raggruppamento C4-C7 del campionamento di luglio

4.7.1 Gruppo C1 – C2

Tra i taxa che le due stazioni condividono, ovvero che sono presenti in entrambe le stazioni con un'abbondanza paragonabile, troviamo organismi alquanto stenovalenti e adattati a bassi valori di carico trofico, organico e grado di mineralizzazione quali *Cymbella caespitosa*, *Fragilaria ulna* e *Pinnularia divergentissima* (Dell'Uomo, 2004). Altri mostrano una valenza ambientale più ampia quali *Achnanthes lanceolata* var. *lanceolata* o *Navicula Decussis* mentre escursioni ulteriormente più ampie sono tollerate dai rimanenti *Cymbella caespitosa*, *Cymbella minuta*, *Diatoma moniliformis*, *Navicula contenta*, *Navicula tripunctata* e *Nitzschia linearis*.

D'altro canto è interessante osservare che alcune specie sono presenti solo nella stazione C1 e tra queste quelle maggiormente rappresentative sono *Achnanthes biasoletiana*, tipica di ambienti ultraoligotrofici (Falasco *et al.*, 2006), *Gomphonema pumilum*, un taxon fortemente oligosaprobio ed oligoalobio esigente, nonché associato ad ambienti oligotrofici (Dell'Uomo, 2004), *Meridion circolare* e *Navicula radiosa*, con valenza ambientale un pò più ampia ma sempre tipico di ambienti molto ben conservati (Dell'Uomo, 2004) ed anche *Navicula cryptocephala* che si rinviene in ecosistemi lotici moderatamente perturbati (Salomoni *et al.*, 2006).

Sostanzialmente, quindi, le due stazioni condividono diversi taxa tipici di tratti fluviali in condizioni relativamente discrete, ma la C1 si caratterizza anche per la presenza di alcune specie rinvenute soprattutto in ambienti ad elevato grado di preservazione. (valori EPI-D: C1= 1,13; C.Q.B.= II; C2= 1,79; C.Q.B.= 3; da notare che il valore di EPI-D spartiacque tra una I ed una II classe è 1,0 il che rende conto della quota di taxa molto sensibili presenti nella stazione C1).

4.7.2 Gruppo B1 – C3

Le acque della stazione C3 risentono dei taxa che provengono, attraverso processi di drift, tanto dal fiume Busento, quanto dal tratto superiore del Crati.

In tale raggruppamento sono presenti numerosi taxa, con abbondanze alquanto ridotte, che tipizzano o l'una o l'altra delle due stazioni mentre queste vengono accomunate da numerose nicchie di dimensioni sensibili suggerendo che le condizioni prevalenti in alveo, nei due tratti, sono abbastanza simili (uguali caratteristiche geopedologiche e climatiche).

Per quanto attiene a queste ultime va notato che solo alcuni taxa sono abbastanza stenovalenti e ciò riguarda organismi adattati a valori di trofia, carico organico e grado di mineralizzazione alto quali *Navicula gregaria* e *Surirella ovalis* (Dell'Uomo, 2004), intermedio (*Cymatopleura solea*) o basso (*Diatoma mesodon* e *Diploneis oblongella*) (Goma *et al.*, 2005).

Nel caso delle rimanenti specie queste si caratterizzano per una dimensione degli intervalli di tolleranza sensibilmente maggiore che spesso comprende un'espressione "intermedia" del succitato gruppo di fattori limitanti (specie β -mesosaprobie, oligolabio tolleranti e tipiche di corpi idrici mesotrofici) e che si estende o a valori elevati (*Fragilaria parasitica* var. *subconstricta*, *Navicula cuspidata*, *Navicula pupula*, *Nitzschia linearis*, *Nitzschia sigmoidea*) oppure a valori bassi o relativamente bassi (*Navicula capitatoradiata*, *Navicula tripunctata*, *Surirella brebissoni*) di tali parametri.

Tutto ciò suggerisce che questi tratti sperimentano oscillazioni, nel tempo, apprezzabili, sia pure non estreme, dei carichi trofici, organici e della quota di cloruri disciolti, che in taluni casi possono ricondursi anche a probabili processi di inquinamento (valori alti dell'intervallo di tolleranza).

Da notare che la stazione B1 ha un valore di EPI-D pari ad 1,64 che pur assegnandola ad una classe di qualità II (la stessa della C1) tuttavia la posiziona al limite di una terza (valore soglia 1,7). La stazione C3, d'altro canto si posiziona pienamente in III classe (EPI-D= 1,95).

4.7.3 Gruppo C4 – C5

Le stazioni C4 e C5 si collocano in un area del bacino che risente di impatti multipli in parte simili (escavazione in alveo) in parte distinti (rispettivamente nella C4 presenza soprattutto di inquinamento organico e, secondariamente, di quello di origine industriale mentre nella C5 aumenta la dimensione del secondo).

Per quanto riguarda la disamina dei taxa caratterizzanti va detto che la C4 mostra prevalenza, più o meno marcata, (*Cocconeis placentula*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella caespitosa*, *Cymbella sinuata*, *Navicula lanceolata*, *Navicula pupula*) o presenza esclusiva (*Gomphonema augur*) di taxa tipici di siti a moderato impatto ambientale (Jones, 1978; Winter & Duthie, 2000; Benavides, 1995; Sabater, 1990; Dell'Uomo, 2004). Anche per quanto attiene ai taxa associati a condizioni di elevato

degrado la C4 si caratterizza per alcuni casi analoghi di prevalenza come *Navicula saprophila*, tipica di ambienti ipereutrofizzati o *Nitzschia palea* che cresce in acque polisaprobiche, torbide e ricche di solidi sospesi (Butcher, 1947) e di nutrienti (Van Dam *et al.*, 1994) o di esclusiva presenza, p. es.: *Navicula veneta* tipica di tratti eutrofizzati, con elevato inquinamento organico ed elevate concentrazioni ioniche (Guerriero & Rodriguez, 1991). D'altro canto la stazione C5 presenta una prevalenza sensibile della specie *Nitzschia incospicua* tollerante al sedimento, associata ad ambienti eutrofizzati e politrofici, (Fore & Grafe, 2002) che diventa più marcata nel caso del taxon *Nitzschia amphibia*, anch'esso un taxon tipico di tratti inquinati da un punto di vista organico (Brown & Olive, 1995), ricchi di nutrienti e sedimenti fini (Fore & Grafe, 2002), ed eccezionalmente elevata per quanto riguarda *Navicula subminuscula*, che in letteratura risulta associata ad aree soggette non solo ad inquinamento agricolo, ma anche di tipo industriale (Lobo *et al.*, 1995).

Complessivamente quindi, sebbene le due stazioni abbiano uno stesso valore di classe di qualità biologica (IV) tuttavia l'EPI-D appare superiore nel caso della stazione C5 (2,59) rispetto alla C4 (2,39); ciò è ascrivibile al fatto che la prima presenta una dimensione maggiore di nicchia di taxa tipici di ambienti non fortemente impattati e la seconda mostra una maggiore dilatazione di nicchia (almeno in un paio di casi, dei quali uno alquanto eclatante) di taxa notevolmente tolleranti condizioni di marcata alterazione ambientale.

4.7.4 Gruppo C6 – C7

Le stazioni C6 e C7 sono site in un'area a forte vocazione agricola. Queste stazioni si caratterizzano per la presenza, in primo luogo, di taxa ad elevata tolleranza di carichi trofici ed organici quali *Nitzschia amphibia* e *N. incospicua* (che nel caso della stazione C7 risulta decisamente più abbondante raggiungendo valori numerici estremamente elevati) e *Navicula subminuscula*.

È interessante notare tra questi la presenza della specie *Aulacoseira granulata* che, oltre ad associarsi ad ambienti ipertrofici (Heiskary *et al.*, 2004), risulta tollerante a diverse categorie di fitofarmaci (Guanzon & Nakahara, 2002).

In aggiunta nella composizione tassonomica è possibile, come già visto nel caso della classificazione di Van Dam, rilevare le tracce degli effetti della diga sulla

comunità diatomica; difatti tanto il genere *Aulacoseira* come quello *Cyclotella*, del quale nelle stazioni sono presenti le specie *meneghiniana* e *stelligera* (quest'ultima prevalente nella C6), risultano associati a condizioni di regimazione fluviale (Growth & Growth, 2001); d'altro canto i taxa *Navicula nivalis* (prevalente nella C6), *Navicula pupula* e *N. saprophila* (esclusivi della C6) si rinvenivano anche in tratti fluviali caratterizzati da condizioni di magra idrologica.

L'EPI-D per entrambe le stazioni suggerisce un miglioramento delle condizioni ambientali (rispettivamente 2,04 per la C6 e 2,13 per la C7 che risultano in III classe di qualità) e ciò, probabilmente, appare coerente con il ruolo di vasca di decantazione che esercita l'invaso di Tarsia per i possibili inquinanti presenti nella colonna d'acqua, sebbene la sua azione risulti comunque negativa sui livelli della falda, con inevitabile condizionamento delle biocenosi a valle.

4.8 Campionamento del mese di dicembre 2004

Il trattamento dei dati di dicembre con l'analisi TWINSpan ha prodotto due soli raggruppamenti (Fig.4.14).



Figura 4.14 - Dendrogramma relativo al campionamento di dicembre

Operando, come nel caso precedente, una disamina delle caratteristiche degli indici di sensibilità e di affidabilità dei due cluster ottenuti si può osservare che il primo (C1-C4) mostra una mediana pari a 1,3 con il primo quartile che si attesta su 0,5 ed il terzo su 2,25 (intervallo pari a 1,75). La classe di frequenza dell'indice di affidabilità più rappresentata è pari a 3 (Figg. 4.15, 4.16).

Per quanto attiene al secondo cluster (Figg. 4.17 e 4.18) la mediana è pari a 2,35 (la più alta in assoluto tra tutti i gruppi individuati tra I e II campionamento), il primo ed terzo quartile sono pari rispettivamente ad 1,3 e 3 (intervallo= 1,70), mentre del tutto

equivalente appare la rappresentatività % delle classi di frequenza 3 e 5 relative all'indice di affidabilità.

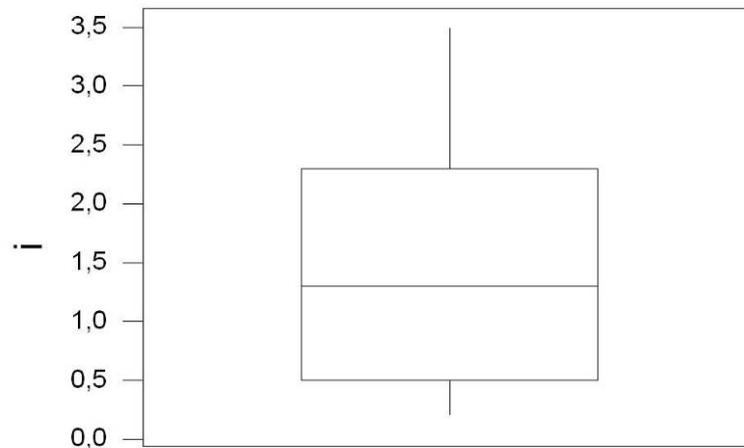


Figura 4.15 - Boxplot eseguito sui valori dell'indice di sensibilità (i) relativo al raggruppamento C1-C4 del campionamento di dicembre

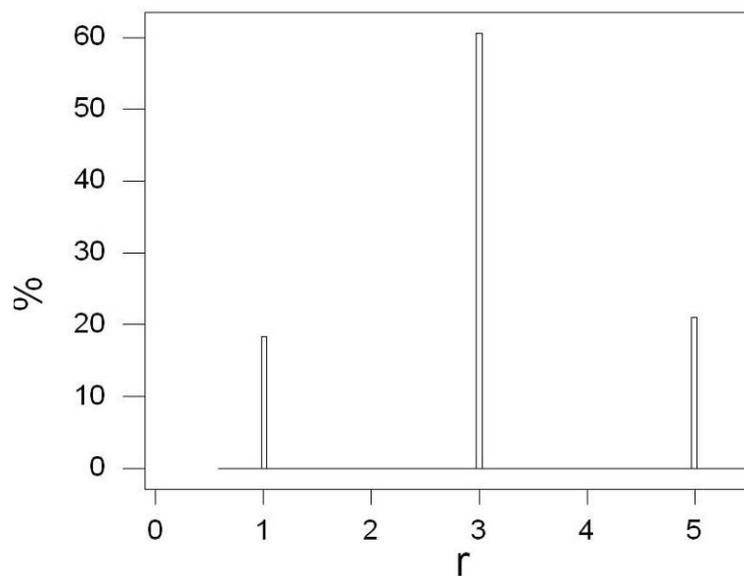


Figura 4.16 – Ripartizione dell'indice di affidabilità (r) relativa al raggruppamento C1-C4 del campionamento di dicembre

Ciò suggerisce che il primo gruppo risulta costituito da specie con una sensibilità “media” abbastanza elevata alle perturbazioni, ma alquanto alta appare la presenza di taxa a più elevata tolleranza, mentre la valenza ambientale permane sensibilmente alta (come nel caso dei gruppi del primo campionamento).

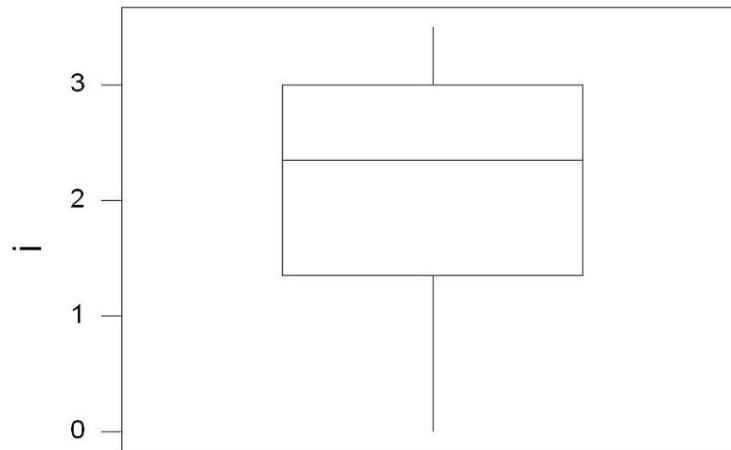


Figura 4.17 - Boxplot eseguito sui valori dell'indice di sensibilità (i) relativo al raggruppamento B1-C7 del campionamento di dicembre

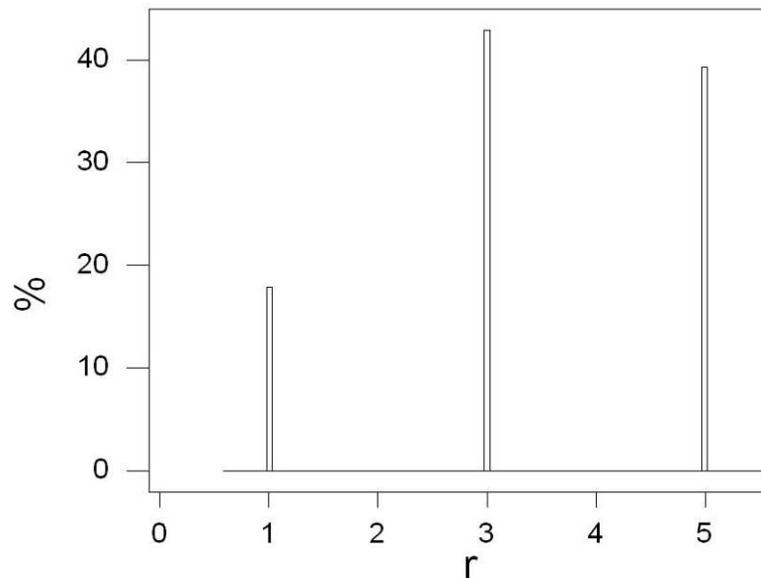


Figura 4.18 - Ripartizione dell'indice di affidabilità (r) relativa al raggruppamento B1-C7 del campionamento di dicembre

Come si vede dai dati chimici l'aumento di portata determina nel tratto di fiume in cui tali stazioni sono collocate una diluizione del carico trofico (Tab. 4.5). Il carico organico apparentemente aumenta ma a tale risultato contribuisce anche la quota anaerobica dei sedimenti risollevari (come suggerisce l'inerzia del B.O.D.₅ ad incrementare), per cui complessivamente in tale parte dell'asta fluviale si allevia leggermente la pressione antropica (la stazione C4 passa da una IV ad una III classe di qualità, forse anche per una riduzione dei livelli di altri inquinanti). Tuttavia, l'aumento

del flusso causa anche una perturbazione idrodinamica che produce instabilità del substrato (come denota l'incremento dell'indice NNS') che si risolve in un effetto di compromissione degli habitat favorendo anche la colonizzazione di organismi ad indice di sensibilità più alto (adattati a condizioni più alterate).

Il secondo cluster comprende la stazione C5, sita nell'area industriale di Mongrassano, la stazione sul fiume Busento (B1), che mostra chiaramente di subire un marcato processo di inquinamento organico (forte incremento tanto del C.O.D. quanto del B.O.D.₅ nonostante l'aumento di portata) e le stazioni site a valle dell'invaso di Tarsia.

Come visto l'apertura di quest'ultimo si risolve in un effetto deleterio a carico del tratto immediatamente a valle come denotato dal peggioramento dell'EPI-D (passaggio da una III ad un IV classe di qualità) a causa sia della severa perturbazione idrodinamica quanto dello spandimento dei sedimenti accumulati al suo interno, probabili vettori di sostanze contaminanti e dei nutrienti ad esse associati. Ciò risulta ben visibile dall'arricchimento del carico trofico relativo alla colonna d'acqua.

La persistenza di tale dato anche nella stazione C7 può, presumibilmente, ascrivere al notevole incremento dei processi di *run-off* dai suoli agricoli, promossi dall'aumento del regime pluviale, che generano una dilatazione dei flussi di forme minerali dell'azoto e del fosforo (oltre che, probabilmente, veicolano i residui di fitofarmaci che persistono nei campi). Ciò compensa il potenziale effetto "diluyente" dovuto all'aumento di portata per cui l'indice EPI-D peggiora leggermente (da 2,13 a 2,22) anche se la classe di qualità resta invariata.

Nel caso della stazione C5, sebbene qui tale effetto possa notarsi, non è possibile verificare quale miglioramento determini sulla concentrazione di altri tipi di inquinanti non misurati in questa attività sperimentale e prodotti dalle locali attività industriali. In tale caso l'EPI-D migliora leggermente (2,59 \Rightarrow 2,38), ma non a sufficienza per modificare la classe di qualità (che resta sempre una IV).

Complessivamente, quindi, le comunità di tali tratti (che comunque subiscono impatti molto eterogenei e sovrappontesi) sono composte da organismi "mediamente" ad elevata tolleranza ambientale (mediana indice di sensibilità= 2,35) e, spesso, stenovalenti per tali condizioni di compromissione (elevata rappresentatività dell'indice "5" di affidabilità), indicando che i fattori di pressione risultano elevati e costanti.

D'altro canto, il fatto che lo *spread* degli indici di tolleranza risulta ampio suggerisce che in una qualche misura l'azione di diluizione della portata sul carico trofico (e forse su qualche altra sostanza, o la variazione del flusso di immissione di qualcuna di queste, tuttavia non nota) determina le condizioni per la colonizzazione anche di alcuni taxa a maggiore sensibilità.

4.8.1 Gruppo C1 – C4

Per quanto attiene alle tipologie di taxa preferenziali e maggiormente rappresentati in tale gruppo (più alti livelli di pseudospecie) numerosi sono i taxa caratterizzati da una sensibilità abbastanza accentuata agli stati perturbativi dei corpi idrici. Tra questi quelli piuttosto o molto stenovalenti sono numerosi: *Cymbella minuta*, rinvenuta in corsi ad elevata qualità ambientale (Bona *et al.* 2005), *Diatoma mesodon*, tipica anche di tratti fluviali montani incontaminati (Goma *et al.*, 2005), *Navicula gallica*, presente in fiumi ultraoligotrofici (Michelutti *et al.*, 2003), *Meridion circolare* e *Navicula radiosa* rinvenute in condizioni di ipo-oligotrofia, nonché taxa alobi-oligoalobi esigenti e xeno-oligosaprobi (Dell'Uomo, 2004) e *Cocconeis placentula*, *Gomphonema tergestinum* e *Fragilaria capucina* adattate a bassi carichi trofici (Dell'Uomo, 2004).

