



Valutazione dello Stato di Qualità Ambientale del Reticolo Idrografico del Fiume Clitunno

Relazione finale

Dicembre 2007

arpa umbria

Gruppo di Lavoro	Contributi	Visto
<p>Attività laboratorio mobile - Capitoli 1, 2, 3, 4, 6 - Allegati A,B,C,D – Tavv. 1, 2, 3, 4, 5 – Docum. Fotografica relativa a scarichi ed attingimenti (coordinamento Dott. Mirko Nucci): Dott. Mirko Nucci ¹, Dott.ssa Sonia Renzi ¹, Dott. Michele Sbaragli ¹, Dott. Gianluca Brufola ¹</p> <p>Capitoli 5, 6 - Allegati E, F – Tavv. 6, 7, 8 – Docum. Fotografica relativa alle comunità macrofite (coordinamento Dott.ssa Linda Cingolani): Dott.ssa Fedra Charavgis ¹, Dott.ssa Tatiana Notargiacomo ²</p> <p>Capitolo 5, paragrafo 5.3: Dott. Massimo Lorenzoni ⁵</p> <p>Analisi di laboratorio: Dott.ssa Eugenia Peirone ³, Dott. Fabrizio Archinucci ³, Claudio Spaccini ³, Mauro De Luca ³, Dott.ssa Maria Grazia Raffa ³, Luca Falocci ³, Dott.ssa Elisabetta Ciccarelli ⁴, Dott.ssa Giovanna Tozzi ⁴, Dott.ssa Giuliana Taramella ⁴, Annarita Petrini ⁴</p> <p>¹ ARPA Umbria – Dipartimento Provinciale di Perugia ² ARPA Umbria – Direzione Generale ³ ARPA Umbria – Laboratorio Prov.le di Perugia – Sezione Chimica 2 ⁴ ARPA Umbria – Laboratorio Prov.le di Perugia – Sezione Biologica – Settore Eco-tossicologico ⁵ Università di Perugia – Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia</p>	<p>Dott.ssa Barbara Todini Geom. Luca Tamburi Dr. Roberto Crea Geom. Lorenzo Di Matteo Dott.ssa Oriana Paciotti Dott. Mauro Bulletti Dott.ssa Federica Rocchi Dott.ssa Daniela Colabrese Associazione ARCI Pesca F.I.S.A.</p>	<p>Dott. A. Micheli</p>

PARTE PRIMA

Introduzione	05
1. Il laboratorio mobile	07
2. Studio dei sedimenti	09
2.1 - Mappatura dei sedimenti fini	09
2.2 - Tossicità dei sedimenti	10
2.2.1 - Modalità di campionamento	12
2.2.2 - Metodi di analisi tossicologiche	12
2.2.3 - Analisi tossicologiche effettuate in campo	13
2.2.4 - Analisi tossicologiche effettuate in laboratorio	20
2.3 - Caratteristiche chimiche dei sedimenti	21
2.3.1 - Modalità di campionamento	21
2.3.2 - Caratterizzazione chimica	22
2.4 – Analisi statistica dei dati.....	30
2.4.1 – Distribuzione dei singoli elementi.....	30
2.4.2 – Analisi delle componenti principali.....	32
3. Mappatura degli scarichi	38
3.1 - Dati di partenza	38
3.2 - Modalità di rilevamento degli scarichi	39
3.3 – Monitoraggio degli scarichi attivi	41
3.3.1 – Test tossicologici	41
3.3.2 – Analisi chimiche	42
4. Mappatura degli attingimenti	46
5. Valutazione della qualità ecologica	48
5.1 – Studio delle comunità macrobentoniche	48
5.1.2 – Il metodo IBE	49
5.1.3 – Analisi dei dati	52
5.2 – Rilievo delle comunità a macrofite	57
5.2.1 – Analisi delle comunità a macrofite nel fiume Clitunno	59
5.3 – Rilievo della fauna ittica	63
5.3.1 – Metodi di campionamento	64
5.3.2 – Determinazione dell'età	65
5.3.3 – Densità e standing crop	66
5.3.4 – Indici di comunità	67
5.3.5 – Struttura di popolazione	68
5.3.6 – Analisi dei dati	69
5.4 – Applicazione dell'Indice di funzionalità fluviale (IFF) al fiume Clitunno	80
5.4.1 – Cenni storici e finalità dell'indice	80
5.4.2 – Il metodo IFF	81

5.4.3 – Analisi dei dati	83
6. Quadro riassuntivo	108
6.1 – Suggerimenti per il miglioramento della qualità ambientale	113
<i>Bibliografia</i>	117

PARTE SECONDA

- Allegato A** – Test ecotossicologici dei sedimenti effettuati in campo
- Allegato B** – Test ecotossicologici dei sedimenti effettuati in laboratorio
- Allegato C** – Analisi chimiche dei sedimenti
- Allegato D** – Test di tossicità e analisi chimiche effettuati sugli scarichi attivi
- Allegato E** – Schede di rilevamento IFF
- Allegato F** – Schede di rilevamento IBE e macrofite

PARTE TERZA

- Tavola 1** – Mappatura dei sedimenti fini
- Tavola 2** – Campionamento dei sedimenti per test tossicologici
- Tavola 3** – Campionamento dei sedimenti per caratterizzazione chimica
- Tavola 4** – Mappatura degli scarichi
- Tavola 5** – Mappatura degli attingimenti
- Tavola 6** – Rappresentazione cartografica dell'IFF
- Tavola 7** – Rappresentazione cartografica delle stazioni di campionamento IBE
- Tavola 8** – Rappresentazione cartografica delle stazioni di campionamento Macrofite

PARTE QUARTA

- Documentazione fotografica scarichi
- Documentazione fotografica attingimenti
- Documentazione fotografica comunità macrofitiche

Introduzione

In seguito all'incidente verificatosi il 25 novembre 2006 presso l'oleificio "Umbria Oli" di *Campello sul Clitunno*, Arpa Umbria è intervenuta per effettuare una serie di controlli sul reticolo idrografico del fiume *Clitunno*, direttamente interessato dall'evento, al fine di valutare l'entità dell'impatto sull'ecosistema acquatico.

Lo sversamento di olio e altre sostanze inquinanti, infatti, immettendosi pesantemente nell'affluente *Fossa Nuova*, ha raggiunto il fiume *Clitunno* in località *Chiesa Tonda*, per giungere fino alla località *Casco dell'Acqua*. L'inquinamento non ha interessato il primo tratto del fiume *Clitunno*.

Dopo i primi interventi volti alla rimozione delle sostanze oleose e dei solventi, si è proceduto alla verifica di eventuali contaminazioni delle acque superficiali e sotterranee.

Questo progetto è nato dalla necessità di definire il quadro ambientale del fiume *Clitunno* e dei suoi affluenti in seguito all'incidente, viste le singolari caratteristiche paesaggistiche, floristiche ed idrauliche dell'area in esame, soggetta da tempo a modificazioni strutturali e qualitative legate all'evoluzione del territorio.

Per definire il quadro ambientale si è operato su diversi fronti; innanzitutto, con l'ausilio del laboratorio mobile, sono state effettuate in campo, analisi ecotossicologiche e chimiche sui sedimenti fluviali. Parallelamente, si è proceduto alla mappatura degli scarichi recapitanti direttamente nel corso d'acqua, analizzandone, ove possibile, il chimismo.

La qualità ecologica del fiume è stata valutata attraverso indagini puntuali sulle componenti biologiche dell'ecosistema quali comunità macrobentoniche, macrofittiche e fauna ittica (il rilievo delle comunità ittiche è stato commissionato al Dipartimento di Biologia Animale ed Ecologia dell'Università degli Studi di Perugia). In aggiunta, lungo tutto il corso d'acqua, è stato effettuato uno studio di tipo idromorfologico finalizzato ad una valutazione globale dell'ecosistema fluviale e della sua funzionalità attraverso l'applicazione dell'Indice di Funzionalità Fluviale.

Con i dati raccolti sono state realizzate cartografie tematiche di dettaglio.

L'indagine è stata effettuata tenendo conto dei tre tratti del fiume *Clitunno* individuati nella fase preliminare a seguito dell'incidente avvenuto presso lo stabilimento *Umbria Oli*, come illustrato nello schema riportato nella pagina seguente.