Quelli più eurivalenti sono abbastanza ben rappresentati e costituiti da: *Gomphonema angustatum*, relativamente intollerante processi di inquinamento ambientale (Brown & Olive, 1995), *Achnanthes frequentissima* var. *lanceolata*, che si rinviene in condizioni di moderati livelli di perturbazione e che gli indici S.P.I. (*Specific Pollution Index*) e B.D.I. (*Biological Diatom Index*) definiscono come indicatrice di una qualità ambientale intermedia (Nunes *et al.*, 2003), *Navicula menisculus*, *Nitzschia linearis*, *Navicula criptocephala*, forme mesotrofe, oligo-alobie tolleranti e β -mesosaprobie (Dell'Uomo, 2004) e *Gomphonema parvulum* che oltre ad inquadrarsi nelle stesse categorie risulta tollerante ad i metalli pesanti (Ivorra *et al.* 2002). Tra quelle specie a valenza ambientale più o meno ampia ma adattate ad ambienti molto alterati vanno ricordate *Navicula atomus* (Falasco *et al.*, 2006) e *Nitzschia amphibia* (Brown & Olive, 1995).

Infine da notare *Eunotia bilunaris* e *Fragilaria ulna* che alcuni autori riportano come tipiche di ambienti ben preservati (Dell'Uomo, 1994), ma altri associano anche a

condizioni seminaturali (Juttner *et al.*, 1996) o comunque non necessariamente ben preservate (Salomoni *et al.*, 2006).

4.8.2 Gruppo B1 – C7

Anche in tale gruppo si possono individuare due sotto-raggruppamenti. Il primo comprendente specie tipiche di ambiente perturbati o debolmente perturbati quali *Diatoma vulgare* (Bona *et al.* 2005), *Navicula viridula*, *Fragilaria ulna var. angustissima* e *Gyrosigma scalproides*, *Navicula schroeteri* (Dell’Uomo *et al.* 2004), *Cocconeis pediculus* e *Gomphonema minutum* che si associano anche a condizioni più compromesse, ma con scarsa rappresentatività (Fore & Grafe, 2002)) e *Caloneis bacillum* rinvenuta, in taluni casi, in corsi soggetti ad inquinamento da reflui fognari (Lowe & McCullough, 1974).

Nel secondo si rinengono organismi tipici di tratti compromessi o regimati quali *Cyclotella meneghiniana* (Bona *et al.*, 2005), molto od estremamente alterati per quanto attiene al carico trofico ed organico come le specie *Stephanodiscus parvus* e *Pleurosira laevis* (Dell’Uomo,1994), *Navicula saprophila* tipica di ambienti ipertrofici e soggetti ad inquinamento agricolo (Bona *et al.*, 2005), e *Navicula goeppertiana* e *Navicula subminuscula* associate anche a gravi forme di inquinamento industriale (concerie, cartiere, industrie tessili) (Benavides, 1995).

4.9 Analisi delle relazioni tra struttura delle comunità diatomiche e variabili ambientali monitorate

La valutazione delle possibili correlazioni tra le tipologie tassonomiche presenti e le loro relative abbondanze, da un lato, e i valori assunti dai fattori limitanti misurati, dall’altro, è stata effettuata mediante utilizzo della *Analisi Canonica delle Corrispondenze* (C.C.A.). Questa è l’unico tipo di analisi multivariata che esegue una misurazione “diretta” del gradiente ambientale, in quanto i punteggi dei taxa della matrice principale derivano da una combinazione lineare diretta dei punteggi assegnati alle variabili prese in esame (mediante regressione lineare multipla).

In questo modo è possibile verificare quale sia il peso delle singole variabili nel determinare l’ordinazione dei taxa nello spazio (di ordinazione) e trarne le adeguate inferenze sul possibile ruolo che questi esercitano nello spazio reale (ambiente) nell’influencare la presenza e la dimensione di nicchia dei taxa rinvenuti nell’area

sperimentale. Anche in questo caso, per i motivi summenzionati, si è eseguita una trattazione separata dei dati di luglio e dicembre e come in quello precedente i dati sono stati prima logtrasformati e poi ne è stata verificata la relativa distribuzione gaussiana (normale). Dal momento che tale analisi impone che il numero delle colonne della matrice delle variabili sia inferiore a quello delle righe della matrice delle specie, è stato necessario selezionare un numero più ridotto di variabili rispetto a quelle complessivamente misurate, scegliendo i parametri che si è ritenuto meglio potessero associarsi alla variazione delle comunità algali, ossia: C.O.D., ammonio, nitrati, fosfati, solidi sospesi, % di saturazione dell'ossigeno e conducibilità.

Nel caso del campionamento di luglio (Fig. 4.19), si può notare che la varianza cumulativa spiegata dai primi tre assi è pari al 64,5%, un risultato alquanto soddisfacente e che il test di Montecarlo, applicato al primo asse, risulta statisticamente significativo.

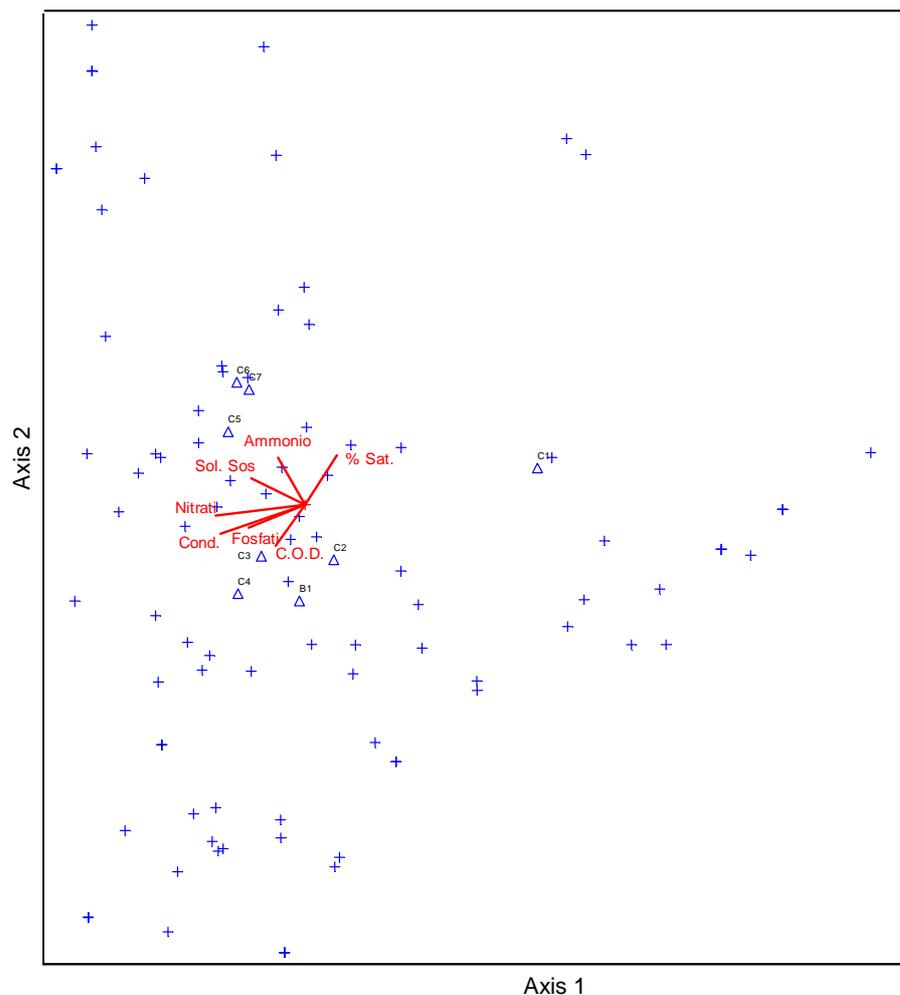


Figura 4.19 – C.C.A. relativa al campionamento di luglio

L'osservazione del grafico, come pure delle "intraset-correlations" (ter Braak, 1986) pone in evidenza come la stazione, C1, sita a circa 600 m s.l.m. e che meno risente dell'antropizzazione del territorio, si ordina rispetto all'asse del % di saturazione dell'O₂; le stazioni dell'area urbana, C2 e C3, e quella immediatamente esterna alla conurbazione Rende-Cosenza (C4), si ordinano soprattutto rispetto all'asse del C.O.D. e dei fosfati, risentendo soprattutto dell'impatto di reflui di origine civile e (parzialmente la C4) industriale. Le altre stazioni, come è noto, subiscono processi di inquinamento industriale (C5) o di origine agricola, per cui tendono ad ordinarsi rispetto all'asse dell'ammonio, che può essere un buon tracciante dell'attività delle concerie sulla base dei differenti processi di trattamento (Contratto di Ricerca ISPESL, 1999) e dei solidi sospesi derivanti dai deflussi irrigui che movimentano il particolato dai suoli resi erodibili dalle lavorazioni meccaniche e che già in altre applicazioni della C.C.A. si sono rilevati utili traccianti dell'inquinamento agricolo a carico dei corpi idrici (Lavoie *et al.*, 2004). Meno coerente appare la posizione della stazione B1.

A dicembre (Fig. 4.20), ancora una volta la varianza cumulativa spiegata dai primi 3 assi risulta buona (57,8%), mentre il test di Montecarlo non è significativo.

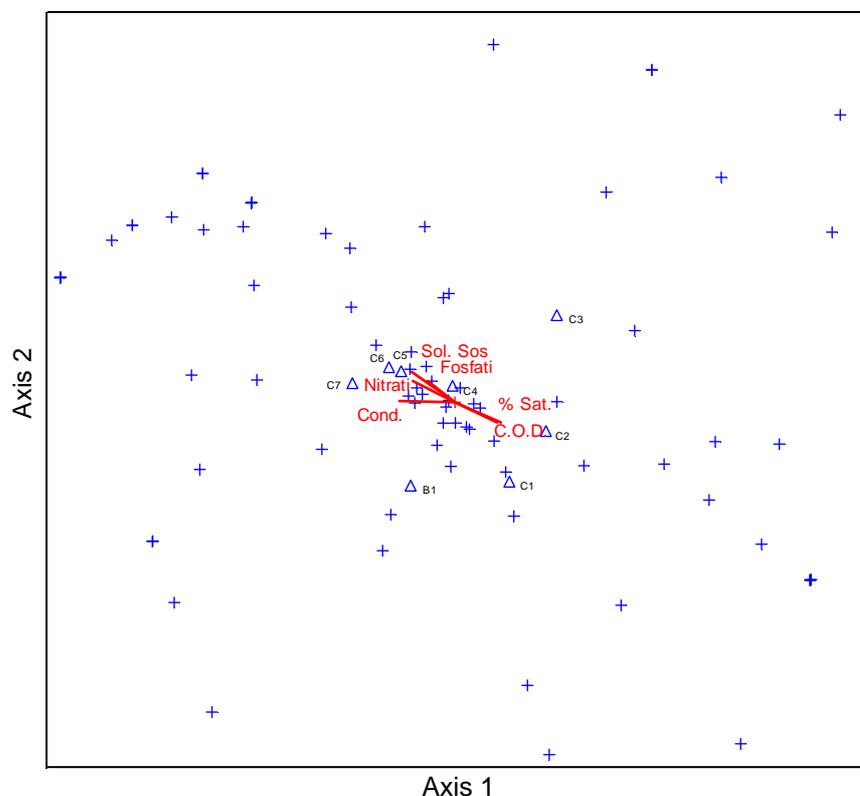


Figura 4.20 – C.C.A. relativa al campionamento di dicembre

Il gruppo delle stazioni urbane C2, C3 e B1 (che ora mostra chiaramente i segni di un forte inquinamento organico) si ordinano rispetto all'asse del C.O.D. In maniera apparentemente incoerente l'asse del % di saturazione di ossigeno si pone dallo stesso lato di quello del C.O.D. e rispetto a questo, continua ad ordinarsi la C1. In realtà se si osservano i dati delle analisi chimiche si nota, rispetto al primo campionamento, un qualche alleviamento della condizione di insaturazione dell'acqua presente nelle stazioni C2 e C3 da associarsi, probabilmente, all'aumento della turbolenza promosso dall'incremento di portata e dalle più basse temperature. Inoltre, va ricordato che l'aumento del C.O.D. viene fortemente influenzato dalla risospensione dei sedimenti anaerobi che abbatta fortemente la densità di batteri aerobi presenti nella colonna d'acqua.

Le stazioni C5, C6 e C7 continuano ad ordinarsi rispetto agli assi dei solidi sospesi e dell'ammonio, mentre a questi si aggiungono anche quelli dei fosfati e dei nitrati. Ciò, soprattutto per quanto attiene le stazioni C6 e C7, è da attribuirsi rispettivamente all'apertura dell'invaso di Tarsia, che movimentata i nutrienti associati ai sedimenti presenti nell'invaso e all'incremento del *run-off* (per aumento della frequenza ed intensità delle piogge) dei suoli agricoli che veicola nel corpo idrico i fertilizzanti minerali presenti.

La stazione C4, che in parte risente dell'effetto benefico diluente dovuto all'innalzamento del regime idrologico, si colloca in una posizione intermedia.

CAPITOLO V

CONCLUSIONI

Il presente lavoro ha messo in evidenza i seguenti aspetti più rilevanti:

✓ all'interno del bacino del fiume Crati è presente un gradiente monte-valle di attività antropiche che si manifesta come impatti, a carico delle comunità diatomiche, nel tratto medio-medio-superiore derivanti dai reflui organici di natura civile, ed in quello medio-inferiore da reflui industriali o da deflussi arricchiti di sostanze potenzialmente tossiche (fitofarmaci utilizzati in agricoltura). Nel tratto medio del corso, l'alveo risulta pesantemente rimaneggiato da un punto di vista fisico per l'estrazione della ghiaia, oltre che mostrare una forte compromissione dell'ecotono ripario. Infine va sottolineato il ruolo dell'invaso di Tarsia che nella fase di magra sequestra possibili inquinanti, ma aggrava lo stato idrologico del fiume a valle per via della riduzione della portata naturale, mentre in inverno, consentendo il libero deflusso dell'acqua (che non risulta più carente per le necessità irrigue), agisce da sorgente degli inquinanti accumulati nei sedimenti dell'invaso. Dal punto di vista dell'impatto fisico questo tende ad aumentare lungo il gradiente longitudinale; in corrispondenza dell'invaso, a causa dell'influenza di questo sulle comunità diatomiche (attraverso l'interferenza con le naturali fasi di sedimentazione/risospensione) è emerso un effetto mitigante nella stagione estiva attribuibile all'accumulo di sedimenti nell'invaso, ma da uno smorzamento del suo effetto nel periodo invernale, quando l'invaso non esercita a pieno la sua influenza.

✓ Le comunità diatomiche rispondono efficacemente al succitato gradiente di attività antropiche che appare tracciato abbastanza adeguatamente dallo studio dei parametri chimico-fisici analizzati in tale tesi. La struttura delle comunità, infatti, risulta meno compromessa in termini di tipologie tassonomiche presenti, nel campionamento estivo, primariamente nell'area più urbanizzata del bacino (tratto medio-superiore) e, secondariamente a valle dell'invaso di Tarsia mentre si caratterizza per la presenza di numerosi taxa tolleranti a condizioni di marcato degrado ambientale nel tratto intermedio. Nel campionamento autunnale (realizzato, va detto, in una fase di sensibile aumento dell'idrodinamismo fluviale), l'apertura dell'invaso si manifesta come peggioramento delle condizioni della comunità, derivante in maniera rilevante

dall'effetto dell'onda di piena che si crea e, possibilmente, dallo spandimento a valle di sedimenti contenenti sostanze nocive. Ulteriori impatti qui si manifestano anche per l'aumento del *run-off* da suoli agricoli. D'altro canto, nel tratto medio superiore del Crati (precedente all'invaso) l'aumento di portata, diluendo i carichi di nutrienti (e forse di inquinanti), determina un parziale miglioramento dello stato delle comunità diatomiche. Il fiume Busento mostra anch'esso un deterioramento della comunità a dicembre, che le analisi chimiche sembrano addurre a processi di inquinamento organico.

✓ Il confronto tra EPI-D ed I.B.E. evidenzia che il primo appare più efficace nel realizzare una diagnosi delle condizioni ecologiche di un fiume, sia per il più elevato livello di risoluzione tassonomica richiesto, sia per la maggiore resilienza delle diatomee epilittiche alle perturbazioni idrodinamiche rispetto ai macroinvertebrati bentonici. Ciò, difatti, comporta che le comunità di quest'ultimi conservano per un periodo più lungo al loro interno le tracce di un depauperamento tassonomico a seguito dello stress idraulico sopportato e, quindi, per tale periodo non risultano utilizzabili per la valutazione di impatti antropici a carico del corpo idrico. Ossia indici basati su di esse hanno un'applicazione limitata nella fase autunno-vernina; al contrario, indici basati sulle diatomee appaiono utilizzabili in maniera più continuativa per tale finalità proprio per il più rapido recupero agli impatti di tipo idrodinamico: la ricchezza tassonomica appare rapidamente reintegrata mentre, presumibilmente, aumenta la rappresentatività dei taxa a maggiore mobilità.

✓ D'altro canto, dal momento che le due tipologie di comunità risultano primariamente sensibili a differenti fattori (i livelli di ossigeno per i macroinvertebrati ed i livelli trofici, organici e il grado di mineralizzazione per le diatomee), è consigliabile un loro utilizzo simultaneo così da ottenere una più efficace definizione dello stato ecologico di un ambiente di acque correnti.

BIBLIOGRAFIA

- ~ Ahlgren G., Gustafsson I. B. and Boberg M. (1992). Fatty acid content and chemical composition of freshwater microalgae. *J. Phycol.*, 28, 37 - 50.
- ~ Alabaster J.S. and Loyd R. (1980). *Water Quality Criteria for Freshwater Fish*. Butterworths, London p 231.
- ~ Amodio-Morelli L., Bonari G., Colonna V., Dietrich D., Giunta G., Ippolito F., Liguori V., Lorenzoni S., Paglionico A., Perrone V., Piccarreta G., Russo M., Scandone P., Zanettin Lorenzoni E., Zappetta A. (1976). L'arco Calabro-Peloritano nell'orogene Appenninico-Maghrebide. *Mem. Soc. Geol. It.*, 17, 1 - 60.
- ~ Barnese L. E. and Lowe R. L. (1992). Effects of substrate, light, and benthic invertebrates on algal drift in small streams. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 11, 49 – 59
- ~ Battezzato M., Morisi A., Gallino B., Fenoglio S. (2004). Environmental quality evaluation of alpine springs in NW Italy using benthic Diatoms. *Diatom Research*, 19, 149 - 165.
- ~ Battezzato M., Bianco L., Bona F., Falasco E., Fenoglio S., Gastaldi E., Morisi A., Shestani L. e Badino G. (2006) (in stampa). Diatomee e qualità dei corsi d'acqua in tre aree alpine e prealpine ad altimetria e substrato geologico differenti. *Atti del Congresso Gruppo Ecologia di Base "Gadio"*, Cetraro (CS) 6-8 maggio 2006.
- ~ Becker G. (1987). Net building behaviour, tolerance and development of two caddisfly species from the river Rhine (*Hydropsyche contubernalis* and *H. pellucidula*) in relation to oxygen content. *Oecologia*, 73, 242 – 250
- ~ Benavides A. M. S. (1995). The use of water chemistry and benthic diatom communities for qualification of a polluted tropical river in Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 44: 395-416.
- ~ Biggs B. J. F., Duncan M. J., Jowett I. G., Quinn J. M., Hickey C. W., Davies – Colley R. J., and Close M. E. (1990). Ecological characterisation, classification and modelling of New Zealand rivers: An introduction and synthesis. *N. Z. J. Mar Freshwater Res.* 24, 277 – 304
- ~ Bold H. C. and Wynne M. J. (1985). *Introduction to the algae structure and reproduction*, 2nd Ed. Prentice – Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- ~ Bona F., Falasco E., Fenoglio F., Badino G. (2005). Monitoraggio biologico dei sistemi fluviali in alta quota: un'esperienza nel gruppo del Monte Bianco. *Atti del XV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia*. Torino, 12 – 14 settembre 2005

- ~ *Bousquet J. C. (1973)*. La technique récente de l'Appennin Calabro-Lucanien dans son cadre géologique et géophysique. Thèse Univ Montpellier. Geol. Romana, 12, 1 - 104.
- ~ *Brown B. J. and Olive J. H. (1995)*. Diatom communities in the Cuyahoga River (USA): changes in species composition between 1974 and 1992 following renovations in wastewater management. Ohio Journal Of Science, 95 (3), 254 – 260
- ~ *Burkholder J. M. (1996)*. Interaction of benthic algae with their substrata, in “Algal Ecology” (Stevenson R. J., Bothwell M. L. and Lowe R. L., Eds). Academic Press, USA, 253 – 288
- ~ *Butcher R. W. (1947)*. Studies in the ecology of rivers: VII. The algae of organically enriched waters. The Journal of Ecology, 35 (1 / 2), 186 – 191.
- ~ *C.N.R. – I.R.S.A. (1994)*. Metodi analitici per le acque. Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato. Libreria dello Stato, Roma.
- ~ *Cavalieri and Mazzoni (2002)*. Monitoraggio corsi d'acqua della Toscana. Anno 2002. ARPAT, Toscana, 178 pp.
- ~ *Cemagref (1982)*. Etude des methods biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport Division qualité des eaux Lyon, Agence de l'eau Rhone, Méditerranée, Corse, Pierre-Bénite, 218 pp
- ~ *Chadwick Ecological Consultants INC. 5575 South Sycamore Street, Suite 101 Littleton, Colorado, 80120 (2000)*. Overview of the effects of flooding on the aquatic biota in lotic systems in the arid western united states. Prepared for: Camp, Dresser & McKee, Inc. 1331 17th Street, Suite 1200, Denver, CO 80202.
- ~ *Conte G., Nardini A, Sansoni G. (2006)*. Quantità e qualità: la gestione delle acque secondo l'approccio della riqualificazione. In” La riqualificazione fluviale in italia”. Collezione CIRF (Centro Italiano per la Riqualificazione Fluviale). Mazzanti Editore s.r.l., Venezia.
- ~ *Contratto di Ricerca ISPESL n. 97/96 (1999)*. “I profili di rischio nei comparti produttivi delle piccole e medie industrie e pubblici servizi: Cuoio” Regione Toscana, Azienda u.s.l. 11, U. F. Prevenzione igiene e sicurezza luoghi di lavoro.
- ~ *Crawley M. J. (1983)*. “Herbivory”. Univ. of California Press, Berkeley.
- ~ *De Agostini (1984-1999)*. Grande Enciclopedia De Agostini Gedeo Scienze - Le Scienze, Istituto Geografico De Agostini S.p.A., Novara, V. 1, pp. 27, 33, 112, 113, 116, 134-137, 139; V. 12, pp. 61; V. maximus, p. 366.
- ~ *Dell'Uomo A. (1996)*. Assessment of water quality of an Apennine river as a pilot study for diatom-based monitoring of Italian watercourses. In: Whitton B.A. &

- Rott E. (eds), Use of algae for monitoring rivers II. Institut fur Botanik, Universitat Innsbruck, 65 - 72.
- ~ *Dell'Uomo A. (1999)*. Use of algae for monitoring rivers in Italy: current situation and perspective. In: Prygiel J., Whitton B.A. & Bukowska J. (eds), Use of algae for monitoring rivers III, Agence de l'Eau Artois-Picardie, Douai, 17-25.
- ~ *Dell'Uomo A. (2004)*. Indice Diatomico di Eutrofizzazione/Polluzione (EPI-D) nel monitoraggio delle acque correnti. Linee guida. APAT, Roma.
- ~ *Descy J. P. (1979)*. A new approach to water quality estimation using diatoms. Nova Hedwigia 64, 305-323.
- ~ *Deyoe H. R., Lowe R. L. and Marks J. C. (1992)*. The effect of nitrogen and phosphorus on the endosymbiont load of *Rhopalodia gibba* and *Epithemia turgida* (Bacillariophyceae). J. Phycol. 28, 773 – 777.
- ~ *Dodds W. K. and Gudder D. A. (1992)*. The ecology of *Cladophora*. J. Phycol. 28, 415-427
- ~ *Dubois R. (1976)*. La suture calabro-appenninique crétacé-éocène et l'ouverture tyrrhénienne néogène pétrographique et structurale de la Calabre centrale. Thèse Univ. Paris VI, 576 pp.
- ~ *Falasco E., Bona F., Isaia M, Badino G. (2006)*. Comunità diatomiche di tratti sorgentizi dell'arco alpino occidentale. Atti del XV Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia. Torino, 12 – 14 settembre 2005
- ~ *Fjedingstad E., (1964)*. Pollution of streams estimated by benthic phytomicroorganisms. I. A saprobic system based on communities of organisms and ecological factors. Int. Rev. Ges. Hydrobiol., 49: 63-131.
- ~ *Fjedingstad E., (1965)*. Taxonomy and saprobic valency of benthic phytomicroorganisms. Int. Rev. Ges. Hydrobiol., 50: 475-604.
- ~ *Fore L. S. and Grafe C. (2002)*. Using diatoms to assess the biological condition of large Rivers in Idaho (USA). Freshwater Biology, 4, 2015 – 2037.
- ~ *Ghetti P. F. (1986)*. I macroinvertebrati nell'analisi di qualità dei corsi d'acqua. Manuale per l'applicazione dell'Indice Biotico: EBI modificato. Provincia Autonoma di Trento. Trento
- ~ *Ghetti P. F. (1997)*. Indice Biotico Esteso. I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti. Provincia Autonoma di Trento.
- ~ *Ghetti P. F. e Bonazzi G. (1981)*. I macroinvertebrati nella sorveglianza ecologica dei corsi d'acqua. Edizione CNR AQ/7/127.

- ~ *Goma J., Rimet F., Cambra J., Hoffmann L., Ector L. (2005)*. Diatom communities and water quality assessment in Mountain Rivers of the upper Segre basin (La Cerdanya, Oriental Pyrenees). Congrès: Ecology and disturbances of aquatic systems, Conference Biodiversity of aquatic ecosystems, Metz, France (12/2003). *Hydrobiologia*, V. 551 (2 p.1/4), 209 – 225
- ~ *Grandjacquet C. and Mascle G. (1978)*. The structure of ionian sea, Sicily and Calabria lucania. In “The ocean basin and margins”. A. E. M. Nairn, W. H. Kanes et F. G. Stehli Edit., 4b, 257 - 329.
- ~ *Gregory S. V. (1983)*. Plant – herbivore interactions in stream system. In “Stream Ecology” (Barnes J. R. and Minshall. G. W. Eds.), 157 – 189. Plenum, NY.
- ~ *Growns I. O. and Growns J. E. (2001)*. Ecological effects of flow regulation on macroinvertebrate and periphytic diatom assemblages in the hawkesbury–nepean river, Australia. *Regul. Rivers: Res. Mgmt.* 17: 275–293.
- ~ *Guanzon JR N. G. and Nakahara H. (2002)*. Growth and photosynthesis inhibition by agricultural pesticides in three freshwater microalgae. *Fisheries Science*, 68, 144 – 151.
- ~ *Guerrero M. and Rodriguez L. (1991)*. Species composition of phytobenthos in the littoral of Lake Xolotlán (Managua). *Aquatic Ecology*, 25, N° 2, 117 – 120
- ~ *Haccard D., Lorenz C., Grandjacquet C. (1972)*. Essai sur l’évolution tectogénétique de la liasion Alpes-Appennines (de la Ligurie à la Calabre). *Mem. Soc. Géol. It.*, 11, 309-341.
- ~ *Heiskary S. A., Swain E. B., Edlund M. B. (2004)*. Reconstructing historical water quality in Minnesota lakes from fossil diatoms. *Environmental Bulletin*, N° 4. Minnesota Pollution Control Agency.
- ~ *Hellawell J. M. (1986)*. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier, London. 546 pp.
- ~ *Hellawell J.M. (1986)*. *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. Elsevier, London, 546 pp
- ~ *Hofmann G., (1994)*. Aufwuchs-Diatomeen in Seen und ihre Eignung als Indikatoren der Trophie. *Bibliotheca Diatomologica*, 30. J. Cramer, Berlin, Stuttgart, 241 pp.
- ~ *Hustedt (1956)*. *Kieselalgen (Diatomeen)*. Kosmos-Verlag Franckh, Stuttgart, 70 pp.
- ~ *Ivorra N, Barranguet C, Jonker M, Kraak MH, Admiraal W (2002)*. Metal-induced tolerance in the freshwater microbenthic diatom *Gomphonema parvulum*. *Environ Pollut.*;116, 147-57

- ~ Jones J. G. (1978). Spatial variation in epilithic algae in a stony stream (Wilfin Beck) with particular reference to *Cocconeis placentula*. *Freshwater Biology*, 8: p.539.
- ~ Jongman R.H.G, Ter Braak C.J.F., Van Tongeren O.F.R. (1995). *Data Analysis in community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press. Cambridge
- ~ Juttner I., Rothfritz H. and Ormerod S. J. (1996). Diatoms as indicators of river quality in the Nepalese Middle Hills with consideration of the effects of habitat-specific sampling. *Freshwater Biology* 36, 475–486
- ~ Kolbe R. W. (1927). Zür Ökologie, Morphologie und Sistematik der Brackwasser-Diatomeen. Die Kieselalgen des Sperenberger Salzgebiets. In: Kolkwitz R. (ed.), *Pflanzenforschung*, 7: 1-146.
- ~ Kolkwitz R. & Marsson M. (1902). Grundsätze für biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. Mitt. Prüfungsanst. Wasserversorg. Abwasserreinig., 1: 33-72.
- ~ Kolkwitz R. & Marsson M. (1908). Ökologieder pflanzlichen Saprobien. Ber. Deutsch. Bot. Ges., 26 A: 505-519.
- ~ Kolkwitz R. & Marsson M. (1909). Ökologie der tierischen Saprobien. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. Hydrogr., 2: 126-152.
- ~ Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1986). Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/1, 876. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New york.
- ~ Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1988). Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/2, 596. G. Fischer Verlag, Stuttgart, New york.
- ~ Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991a). Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/3, 576. G. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena. 39
- ~ Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991b). Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/4, 437. G. Fischer Verlag, Stuttgart, Jena.
- ~ Krammer K. & Lange-Bertalot H. (2000). Bacillariophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa, 2/5: English and French translation of the Keys, 310 pp. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- ~ Lamberti G. A. and Moore J. W. (1984). Aquatic insect as primary consumers. In "Ecology of Aquatic Insect (Resh V. H. and Rosenberg D. M. Eds.), 164 – 195. Praeger, NY.
- ~ Lamberti G. A., Ashkenas L. R., Gregory S. V and Steinman A. V. (1987). Effects of three herbivores on periphyton communities in laboratory streams. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 6, 92 – 104

- ~ *Lamberti G. A., Gregory S. V., Ashkenas L. R., Steinman A. V. and McIntire C. D. (1989)*. Productive capacity of periphyton as a determinant of plant – herbivore interactions in streams. *Ecology*, 70, 1840 – 1856
- ~ *Lavoie I., Vincent W. F., Pienitz R. and Painchaud J. (2004)*. Benthic algae as bioindicators of agricultural pollution in the streams and rivers of southern Quebec (Canada). *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 7(1):43–58.
- ~ *Leclercq L. and Maquet B. (1987)*. Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualità d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents. Institut royal des sciences naturelles de Belgique, document de travail n° 38, 1 – 13
- ~ *Lecoite C., Coste M. & Prygiel J. (1993)*. “Omnidia” Software for Taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 269/70, 509 - 513.
- ~ *Lenoire A. & Coste M. (1996)*. Development of a practical diatom index of overall water quality applicable to the French National Water Board Network. In: Whitton B. A., Rott F., Friedrich G. (eds). Use of algae in monitoring rivers II, 29 - 45.
- ~ *Liebmann H. (1962)*. Handbuch der Frishwasser- und Abwasserbiologie. G. Fisher Verlag, Jena, 588 pp.
- ~ *Lobo E. A., Katoh K., Aruga Y. (1995)*. Response of epilithic diatom assemblage to water pollution in rivers in the Tokio metropolitan area, Japan. *Freshwater Biology*, 34 , 191 – 204
- ~ *Lobo E. A., Katoh K., Aruga Y. (1995)*. Response of epilithic diatom assemblage to water pollution in rivers in the Tokio metropolitan area, Japan. *Freshwater Biology*, 34 , 191 – 204
- ~ *Lock M. A., Wallace R. R., Costerton J. W., Ventullo R. M. and Charlton S. E. (1984)*. River epilithon: toward a structural – functional model. *Oikos*, 42, 10 – 22
- ~ *Lowe R. and McCullough J. M. (1974)*. The effect of sewage-treatment-plant effluent on diatom communities in the north branch of the portage river, Wood County, Ohio. *The Ohio Journal Of Science* 74(3): 154
- ~ *Marti E., Fischer S. G., Schade J. D. and Grimm N. B. (1994)*. Flood Frequency and stream – riparian linkages in arid lands, in “Stream and Ground Waters” (Jones J.B. and Mulholland P. J. eds), Academic Press, San Diego, CA.
- ~ *Mauseth (2000)*. Mauseth (Altamura M. M., Monatti Meneghini P., Calabrese G., Chiesura Lorenzoni F., Gratini L., Nielsen E., Pinto G., Serafini D., Fracassini A., Tagliasacchi M., Tornatore N.). *Botanica fondamentali di biologia delle piante*, Editoriale Grasso, 2000, Bologna, 764 - 6.

- ~ McCune B. and Mefford M. J. (1999). Multivariate analysis of ecological data, version 4. MjM Software Design, gleneden Beach, Oregon, USA.
- ~ Michelutti N., Holtham A. J., Douglas M. S. V., John P. Smol (2003). Periphytic diatom assemblages from ultra-oligotrophic and uv transparent lakes and ponds on victoria island and comparisons with other diatom surveys in the canadian arctic. *J. Phycol.* 39, 465–480.
- ~ Minshall G. W. (1978). Autotrophy in stream ecosystems. *BioScience*, 28, 767 – 771
- ~ Mulholland P. J. (1996). Role in nutrient cycling in streams, in “Algal Ecology” (Stevenson R. J., Bothwell M. L. and Lowe R., Eds.), Academic Press, USA, 609-633
- ~ Nunes M. L., Da Silva F., Dealmeida S. F. P. (2003). Assessment of water quality in the caima and mau river basins (Portugal) using geochemical and biological indices. *Water, Air, and Soil Pollution* 149: 227–250, 2003.
- ~ Ogniben L., 1969. Schema introduttivo alla geologia del confine Calabro-Lucano. *Mem. Soc. Geol. It.*, 8, 453 - 763.
- ~ Peterson C. G. and Grimm N. B. (1992). Temporal variation in enrichment effects during periphyton succession in a nitrogen – limited desert stream ecosystem. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 11, 20 – 36
- ~ Raven P. H. and Johnson G. B. (1992). *Biology*. 3rd Ed. Mosby – Year Book, St. Louis, MO.
- ~ Sabater S. (1990). Composition and dynamics of a highly diverse diatom assemblage in a limestone stream. *Hydrobiologia*, 190, N° 1, 43 - 53.
- ~ Sabatini F. and Coletti V. (1997). *Dizionario italiano Sabatini Coletti*, Giunti Editore, Firenze, p 713.
- ~ Salomoni S. E., Rocha O, L. Callegaro V. and Lobo E. A. (2006). Epilithic Diatoms as Indicators of Water Quality in the Gravataí River, Rio Grande do Sul, Brazil. *Hydrobiologia*, 559: 233-246
- ~ Sládecek V. (1986). Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 14, 555 - 566.
- ~ Sládecek V., (1973). System of water quality from the biological point of view. *Arch. Hydrobiol., Ergebn. Limnol.*, 7: 1-218.
- ~ Steinman A. D. and McIntire C. D. (1990). Recovery of lotic periphyton communities after disturbance. *Environmental Management*, 14, N° 5, 589 - 604

- ~ *Steinman A. D., McIntire C. D. and Lowry R. R. (1987)*. Effects of herbivore type and density on chemical composition of algal assemblages in laboratory streams. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 6, 189 – 197
- ~ *Stevenson R. J. (1996)*. Stimulation and drag of current, in “Algal Ecology” (Stevenson J. R., Bothwell M. L. and Lowe R. L. Eds), 321 - 340, Academic Press, USA.
- ~ *Stevenson R. J. and Peterson C. G. (1989)*. Variation in benthic diatom (Bacillariophyceae) immigration with habitat characteristics and cell morphology. *J. Phycol.*, 25, 120 – 129
- ~ *ter Braak, C. J. F. (1986)*. A unifying tool for linear multivariate statistical methods: the RV-coefficient. *Appl. Statist.* 25, 257-265.
- ~ *Torrisi, M., Dell’Uomo A., Ciutti F., Cappelletti C., Rimet F. and Ector L. (2004)*. Sviluppo del metodo per l’applicazione indice diatomico. Centro tematico nazionale acque interne e marino costiere, APPA Trento, ARPA Toscana, Istituto Superiore di Sanità.
- ~ *Triska F. J., Kennedy V. C., Avanzino R. J., Zellweger G. W. and Bencala K. E. (1989)*. Retention transport of nutrients in a third – order stream: channel processes. *Ecology*, 70, 1877 – 1892
- ~ *Tuchman C. and Nancy (1996)*. The role of heterotrophy in algae. In “Algal Ecology” (Stevenson R.J., Bothwell M.L., Lowe R.L. eds), 299 – 319, Academic Press, San Diego CA.
- ~ *Tuchman C., Nancy (1996)*. The role of heterotrophy in algae. In “Algal Ecology” (Stevenson R.J., Bothwell M.L., Lowe R.L. eds), 299 – 319, Academic Press, San Diego CA.
- ~ *Van Dam H., Mertens A. and Sinkeldam J. (1994)*. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Netherl. J. Aquat. Ecol.*, 28, 117 - 133.
- ~ *Vymazal J. (1988)*. The use of periphyton communities for nutrient removal from polluted streams. *Hydrobiologia*, 166, 225 – 237
- ~ *Wetzel R. (1983)*. *Limnology*. Saunders, New York.
- ~ *Winter J.G. and Duthie H.C. (2000)*. Epilithic Diatoms as Indicators of Stream Total N and Total P Concentration. *Journal of the North American Benthological Society*, 19 (1), 32 – 49.
- ~ *Zelinka M. and Marvan P. (1961)*. Zur Prazisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fliessender Gewasser. *Arch. Hydrobiol.*, 57, 389 - 407.