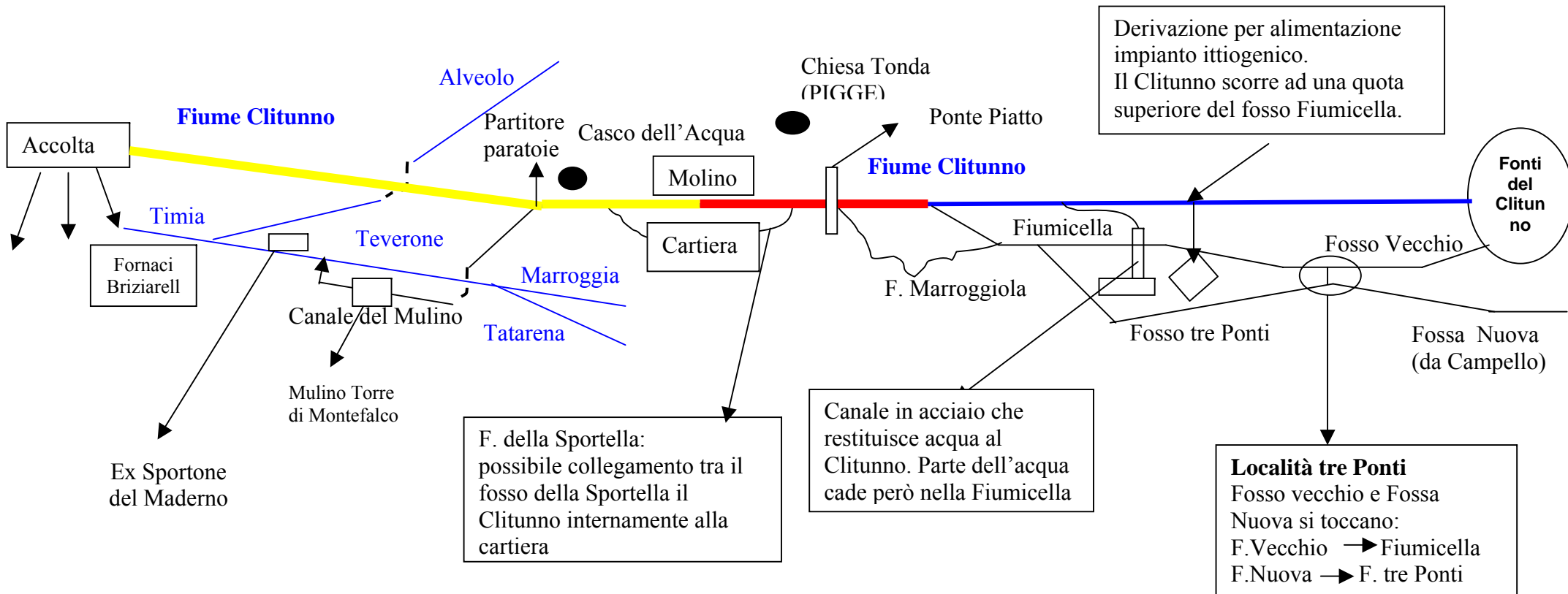
Questo studio, propedeutico ad eventuali azioni di controllo e risanamento dell'area, sarà esteso al sottobacino *Marroggia / Tattarena* nel primo semestre dell'anno 2008.



Area 1: tratto compreso tra le Fonti del Clitunno e la confluenza della Fiumicella, non interessato dallo sversamento

Area 2: tratto compreso tra la località Chiesa Tonda e il Molino Marani Brufani, direttamente interessato dallo sversamento

Area 3: tratto a valle del Molino Marani Brufani fino all'accolta di Bevagna. Pur non essendo stato direttamente interessato dall'evento, bloccato già al Molino, tale tratto potrebbe averne subito le conseguenze attraverso piccoli rilasci sfuggiti alle misure di protezione.



1

Il laboratorio mobile

La particolare complessità del progetto ha implicato l'utilizzo di un supporto logistico *in loco*, costituito dal laboratorio mobile di ARPA Umbria. Il mezzo, acquistato recentemente dall'Agenzia, è dotato di alcuni strumenti per l'effettuazione di analisi in campo; in particolare, è fornito di uno spettrofotometro, di un bioluminometro completo di termostato e di una centrifuga refrigerata, oltre ad alcuni strumenti portatili (torbidimetro, multimetro per la misura di pH, conducibilità e O.D.) e numerosi accessori da banco.



Fig. 1.1 – Particolari del laboratorio mobile utilizzato dall'Agenzia nel monitoraggio dei sedimenti fluviali e degli scarichi.

Lo scopo principale del laboratorio mobile è di rispondere prontamente alle emergenze ambientali, effettuando uno *screening* iniziale propedeutico, ove necessario, a studi di maggior dettaglio. Il laboratorio mobile consente di affrontare direttamente le problematiche ambientali in campo, diminuendo drasticamente i tempi di intervento e riducendo contestualmente il carico di lavoro dei laboratori provinciali dell'Agenzia.

Nel caso specifico, il laboratorio mobile è stato utilizzato per molteplici ragioni. Innanzitutto, la capacità di fornire un supporto logistico completo, vista la possibilità di ospitare attrezzature particolarmente voluminose e trasportare mezzi di supporto, come l'imbarcazione in vetroresina utilizzata per effettuare osservazioni direttamente dall'interno del corso d'acqua. Inoltre, la capacità di "decentrare" parte delle analisi chimiche in campo ha consentito una gestione più snella del lavoro, evitando lo stoccaggio e il trasporto dei campioni prelevati dagli scarichi attivi. Infine, le apparecchiature ospitate nel laboratorio mobile hanno consentito l'esecuzione di test di ecotossicità sulle acque interstiziali del sedimento, permettendo l'estensione del saggio ad un numero di

campioni notevolmente superiore a quelli testati, in forma più estesa (*Microtox*, *Daphnia magna* e *Selenastrum capricornutum*), dal laboratorio provinciale di Perugia (vedere paragrafo 2.2.4).

Studio dei sedimenti

2.1 Mappatura dei sedimenti fini

Quando un inquinante giunge in acqua, tende ad adsorbirsi parzialmente al particolato sospeso mentre la maggior parte resta disciolta; nel medio periodo, secondo le caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, tali sostanze tendono a depositarsi e ad accumularsi nel sedimento che rappresenta, pertanto, luogo di raccolta e sorgente della maggior parte del carico inquinante in ogni ecosistema acquatico.

La distribuzione dei sedimenti fluviali è determinata dalle caratteristiche idrauliche del fiume. I processi di trasporto e deposizione dei materiali solidi sono strettamente legati alle condizioni locali di energia. In particolare, la deposizione dei sedimenti in sospensione avviene quando l'acqua rallenta il suo movimento e le particelle solide, per gravità, si posano sul letto del fiume. Tale processo è selettivo e favorisce un'organizzazione geometrica del sedimento, creando strutture ordinate.

Il fiume *Clitunno*, traendo origine da acque sorgive, è caratterizzato da un regime di flusso piuttosto costante nel tempo, ove le portate relative alle fasi di magra e di morbida non presentano differenze sostanziali. In questo contesto, la distribuzione dei sedimenti a granulometria fine (limo-argillosi) è piuttosto disomogenea, ed è regolata dalle condizioni locali di flusso. In particolare, si è potuto riscontrare che nei tratti caratterizzati da una sezione bagnata ridotta, dove la velocità dell'acqua è maggiore, vi è l'assenza pressoché totale di tali sedimenti; laddove il corso del fiume si allarga e la velocità dell'acqua è minima, si hanno depositi limo-argillosi che possono superare abbondantemente il metro di spessore. Tra le due condizioni estreme vi sono vari stadi di transizione, ove i sedimenti fini possono assumere potenze intermedie.

Lo spessore di sedimenti fini è stato saggiato ogni 50 metri circa, infiggendo manualmente un'asta metallica graduata a sezione sottile fino al rifiuto. L'operazione è stata effettuata agendo dalle sponde e non dall'imbarcazione, in quanto la pressione esercitata sull'asta avrebbe causato, per reazione, la fuga del natante.

I dati ottenuti sono stati utilizzati per realizzare una carta tematica (vedere parte III - tavola 1), che mostra la presenza e lo spessore dei sedimenti fini lungo il corso del fiume *Clitunno* e dei suoi affluenti.

Il metodo utilizzato per sondare la coltre di sedimenti non può garantire l'esattezza delle misure. Ad esempio, la presenza di un ciottolo annegato nel sedimento può arrestare la penetrazione dell'asta metallica e fornire un risultato inesatto; il contatto dell'asta metallica con le ghiaie sottostanti, che costituiscono il letto del sedimento fine, viene valutato in base alla sensibilità dell'operatore e potrebbe essere erroneamente valutato. Inoltre, i saggi sono stati effettuati procedendo lungo le sponde e, di conseguenza, non sono rappresentativi dell'intera sezione trasversale. Pertanto, la carta illustra in modo approssimativo la distribuzione e lo spessore dei sedimenti fini e non può essere utilizzata, senza uno studio di dettaglio, come strumento esecutivo per eventuali interventi di rimozione.

2.2 – Tossicità dei sedimenti

La valutazione della tossicità dei sedimenti è argomento di difficile trattazione a causa della natura complessa della matrice da analizzare e delle molteplici vie di contaminazione con cui le sostanze tossiche raggiungono la comunità biotica dell'ecosistema.

Per queste ragioni, accanto alla caratterizzazione chimica dei sedimenti, i dati sulla tossicità, riferita complessivamente all'ecosistema fiume, forniscono uno strumento unico per la valutazione di tutte le sostanze presenti, per le quali non solo non si dispone di test specifici, ma soprattutto non è possibile prevedere gli effetti di eventuali interazioni.

Generalmente, nello scambio di sostanze con l'ecosistema, si considerano porzione attiva i pochi centimetri della parte superficiale del sedimento mentre i sedimenti più profondi rappresentano la parte inerte e passiva. Nelle analisi effettuate il principio seguito è stato quello di valutare la presenza ed il ruolo di eventuali sostanze tossiche o inquinanti; di conseguenza, la scelta della fase più appropriata da saggiare si è dimostrata uno dei punti di maggior rilevanza. Dal sedimento, infatti, è possibile utilizzare:

1. la fase estraibile acquosa o eluato: matrice ottenuta dalla rimozione delle sostanze adsorbite per mezzo di un flusso di solvente;

2. l'elutriato: fase liquida ottenuta dalla estrazione di particolato fine e sostanze solubili, mediante lavaggio, dalla matrice solida;
3. la fase acquosa interstiziale: costituita dalla cosiddetta acqua dei pori contenuta nel sedimento;
4. la fase solida-sedimento.

Nella valutazione del carico inquinante ognuna di queste fasi ha associati i propri punti di forza e debolezza, sulla base del metodo di estrazione, del comportamento fisico-chimico, della composizione chimica intrinseca e del ruolo diretto esercitato sul biota acquatico.

Nel caso in esame, ogni 250 metri sono stati prelevati campioni della porzione superficiale di sedimento, indicata come quella biologicamente più attiva; su tali campioni il laboratorio mobile ha preparato e successivamente analizzato, mediante saggi ecotossicologici con batteri bioluminescenti (*Vibrio fischeri*), l'acqua interstiziale.