ALLEGATO I

ELENCO FLORISTICO

N°	Genere	Specie e varietà	Autori
1	<i>Achnanthes</i>	<i>biasoletiana</i>	Grunow
2	<i>Achnanthes</i>	<i>daonensis</i>	Lange-Bertalot
3	<i>Achnanthes</i>	<i>lanceolata</i>	(Brébisson) Grunow
4	<i>Achnanthes</i>	" var. <i>frequentissima</i>	Cleve
5	<i>Achnanthes</i>	" var. <i>lanceolata</i>	(Oestr.) Lange-Bertalot
6	<i>Achnanthes</i>	<i>minutissima</i>	Kützing
7	<i>Achnanthes</i>	<i>helvetica</i>	(Hustedt) Lange-Bertalot
8	<i>Amphora</i>	<i>aequalis</i>	(Kützing) Scho. & Arch.
9	<i>Amphora</i>	<i>libyca</i>	Ehrenberg
10	<i>Amphora</i>	<i>ovalis</i>	(Kützing) Kützing
11	<i>Amphora</i>	<i>pediculus</i>	(Kützing) Grunow
12	<i>Amphora</i>	<i>montana</i>	Krasske
13	<i>Asterionella</i>	<i>formosa</i>	Hass
14	<i>Aulacoseira</i>	<i>granulata</i>	(Ehrenberg) Simonsen
15	<i>Caloneis</i>	<i>amphisbaena</i>	(Bory) Cleve
16	<i>Caloneis</i>	<i>silicula</i>	(Ehrenberg) Cleve
17	<i>Caloneis</i>	<i>bacillum</i>	(Grunow) Cleve
18	<i>Cocconeis</i>	<i>pediculus</i>	Ehrenberg
19	<i>Cocconeis</i>	<i>placentula</i>	Ehrenberg
20	<i>Cocconeis</i>	" var. <i>euglypta</i>	(Ehrenberg) Grunow
21	<i>Cocconeis</i>	" var. <i>lineata</i>	(Ehrenberg) Van Heurck
22	<i>Cyclotella</i>	<i>meneghiniana</i>	Kützing
23	<i>Cyclotella</i>	<i>stelligera</i>	Cleve & Grunow
24	<i>Cyclotella</i>	<i>pseudostelligera</i>	Hustedt
25	<i>Cyclotella</i>	<i>quadrijuncta</i>	Hustedt
26	<i>Cymatopleura</i>	<i>solea</i>	(Brébisson) W. Smith
27	<i>Cymatopleura</i>	" var. <i>apiculata</i>	(Brébisson) W. Smith
28	<i>Cymatopleura</i>	<i>elliptica</i>	(Brébisson) W. Smith
29	<i>Cymbella</i>	<i>caespitosa</i>	(Kützing) Brun
30	<i>Cymbella</i>	<i>helvetica</i>	Kützing
31	<i>Cymbella</i>	<i>minuta</i>	Hilse ex Rabenhorst
32	<i>Cymbella</i>	<i>muelleri</i>	(Auersw.) Cleve
33	<i>Cymbella</i>	<i>sinuata</i>	Gregory
34	<i>Cymbella</i>	<i>tumida</i>	(Brébisson) Van Heurck
35	<i>Cymbella</i>	<i>naviculiformis</i>	(Auersw.) Cleve
36	<i>Cymbella</i>	<i>turgidula</i>	Grunow

37	<i>Cymbella</i>	<i>silesiaca</i>	Bleisch
38	<i>Denticula</i>	<i>elegans</i>	Kützing
39	<i>Diatoma</i>	<i>mesodon</i>	(Ehrenberg) Kützing
40	<i>Diatoma</i>	<i>moniliformis</i>	Kützing
41	<i>Diatoma</i>	<i>vulgaris</i>	Bory
42	<i>Diploneis</i>	<i>elliptica</i>	(Kützing) Cleve
43	<i>Diploneis</i>	<i>oblongella</i>	(Nägeli) Cleve-Euler
44	<i>Diploneis</i>	<i>pseudovalis</i>	Hustedt
45	<i>Eunotia</i>	<i>bilunaris</i>	(Ehrenberg) Mills
46	<i>Eunotia</i>	<i>incisa</i>	W. Sm. ex Greg.
47	<i>Eunotia</i>	<i>subarcuatooides</i>	Norpel et Lange – Bert.
48	<i>Fragilaria</i>	<i>capucina</i>	Desmazières
49	<i>Fragilaria</i>	" var. <i>capitellata</i>	(Grunow) Lange-Bertalot
50	<i>Fragilaria</i>	<i>capucina</i> var. <i>radians</i>	Kützing
51	<i>Fragilaria</i>	" ssp. <i>rumpens</i>	(Kützing) Lange-Bertalot
52	<i>Fragilaria</i>	<i>parasitica</i> var. <i>subconstr.</i>	(W. Smith) Grunow
53	<i>Fragilaria</i>	<i>ulna</i>	(Nitz.) Lange-Bertalot
54	<i>Fragilaria</i>	" var. <i>angustissima</i>	(Grunow) Lange-Bertalot
55	<i>Fragilaria</i>	" var. <i>aequalis</i>	(Kützing) Compère
56	<i>Fragilaria</i>	" var. <i>ulna</i>	(Grunow) Lange-Bertalot
57	<i>Fragilaria</i>	" var. <i>vaucheriae</i>	(Kützing) Lange-Bertalot
58	<i>Fragilaria</i>	<i>arcus</i>	(Ehrenberg) Cleve
59	<i>Fragilaria</i>	<i>biceps</i>	(Kützing) Lange-Bertalot
60	<i>Frustulia</i>	<i>vulgaris</i>	(Thw.) De Toni
61	<i>Gomphonema</i>	<i>angustatum</i>	(Kützing) Rabenhorst
62	<i>Gomphonema</i>	<i>angustum</i>	Agardh
63	<i>Gomphonema</i>	<i>augur</i>	Ehrenberg
64	<i>Gomphonema</i>	<i>minutum</i>	(Agardh) Agardh
65	<i>Gomphonema</i>	<i>parvulum</i>	Kützing
66	<i>Gomphonema</i>	<i>pumilum</i>	(Grunow) Rei. & Lange-B.
67	<i>Gomphonema</i>	<i>gracile</i>	Ehrenberg
68	<i>Gomphonema</i>	<i>olivaceum</i>	(Hornem.) Brébisson
69	<i>Gomphonema</i>	<i>pseudoaugur</i>	Lange-Bertalot
70	<i>Gomphonema</i>	<i>tergestinum</i>	Fricke
71	<i>Gyrosigma</i>	<i>attenuatum</i>	(Kützing) Rabenhorst
72	<i>Gyrosigma</i>	<i>nodiferum</i>	(Grunow) Reimer
73	<i>Gyrosigma</i>	<i>scalproides</i>	(Rabenhorst) Cleve
74	<i>Meridion</i>	<i>circulare</i>	(Greville) Agardh

75	<i>Navicula</i>	<i>atomus var. permitis</i>	(Kützing) Grunow
76	<i>Navicula</i>	<i>capitatoradiata</i>	Germain
77	<i>Navicula</i>	<i>cincta</i>	(Ehrenberg) Ralfs
78	<i>Navicula</i>	<i>contenta</i>	Grunow
79	<i>Navicula</i>	<i>cryptocephala</i>	Kützing
80	<i>Navicula</i>	<i>cryptotenella</i>	Lange-Bertalot
81	<i>Navicula</i>	<i>cuspidata</i>	Kützing
82	<i>Navicula</i>	" <i>var. ambigua</i>	(Ehrenberg) Cleve
83	<i>Navicula</i>	<i>decussis</i>	Oestrup
84	<i>Navicula</i>	<i>elginensis</i>	(Greg.) Ralfs
85	<i>Navicula</i>	<i>goeppertiana</i>	(Bleisch) H.L. Smith
86	<i>Navicula</i>	<i>gregaria</i>	Donkin
87	<i>Navicula</i>	<i>lanceolata</i>	(Agardh) Ehrenberg
88	<i>Navicula</i>	<i>menisculus</i>	Schumann
89	<i>Navicula</i>	<i>minima</i>	Grunow
90	<i>Navicula</i>	<i>mutica</i>	Kützing
91	<i>Navicula</i>	<i>nivalis</i>	Ehrenberg
92	<i>Navicula</i>	<i>pupula</i>	Kützing
93	<i>Navicula</i>	<i>reichardtiana</i>	Lange-Bertalot
94	<i>Navicula</i>	<i>saprophila</i>	Lange-Bertalot & Bonik
95	<i>Navicula</i>	<i>seibigii</i>	Ehrenberg
96	<i>Navicula</i>	<i>subminuscula</i>	Manguin
97	<i>Navicula</i>	<i>tripunctata</i>	(O.F.M.) Bory
98	<i>Navicula</i>	<i>veneta</i>	Kützing
99	<i>Navicula</i>	<i>viridula</i>	Ehrenberg
100	<i>Navicula</i>	<i>absoluta</i>	Hustedt
101	<i>Navicula</i>	<i>capitata</i>	Ehrenberg
102	<i>Navicula</i>	<i>cryptotenella var. am</i>	(Ehrenberg) Cleve
103	<i>Navicula</i>	<i>gallica</i>	(W. Smith) Lagerstedt
104	<i>Navicula</i>	<i>pygmaea</i>	Kützing
105	<i>Navicula</i>	<i>radiosa</i>	Kützing
106	<i>Navicula</i>	<i>rhynchocephala</i>	Kützing
107	<i>Navicula</i>	<i>salinarum</i>	Grunow
108	<i>Navicula</i>	<i>schroeteri</i>	Meister
109	<i>Navicula</i>	<i>trivialis</i>	Lange-Bertalot
110	<i>Navicula</i>	<i>wiesneri</i>	Lange-Bertalot
111	<i>Neidium</i>	<i>binodeforme</i>	Krammer
112	<i>Neidium</i>	<i>affine</i>	(Ehrenberg) Pfitzer

113	<i>Neidium</i>	<i>dubium</i>	(Ehrenberg) Cleve
114	<i>Nitzschia</i>	<i>pura</i>	Hustedt
115	<i>Nitzschia</i>	<i>amphibia</i>	Grunow
116	<i>Nitzschia</i>	<i>commutata</i>	Rabenhorst
117	<i>Nitzschia</i>	<i>constricta</i>	(Kützing) Ralfs
118	<i>Nitzschia</i>	<i>dissipata</i>	((Kützing) Grunow
119	<i>Nitzschia</i>	<i>capitellata</i>	W.M. Smith
120	<i>Nitzschia</i>	<i>fonticola</i>	Grunow
121	<i>Nitzschia</i>	<i>inconspicua</i>	Grunow
122	<i>Nitzschia</i>	<i>linearis</i>	(Agardh) W.M. Smith
123	<i>Nitzschia</i>	<i>palea</i>	(Kützing) W. Smith
124	<i>Nitzschia</i>	<i>paleaformis</i>	(Kützing) Grunow
125	<i>Nitzschia</i>	<i>sinuata</i>	(Thw.) Grunow
126	<i>Nitzschia</i>	<i>sigmoidea</i>	(Grunow) Lange-Bertalot
127	<i>Nitzschia</i>	<i>umbonata</i>	(Ehrenberg) Lange-Bert.
128	<i>Nitzschia</i>	<i>clausii</i>	Hantzsch
129	<i>Nitzschia</i>	<i>frustulum</i>	(Kützing) Grunow
130	<i>Nitzschia</i>	<i>hungarica</i>	Grunow
131	<i>Nitzschia</i>	<i>ovalis</i>	Arnott ex Grunow
132	<i>Nitzschia</i>	<i>pura</i>	Hustedt
133	<i>Nitzschia</i>	<i>vermicularis</i>	(Kützing) Hantzsch
134	<i>Pinnularia</i>	<i>divergentissima</i>	W. Smith
135	<i>Pinnularia</i>	<i>subcapitata</i>	Gregory
136	<i>Pleurosira</i>	<i>laevis</i>	(Ehrenberg) Compère
137	<i>Rhoicosphenia</i>	<i>abbreviata</i>	(Agardh) Lange-Bertalot
138	<i>Rhopalodia</i>	<i>acuminata</i>	(Agardh) Lange-Bertalot
139	<i>Stauroneis</i>	<i>anceps</i>	Ehrenberg
140	<i>Stephanodiscus</i>	<i>parvus</i>	(Fricke) Hustedt
141	<i>Stephanodiscus</i>	<i>dubius</i>	(Fricke) Hustedt
142	<i>Surirella</i>	<i>angusta</i>	Kützing
143	<i>Surirella</i>	<i>biseriata</i>	Brébisson
144	<i>Surirella</i>	<i>brebissonii</i>	Brébisson
145	<i>Surirella</i>	<i>elegans</i>	(Ehrenberg) Kützing
146	<i>Surirella</i>	<i>ovalis</i>	Brébisson
147	<i>Surirella</i>	<i>splendida</i>	(Ehrenberg) Kützing
148	<i>Thalassiosira</i>	<i>baltica</i>	Grunow

ALLEGATO II

TWINSPAN relativo al campionamento di Luglio 2004

***** Two-way Indicator Species Analysis (TWINSPAN) *****
 PC-ORD, Version 4.34
 10 Nov 2006, 12:42

1
 Number of samples: 8
 Number of species: 109
 Length of raw data array: 728 non-zero items

SPECIES NAMES

1 Ac biaso	2 Ac daone	3 Ac l.fre	4 Ac l.lan	5 Ac minut
6 Am aequa	7 Am libyc	8 Am ovali	9 Am pedic	10 Aul gran
11 Cal amph	12 Cal sili	13 Coc pedi	14 Coc plac	15 Cyc mene
16 Cyc pseu	17 Cyc quad	18 Cyc stel	19 Cyma ell	20 Cyma sol
21 Cym caes	22 Cym helv	23 Cym minu	24 Cym muel	25 Cym sinu
26 Cym tumi	27 Cym turg	28 Dia meso	29 Dia moni	30 Dia vulg
31 Dip elli	32 Dip oblo	33 Dip pseu	34 Eu bilun	35 Fra bice
36 Fra capu	37 Fra c.ru	38 Fra c.ca	39 Fra c.va	40 Fra para
41 Fra ulna	42 Fra u.ae	43 Fra u.an	44 Fru vulg	45 Gom angu
46 Go angus	47 Gom augu	48 Gom grac	49 Go minut	50 Go parvu
51 Go pseud	52 Go pumil	53 Gy atten	54 Gy nodif	55 Gy scalp
56 Me circu	57 Na atomu	58 Na capit	59 Na cinct	60 Na conte
61 Na cryla	62 Na crlla	63 Na cuspi	64 Na cu.am	65 Na decus
66 Na elgin	67 Na goepp	68 Na grega	69 Na lance	70 Na menis
71 Na minim	72 Na mutic	73 Na nival	74 Na pupul	75 Na radio
76 Na reich	77 Na sapro	78 Na submi	79 Na tripu	80 Na venet
81 Na virid	82 Ne affin	83 Ne binod	84 Ne dubiu	85 Ni pura
86 Ni sigmo	87 Ni sinua	88 Ni umbon	89 Ni amphi	90 Ni capit
91 Ni claus	92 Ni commu	93 Ni const	94 Ni dissi	95 Ni fonti
96 Ni incon	97 Ni linea	98 Ni palea	99 Ni palfo	100 Ni vermi
101 Pin dive	102 Rho abbr	103 Ste parv	104 Su angus	105 Su brebi
106 Su elega	107 Su ovali	108 Su splen	109 Tha balt	

SAMPLE NAMES

1 C1	2 C2	3 C3	4 C4	5 C5
6 C6	7 C7	8 B1		

Cut levels:

0.0000 2.0000 5.0000 10.0000 20.0000

Options:

Minimum group size for division = 5
 Maximum number of indicators per division = 5
 Maximum number of species in final table = 200
 Maximum level of divisions = 6

Length of data array after defining pseudospecies: 539
 Total number of species and pseudospecies: 161
 Number of species: 109
 (excluding pseudospecies and ones with no occurrences)

CLASSIFICATION OF SAMPLES

DIVISION 1 (N= 8) i.e. group *
 Eigenvalue: 0.3041 at iteration 3
 INDICATORS and their signs:
 Cal sili 1(+)
 Maximum indicator score for negative group 0
 Minimum indicator score for positive group 1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 2 (N = 6) i.e. group *0
 C3 C4 C5 C6 C7 B1

ITEMS IN POSITIVE GROUP 3 (N = 2) i.e. group *1
 C1 C2

NEGATIVE PREFERENTIALS

Aul gran1(4, 0) Cal amph1(2, 0) Cyc menel(5, 0) Cyc quad1(2, 0)
 Cyma soll(4, 0) Cym tumil(3, 0) Fra c.val(2, 0) Fra paral(2, 0)

```
Gom augul( 2, 0) Go minut1( 3, 0) Na capit1( 5, 0) Na goepp1( 3, 0)
Na lance1( 5, 0) Na minim1( 2, 0) Na submil( 6, 1) Ni sigmo1( 3, 0)
Ni sinual( 2, 0) Ni claus1( 2, 0) Aul gran2( 2, 0) Cyc mene2( 3, 0)
Cyc stel2( 2, 0) Dia vulg2( 2, 0) Fra u.an2( 2, 0) Go angus2( 3, 0)
Gom augu2( 2, 0) Na capit2( 3, 0) Na lance2( 2, 0) Na sapro2( 2, 0)
Ni amphi2( 3, 0) Ni palea2( 6, 1)
```

POSITIVE PREFERENTIALS

```
Ac biasol( 0, 1) Ac daone1( 0, 1) Ac l.lan1( 1, 2) Am aequal( 0, 1)
Am ovali1( 0, 1) Cal sili1( 0, 2) Cym caes1( 2, 2) Cym minu1( 3, 2)
Cym muel1( 0, 1) Dia mesol( 3, 2) Dia monil( 0, 2) Dip pseul( 0, 1)
Fra c.rul( 0, 1) Fra c.cal( 0, 1) Fra u.ael( 0, 1) Gom angl( 1, 1)
Go pumil1( 0, 2) Gy nodif1( 1, 1) Me circul( 1, 2) Na atomul( 1, 1)
Na contel( 0, 2) Na cu.am1( 0, 1) Na decus1( 0, 2) Na elgin1( 0, 1)
Na menis1( 1, 1) Na nivall1( 3, 2) Na radiol( 1, 2) Na reich1( 0, 1)
Na venet1( 1, 1) Ni pura 1( 0, 1) Ni capit1( 1, 1) Ni commul( 1, 1)
Ni palfol( 0, 1) Ni vermil( 1, 1) Pin divel( 0, 2) Ste parv1( 1, 1)
Su elegal( 1, 1) Ac biaso2( 0, 1) Ac l.fre2( 1, 2) Ac l.lan2( 0, 2)
Cym minu2( 2, 2) Dia meso2( 1, 1) Fra capu2( 1, 2) Go pumil2( 0, 1)
Me circu2( 0, 1) Na cryla2( 1, 1) Na radio2( 1, 1) Na reich2( 0, 1)
Na tripu2( 2, 2) Ni linea2( 2, 2)
```

NON-PREFERENTIALS

```
Ac l.fre1( 4, 2) Ac minut1( 5, 2) Am libycl( 4, 2) Am pedic1( 6, 2)
Coc pedil( 6, 2) Coc plac1( 6, 2) Cyc stell( 3, 1) Cym sinul( 6, 2)
Dia vulg1( 5, 2) Dip oblol( 3, 1) Fra capul( 4, 2) Fra ulnal( 5, 2)
Fra u.an1( 3, 1) Fru vulg1( 2, 1) Go angus1( 3, 1) Go parvul( 5, 2)
Gy scalp1( 2, 1) Na crylal( 2, 1) Na crllal( 5, 2) Na cuspi1( 2, 1)
Na gregal( 5, 1) Na pupul1( 5, 1) Na sapro1( 5, 1) Na tripul( 4, 2)
Na virid1( 5, 1) Ni umbon1( 2, 1) Ni amphil( 5, 2) Ni const1( 2, 1)
Ni dissil( 6, 2) Ni fontil( 5, 1) Ni incon1( 5, 2) Ni lineal( 4, 2)
Ni paleal( 6, 2) Rho abbr1( 6, 2) Su angus1( 2, 1) Su brebil( 4, 2)
Su ovali1( 2, 1) Ac minut2( 5, 2) Am libycl2( 3, 1) Am pedic2( 5, 2)
Coc pedi2( 4, 2) Coc plac2( 6, 2) Cym sinu2( 5, 2) Fra ulna2( 3, 1)
Go parvu2( 4, 1) Na crlla2( 5, 2) Na grega2( 3, 1) Na nival2( 3, 1)
Na pupul2( 2, 1) Na submi2( 4, 1) Na virid2( 4, 1) Ni dissil2( 4, 1)
Ni fonti2( 3, 1) Ni incon2( 5, 1) Rho abbr2( 6, 2)
```

----- E N D O F L E V E L 1 -----

DIVISION 2 (N= 6) i.e. group *0

Eigenvalue: 0.3045 at iteration 53

INDICATORS and their signs:

Aul gran 1(-)