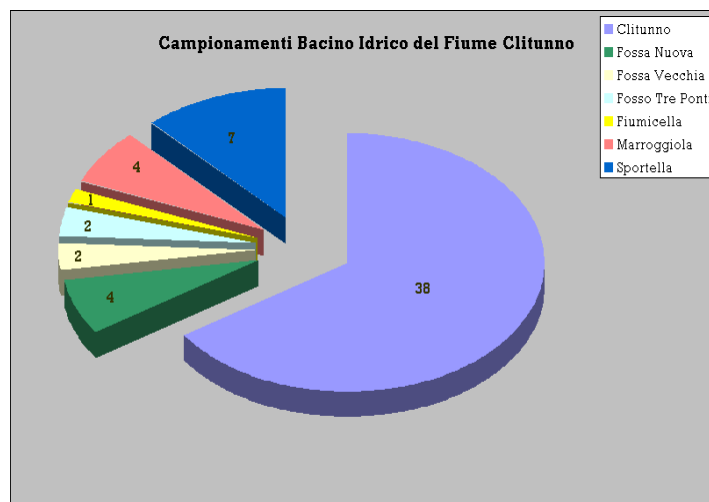


Fig. 2.2.1 – Distribuzione dei campionamenti effettuati per i test tossicologici nel reticolo fluviale del Clitunno.

In un reticolo più ampio, ogni 1000 metri circa, sono stati prelevati campioni superficiali di sedimento analizzati dal laboratorio Prov.le di Perugia; su tali campioni sono state effettuate prove di tossicità sull'elutriato utilizzando, secondo le procedure validate ed i metodi standard, gli organismi *Vibrio fischeri*, *Daphnia magna* e *Selenastrum capricornutum*.

2.2.1. Modalità di campionamento

Il processo di rimozione dei sedimenti è di per sé distruttivo in quanto ne comporta l'alterazione della struttura e delle caratteristiche chimico-fisiche. Nel progetto relativo all'analisi della rete idrica del *Clitunno* sono state seguite le linee guida relative alla raccolta, alla conservazione, alla caratterizzazione e alla manipolazione dei sedimenti in relazione al loro uso nei test ecotossicologici (Burton G.A. et al., 1992).

Per le analisi ecotossicologiche ci si è serviti dell'acqua interstiziale raccolta dai primi centimetri di sedimento e a tal proposito è stato sufficiente utilizzare un carotatore manuale leggero e maneggevole. Trattandosi di uno strumento di piccole dimensioni il suo impiego all'interno dell'imbarcazione è risultato estremamente efficace.

Per quanto riguarda i campioni di sedimento destinati alla caratterizzazione chimica, è stato utilizzato uno strumento più complesso in grado di prelevare campioni minimamente disturbati.

Infatti, uno dei principali problemi nel campionamento dei suoli sommersi è costituito dalla difficoltà di ottenere campioni che siano rappresentativi dell'originaria stratificazione del suolo; a tale scopo è stato acquistato un campionatore Beeker a pistone.

L'adozione di un carotatore a pistone ha consentito, rispetto a quelli a trivella, di evitare la compressione del campione; il compattamento rilevato con il Beeker raggiunge nominalmente un massimo del 4-5% contro il 30% di quello riscontrato con i sistemi tradizionali.

Questo strumento permette il prelievo di campioni di sedimento in cui vengono preservati la struttura e lo spessore originale degli strati: la porzione di suolo è raccolta in tubi trasparenti di materiale inerte e mantenuta nella posizione originale per un'immediata analisi visiva del profilo. Mediante una pompa a vuoto portatile è stato possibile mantenere il campione intatto durante il trasporto, fino al momento dello stoccaggio.

2.2.2. Metodi di analisi tossicologiche

Le specie di organismi impiegate nell'esecuzione dei saggi biologici devono possedere caratteristiche peculiari quali sensibilità alle sostanze tossiche, breve ciclo vitale, *endpoints* di facile interpretazione. Inoltre, qualora si proceda ad analisi approfondite sull'intero ecosistema, è

auspicabile utilizzare una batteria di test differenti costituita da organismi rappresentativi dei diversi livelli evolutivi, degli stadi vitali, degli habitat e in generale della catena trofica.

Le metodiche tossicologiche sono utilizzate per la determinazione e la valutazione degli effetti tossici acuti e cronici esercitati da matrici ambientali.

L'effetto tossico acuto si evidenzia in un lasso di tempo breve e, comunque, inferiore al tempo di generazione dell'organismo in esame, e prevede la valutazione di endpoints facilmente evidenziabili quali, ad esempio, l'immobilizzazione o la morte degli organismi impiegati. Tali metodiche rappresentano lo strumento d'elezione per saggi di screening e per le emergenze ambientali poiché i risultati sono ottenibili in pochi minuti.

L'effetto tossico cronico si sviluppa, viceversa, in un periodo di tempo più elevato, può coinvolgere più generazioni di individui esposti e produce risposte che non compromettono la sopravvivenza degli organismi. In questo tipo di saggi si possono utilizzare batterie di specie differenti in modo da ottenere informazioni sul carico inquinante a livello dell'intera catena trofica.

Il test con batteri bioluminescenti *Vibrio fischeri*, grazie all'ampio spettro di sensibilità a diversi composti sia organici che inorganici è consigliato dall'EPA per valutare l'impatto degli inquinanti del suolo delle matrici acquose e la prova è recepita in Italia con il seguente riferimento normativo: IRSA-CNR, 1996, giugno 1996: 1-8.

La prova si basa sulla riduzione dell'emissione luminosa da parte dei batteri sottoposti a contatto con una sostanza che risulta tossica. Si tratta di un vero e proprio test metabolico in cui la sospensione batterica è utilizzata come organismo bersaglio.

I dati ottenuti dal test vengono espressi come percentuale di decremento della luminosità batterica dopo un tempo fissato di esposizione alla matrice da saggiare. Nei test di tossicità acuta il risultati sono ottenuti in tempi brevi, dai 5 ai 30 minuti.

2.2.3 Analisi tossicologiche effettuate in campo

Il grande sviluppo che negli anni passati ha avuto la valutazione ecotossicologica dei contaminanti in acqua, ha permesso di sviluppare un metodo in campo che utilizza l'acqua interstiziale come substrato del test di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*. In questo modo è stato possibile effettuare le analisi in campo nel minor tempo possibile senza inficiare l'accuratezza e la sensibilità del metodo stesso.

L'utilizzo dell'acqua interstiziale offre molteplici vantaggi rispetto a quelli effettuati sulla porzione totale di sedimento: in particolare, utilizzandola in test di inibizione di bioluminescenza non vi sono interferenze dovute al campione, quali particolato in sospensione che potrebbe interferire con la biodisponibilità delle sostanze presenti in soluzione; inoltre, possono essere effettuate diluizioni del campione in modo da abbassare la concentrazione iniziale dell'estratto "tal quale". Questo è stato un punto essenziale del metodo proposto poiché le serie di diluizioni saggate hanno permesso di riprodurre quanto avviene nell'ambiente circostante. In base ai principi di fugacità, tanto più ci si allontana dal sedimento tanto più bassa sarà la concentrazione degli agenti tossici. Poiché presumibilmente la diffusione all'interfaccia sedimento-acqua è lenta, effettuare il saggio su differenti diluizioni suggerisce fin dove il sedimento influenza la qualità dell'acqua circostante.

E' indubbio quindi che questa matrice, per quanto di difficile caratterizzazione e composizione chimica, risulta di estremo interesse perché implicata nell'esposizione ai contaminanti degli organismi che vivono a stretto contatto con il sedimento. E' da sottolineare come l'acqua interstiziale (*pore water*) ha mostrato, non solo nel nostro caso ma in tutta la letteratura, una maggiore o eguale tossicità rispetto al sedimento tal quale.

I metodi ad oggi impiegati per il maggior recupero dell'acqua interstiziale dai sedimenti sono la pressione e la centrifugazione. Quest'ultima risulta però essere la migliore sia dal punto di vista quantitativo che qualitativo; pertanto la metodica messa a punto ha previsto come prima fase la centrifugazione del sedimento a 13.000 g per 5 minuti a 4° C. Il sovratanante è stato recuperato e ne sono stati misurati pH e conducibilità.

Tra i molti saggi biologici che sono stati sviluppati negli ultimi anni il saggio di inibizione di bioluminescenza con *Vibrio fischeri* risulta di gran lunga il più sensibile, semplice da effettuare, economico e riproducibile. Il laboratorio mobile ha utilizzato il kit commerciale della Hach-Lange con batteri bioluminescenti *Vibrio fischeri* (LCK 490); per il mantenimento e l'utilizzo delle cellule sono state seguite le linee guida del protocollo fornito dal rivenditore. Il test di tossicità acuta è stato condotto a 15°C e le letture di intensità luminosa sono state effettuate a differenti tempi di incubazione (15, 30 e 45 minuti).

A differenza di quanto suggerito dal protocollo, i risultati a 5 minuti di incubazione non sono stati riportati; sperimentalmente abbiamo evidenziato l'inconsistenza delle letture: è plausibile che in questo breve arco di tempo il sistema cellule-acqua interstiziale non sia stabile e quindi non rappresentativo.

L'inibizione dell'intensità luminosa è stata misurata per mezzo di un luminometro in grado di leggere la radiazione a 430 nm emessa dai batteri; il decremento di intensità luminosa pari al 20%

rispetto al controllo (sospensione batterica in soluzione salina al 2%) è stato usato come soglia per definire la presenza di tossicità; valori indicanti il 20% di aumento di luminescenza rappresentano una presenza di agenti stimolanti.

Nel testo, al fine di offrire una maggior fruibilità dei risultati ottenuti, abbiamo deciso di riportare i dati dell'ecotossicologia sotto forma di "livelli", che indicano la presenza o l'assenza di tossicità e l'eventuale presenza di agenti stimolanti. Per la trattazione dei dati numerici rimandiamo all'Allegato A.

Analizzando campioni di acqua dolce è stato necessario correggere la salinità degli stessi al 2%. Tale soluzione riproduce le condizioni fisiologiche e di pressione osmotica minima del batterio. Contestualmente, sono state analizzate soluzioni di acqua interstiziale al 20% di saccarosio. Tale accorgimento ha potuto escludere la presenza di "falsi negativi": il cloruro di sodio può legare i metalli e/o l'ammoniaca sottraendoli alla bidisponibilità dell'organismo; pertanto, il confronto con i dati ottenuti per le soluzioni di saccarosio, che risultano fisiologicamente osmo-molari per le cellule batteriche, hanno fornito un'ulteriore misura di confronto. La conferma sperimentale è evidenziata dai dati ottenuti.

La metodica messa a punto prevede anche un cosiddetto "controllo positivo": per verificare che vi fosse proporzionalità diretta tra aumento di tossicità della soluzione e decremento dell'intensità luminosa, ogni aliquota di batteri è stata saggiata con soluzioni scalari di ZnSO₄, seguendo le indicazioni riportate nei certificati di qualità del rivenditore.

Nelle tabelle successive sono riportati i risultati delle analisi tossicologiche dei corsi d'acqua costituenti il reticolo idrografico del fiume *Clitunno*.

Campione	Località	Livello di tossicità	Tratto del Fiume
CLT 1	Fonti del Clitunno	Tossico	I
CLT 2	Fonti del Clitunno	Tossico	I
CLT 3	Fonti del Clitunno	Tossico	I
CLT 4	Tre Ponti	Tossico	I
CLT 5	Tre Ponti	Tossico	I
CLT 6	Pissignano	Tossico	I
CLT 7	Pissignano	Non tossico	I
CLT 8	Pissignano	Non tossico	I
CLT 9*	Pissignano	Effetto stimolante in soluz. salina Debolmente Tossico in saccarosio	I
CLT 10	Chiesa Tonda	Presenza Stimolanti	II
CLT 11	Choesa Tonda	Tossico	II

CLT 12	Pigge	Tossico	II
CLT 13	Bovara	Tossico	II
CLT 14	Bovara	Tossico	II
CLT 15	Faustana-Cartiera	Tossico	II
CLT 16	Faustana-molino Marani	Non tossico	II
CLT 17	Borgo Trevi	Non tossico	II
CLT 18	Borgo Trevi	Tossico	II
CLT 19	Borgo Trevi	Non tossico	II
CLT 20	S.Maria Pietra Rossa	Non tossico	III
CLT 21	S.Maria Pietra Rossa	Non tossico	III
.CLT 22	S.Maria Pietra Rossa	Non tossico	III
CLT 23	-	Tossico	III
CLT 24	Casa del Suffragio	Non tossico	III
CLT 25	Casco dell'Acqua	Tossico	III
CLT 26	Casco dell'Acqua	Tossico	III
CLT 27	Casco dell'Acqua	Tossico	III
CLT 28	Casevecchie	Tossico	III
CLT 29	Torre di Montefalco	Non tossico	III
CLT 30	Torre di Montefalco	Non tossico	III
CLT 31	Torre di Montefalco	Non tossico	III
CLT 32	-	Non tossico	III
CLT 33	Sportone Maderno	Tossico	III
CLT 34**	Voc.pian dei molini	Non tossico	III
CLT 35	Bevagna	Tossico	III
CLT 36	Bevagna	Tossico	III
CLT 37	Bevagna	Tossico	III
CLT 38	Bevagna	Tossico	III

Tab. 2.2.3.1 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti del fiume Clitunno.

Dalla tabella risulta che il 60,5% dei campioni di sedimento dell'asta principale del *Clitunno* risulta tossica.

Dai dati riportati in allegato A si nota come in due casi particolari sia stato dirimente l'utilizzo di diluizioni in NaCl e la verifica con saccarosio al 20%. Per quel che concerne il campione CLT9 raccolto nei pressi di *Pissignano* l'analisi dei dati suggerisce un'interferenza del NaCl con qualche componente chimico. Come riportato nel testo, il saggio con campioni al 20% di saccarosio tenderebbero ad escludere l'effetto stimolante in favore di una debole tossicità.

Nel caso del campione CLT 34 prelevato in Vocabolo *Pian dei Molini-Bevagna*, i dati mostrano un aumento della tossicità in corrispondenza delle diluizioni effettuate. Non potendo definire la composizione chimica dettagliata della soluzione, si può ragionevolmente supporre che tale effetto possa essere dovuto sia alle diluizioni che potrebbero rendere maggiormente biodisponibili sostanze tossiche, sia alle variazioni del pH.

La figura 2.2.3.1 mostra la situazione delle tre porzioni dell'asta principale del *Clitunno*. Nel primo tratto, che si estende dalle *Fonti del Clitunno* a *Pissignano*, si riscontrano campioni tossici per l'88% dei casi, di cui l'11% altamente tossici. Questo dato, per quanto inaspettato in quanto relativo al tratto iniziale del fiume, invita alla riflessione sulla situazione pregressa che il *Clitunno* ha subito nel corso dei decenni.

Il tratto centrale del fiume, che si estende tra *Pissignano* e *Borgo Trevi*, presenta l'85% dei campioni tossici e il 14% con effetto stimolante. Senza poter imputare responsabilità di alcun genere, va sottolineato che tale tratto è caratterizzato da una forte urbanizzazione e dalla presenza di attività agricole e produttive. Nel tratto finale la situazione tende a migliorare, presentando una percentuale di tossicità di poco superiore al 50% dei campioni.

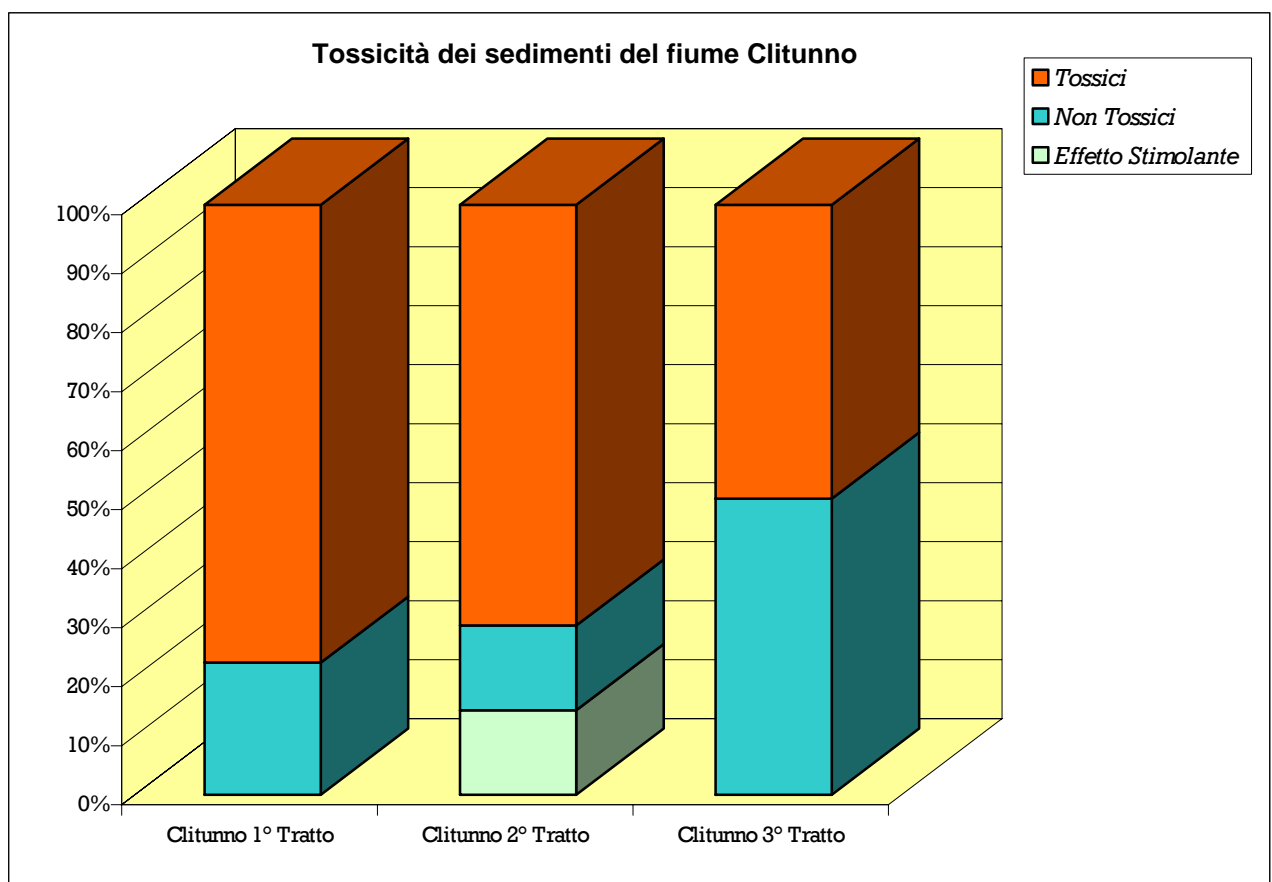


Fig. 2.2.3.1 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti nei diversi tratti del fiume Clitunno.