Maximum indicator score for negative group -1

Minimum indicator score for positive group 0

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 4 (N = 4) i.e. group *00

C4 C5 C6 C7

ITEMS IN POSITIVE GROUP 5 (N = 2) i.e. group *01

C3 B1

NEGATIVE PREFERENTIALS

```
Aul gran1( 4, 0) Cyc menel( 4, 1) Cyc pseul( 1, 0) Cyc quad1( 2, 0)
Cym caes1( 2, 0) Cym helv1( 1, 0) Cym turg1( 1, 0) Eu bilun1( 1, 0)
Fra c.val( 2, 0) Fra ulnal( 4, 1) Fra u.an1( 3, 0) Gom augul( 2, 0)
Go pseud1( 1, 0) Gy scalp1( 2, 0) Na atomul( 1, 0) Na cinct1( 1, 0)
Na goepp1( 3, 0) Na lance1( 4, 1) Na menis1( 1, 0) Na mutic1( 1, 0)
Na nivall1( 3, 0) Na venet1( 1, 0) Ni amphil( 4, 1) Ni claus1( 2, 0)
Ni commul( 1, 0) Ni incon1( 4, 1) Ni vermil( 1, 0) Ste parv1( 1, 0)
Tha balt1( 1, 0) Aul gran2( 2, 0) Cyc mene2( 3, 0) Cyc stel2( 2, 0)
Cym caes2( 1, 0) Cym tumi2( 1, 0) Dia meso2( 1, 0) Dia vulg2( 2, 0)
Fra capu2( 1, 0) Fra c.va2( 1, 0) Fra ulna2( 3, 0) Fra u.an2( 2, 0)
Gom augu2( 2, 0) Go minut2( 1, 0) Na goepp2( 1, 0) Na menis2( 1, 0)
Na nival2( 3, 0) Na sapro2( 2, 0) Na venet2( 1, 0) Ni amphi2( 3, 0)
Ni incon2( 4, 1) Na submi3( 1, 0) Ni incon3( 1, 0)
```

POSITIVE PREFERENTIALS

```
Ac l.fre1( 2, 2) Ac l.lan1( 0, 1) Am libycl( 2, 2) Cal amph1( 1, 1)
Cyma ell1( 0, 1) Cyma soll1( 2, 2) Dia mesol( 1, 2) Dip ellil( 0, 1)
Dip oblol( 1, 2) Fra bice1( 0, 1) Fra paral( 0, 2) Fru vulg1( 1, 1)
```

```
Gom angul( 0, 1) Gom grac1( 0, 1) Gy atten1( 0, 1) Gy nodif1( 0, 1)
Me circul( 0, 1) Na crylal( 1, 1) Na cuspil( 0, 2) Na minim1( 1, 1)
Na radiol( 0, 1) Na tripul( 2, 2) Ne affin1( 0, 1) Ne binod1( 0, 1)
Ne dubiu1( 0, 1) Ni sigmol( 1, 2) Ni sinual( 1, 1) Ni umbon1( 1, 1)
Ni capit1( 0, 1) Ni const1( 1, 1) Ni lineal( 2, 2) Su angus1( 1, 1)
Su brebi1( 2, 2) Su elegal( 0, 1) Su ovalil( 0, 2) Su splen1( 0, 1)
Ac l.fre2( 0, 1) Am libyc2( 1, 2) Coc pedi2( 2, 2) Cym minu2( 1, 1)
Na capit2( 1, 2) Na cryla2( 0, 1) Na grega2( 1, 2) Na lance2( 1, 1)
Na pupul2( 1, 1) Na radio2( 0, 1) Na tripu2( 0, 2) Ni fonti2( 1, 2)
Ni linea2( 0, 2)
```

NON-PREFERENTIALS

```
Ac minut1( 3, 2) Am pedic1( 4, 2) Coc pedil( 4, 2) Coc plac1( 4, 2)
Cyc stell1( 2, 1) Cym minul( 2, 1) Cym sinul( 4, 2) Cym tumil( 2, 1)
Dia vulg1( 3, 2) Fra capul( 3, 1) Go angus1( 2, 1) Go minut1( 2, 1)
Go parvu1( 3, 2) Na capit1( 3, 2) Na crllal( 3, 2) Na gregal( 3, 2)
Na pupul1( 3, 2) Na saprol( 3, 2) Na submil( 4, 2) Na virid1( 3, 2)
Ni dissil( 4, 2) Ni fontil( 3, 2) Ni paleal( 4, 2) Rho abbr1( 4, 2)
Ac minut2( 3, 2) Am pedic2( 3, 2) Coc plac2( 4, 2) Cym sinu2( 3, 2)
Go angus2( 2, 1) Go parvu2( 3, 1) Na crlla2( 3, 2) Na submi2( 3, 1)
Na virid2( 3, 1) Ni dissil2( 3, 1) Ni palea2( 4, 2) Rho abbr2( 4, 2)
*****
```

DIVISION 3 (N= 2) i.e. group *1
Group too small for further division.

----- E N D O F L E V E L 2 -----

DIVISION 4 (N= 4) i.e. group *00
Group too small for further division.

DIVISION 5 (N= 2) i.e. group *01
Group too small for further division.

***** THIS IS THE END OF THE DIVISIONS REQUESTED *****

CLASSIFICATION OF SPECIES

DIVISION 1 (N= 109) i.e. group *
Eigenvalue: 0.7150 at iteration 4

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 2 (N = 70) i.e. group *0

```
Ac minut Am libyc Am pedic Aul gran Cal amph Coc pedi Coc plac Cyc mene
Cyc pseu Cyc quad Cyc stel Cyma ell Cyma sol Cym helv Cym sinu Cym tumi
Cym turg Dia vulg Dip elli Dip oblo Eu bilun Fra bice Fra c.va Fra para
Fra ulna Fra u.an Fru vulg Go angus Gom augu Gom grac Go minut Go parvu
Go pseud Gy atten Gy scalp Na capit Na cinct Na crlla Na cuspi Na goepp
Na grega Na lance Na menis Na minim Na mutic Na nival Na pupul Na sapro
Na submi Na venet Na virid Ne affin Ne binod Ne dubiu Ni sigmo Ni sinua
Ni umbon Ni amphi Ni claus Ni const Ni dissil Ni fontil Ni incon Ni palea
Rho abbr Su angus Su brebi Su ovali Su splen Tha balt
```

ITEMS IN POSITIVE GROUP 3 (N = 39) i.e. group *1

```
Ac biaso Ac daone Ac l.fre Ac l.lan Am aequa Am ovali Cal sili Cym caes
Cym minu Cym muel Dia meso Dia moni Dip pseu Fra capu Fra c.ru Fra c.ca
Fra u.ae Gom angu Go pumil Gy nodif Me circu Na atomu Na conte Na cryla
Na cu.am Na decus Na elgin Na radio Na reich Na tripu Ni pura Ni capit
Ni commu Ni linea Ni palfo Ni vermi Pin dive Ste parv Su elega
```

----- E N D O F L E V E L 1 -----

DIVISION 2 (N= 70) i.e. group *0
Eigenvalue: 0.4896 at iteration 7

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 4 (N = 39) i.e. group *00

```
Aul gran Cal amph Cyc mene Cyc pseu Cyc quad Cyc stel Cyma ell Cyma sol
Cym helv Cym tumi Cym turg Dip elli Eu bilun Fra bice Fra c.va Fra para
```

Fra u.an Go angus Gom augu Gom grac Go minut Go pseud Gy atten Na capit
 Na cinct Na goepp Na lance Na minim Na mutic Na sapro Na submi Ne affin
 Ne binod Ne dubiu Ni sigmo Ni sinua Ni claus Su splen Tha balt

ITEMS IN POSITIVE GROUP 5 (N = 31) i.e. group *01
 Ac minut Am libyc Am pedic Coc pedi Coc plac Cym sinu Dia vulg Dip oblo
 Fra ulna Fru vulg Go parvu Gy scalp Na crilla Na cuspi Na grega Na menis
 Na nival Na pupul Na venet Na virid Ni umbon Ni amphi Ni const Ni dissi
 Ni fonti Ni incon Ni palea Rho abbr Su angus Su brebi Su ovali

DIVISION 3 (N= 39) i.e. group *1
 Eigenvalue: 0.4685 at iteration 3

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 6 (N = 12) i.e. group *10
 Ac l.fre Cym caes Cym minu Dia meso Fra capu Na atomu Na cryla Na tripu
 Ni commu Ni linea Ni vermi Ste parv

ITEMS IN POSITIVE GROUP 7 (N = 27) i.e. group *11
 Ac biaso Ac daone Ac l.lan Am aequa Am ovali Cal sili Cym muel Dia moni
 Dip pseu Fra c.ru Fra c.ca Fra u.ae Gom angu Go pumil Gy nodif Me circu
 Na conte Na cu.am Na decus Na elgin Na radio Na reich Ni pura Ni capit
 Ni palfo Pin dive Su elega

----- E N D O F L E V E L 2 -----

DIVISION 4 (N= 39) i.e. group *00
 Eigenvalue: 0.1781 at iteration 3

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 8 (N = 20) i.e. group *000
 Aul gran Cyc mene Cyc pseu Cyc quad Cyc stel Cym helv Cym tumi Cym turg
 Eu bilun Fra c.va Fra u.an Gom augu Go minut Go pseud Na cinct Na goepp
 Na lance Na mutic Ni claus Tha balt

ITEMS IN POSITIVE GROUP 9 (N = 19) i.e. group *001
 Cal amph Cyma ell Cyma sol Dip elli Fra bice Fra para Go angus Gom grac
 Gy atten Na capit Na minim Na sapro Na submi Ne affin Ne binod Ne dubiu
 Ni sigmo Ni sinua Su splen

DIVISION 5 (N= 31) i.e. group *01
 Eigenvalue: 0.3081 at iteration 2

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 10 (N = 7) i.e. group *010
 Fra ulna Gy scalp Na menis Na nival Na venet Ni amphi Ni incon

ITEMS IN POSITIVE GROUP 11 (N = 24) i.e. group *011
 Ac minut Am libyc Am pedic Coc pedi Coc plac Cym sinu Dia vulg Dip oblo
 Fru vulg Go parvu Na crilla Na cuspi Na grega Na pupul Na virid Ni umbon
 Ni const Ni dissi Ni fonti Ni palea Rho abbr Su angus Su brebi Su ovali

DIVISION 6 (N= 12) i.e. group *10
 Eigenvalue: 0.5753 at iteration 5

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 12 (N = 6) i.e. group *100
 Ac l.fre Cym minu Dia meso Na cryla Na tripu Ni linea

ITEMS IN POSITIVE GROUP 13 (N = 6) i.e. group *101
 Cym caes Fra capu Na atomu Ni commu Ni vermi Ste parv

DIVISION 7 (N= 27) i.e. group *11
 Eigenvalue: 0.3359 at iteration 1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 14 (N = 5) i.e. group *110
 Gom angu Gy nodif Na radio Ni capit Su elega

ITEMS IN POSITIVE GROUP 15 (N = 22) i.e. group *111
 Ac biaso Ac daone Ac l.lan Am aequa Am ovali Cal sili Cym muel Dia moni
 Dip pseu Fra c.ru Fra c.ca Fra u.ae Go pumil Me circu Na conte Na cu.am
 Na decus Na elgin Na reich Ni pura Ni palfo Pin dive

----- E N D O F L E V E L 3 -----

```

*****
DIVISION      8 (N=   20)          i.e. group *000
Eigenvalue: 0.0774 at iteration    1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 16 (N = 15)          i.e. group *0000
Aul gran  Cyc mene  Cyc pseu  Cyc quad  Cym helv  Cym turg  Eu bilun  Fra c.va
Gom augu  Go pseu  Na cinct  Na goepp  Na mutic  Ni claus  Tha balt

ITEMS IN POSITIVE GROUP 17 (N = 5)          i.e. group *0001
Cyc stel  Cym tumi  Fra u.an  Go minut  Na lance
*****

DIVISION      9 (N=   19)          i.e. group *001
Eigenvalue: 0.1860 at iteration    1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 18 (N = 16)          i.e. group *0010
Cal amph  Cyma ell  Cyma sol  Dip elli  Fra bice  Fra para  Gom grac  Gy atten
Na capit  Na minim  Ne affin  Ne binod  Ne dubiu  Ni sigmo  Ni sinua  Su splen

ITEMS IN POSITIVE GROUP 19 (N = 3)          i.e. group *0011
Go angus  Na sapro  Na submi
*****

DIVISION     10 (N=    7)          i.e. group *010
Eigenvalue: 0.0620 at iteration    1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 20 (N = 2)          i.e. group *0100
Ni amphi  Ni incon

ITEMS IN POSITIVE GROUP 21 (N = 5)          i.e. group *0101
Fra ulna  Gy scalp  Na menis  Na nival  Na venet
*****

DIVISION     11 (N=   24)          i.e. group *011
Eigenvalue: 0.1280 at iteration    1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 22 (N = 15)          i.e. group *0110
Ac minut  Am pedic  Coc pedi  Coc plac  Cym sinu  Dia vulg  Go parvu  Na crlla
Na grega  Na pupul  Na virid  Ni dissi  Ni fonti  Ni palea  Rho abbr

ITEMS IN POSITIVE GROUP 23 (N = 9)          i.e. group *0111
Am libyc  Dip oblo  Fru vulg  Na cuspi  Ni umbon  Ni const  Su angus  Su brebi
Su ovali
*****

DIVISION     12 (N=    6)          i.e. group *100
*****

DIVISION     13 (N=    6)          i.e. group *101
Eigenvalue: 0.2695 at iteration    2

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 26 (N = 2)          i.e. group *1010
Cym caes  Fra capu

ITEMS IN POSITIVE GROUP 27 (N = 4)          i.e. group *1011
Na atomu  Ni commu  Ni vermi  Ste parv
*****

DIVISION     14 (N=    5)          i.e. group *110
*****

DIVISION     15 (N=   22)          i.e. group *111
Eigenvalue: 0.0506 at iteration    9

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 30 (N = 1)          i.e. group *1110
Me circu

ITEMS IN POSITIVE GROUP 31 (N = 21)          i.e. group *1111
Ac biaso  Ac daone  Ac l.lan  Am aequa  Am ovali  Cal sili  Cym muel  Dia moni
Dip pseu  Fra c.ru  Fra c.ca  Fra u.ae  Go pumil  Na conte  Na cu.am  Na decus
Na elgin  Na reich  Ni pura  Ni palfo  Pin dive

```

----- E N D O F L E V E L 4 -----

```

*****
DIVISION 16 (N= 15)          i.e. group *0000
*****

DIVISION 17 (N= 5)          i.e. group *0001
Eigenvalue: 0.1433 at iteration 3

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 34 (N = 3)          i.e. group *00010
Cym tumi Go minut Na lance

ITEMS IN POSITIVE GROUP 35 (N = 2)          i.e. group *00011
Cyc stel Fra u.an
*****

DIVISION 18 (N= 16)          i.e. group *0010
Eigenvalue: 0.0775 at iteration 1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 36 (N = 6)          i.e. group *00100
Cal amph Cyma sol Na capit Na minim Ni sigmo Ni sinua

ITEMS IN POSITIVE GROUP 37 (N = 10)          i.e. group *00101
Cyma ell Dip elli Fra bice Fra para Gom grac Gy atten Ne affin Ne binod
Ne dubiu Su splen
*****

DIVISION 19 (N= 3)          i.e. group *0011
Group too small for further division.
*****

DIVISION 20 (N= 2)          i.e. group *0100
Group too small for further division.
*****

DIVISION 21 (N= 5)          i.e. group *0101
*****

DIVISION 22 (N= 15)          i.e. group *0110
Eigenvalue: 0.0851 at iteration 1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 44 (N = 7)          i.e. group *01100
Dia vulg Na grega Na pupul Na virid Ni dissi Ni fonti Ni palea

ITEMS IN POSITIVE GROUP 45 (N = 8)          i.e. group *01101
Ac minut Am pedic Coc pedi Coc plac Cym sinu Go parvu Na crilla Rho abbr
*****

DIVISION 23 (N= 9)          i.e. group *0111
Eigenvalue: 0.1649 at iteration 13

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 46 (N = 6)          i.e. group *01110
Am libyc Fru vulg Ni umbon Ni const Su angus Su brebi

ITEMS IN POSITIVE GROUP 47 (N = 3)          i.e. group *01111
Dip oblo Na cuspi Su ovali
*****

DIVISION 26 (N= 2)          i.e. group *1010
Group too small for further division.
*****

DIVISION 27 (N= 4)          i.e. group *1011
Group too small for further division.
*****

DIVISION 30 (N= 1)          i.e. group *1110
Group too small for further division.
*****

DIVISION 31 (N= 21)          i.e. group *1111

```

----- E N D O F L E V E L 5 -----

```

*****
DIVISION 34 (N= 3)          i.e. group *00010
Group too small for further division.
*****

DIVISION 35 (N= 2)          i.e. group *00011
Group too small for further division.
*****

DIVISION 36 (N= 6)          i.e. group *00100
Eigenvalue: 0.0122 at iteration 5

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 72 (N = 1)          i.e. group *001000
Ni sigmo

ITEMS IN POSITIVE GROUP 73 (N = 5)          i.e. group *001001
Cal amph Cyma sol Na capit Na minim Ni sinua
*****

DIVISION 37 (N= 10)         i.e. group *00101
*****

DIVISION 44 (N= 7)          i.e. group *01100
Eigenvalue: 0.0680 at iteration 3

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 88 (N = 2)          i.e. group *011000
Na grega Ni fonti

ITEMS IN POSITIVE GROUP 89 (N = 5)          i.e. group *011001
Dia vulg Na pupul Na virid Ni dissi Ni palea
*****

DIVISION 45 (N= 8)          i.e. group *01101
*****

DIVISION 46 (N= 6)          i.e. group *01110
*****

DIVISION 47 (N= 3)          i.e. group *01111
Group too small for further division.

----- E N D   O F   L E V E L   6 -----

***** THIS IS THE END OF THE DIVISIONS REQUESTED *****
*****

```

ORDER OF SPECIES INCLUDING RARER ONES

10 Aul gran	15 Cyc mene	16 Cyc pseu	17 Cyc quad	22 Cym helv
27 Cym turg	34 Eu bilun	39 Fra c.va	47 Gom augu	51 Go pseud
59 Na cinct	67 Na goepp	72 Na mutic	91 Ni claus	109 Tha balt
26 Cym tumi	49 Go minut	69 Na lance	18 Cyc stel	43 Fra u.an
86 Ni sigmo	11 Cal amph	20 Cyma sol	58 Na capit	71 Na minim
87 Ni sinua	19 Cyma ell	31 Dip elli	35 Fra bice	40 Fra para
48 Gom grac	53 Gy atten	82 Ne affin	83 Ne binod	84 Ne dubiu
108 Su splen	46 Go angus	77 Na sapro	78 Na submi	89 Ni amphi
96 Ni incon	41 Fra ulna	55 Gy scalp	70 Na menis	73 Na nival
80 Na venet	68 Na grega	95 Ni fonti	30 Dia vulg	74 Na pupul
81 Na virid	94 Ni dissi	98 Ni palea	5 Ac minut	9 Am pedic
13 Coc pedi	14 Coc plac	25 Cym sinu	50 Go parvu	62 Na crolla
102 Rho abbr	7 Am libyc	44 Fru vulg	88 Ni umbon	93 Ni const
104 Su angus	105 Su brebi	32 Dip oblo	63 Na cuspi	107 Su ovali
3 Ac l.fre	23 Cym minu	28 Dia meso	61 Na cryla	79 Na tripu
97 Ni linea	21 Cym caes	36 Fra capu	57 Na atomu	92 Ni commu
100 Ni vermi	103 Ste parv	45 Gom angu	54 Gy nodif	75 Na radio
90 Ni capit	106 Su elega	56 Me circu	1 Ac biaso	2 Ac daone
4 Ac l.lan	6 Am aequa	8 Am ovali	12 Cal sili	24 Cym muel
29 Dia moni	33 Dip pseu	37 Fra c.ru	38 Fra c.ca	42 Fra u.ae
52 Go pumil	60 Na conte	64 Na cu.am	65 Na decus	66 Na elgin
76 Na reich	85 Ni pura	99 Ni palfo	101 Pin dive	