Come si evince dalla figura 2.2.3.2., i livelli di tossicità in funzione della distanza dalle *Fonti del Clitunno* presentano un andamento altalenante. Questo potrebbe essere giustificato in quanto l'idraulica del fiume determina il luogo ove si accumulano i sedimenti, i quali si addensano non

solo nel luogo di contaminazione, ma si depositano in base all'effetto della corrente e alla morfologia dell'alveo.

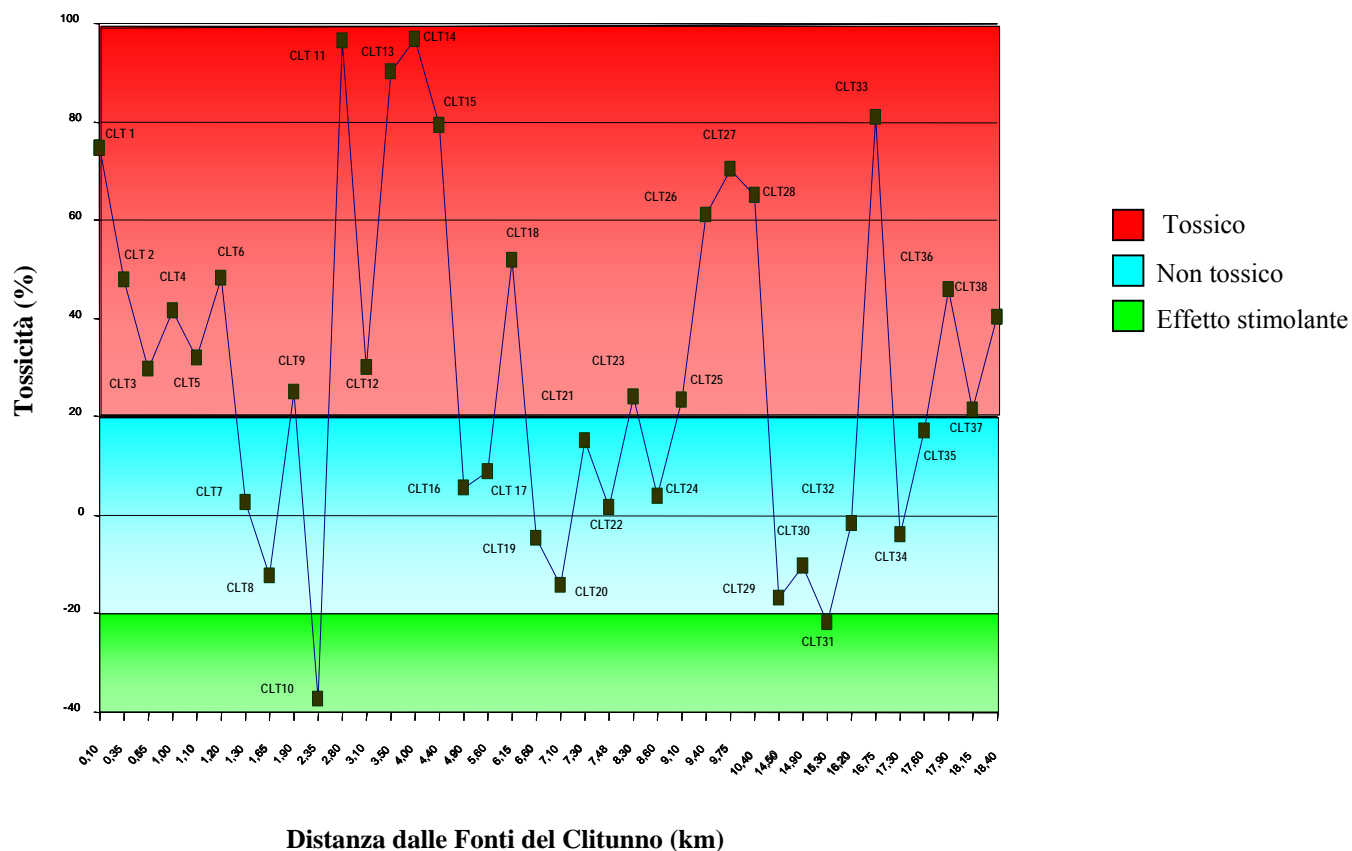


Fig. 2.2.3.2 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti nei diversi tratti del fiume Clitunno.

Per quanto riguarda la tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti prelevati negli affluenti del fiume *Clitunno*, non è stata evidenziata la stessa criticità.

Campione	Località	Livello di Tossicità
FSV-1	Pissignano basso	Non tossico
FSV-2	Pissignano basso	Non tossico
FSN-1	Pissignano basso	Non tossico
FSN-2	Pissignano basso	Non tossico
FSN-3	Pissignano basso	Effetto stimolante
FSN-4	Pissignano basso	Non tossico
FMC-1		Non tossico in soluzione salina - Tossico in saccarosio
FTP-1	Tre Ponti	Non tossico
FTP-2	Tre Ponti	Non tossico

ML-1	Pissignano-Bovara	Non tossico
ML-2	Pissignano-Bovara	Agenti stimolanti
ML-3	Pissignano-Bovara	Agenti stimolanti
ML-4	Pissignano-Bovara	Debolmente tossico
SP-1	Bovara	Non tossico
SP-2	Bovara	Debolmente tossico
SP-3	Faustana-Bovara	Non tossico
SP-4	Faustana	Non tossico
SP-5	Borgo Trevi	Non tossico
SP-6	Borgo Trevi	Non tossico
SP-7	Pietra Rossa	Agenti stimolanti

Tab. 2.2.3.2 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti prelevati negli affluenti del fiume Clitunno (FSV-Fossa Vecchia, FSN-Fossa Nuova, FMC-Fosso della Fiumicella, FTP-Fosso dei Tre Ponti, ML-Fosso Marrogiola, SP-Fosso della Sportella).

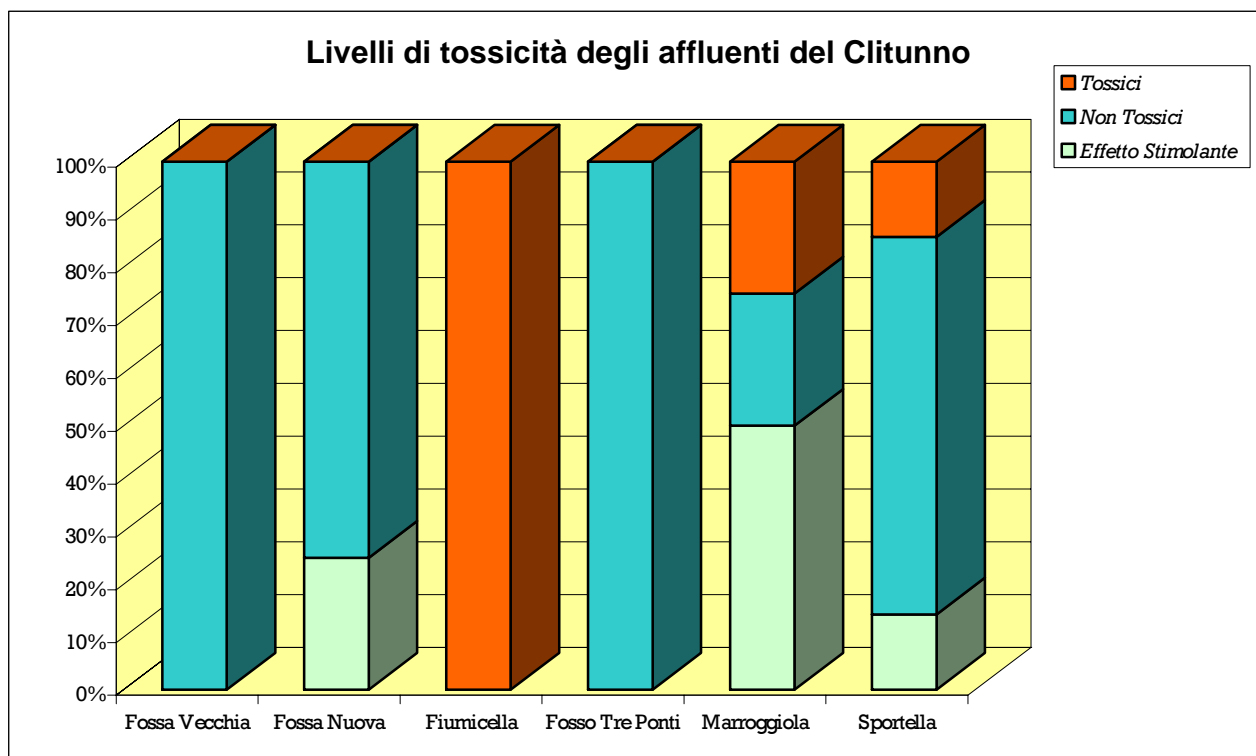


Fig. 2.2.3.3 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti negli affluenti del fiume Clitunno.

2.2.4. Analisi tossicologiche effettuate in laboratorio

Il Laboratorio del Dipartimento Provinciale di Perugia ha effettuato saggi ecotossicologici sull'elutriato estratto dai sedimenti.

I test ecotossicologici sono stati condotti con organismi che appartengono a tre diversi gruppi tassonomici con diverse caratteristiche trofiche ed una diversa sensibilità agli inquinanti: *Selenastrum capricornutum* (alga verde), *Daphnia magna* (crostaceo d'acqua dolce) e *Vibrio fischeri* (batterio bioluminescente).

I metodi utilizzati sono i seguenti:

- **Saggio di tossicità acuta con *Daphnia magna*:** metodo 8020B APAT IRSA-CNR (2003)
- **Saggio di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*:** metodo interno, riferimenti metodo 8030 APAT IRSA-CNR (2003), manuale Microtox mod. 500 (1995).
- **Prova di inibizione della crescita algale con *Selenastrum capricornutum*:** metodo interno riferimenti Metodo EPA 1003.0 (1994) – Short-Term Methods For Estimating the Chronic Toxicity of Effluents and Receiving Water to Freshwater Organisms. Standard Methods (1998) 20th Edition. ARPAT (1998). Metodologia di saggio algale per il controllo dei corpi idrici e delle acque di scarico.

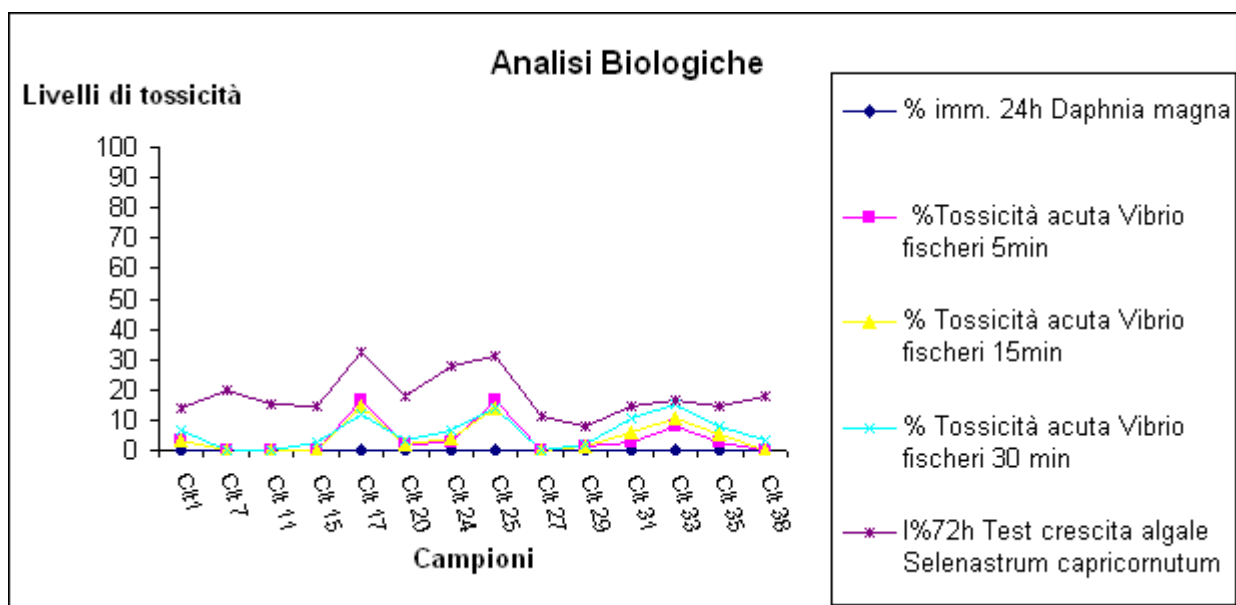


Fig. 2.2.4.1 – Analisi del Laboratorio Provinciale di Perugia : livelli di tossicità dei sedimenti del fiume Clitunno.

Né il saggio con il crostaceo *Daphnia magna*, né i saggi Microtox (batteri bioluminescenti), effettuati dal laboratorio provinciale di Perugia, hanno evidenziato livelli di tossicità per i sedimenti del fiume *Clitunno*. Solo il test di crescita algale ha fornito indici di tossicità. Pur trattandosi di test differenti si nota come quest'ultimo organismo, nelle metodiche utilizzate, si sia dimostrato più sensibile agli agenti tossici.

E' plausibile che non possano essere effettuate correlazioni consistenti tra la tossicità relativa a saggi effettuati con acque interstiziali ed elutriati a causa della molteplice varietà di processi chimici, fisici, biologici coinvolti nelle differenti fasi. Da ciò deriva la discrepanza dei dati ottenuti dal laboratorio mobile e dal laboratorio di Perugia che è da imputare alla differente sensibilità degli organismi impiegati ai diversi substrati utilizzati nei test (elutriato ed acqua interstiziale).

2.3. Caratteristiche chimiche dei sedimenti

2.3.1. Modalità di campionamento

Per avere una visione più approfondita dello stato ambientale del fiume *Clitunno*, accanto alle analisi biologiche è stata effettuata una caratterizzazione chimica dei sedimenti.

Sono stati raccolti, per mezzo del campionatore Beeker, porzioni profonde di sedimento in grado, non solo di rappresentare l'impatto di eventuali inquinanti a seguito delle recenti emergenze ambientali, ma anche di descriverne il pregresso.

I campioni sono stati prelevati ogni 1000 metri negli stessi punti in cui sono stati effettuati i test tossicologici al fine di poter sovrapporre i dati ed effettuare una valutazione completa degli eventuali fenomeni inquinanti.

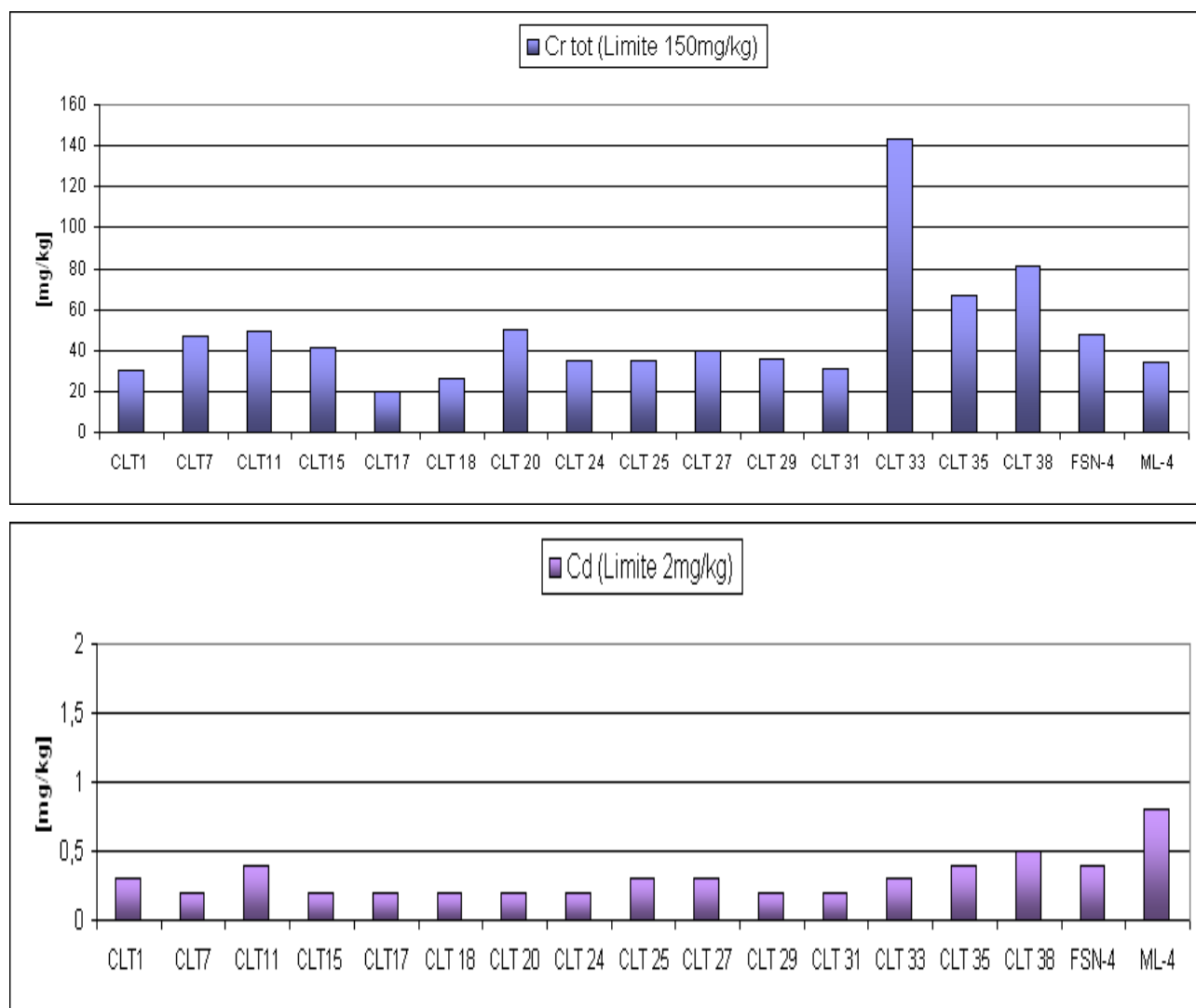
Le carote sono state suddivise in segmenti di 20 cm l'uno in modo da poter confrontare la composizione chimica del livello superficiale, quello biologicamente più attivo su cui sono stati effettuati tutti i test biologici, con quella degli strati più profondi.