ORDER OF SAMPLES

4 C4	5 C5	6 C6	7 C7	3 C3
8 B1	1 C1	2 C2		

TWO-WAY ORDERED TABLE

45673812			
10	Aul gran	1122----	0000
15	Cyc mene	21221---	0000
16	Cyc pseu	1-----	0000
17	Cyc quad	-1-1----	0000
22	Cym helv	1-----	0000
27	Cym turg	-1-----	0000
34	Eu bilun	1-----	0000
39	Fra c.va	21-----	0000
47	Gom augu	2-2-----	0000
51	Go pseud	-1-----	0000
59	Na cinct	1-----	0000
67	Na goepp	-112----	0000
72	Na mutic	1-----	0000
91	Ni claus	-1-1----	0000
109	Tha balt	---1----	0000
26	Cym tumi	--21-1--	00010
49	Go minut	-12-1---	00010
69	Na lance	2111-2--	00010
18	Cyc stel	--221-1-	00011
43	Fra u.an	-122--1-	00011
86	Ni sigmo	1---11--	001000
11	Cal amph	1---1--	001001
20	Cyma sol	1--111--	001001
58	Na capit	-12122--	001001
71	Na minim	1---1---	001001
87	Ni sinua	-1--1---	001001
19	Cyma ell	----1--	00101
31	Dip elli	----1---	00101
35	Fra bice	----1--	00101
40	Fra para	----11--	00101
48	Gom grac	----1--	00101
53	Gy atten	----1---	00101
82	Ne affin	----1--	00101
83	Ne binod	----1---	00101
84	Ne dubiu	----1--	00101
108	Su splen	----1---	00101
46	Go angus	-2-2-2-1	0011
77	Na sapro	221-11-1	0011
78	Na submi	232121-2	0011
89	Ni amphi	22211-11	0100
96	Ni incon	22232-12	0100
41	Fra ulna	21221-12	0101
55	Gy scalp	1--1---1	0101
70	Na menis	2-----1	0101
73	Na nival	2-22--21	0101
80	Na venet	2-----1-	0101
68	Na grega	21-122-2	011000
95	Ni fonti	21-122-2	011000
30	Dia vulg	-1221111	011001
74	Na pupul	211-21-2	011001
81	Na virid	2-2221-2	011001
94	Ni dissi	21221221	011001
98	Ni palea	22222212	011001
5	Ac minut	-2222222	01101
9	Am pedic	22122222	01101
13	Coc pedi	21212222	01101
14	Coc plac	22222222	01101
25	Cym sinu	21222222	01101
50	Go parvu	22-22121	01101
62	Na crlla	-2222222	01101
102	Rho abbr	22222222	01101
7	Am libyc	1--22212	01110
44	Fru vulg	1---1--1	01110
88	Ni umbon	1---1--1	01110
93	Ni const	-1---1-1	01110
104	Su angus	--1-1--1	01110

```

105 Su brebi 11--1111 01110
 32 Dip oblo 1---11-1 01111
 63 Na cuspi ----11-1 01111
107 Su ovali ----11-1 01111
  3 Ac l.fre 1--11222 100
 23 Cym minu -12-2-22 100
 28 Dia meso 2---1121 100
 61 Na cryla ---1-22- 100
 79 Na tripu -1-12222 100
 97 Ni linea 1-1-2222 100
 21 Cym caes 21----11 1010
 36 Fra capu -2111-22 1010
 57 Na atomu --1---1- 1011
 92 Ni commu 1-----1- 1011
100 Ni vermi 1-----1- 1011
103 Ste parv ---1--1- 1011
 45 Gom angu -----1-1 110
 54 Gy nodif -----11- 110
 75 Na radio -----221 110
 90 Ni capit ----1-1- 110
106 Su elega -----1-1 110
 56 Me circu -----121 1110
  1 Ac biaso -----2- 1111
  2 Ac daone -----1- 1111
  4 Ac l.lan ----1-22 1111
  6 Am aequa -----1- 1111
  8 Am ovali -----1- 1111
 12 Cal sili -----11 1111
 24 Cym muel -----1- 1111
 29 Dia moni -----11 1111
 33 Dip pseu -----1- 1111
 37 Fra c.ru -----1- 1111
 38 Fra c.ca -----1 1111
 42 Fra u.ae -----1- 1111
 52 Go pumil -----21 1111
 60 Na conte -----11 1111
 64 Na cu.am -----1 1111
 65 Na decus -----11 1111
 66 Na elgin -----1 1111
 76 Na reich -----2- 1111
 85 Ni pura -----1- 1111
 99 Ni palfo -----1- 1111
101 Pin dive -----11 1111

```

```

00000011
000011

```

```

***** TWINSPAN completed *****

```

TWINSPAN relativo al campionamento di Dicembre 2004

***** Two-way Indicator Species Analysis (TWINSPAN) *****
 PC-ORD, Version 4.34
 22 Nov 2006, 16:23

1
 Number of samples: 8
 Number of species: 98
 Length of raw data array: 684 non-zero items

SPECIES NAMES

1 Ac biaso	2 Ac daone	3 Ac helve	4 Ac l.fre	5 Ac l.lan
6 Ac minut	7 Am libyc	8 Am monta	9 Am pedic	10 Ast form
11 Aul gran	12 Cal baci	13 Cal sili	14 Coc pedi	15 Coc plac
16 Cyc mene	17 Cyc quad	18 Cym sil	19 Cym caes	20 Cym minu
21 Cym navi	22 Cym sinu	23 Cym turg	24 Den eleg	25 Dia meso
26 Dia vulg	27 Dip elli	28 Eu bilun	29 Eu incis	30 Eu subar
31 Fra arcu	32 Fra c.ra	33 Fra c.va	34 Fra capu	35 Fra u.an
36 Fra ulna	37 Fru vulg	38 Go angus	39 Go minut	40 Go oliva
41 Go parvu	42 Go pumil	43 Go terge	44 Gom angu	45 Gy nodif
46 Gy scalp	47 Me circu	48 Na absol	49 Na atomu	50 Na cap.r
51 Na capit	52 Na cr.am	53 Na crlla	54 Na cryla	55 Na cuspi
56 Na galli	57 Na goepp	58 Na grega	59 Na lance	60 Na menis
61 Na nival	62 Na pupul	63 Na pygma	64 Na radio	65 Na reich
66 Na rhync	67 Na salin	68 Na sapro	69 Na schro	70 Na submi
71 Na tripu	72 Na trivi	73 Na venet	74 Na virid	75 Na wiesn
76 Ni amphi	77 Ni claus	78 Ni const	79 Ni dissi	80 Ni fonti
81 Ni frust	82 Ni hunga	83 Ni incon	84 Ni linea	85 Ni ovali
86 Ni palea	87 Ni sigmo	88 Ni sinua	89 Ni umbon	90 Pin subc
91 Ple laev	92 Rho abbr	93 Rhop acu	94 Sta ance	95 Ste dubi
96 Ste parv	97 Su brebi	98 Su elega		

SAMPLE NAMES

1 C1	2 C2	3 C3	4 C4	5 C5
6 C6	7 C7	8 B1		

Cut levels:

0.0000 2.0000 5.0000 10.0000 20.0000

Options:

Minimum group size for division = 5
 Maximum number of indicators per division = 5
 Maximum number of species in final table = 200
 Maximum level of divisions = 6

Length of data array after defining pseudospecies: 505
 Total number of species and pseudospecies: 140
 Number of species: 98
 (excluding pseudospecies and ones with no occurrences)

CLASSIFICATION OF SAMPLES

DIVISION 1 (N= 8) i.e. group *

Eigenvalue: 0.2800 at iteration 9

INDICATORS and their signs:

Ac helve 1(+)

Maximum indicator score for negative group 0

Minimum indicator score for positive group 1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 2 (N = 4) i.e. group *0

C1 C2 C3 C4

ITEMS IN POSITIVE GROUP 3 (N = 4) i.e. group *1

C5 C6 C7 B1

NEGATIVE PREFERENTIALS

Ac biaso1(1, 0)	Ac daone1(2, 0)	Ac l.frel(4, 2)	Ac l.lan1(4, 0)
Cal sili1(1, 0)	Cym caes1(1, 0)	Cym navil(1, 0)	Den eleg1(1, 0)
Dia meso1(3, 0)	Dip elli1(1, 0)	Eu bilun1(2, 0)	Eu incis1(1, 0)
Eu subar1(1, 0)	Fra arcu1(1, 0)	Fra ulnal(2, 0)	Fru vulgl(1, 0)

```

Go pumil1( 1, 0) Go terge1( 2, 0) Me circul( 3, 0) Na atomul( 2, 0)
Na cryla1( 2, 1) Na cuspi1( 1, 0) Na gallil( 4, 0) Na menis1( 3, 0)
Na radiol( 4, 1) Na reich1( 2, 1) Na rhync1( 1, 0) Ni frust1( 1, 0)
Ni ovali1( 1, 0) Pin subcl( 1, 0) Rhop acul( 1, 0) Sta ance1( 2, 0)
Ste dubi1( 1, 0) Ac biaso2( 1, 0) Ac l.fre2( 1, 0) Ac l.lan2( 3, 0)
Am libyc2( 4, 1) Coc plac2( 4, 2) Cym minu2( 3, 0) Fra capu2( 1, 0)
Go parvu2( 4, 2) Go terge2( 2, 0) Gom angu2( 2, 0) Na atomu2( 1, 0)
Na cryla2( 1, 0) Na menis2( 2, 0) Na radio2( 2, 0) Na reich2( 2, 0)
Na virid2( 1, 0) Ni amphi2( 2, 1) Ni claus2( 1, 0) Ni linea2( 2, 1)

```

POSITIVE PREFERENTIALS

```

Ac helve1( 0, 4) Ast form1( 0, 1) Aul gran1( 0, 1) Cal bacil( 1, 3)
Cyc menel( 1, 3) Cyc quad1( 0, 2) Cym turg1( 0, 1) Dia vulg1( 1, 2)
Fra c.ral( 0, 1) Fra u.an1( 0, 2) Go angus1( 0, 1) Go minut1( 0, 2)
Go olival( 0, 1) Gy scalp1( 0, 3) Na capit1( 0, 1) Na goepp1( 1, 3)
Na nivall( 0, 1) Na pygmal( 0, 1) Na salin1( 0, 1) Na sapro1( 2, 4)
Na schrol( 0, 2) Na trivil( 0, 2) Na virid1( 1, 4) Na wiesn1( 0, 1)
Ni claus1( 1, 2) Ni hungal( 0, 1) Ni sigmol( 0, 1) Ni sinual( 0, 3)
Ni umbon1( 0, 1) Ple laev1( 0, 2) Ste parv1( 0, 2) Su elegal( 0, 1)
Ac helve2( 0, 2) Aul gran2( 0, 1) Coc pedi2( 0, 1) Cyc mene2( 0, 2)
Go minut2( 0, 1) Na goepp2( 0, 2) Na sapro2( 1, 2) Na submi2( 2, 4)

```

NON-PREFERENTIALS

```

Ac minut1( 4, 4) Am libycl( 4, 3) Am montal( 4, 4) Am pedic1( 4, 4)
Coc pedi1( 4, 3) Coc plac1( 4, 4) Cym sill( 1, 1) Cym minul( 3, 3)
Cym sinul( 4, 4) Fra c.val( 1, 1) Fra capul( 3, 2) Go parvul( 4, 3)
Gom angul( 2, 2) Gy nodif1( 1, 1) Na absol1( 1, 1) Na cap.r1( 1, 1)
Na cr.am1( 1, 1) Na crlla1( 3, 4) Na gregal( 4, 4) Na lance1( 4, 4)
Na pupul1( 3, 3) Na submi1( 4, 4) Na tripul( 4, 4) Na venet1( 4, 3)
Ni amphi1( 3, 4) Ni const1( 3, 4) Ni dissil( 4, 4) Ni fontil( 4, 4)
Ni incon1( 4, 4) Ni lineal( 3, 2) Ni paleal( 4, 4) Rho abbr1( 3, 4)
Su brebil( 4, 4) Ac minut2( 4, 4) Am monta2( 2, 3) Am pedic2( 4, 4)
Cym sinu2( 4, 3) Na crlla2( 3, 4) Na grega2( 4, 4) Na lance2( 3, 4)
Na tripu2( 2, 2) Na venet2( 3, 3) Ni dissil2( 4, 4) Ni fontil2( 3, 2)
Ni incon2( 4, 4) Ni palea2( 4, 4) Rho abbr2( 1, 1) Su brebi2( 2, 2)

```

----- E N D O F L E V E L 1 -----

```

DIVISION 2 (N= 4) i.e. group *0
Group too small for further division.

```

```

DIVISION 3 (N= 4) i.e. group *1
Group too small for further division.

```

***** THIS IS THE END OF THE DIVISIONS REQUESTED *****

CLASSIFICATION OF SPECIES

```

DIVISION 1 (N= 98) i.e. group *
Eigenvalue: 0.8276 at iteration 36

```

```

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 2 (N = 61) i.e. group *0
Ac biaso Ac daone Ac l.fre Ac l.lan Ac minut Am libyc Am pedic Cal sili
Coc pedi Coc plac Cym sil Cym caes Cym minu Cym navi Cym sinu Den eleg
Dia meso Dip elli Eu bilun Eu incis Eu subar Fra arcu Fra c.va Fra capu
Fra ulna Fru vulg Go parvu Go pumil Go terge Gom angu Gy nodif Me circ
Na absol Na atomu Na cap.r Na cr.am Na cryla Na cuspi Na galli Na grega
Na menis Na pupul Na radio Na reich Na rhync Na tripu Na venet Ni amphi
Ni claus Ni dissi Ni fonti Ni frust Ni incon Ni linea Ni ovali Ni palea
Pin subc Rhop acu Sta ance Ste dubi Su brebi

```

```

ITEMS IN POSITIVE GROUP 3 (N = 37) i.e. group *1
Ac helve Am monta Ast form Aul gran Cal baci Cyc mene Cyc quad Cym turg
Dia vulg Fra c.ra Fra u.an Go angus Go minut Go oliva Gy scalp Na capit
Na crlla Na goepp Na lance Na nival Na pygma Na salin Na sapro Na schro
Na submi Na trivi Na virid Na wiesn Ni const Ni hunga Ni sigmo Ni sinua
Ni umbon Ple laev Rho abbr Ste parv Su elega

```

----- E N D O F L E V E L 1 -----

```

*****
DIVISION      2 (N=   61)          i.e. group *0
Eigenvalue: 0.6868 at iteration   1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP  4 (N =   33)          i.e. group *00
Ac biaso  Ac daone  Ac l.fre  Ac l.lan  Cal sili  Cym caes  Cym navi  Den eleg
Dia meso  Dip elli  Eu bilun  Eu incis  Eu subar  Fra arcu  Fra ulna  Fru vulg
Go pumil  Go terge  Me circu  Na atomu  Na cryla  Na cuspi  Na galli  Na menis
Na radio  Na reich  Na rhync  Ni frust  Ni ovali  Pin subc  Rhop acu  Sta ance
Ste dubi

ITEMS IN POSITIVE GROUP  5 (N =   28)          i.e. group *01
Ac minut  Am libyc  Am pedic  Coc pedi  Coc plac  Cym sil  Cym minu  Cym sinu
Fra c.va  Fra capu  Go parvu  Gom angu  Gy nodif  Na absol  Na cap.r  Na cr.am
Na grega  Na pupul  Na tripu  Na venet  Ni amphi  Ni claus  Ni dissi  Ni fonti
Ni incon  Ni linea  Ni palea  Su brebi
*****

DIVISION      3 (N=   37)          i.e. group *1
Eigenvalue: 0.3353 at iteration   1

ITEMS IN NEGATIVE GROUP  6 (N =    6)          i.e. group *10
Am monta  Na crlla  Na lance  Na submi  Ni const  Rho abbr

ITEMS IN POSITIVE GROUP  7 (N =   31)          i.e. group *11
Ac helve  Ast form  Aul gran  Cal baci  Cyc mene  Cyc quad  Cym turg  Dia vulg
Fra c.ra  Fra u.an  Go angus  Go minut  Go oliva  Gy scalp  Na capit  Na goepp
Na nival  Na pygma  Na salin  Na sapro  Na schro  Na trivi  Na virid  Na wiesn
Ni hunga  Ni sigmo  Ni sinua  Ni umbon  Ple laev  Ste parv  Su elega

----- E N D   O F   L E V E L   2 -----

*****

DIVISION      4 (N=   33)          i.e. group *00
Eigenvalue: 0.1062 at iteration   2

ITEMS IN NEGATIVE GROUP  8 (N =   29)          i.e. group *000
Ac biaso  Ac daone  Ac l.lan  Cal sili  Cym caes  Cym navi  Den eleg  Dia meso
Dip elli  Eu bilun  Eu incis  Eu subar  Fra arcu  Fra ulna  Fru vulg  Go pumil
Go terge  Me circu  Na atomu  Na cuspi  Na galli  Na menis  Na rhync  Ni frust
Ni ovali  Pin subc  Rhop acu  Sta ance  Ste dubi

ITEMS IN POSITIVE GROUP  9 (N =    4)          i.e. group *001
Ac l.fre  Na cryla  Na radio  Na reich
*****

DIVISION      5 (N=   28)          i.e. group *01
Eigenvalue: 0.0989 at iteration   3

ITEMS IN NEGATIVE GROUP 10 (N =    6)          i.e. group *010
Am libyc  Cym minu  Fra capu  Go parvu  Gom angu  Ni linea

ITEMS IN POSITIVE GROUP 11 (N =   22)          i.e. group *011
Ac minut  Am pedic  Coc pedi  Coc plac  Cym sil  Cym sinu  Fra c.va  Gy nodif
Na absol  Na cap.r  Na cr.am  Na grega  Na pupul  Na tripu  Na venet  Ni amphi
Ni claus  Ni dissi  Ni fonti  Ni incon  Ni palea  Su brebi
*****

DIVISION      6 (N=    6)          i.e. group *10
*****

DIVISION      7 (N=   31)          i.e. group *11
----- E N D   O F   L E V E L   3 -----

*****

DIVISION      8 (N=   29)          i.e. group *000
*****

DIVISION      9 (N=    4)          i.e. group *001
Group too small for further division.