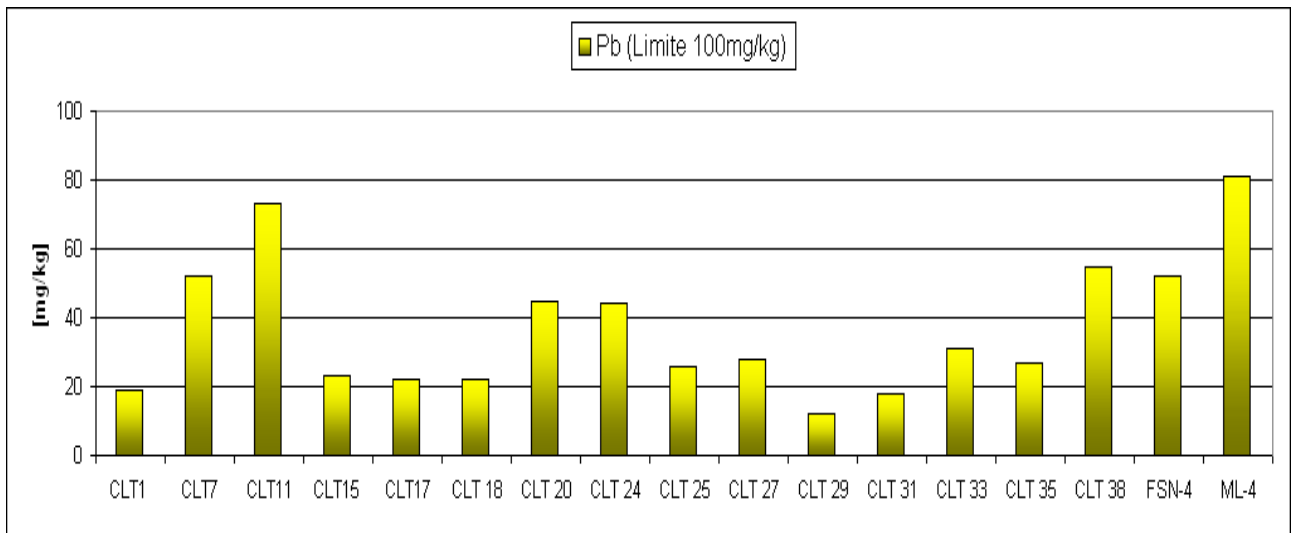
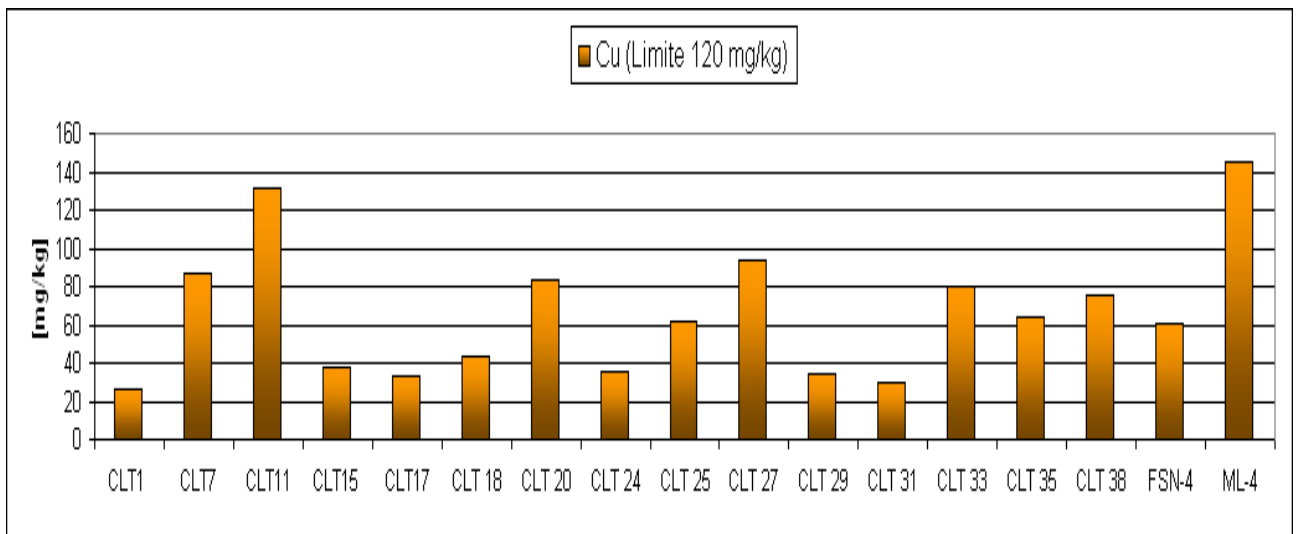
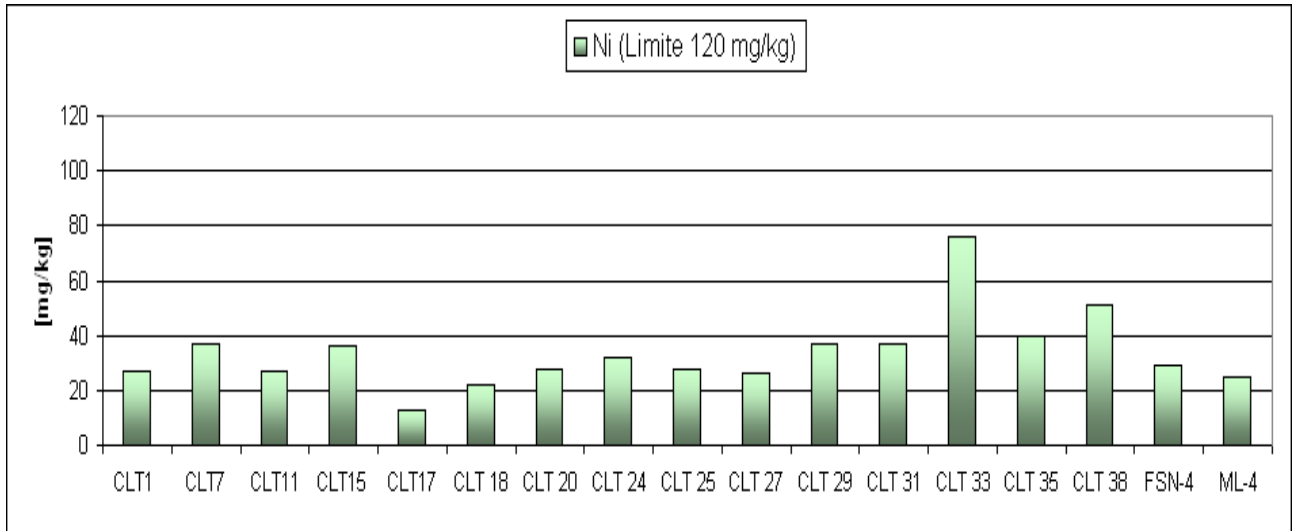
Le sezioni verticali sono state preparate in campo e conservate in recipienti di materiale inerte a 4°C. Le analisi di laboratorio sono state eseguite dal laboratorio Provinciale di Perugia.

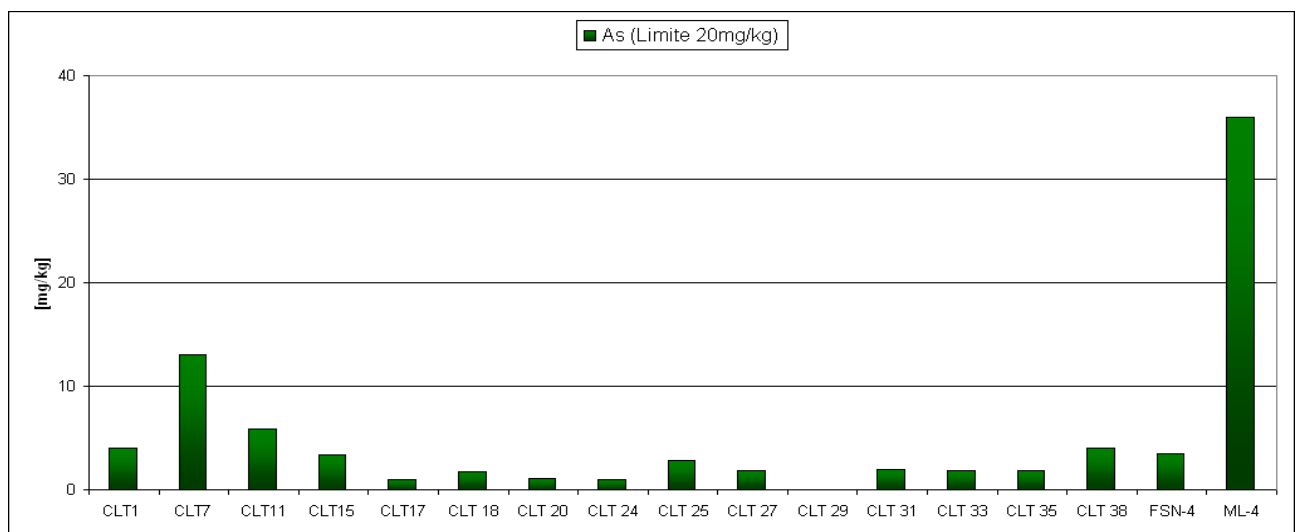
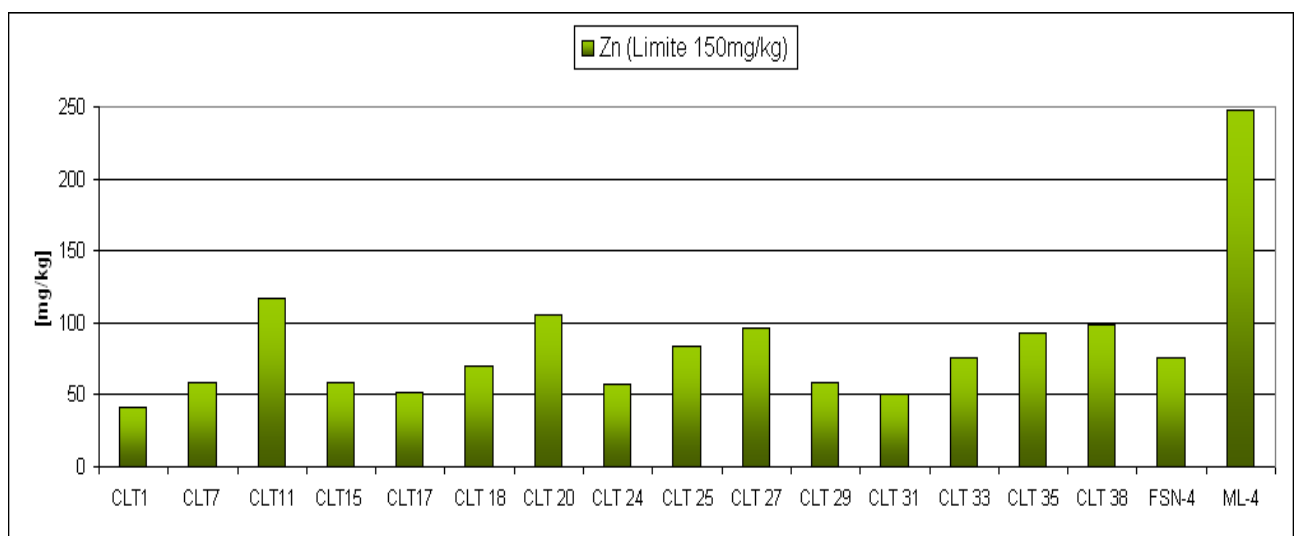
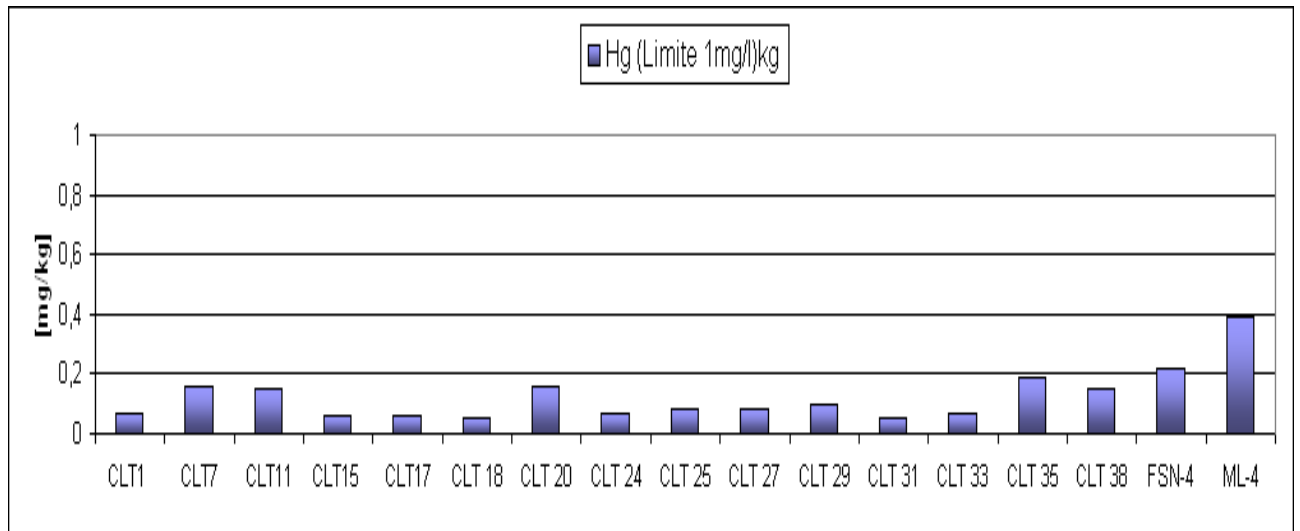
2.3.2. Caratterizzazione chimica