```

DIVISION 10 (N= 6) i.e. group *010

DIVISION 11 (N= 22) i.e. group *011

***** THIS IS THE END OF THE DIVISIONS REQUESTED *****

ORDER OF SPECIES INCLUDING RARER ONES

1 Ac biaso	2 Ac daone	5 Ac l.lan	13 Cal sili	19 Cym caes
21 Cym navi	24 Den eleg	25 Dia meso	27 Dip elli	28 Eu bilun
29 Eu incis	30 Eu subar	31 Fra arcu	36 Fra ulna	37 Fru vulg
42 Go pumil	43 Go terge	47 Me circu	49 Na atomu	55 Na cuspi
56 Na galli	60 Na menis	66 Na rhync	81 Ni frust	85 Ni ovali
90 Pin subc	93 Rhop acu	94 Sta ance	95 Ste dubi	4 Ac l.fre
54 Na cryla	64 Na radio	65 Na reich	7 Am libyc	20 Cym minu
34 Fra capu	41 Go parvu	44 Gom angu	84 Ni linea	6 Ac minut
9 Am pedic	14 Coc pedi	15 Coc plac	18 Cym sil	22 Cym sinu
33 Fra c.va	45 Gy nodif	48 Na absol	50 Na cap.r	52 Na cr.am
58 Na grega	62 Na pupul	71 Na tripu	73 Na venet	76 Ni amphi
77 Ni claus	79 Ni dissi	80 Ni fonti	83 Ni incon	86 Ni palea
97 Su brebi	8 Am monta	53 Na crlla	59 Na lance	70 Na submi
78 Ni const	92 Rho abbr	3 Ac helve	10 Ast form	11 Aul gran
12 Cal baci	16 Cyc mene	17 Cyc quad	23 Cym turg	26 Dia vulg
32 Fra c.ra	35 Fra u.an	38 Go angus	39 Go minut	40 Go oliva
46 Gy scalp	51 Na capit	57 Na goepp	61 Na nival	63 Na pygma
67 Na salin	68 Na sapro	69 Na schro	72 Na trivi	74 Na virid
75 Na wiesn	82 Ni hunga	87 Ni sigmo	88 Ni sinua	89 Ni umbon
91 Ple laev	96 Ste parv	98 Su elega		

ORDER OF SAMPLES

1 C1	2 C2	3 C3	4 C4	5 C5
6 C6	7 C7	8 B1		

TWO-WAY ORDERED TABLE

12345678

1 Ac biaso	2-----	000
2 Ac daone	--11----	000
5 Ac l.lan	2221----	000
13 Cal sili	--1-----	000
19 Cym caes	-1-----	000
21 Cym navi	-1-----	000
24 Den eleg	1-----	000
25 Dia meso	111-----	000
27 Dip elli	1-----	000
28 Eu bilun	--11----	000
29 Eu incis	-1-----	000
30 Eu subar	-1-----	000
31 Fra arcu	--1-----	000
36 Fra ulna	-1-1----	000
37 Fru vulg	--1-----	000
42 Go pumil	---1----	000
43 Go terge	-22-----	000
47 Me circu	111-----	000
49 Na atomu	-12-----	000
55 Na cuspi	--1-----	000
56 Na galli	1111----	000
60 Na menis	-122----	000
66 Na rhync	--1-----	000
81 Ni frust	--1-----	000
85 Ni ovali	1-----	000
90 Pin subc	-1-----	000
93 Rhop acu	--1-----	000
94 Sta ance	11-----	000
95 Ste dubi	-1-----	000
4 Ac l.fre	11211--1	001
54 Na cryla	-12--1-	001

```

64 Na radio 2211---1 001
65 Na reich 2-2--1-- 001
7 Am libyc 222211-2 010
20 Cym minu 2-22111- 010
34 Fra capu 2-11--11 010
41 Go parvu 22222-12 010
44 Gom angu 22---1-1 010
84 Ni linea 2-122--1 010
6 Ac minut 22222222 011
9 Am pedic 22222222 011
14 Coc pedi 1111-211 011
15 Coc plac 22221212 011
18 Cym sil 1-----1 011
22 Cym sinu 22221222 011
33 Fra c.va ---11--- 011
45 Gy nodif ---1-1-- 011
48 Na absol -1-----1 011
50 Na cap.r ---1---1 011
52 Na cr.am ---1--1- 011
58 Na grega 22222222 011
62 Na pupul -111111- 011
71 Na tripu 21212112 011
73 Na venet 2212-222 011
76 Ni amphi 2-122111 011
77 Ni claus -2--1-1- 011
79 Ni dissi 22222222 011
80 Ni fonti 22122211 011
83 Ni incon 22222222 011
86 Ni palea 22222222 011
97 Su brebi 21122121 011
8 Am monta 12122221 10
53 Na crlla 22-22222 10
59 Na lance 22122222 10
70 Na submi 11222222 10
78 Ni const -1111111 10
92 Rho abbr 211-1112 10
3 Ac helve ----1221 11
10 Ast form -----1- 11
11 Aul gran -----2- 11
12 Cal baci --1--111 11
16 Cyc mene ---1122- 11
17 Cyc quad -----11 11
23 Cym turg -----1 11
26 Dia vulg --1-11-- 11
32 Fra c.ra ----1--- 11
35 Fra u.an -----11- 11
38 Go angus -----1- 11
39 Go minut -----12 11
40 Go oliva -----1 11
46 Gy scalp ----1-11 11
51 Na capit ----1--- 11
57 Na goepp ---1221- 11
61 Na nival ----1--- 11
63 Na pygma -----1-- 11
67 Na salin -----1-- 11
68 Na sapro -1-21122 11
69 Na schro -----11- 11
72 Na trivi -----11 11
74 Na virid ---21111 11
75 Na wiesn -----1-- 11
82 Ni hunga -----1- 11
87 Ni sigmo -----1 11
88 Ni sinua ----111- 11
89 Ni umbon ----1--- 11
91 Ple laev -----11- 11
96 Ste parv -----11 11
98 Su elega -----1 11

```

00001111

***** TWINSPAN completed *****

CCA relativa al Campionamento di Luglio 2004

***** Canonical Correspondence Analysis *****

PC-ORD, Version 4.34

23 Nov 2006, 11:35

1

DATA MATRICES

Main matrix:8 Stazioni (rows)
109 Specie (columns)

Second matrix:

8 Stazioni (rows)
7 Parametr (columns)Finished reading data.

OPTIONS SELECTED

Axis scores centered and standardized to unit variance

Axes scaled to optimize representation of rows: Stazioni

(Scores for Stazioni are weighted mean scores for Specie)

Scores for graphing Stazioni are linear combinations of Parametr

Monte Carlo test: null hypothesis is no relationship between matrices

Random number seed: 5943

RAW CORRELATIONS AMONG VARIABLES IN SECOND MATRIX

	Cond.	C.O.D.	Fosfati	Sol. Sos	Ammonio	Nitrati	% Sat.
Cond.	1.000	0.306	0.740	0.499	0.268	0.794	-0.573
C.O.D.	0.306	1.000	0.529	0.297	-0.292	0.052	-0.846
Fosfati	0.740	0.529	1.000	0.743	0.517	0.562	-0.733
Sol. Sos	0.499	0.297	0.743	1.000	0.601	0.348	-0.459
Ammonio	0.268	-0.292	0.517	0.601	1.000	0.423	0.160
Nitrati	0.794	0.052	0.562	0.348	0.423	1.000	-0.164
% Sat.	-0.573	-0.846	-0.733	-0.459	0.160	-0.164	1.000

WEIGHTED CORRELATIONS AMONG VARIABLES IN SECOND MATRIX

(weighted by row totals in main matrix)

	Cond.	C.O.D.	Fosfati	Sol. Sos	Ammonio	Nitrati	% Sat.
Cond.	1.000	0.365	0.740	0.508	0.215	0.790	-0.598
C.O.D.	0.365	1.000	0.606	0.362	-0.267	0.117	-0.858
Fosfati	0.740	0.606	1.000	0.747	0.455	0.551	-0.776
Sol. Sos	0.508	0.362	0.747	1.000	0.566	0.322	-0.513
Ammonio	0.215	-0.267	0.455	0.566	1.000	0.365	0.157
Nitrati	0.790	0.117	0.551	0.322	0.365	1.000	-0.196
% Sat.	-0.598	-0.858	-0.776	-0.513	0.157	-0.196	1.000

ITERATION REPORT

Calculating axis 1

Residual = 0.48E+04 at iteration 1
 Residual = 0.14E+00 at iteration 2
 Residual = 0.49E-01 at iteration 3
 Residual = 0.23E-01 at iteration 4
 Residual = 0.12E-01 at iteration 5
 Residual = 0.59E-02 at iteration 6
 Residual = 0.29E-02 at iteration 7
 Residual = 0.14E-02 at iteration 8
 Residual = 0.68E-03 at iteration 9
 Residual = 0.32E-03 at iteration 10
 Residual = 0.19E-06 at iteration 20
 Residual = 0.12E-09 at iteration 30
 Residual = 0.57E-13 at iteration 40
 Solution reached tolerance of 0.100000E-12 after 40 iterations.

Calculating axis 2

Residual = 0.20E+01 at iteration 1
 Residual = 0.55E-04 at iteration 2
 Residual = 0.42E-04 at iteration 3
 Residual = 0.33E-04 at iteration 4

Residual = 0.27E-04 at iteration 5
 Residual = 0.22E-04 at iteration 6
 Residual = 0.18E-04 at iteration 7
 Residual = 0.15E-04 at iteration 8
 Residual = 0.13E-04 at iteration 9
 Residual = 0.10E-04 at iteration 10
 Residual = 0.16E-05 at iteration 20
 Residual = 0.24E-06 at iteration 30
 Residual = 0.36E-07 at iteration 40
 Residual = 0.54E-08 at iteration 50
 Residual = 0.82E-09 at iteration 60
 Residual = 0.12E-09 at iteration 70
 Residual = 0.19E-10 at iteration 80
 Residual = 0.30E-11 at iteration 90
 Residual = 0.35E-12 at iteration 100
 Residual = 0.69E-13 at iteration 109
 Solution reached tolerance of 0.100000E-12 after 109 iterations.

 Calculating axis 3

Residual = 0.20E+01 at iteration 1
 Residual = 0.10E-05 at iteration 2
 Residual = 0.44E-06 at iteration 3
 Residual = 0.19E-06 at iteration 4
 Residual = 0.80E-07 at iteration 5
 Residual = 0.34E-07 at iteration 6
 Residual = 0.15E-07 at iteration 7
 Residual = 0.62E-08 at iteration 8
 Residual = 0.27E-08 at iteration 9
 Residual = 0.11E-08 at iteration 10
 Residual = 0.30E-12 at iteration 20
 Residual = 0.95E-13 at iteration 21
 Solution reached tolerance of 0.100000E-12 after 21 iterations.

 AXIS SUMMARY STATISTICS

Number of canonical axes: 3

Total variance ("inertia") in the species data: 1.1232

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.312	0.216	0.196
Variance in species data			
% of variance explained	27.8	19.2	17.5
Cumulative % explained	27.8	47.0	64.5
Pearson Correlation, Spp-Envt*	1.000	1.000	1.000
Kendall (Rank) Corr., Spp-Envt	1.000	1.000	1.000

* Correlation between sample scores for an axis derived from the species data and the sample scores that are linear combinations of the environmental variables. Set to 0.000 if axis is not canonical.

MULTIPLE REGRESSION RESULTS:

Regression of Stazioni in Specie space on Parametr

Variable	Canonical Coefficients						
	Standardized			Original Units			
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3	S.Dev
1 Cond.	-0.359	-0.018	0.046	-1.125	-0.055	0.145	0.319E+00
2 C.O.D.	-0.287	0.157	-0.246	-0.664	0.364	-0.569	0.432E+00
3 Fosfati	0.228	-0.460	0.104	1.949	-3.926	0.891	0.117E+00
4 Sol. Sos	-0.297	0.434	-0.218	-0.296	0.432	-0.217	0.100E+01
5 Ammonio	0.079	0.232	-0.138	0.200	0.590	-0.351	0.393E+00
6 Nitrati	-0.301	0.008	0.201	-1.604	0.043	1.071	0.188E+00
7 % Sat.	-0.329	0.235	0.161	-1.023	0.731	0.502	0.321E+00

Scores that are derived from the scores of Specie (WA Scores)
 FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 8 Stazioni

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Raw Data Totals
--	--------	--------	--------	--------------------

1 C1	1.281989	0.203734	-0.194177	109.0374
2 C2	0.156997	-0.311859	0.157693	108.4375
3 C3	-0.247307	-0.291584	0.201320	102.6945
4 C4	-0.375835	-0.499651	-0.920578	102.0246
5 C5	-0.430648	0.406565	0.052555	73.3439
6 C6	-0.376815	0.682165	-0.043716	84.7008
7 C7	-0.309209	0.644994	0.115111	84.8646
8 B1	-0.036239	-0.542966	0.734661	91.7420

Scores that are linear combinations of Parametr (LC Scores)
FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 8 Stazioni

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Raw Data Totals
1 C1	1.281989	0.203734	-0.194177	109.0374
2 C2	0.156997	-0.311859	0.157693	108.4375
3 C3	-0.247307	-0.291584	0.201320	102.6945
4 C4	-0.375836	-0.499651	-0.920578	102.0246
5 C5	-0.430648	0.406565	0.052555	73.3439
6 C6	-0.376816	0.682165	-0.043716	84.7008
7 C7	-0.309209	0.644994	0.115111	84.8646
8 B1	-0.036239	-0.542966	0.734661	91.7420

FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 109 Specie

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Raw Data Totals
1 Ac biaso	4.103816	0.945029	-0.990065	3.5264
2 Ac daone	4.103816	0.945029	-0.990065	1.0986
3 Ac l.fre	0.646787	-0.804492	0.519827	11.9392
4 Ac l.lan	1.542030	-0.533276	0.187431	6.8824
5 Ac minut	0.247959	0.332250	0.748384	20.0266
6 Am aequa	4.103816	0.945029	-0.990065	1.9459
7 Am libyc	0.032848	-0.784458	0.438767	13.8275
8 Am ovali	4.103816	0.945029	-0.990065	1.9459
9 Am pedic	0.125396	0.163648	-0.032085	19.0986
10 Aul gran	-1.157199	2.009956	-0.580753	6.7923
11 Cal amph	-0.762084	-2.399163	-1.269977	2.7081
12 Cal sili	2.303192	-0.250771	-0.093013	2.1972
13 Coc pedi	-0.091986	-0.432383	0.192598	19.8426
14 Coc plac	0.063103	-0.180379	0.160905	26.7652
15 Cyc mene	-1.105154	0.943530	-0.801209	9.5004
16 Cyc pseu	-1.203100	-2.317655	-4.693823	1.6094
17 Cyc quad	-1.184190	2.438852	0.427446	2.1972
18 Cyc stel	-0.164847	1.964478	0.111231	9.4592
19 Cyma ell	-0.116007	-2.518570	3.745868	1.0986
20 Cyma sol	-0.817067	-0.994625	-0.210906	5.4161
21 Cym caes	0.623254	-0.563664	-1.644026	7.0519
22 Cym helv	-1.203100	-2.317655	-4.693823	1.0986
23 Cym minu	0.529979	0.322045	0.197262	11.3942
24 Cym muel	4.103816	0.945029	-0.990065	1.0986
25 Cym sinu	-0.033076	-0.065247	-0.059644	22.6606
26 Cym tumi	-0.891054	1.834925	0.931674	4.9053
27 Cym turg	-1.378562	1.885870	0.267966	1.0986
28 Dia meso	0.950596	-1.046176	-0.741225	8.7119
29 Dia moni	2.642848	-0.025204	-0.262226	2.7081
30 Dia vulg	-0.151614	1.094601	0.617307	12.1672
31 Dip elli	-0.791663	-1.352523	1.026488	1.0986
32 Dip oblo	-0.514349	-1.894920	-0.166866	5.4161
33 Dip pseu	4.103816	0.945029	-0.990065	1.0986
34 Eu bilun	-1.203100	-2.317655	-4.693823	1.0986
35 Fra bice	-0.116007	-2.518570	3.745868	1.0986
36 Fra capu	0.021036	1.010402	0.246643	13.1146
37 Fra c.ru	4.103816	0.945029	-0.990065	1.6094
38 Fra c.ca	0.502568	-1.446571	0.804040	1.6094
39 Fra c.va	-1.277284	-0.540425	-2.596004	3.8067
40 Fra para	-0.453835	-1.935547	2.386178	3.2189
41 Fra ulna	-0.319017	0.714444	-0.524052	15.3245
42 Fra u.ae	4.103816	0.945029	-0.990065	1.6094

43	Fra u.an	-0.232136	2.569136	-0.017256	9.2942
44	Fru vulg	-0.497398	-1.705583	-0.954432	3.2958
45	Gom angu	0.164010	-2.033297	2.414159	3.5553
46	Go angus	-0.590696	0.347050	1.397248	8.7695
47	Gom augu	-1.204588	0.284485	-2.571574	5.9687
48	Gom grac	-0.116007	-2.518570	3.745868	1.6094
49	Go minut	-1.123158	1.656420	0.220395	5.7526
50	Go parvu	-0.079939	-0.199114	-0.139441	17.1733
51	Go pseud	-1.378562	1.885870	0.267966	1.0986
52	Go pumil	3.125254	0.295163	-0.502556	4.0431
53	Gy atten	-0.791663	-1.352523	1.026488	1.6094
54	Gy nodif	1.993904	-0.786771	1.377902	2.1972
55	Gy scalp	-0.487769	-0.013711	-0.675861	4.3175
56	Me circu	2.464606	-0.282156	0.378559	5.2417
57	Na atomu	1.448790	2.054641	-0.606482	2.1972
58	Na capit	-0.804026	0.265605	1.292961	9.9933
59	Na cinct	-1.203100	-2.317655	-4.693823	1.9459
60	Na conte	1.963536	-0.476337	0.076200	2.7081
61	Na cryla	1.362000	0.267634	1.041443	6.3716
62	Na crlla	0.004271	0.432969	0.816786	22.2575
63	Na cuspi	-0.132481	-1.872664	2.112029	3.8067
64	Na cu.am	0.502568	-1.446571	0.804040	1.0986
65	Na decus	2.642848	-0.025204	-0.262226	2.7081
66	Na elgin	0.502568	-1.446571	0.804040	1.0986
67	Na goepp	-1.183213	2.693496	0.226194	6.0890
68	Na grega	-0.530176	-0.845208	0.275347	13.4832
69	Na lance	-0.921857	0.175651	-0.130753	10.9174
70	Na menis	-0.481952	-1.949365	-2.369354	3.8067
71	Na minim	-0.997382	-1.835089	-1.833668	3.8918
72	Na mutic	-1.203100	-2.317655	-4.693823	1.0986
73	Na nival	-0.008366	1.224521	-0.837895	14.3347
74	Na pupul	-0.651312	-0.774913	-0.304383	13.7933
75	Na radio	1.806894	-0.785344	0.970701	7.0876
76	Na reich	4.103816	0.945029	-0.990065	2.1972
77	Na sapro	-0.829747	-0.623601	-0.751267	12.8401
78	Na submi	-0.828688	0.282471	-0.044917	22.0950
79	Na tripu	0.529894	-0.374569	1.057747	15.7226
80	Na venet	0.388314	-1.339256	-3.583157	3.6636
81	Na virid	-0.662621	-0.119820	0.088847	15.7728
82	Ne affin	-0.116007	-2.518570	3.745868	1.0986
83	Ne binod	-0.791663	-1.352523	1.026488	1.6094
84	Ne dubiu	-0.116007	-2.518570	3.745868	1.0986
85	Ni pura	4.103816	0.945029	-0.990065	1.6094
86	Ni sigmo	-0.703590	-2.062916	0.026178	3.2958
87	Ni sinua	-1.029758	-0.038759	0.718768	2.7081
88	Ni umbon	-0.615710	-1.736228	-1.162486	4.3175
89	Ni amphi	-0.458686	0.777727	-0.538422	16.4407
90	Ni capit	1.656076	-0.203747	0.018212	2.1972
91	Ni claus	-1.184190	2.438852	0.427446	2.1972
92	Ni commu	0.949830	-0.994037	-3.191268	2.7081
93	Ni const	-0.301861	-0.938056	1.893118	3.8067
94	Ni dissi	-0.131232	0.210136	0.177688	18.0298
95	Ni fonti	-0.567011	-0.928689	0.289087	14.5239
96	Ni incon	-0.453747	0.743121	-0.288679	23.5773
97	Ni linea	0.276885	-0.786833	0.143000	13.1133
98	Ni palea	-0.417033	0.135586	-0.003320	23.3959
99	Ni palfo	4.103816	0.945029	-0.990065	1.0986
100	Ni vermi	1.450358	-0.686313	-2.841944	3.2189
101	Pin dive	2.303192	-0.250771	-0.093013	2.1972
102	Rho abbr	-0.217048	0.061662	0.074496	26.1560
103	Ste parv	1.556999	1.968431	-0.201570	2.1972
104	Su angus	-0.593424	0.530005	0.434054	3.8067
105	Su brebi	0.265335	-0.950963	-0.282844	8.4606
106	Su elega	0.193281	-1.982570	2.274954	2.1972
107	Su ovali	-0.135034	-1.772555	1.858799	3.2958
108	Su splen	-0.791663	-1.352523	1.026488	1.0986
109	Tha balt	-0.989818	2.991834	0.586925	1.6094

CORRELATIONS AND BIPLLOT SCORES for 7 Parametr

Variable	Correlations*			Biplot Scores		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3

1 Cond.	-0.843	-0.355	-0.099	-0.471	-0.165	-0.044
2 C.O.D.	-0.289	-0.503	-0.728	-0.162	-0.234	-0.323
3 Fosfati	-0.553	-0.271	-0.566	-0.309	-0.126	-0.251
4 Sol. Sos	-0.532	0.326	-0.681	-0.297	0.152	-0.302
5 Ammonio	-0.265	0.564	-0.089	-0.148	0.262	-0.040
6 Nitrati	-0.887	-0.135	0.259	-0.496	-0.063	0.115
7 % Sat.	0.321	0.602	0.710	0.179	0.280	0.314

 * Correlations are "intraset correlations" of ter Braak (1986)

INTER-SET CORRELATIONS for 7 Parametr

Variable	Correlations		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
1 Cond.	-0.843	-0.355	-0.099
2 C.O.D.	-0.289	-0.503	-0.728
3 Fosfati	-0.553	-0.271	-0.566
4 Sol. Sos	-0.532	0.326	-0.681
5 Ammonio	-0.265	0.564	-0.089
6 Nitrati	-0.887	-0.135	0.259
7 % Sat.	0.321	0.602	0.710

Note: Obtain joint plots or biplots by selecting GRAPH, then requesting "Joint plots" from the GRAPH menu.

MONTE CARLO TEST RESULTS -- EIGENVALUES

Axis	Real data	Randomized data			p
	Eigenvalue	Monte Carlo test, 99 runs	Mean	Minimum	
1	0.312	0.310	0.304	0.312	0.0100
2	0.216	0.214	0.208	0.216	
3	0.196	0.195	0.193	0.196	

p = proportion of randomized runs with eigenvalue greater than or equal to the observed eigenvalue; i.e.,
 $p = (1 + \text{no. permutations} \geq \text{observed}) / (1 + \text{no. permutations})$
 p is not reported for axes 2 and 3 because using a simple randomization test for these axes may bias the p values.

MONTE CARLO TEST RESULTS -- SPECIES-ENVIRONMENT CORRELATIONS

Axis	Real data	Randomized data			p
	Spp-Envr Corr.	Monte Carlo test, 99 runs	Mean	Minimum	
1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.0100
2	1.000	1.000	0.999	1.000	
3	1.000	1.000	0.999	1.000	

p = proportion of randomized runs with species-environment correlation greater than or equal to the observed species-environment correlation; i.e.,
 $p = (1 + \text{no. permutations} \geq \text{observed}) / (1 + \text{no. permutations})$
 p is not reported for axes 2 and 3 because using a simple randomization test for these axes may bias the p values.

***** Operation completed *****

CCA relativa al campionamento di Luglio 2004

***** Canonical Correspondence Analysis *****

PC-ORD, Version 4.34

23 Nov 2006, 10:54

1

DATA MATRICES

Main matrix:8 Stazioni (rows)
98 Specie (columns)

Second matrix:

8 Stazioni (rows)
7 Parametr (columns)Finished reading data.

OPTIONS SELECTED

Axis scores centered and standardized to unit variance

Axes scaled to optimize representation of rows: Stazioni

(Scores for Stazioni are weighted mean scores for Specie)

Scores for graphing Stazioni are linear combinations of Parametr

Monte Carlo test: null hypothesis is no relationship between matrices

Random number seed: 1501

RAW CORRELATIONS AMONG VARIABLES IN SECOND MATRIX

	% Sat.	Cond.	C.O.D.	Ammonio	Fosfati	Sol. Sos	Nitrati
% Sat.	1.000	-0.544	0.458	-0.103	-0.604	-0.810	-0.293
Cond.	-0.544	1.000	-0.296	0.660	0.697	0.682	0.613
C.O.D.	0.458	-0.296	1.000	-0.010	0.070	-0.092	-0.355
Ammonio	-0.103	0.660	-0.010	1.000	0.734	0.284	0.376
Fosfati	-0.604	0.697	0.070	0.734	1.000	0.811	0.452
Sol. Sos	-0.810	0.682	-0.092	0.284	0.811	1.000	0.553
Nitrati	-0.293	0.613	-0.355	0.376	0.452	0.553	1.000

WEIGHTED CORRELATIONS AMONG VARIABLES IN SECOND MATRIX

(weighted by row totals in main matrix)

	% Sat.	Cond.	C.O.D.	Ammonio	Fosfati	Sol. Sos	Nitrati
% Sat.	1.000	-0.547	0.451	-0.097	-0.606	-0.819	-0.300
Cond.	-0.547	1.000	-0.280	0.652	0.696	0.688	0.609
C.O.D.	0.451	-0.280	1.000	0.021	0.084	-0.093	-0.363
Ammonio	-0.097	0.652	0.021	1.000	0.736	0.287	0.370
Fosfati	-0.606	0.696	0.084	0.736	1.000	0.812	0.446
Sol. Sos	-0.819	0.688	-0.093	0.287	0.812	1.000	0.549
Nitrati	-0.300	0.609	-0.363	0.370	0.446	0.549	1.000

ITERATION REPORT

Calculating axis 1

Residual = 0.49E+04 at iteration 1
 Residual = 0.80E-01 at iteration 2
 Residual = 0.79E-01 at iteration 3
 Residual = 0.83E-01 at iteration 4
 Residual = 0.83E-01 at iteration 5
 Residual = 0.57E-01 at iteration 6
 Residual = 0.27E-01 at iteration 7
 Residual = 0.11E-01 at iteration 8
 Residual = 0.39E-02 at iteration 9
 Residual = 0.14E-02 at iteration 10
 Residual = 0.62E-07 at iteration 20
 Residual = 0.33E-11 at iteration 30
 Residual = 0.94E-13 at iteration 35
 Solution reached tolerance of 0.100000E-12 after 35 iterations.

Calculating axis 2

Residual = 0.20E+01 at iteration 1
 Residual = 0.20E-02 at iteration 2
 Residual = 0.15E-02 at iteration 3
 Residual = 0.12E-02 at iteration 4

```

Residual = 0.97E-03 at iteration 5
Residual = 0.76E-03 at iteration 6
Residual = 0.60E-03 at iteration 7
Residual = 0.47E-03 at iteration 8
Residual = 0.37E-03 at iteration 9
Residual = 0.29E-03 at iteration 10
Residual = 0.23E-04 at iteration 20
Residual = 0.18E-05 at iteration 30
Residual = 0.14E-06 at iteration 40
Residual = 0.11E-07 at iteration 50
Residual = 0.89E-09 at iteration 60
Residual = 0.70E-10 at iteration 70
Residual = 0.54E-11 at iteration 80
Residual = 0.55E-12 at iteration 90
Residual = 0.95E-13 at iteration 94
Solution reached tolerance of 0.100000E-12 after 94 iterations.
-----

```

```

Calculating axis 3
Residual = 0.20E+01 at iteration 1
Residual = 0.43E-04 at iteration 2
Residual = 0.33E-04 at iteration 3
Residual = 0.25E-04 at iteration 4
Residual = 0.20E-04 at iteration 5
Residual = 0.15E-04 at iteration 6
Residual = 0.12E-04 at iteration 7
Residual = 0.99E-05 at iteration 8
Residual = 0.81E-05 at iteration 9
Residual = 0.66E-05 at iteration 10
Residual = 0.11E-05 at iteration 20
Residual = 0.22E-06 at iteration 30
Residual = 0.42E-07 at iteration 40
Residual = 0.81E-08 at iteration 50
Residual = 0.16E-08 at iteration 60
Residual = 0.30E-09 at iteration 70
Residual = 0.60E-10 at iteration 80
Residual = 0.11E-10 at iteration 90
Residual = 0.28E-11 at iteration 100
Residual = 0.32E-12 at iteration 110
Residual = 0.16E-12 at iteration 120
Residual = 0.50E-13 at iteration 126
Solution reached tolerance of 0.100000E-12 after 126 iterations.
-----

```

AXIS SUMMARY STATISTICS

Number of canonical axes: 3

Total variance ("inertia") in the species data: 0.9574

	Axis 1	Axis 2	Axis 3
Eigenvalue	0.257	0.157	0.138
Variance in species data			
% of variance explained	26.9	16.4	14.5
Cumulative % explained	26.9	43.3	57.8
Pearson Correlation, Spp-Envt*	1.000	1.000	1.000
Kendall (Rank) Corr., Spp-Envt	1.000	1.000	1.000

* Correlation between sample scores for an axis derived from the species data and the sample scores that are linear combinations of the environmental variables. Set to 0.000 if axis is not canonical.

MULTIPLE REGRESSION RESULTS:

Regression of Stazioni in Specie space on Parametr

Variable	Canonical Coefficients						
	Standardized			Original Units			
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3	S.Dev
1 % Sat.	-1.708	-0.992	2.217	-16.798	-9.760	21.804	0.102E+00
2 Cond.	-1.602	-1.219	1.267	-2.722	-2.070	2.152	0.589E+00
3 C.O.D.	1.163	0.370	-1.474	1.995	0.635	-2.528	0.583E+00
4 Ammonio	3.194	1.881	-3.834	8.408	4.952	-10.093	0.380E+00
5 Fosfati	-4.158	-2.187	5.737	-45.388	-23.874	62.628	0.916E-01

6 Sol. Sos	1.836	1.228	-2.554	1.952	1.306	-2.715	0.940E+00
7 Nitrati	0.247	0.401	-0.490	1.145	1.853	-2.264	0.216E+00

 Scores that are derived from the scores of Specie (WA Scores)
 FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 8 Stazioni

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Raw Data Totals
1 C1	0.388096	-0.565810	0.508126	91.4079
2 C2	0.644437	-0.198906	-0.769203	93.5606
3 C3	0.726921	0.623615	0.202223	93.3563
4 C4	-0.010322	0.122624	0.184821	93.1629
5 C5	-0.367352	0.223963	0.147350	84.0308
6 C6	-0.455233	0.256461	0.079879	85.2906
7 C7	-0.712105	0.141041	-0.355103	92.4647
8 B1	-0.302002	-0.590521	0.034091	89.8322

 Scores that are linear combinations of Parametr (LC Scores)
 FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 8 Stazioni

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Raw Data Totals
1 C1	0.388096	-0.565810	0.508126	91.4079
2 C2	0.644437	-0.198906	-0.769203	93.5606
3 C3	0.726922	0.623615	0.202223	93.3563
4 C4	-0.010322	0.122624	0.184821	93.1629
5 C5	-0.367351	0.223963	0.147350	84.0308
6 C6	-0.455233	0.256461	0.079879	85.2906
7 C7	-0.712106	0.141041	-0.355103	92.4647
8 B1	-0.302002	-0.590522	0.034091	89.8322

 FINAL SCORES and raw data totals (weights) for 98 Specie

	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Raw Data Totals
1 Ac biaso	1.508295	-3.599636	3.670958	2.5649
2 Ac daone	1.392497	2.373755	1.398101	3.8918
3 Ac helve	-1.847214	0.199958	-0.264507	8.7865
4 Ac l.fre	0.910293	-0.449194	0.341787	11.0795
5 Ac l.lan	1.839136	-0.280402	0.058321	8.9366
6 Ac minut	-0.079714	-0.141629	-0.032339	22.5769
7 Am libyc	0.724644	0.010874	0.458723	17.3853
8 Am monta	-0.274771	0.004463	-0.160572	16.9893
9 Am pedic	-0.041416	0.015407	-0.015444	30.9034
10 Ast form	-2.767526	0.897291	-2.565439	1.0986
11 Aul gran	-2.767526	0.897291	-2.565439	2.3979
12 Cal baci	-0.721333	0.684853	-0.070274	4.3944
13 Cal sili	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
14 Coc pedi	0.006924	-0.144598	0.324395	11.7058
15 Coc plac	0.087385	-0.169272	0.233645	19.9712
16 Cyc mene	-1.757766	1.240739	-0.202414	7.1025
17 Cyc quad	-2.120936	-0.990819	-1.424765	2.7081
18 Cym sil	0.294208	-3.670804	2.120678	3.5553
19 Cym caes	2.504539	-1.265424	-5.557101	1.9459
20 Cym minu	-0.075801	0.748182	1.142918	12.4943
21 Cym navi	2.504539	-1.265424	-5.557101	1.0986
22 Cym sinu	-0.060539	-0.024868	-0.288641	21.2325
23 Cym turg	-1.173699	-3.756850	0.246293	1.6094
24 Den eleg	1.508295	-3.599636	3.670958	1.0986
25 Dia meso	2.163664	-1.006147	-0.041991	4.6540
26 Dia vulg	0.271811	2.559481	1.091464	3.8067
27 Dip elli	1.508295	-3.599636	3.670958	1.0986
28 Eu bilun	1.392497	2.373755	1.398101	2.1972
29 Eu incis	2.504539	-1.265424	-5.557101	1.0986
30 Eu subar	2.504539	-1.265424	-5.557101	1.6094
31 Fra arcu	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
32 Fra c.ra	-1.427675	1.424833	1.064532	1.9459
33 Fra c.va	-0.733895	1.102478	1.199886	2.1972

34	Fra capu	0.419130	-0.808638	1.421206	9.0966
35	Fra u.an	-2.407287	1.162259	-1.431462	3.0445
36	Fra ulna	1.472214	-0.435579	-2.760990	2.7081
37	Fru vulg	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
38	Go angus	-2.767526	0.897291	-2.565439	1.6094
39	Go minut	-1.704975	-2.205469	-0.690951	3.2958
40	Go oliva	-1.173699	-3.756850	0.246293	1.6094
41	Go parvu	0.359936	-0.492981	0.093013	17.3407
42	Go pumil	-0.040116	0.780122	1.335239	1.6094
43	Go terge	2.656706	1.218476	-2.225781	5.9687
44	Gom angu	0.513440	-2.013151	0.185402	9.4563
45	Gy nodif	-0.904666	1.205852	0.956164	2.1972
46	Gy scalp	-1.789634	-0.478242	-0.418205	3.2958
47	Me circu	2.279314	-0.299224	-0.141727	3.2958
48	Na absol	0.665420	-2.511137	-2.655404	2.1972
49	Na atomu	2.707703	2.050921	-1.109335	5.3132
50	Na cap.r	-0.499992	-1.060454	0.893471	2.7081
51	Na capit	-1.427675	1.424833	1.064532	1.0986
52	Na cr.am	-1.403821	0.838707	-0.615100	2.1972
53	Na crlla	-0.445099	-0.798742	0.050113	22.3991
54	Na cryla	1.067952	1.500111	-1.820989	5.4161
55	Na cuspi	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
56	Na galli	1.784884	-0.698188	-0.098262	6.0890
57	Na goepp	-1.479597	1.256830	0.305830	8.8977
58	Na grega	0.183648	-0.033748	0.112472	27.7670
59	Na lance	-0.327002	0.048672	0.017491	19.4185
60	Na menis	1.874471	1.606267	-0.453239	7.2786
61	Na nival	-1.427675	1.424833	1.064532	1.0986
62	Na pupul	-0.207072	1.252643	-0.493388	7.1025
63	Na pygma	-1.769216	1.631582	0.577089	1.0986
64	Na radio	1.165905	-1.443915	-0.208449	10.0521
65	Na reich	1.265046	0.515522	2.110342	7.0255
66	Na rhync	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
67	Na salin	-1.769216	1.631582	0.577089	1.0986
68	Na sapro	-0.933451	-0.332765	-0.465204	15.7400
69	Na schro	-2.268371	1.264437	-0.994175	2.1972
70	Na submi	-0.306298	0.362292	0.151065	22.1729
71	Na tripu	0.102888	-0.193395	0.361386	17.5160
72	Na trivi	-1.970613	-1.429779	-1.159573	2.1972
73	Na venet	-0.125691	-0.304057	-0.070790	18.4294
74	Na virid	-1.387644	0.160527	0.147365	9.6444
75	Na wiesn	-1.769216	1.631582	0.577089	1.0986
76	Ni amphi	-0.314997	0.242460	1.065393	13.2877
77	Ni claus	0.033605	0.101632	-2.714491	4.9053
78	Ni const	-0.551445	0.410487	-0.398811	10.4065
79	Ni dissi	-0.262263	0.107881	0.155925	24.2989
80	Ni fonti	0.129438	-0.013846	-0.222487	20.4080
81	Ni frust	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
82	Ni hunga	-2.767526	0.897291	-2.565439	1.0986
83	Ni incon	-0.200648	0.253244	-0.188898	30.2031
84	Ni linea	0.279988	-0.277821	1.639712	9.8105
85	Ni ovali	1.508295	-3.599636	3.670958	1.0986
86	Ni palea	-0.164482	0.156297	-0.056742	27.4638
87	Ni sigmo	-1.173699	-3.756850	0.246293	1.0986
88	Ni sinua	-1.988139	1.317902	-0.307939	3.2958
89	Ni umbon	-1.427675	1.424833	1.064532	1.6094
90	Pin subc	2.504539	-1.265424	-5.557101	1.0986
91	Ple laev	-2.268371	1.264437	-0.994175	2.1972
92	Rho abbr	-0.030074	-0.459557	-0.047845	13.8188
93	Rhop acu	2.825109	3.967387	1.460963	1.0986
94	Sta ance	2.006417	-2.432530	-0.943072	2.1972
95	Ste dubi	2.504539	-1.265424	-5.557101	1.0986
96	Ste parv	-2.120936	-0.990819	-1.424765	2.7081
97	Su brebi	-0.231819	0.061422	0.133534	16.2986
98	Su elega	-1.173699	-3.756850	0.246293	1.0986

CORRELATIONS AND BIPLLOT SCORES for 7 Parametr

Variable	Correlations*			Biplot Scores		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 1	Axis 2	Axis 3
1 % Sat.	0.642	-0.357	-0.022	0.325	-0.142	-0.008
2 Cond.	-0.770	0.035	-0.257	-0.391	0.014	-0.096

3 C.O.D.	0.583	-0.357	-0.022	0.296	-0.141	-0.008
4 Ammonio	-0.199	0.207	0.141	-0.101	0.082	0.053
5 Fosfati	-0.374	0.394	0.106	-0.190	0.156	0.039
6 Sol. Sos	-0.589	0.383	-0.196	-0.299	0.152	-0.073
7 Nitrati	-0.595	0.547	-0.300	-0.302	0.217	-0.112

* Correlations are "intraset correlations" of ter Braak (1986)

INTER-SET CORRELATIONS for 7 Parametr

Variable	Correlations		
	Axis 1	Axis 2	Axis 3
1 % Sat.	0.642	-0.357	-0.022
2 Cond.	-0.770	0.035	-0.257
3 C.O.D.	0.583	-0.357	-0.022
4 Ammonio	-0.199	0.207	0.141
5 Fosfati	-0.374	0.394	0.106
6 Sol. Sos	-0.589	0.383	-0.196
7 Nitrati	-0.595	0.547	-0.300

Note: Obtain joint plots or biplots by selecting GRAPH, then requesting "Joint plots" from the GRAPH menu.

MONTE CARLO TEST RESULTS -- EIGENVALUES

Axis	Real data Eigenvalue	Randomized data Monte Carlo test, 99 runs			p
		Mean	Minimum	Maximum	
1	0.257	0.257	0.257	0.257	0.0500
2	0.157	0.157	0.157	0.157	
3	0.138	0.138	0.138	0.138	

p = proportion of randomized runs with eigenvalue greater than or equal to the observed eigenvalue; i.e.,
 $p = (1 + \text{no. permutations} \geq \text{observed}) / (1 + \text{no. permutations})$
 p is not reported for axes 2 and 3 because using a simple randomization test for these axes may bias the p values.

MONTE CARLO TEST RESULTS -- SPECIES-ENVIRONMENT CORRELATIONS

Axis	Real data Spp-Envr Corr.	Randomized data Monte Carlo test, 99 runs			p
		Mean	Minimum	Maximum	
1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.0300
2	1.000	1.000	1.000	1.000	
3	1.000	1.000	1.000	1.000	

p = proportion of randomized runs with species-environment correlation greater than or equal to the observed species-environment correlation; i.e.,
 $p = (1 + \text{no. permutations} \geq \text{observed}) / (1 + \text{no. permutations})$
 p is not reported for axes 2 and 3 because using a simple randomization test for these axes may bias the p values.

***** Operation completed *****