I parametri analizzati sono stati scelti in base alle caratteristiche dell'area e delle attività produttive presenti: pertanto, accanto ai metalli pesanti sono state valutate la presenza di derivati del benzene e degli idrocarburi nonché quella di solventi organici (utilizzati nei processi industriali degli oleifici). Di seguito riportiamo i dati relativi alla composizione chimica della porzione superficiale dei sedimenti.

I limiti di concentrazione indicati in fig. 2.3.2.1 sono riferite alla tabella 1 dell'allegato 5 al Titolo V del DLgs. 152/06 relativa a: "Concentrazioni soglia di contaminazione del suolo e del sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare". Va sottolineato che l'attuale legislazione non fissa limiti soglia di concentrazione di contaminanti per i sedimenti fluviali.







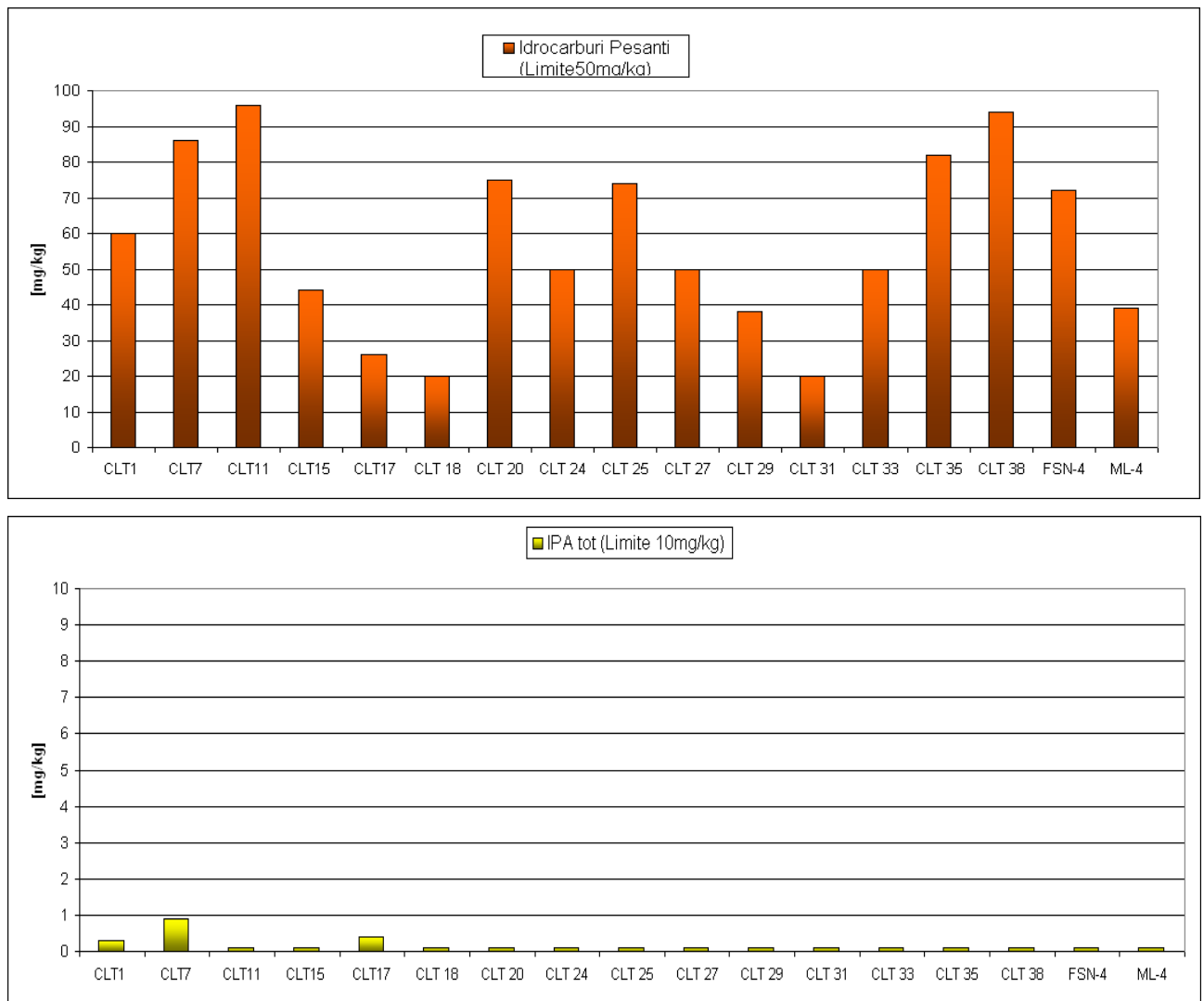


Fig. 2.3.2.1 – Concentrazioni di metalli, Idrocarburi pesanti ed IPA riscontrate nella porzione superficiale dei sedimenti.

I dati riferiti all'asta principale del *Clitunno* mostrano chiaramente che non vi sono particolari criticità relative alla presenza di metalli pesanti, ad eccezione del campione denominato CLT11 prelevato in località *Chiesa Tonda*, che presenta concentrazioni di rame superiori a 120 mg/kg.

Per quanto riguarda gli idrocarburi pesanti, abbiamo una percentuale di campioni del 50% circa, distribuiti in tutto il corso d'acqua, che supera i 50 mg/kg. Tuttavia, avendo riscontrato la presenza di idrocarburi pesanti anche in prossimità delle *Fonti del Clitunno*, ove l'impatto antropico è decisamente limitato, possiamo ipotizzare che tali sostanze possano avere anche un'origine naturale, dovuta alla decomposizione di sostanza organica vegetale (Medeirosa et al., 2005).

Differente è la situazione dell'affluente *Marrogiola* nel quale sono stati riscontrati per tre specie chimiche (rame, arsenico e zinco) valori che superano i limiti utilizzati come riferimento. Pur rimanendo incerta l'origine di questi elementi è da notare che a valle della confluenza con il

Marrogiola in località Chiesa Tonda (CLT 11) la concentrazione dei metalli in questione tende ad aumentare anche nel fiume *Clitunno*: in particolare la concentrazione di rame supera il valore soglia riportato nel DLgs.152/06.

Di seguito, in figura, è riportata la distribuzione delle specie chimiche nei sedimenti. In particolare nei prelievi presso *Chiesa Tonda* (CLT 11), *S.Maria Pietra Rossa* (CLT20) e *Casco dell'acqua* (CLT27), si riscontrano contemporaneamente picchi di concentrazione di cromo, rame piombo e zinco; questi metalli sembrano avere la stessa distribuzione all'interno del sedimento.

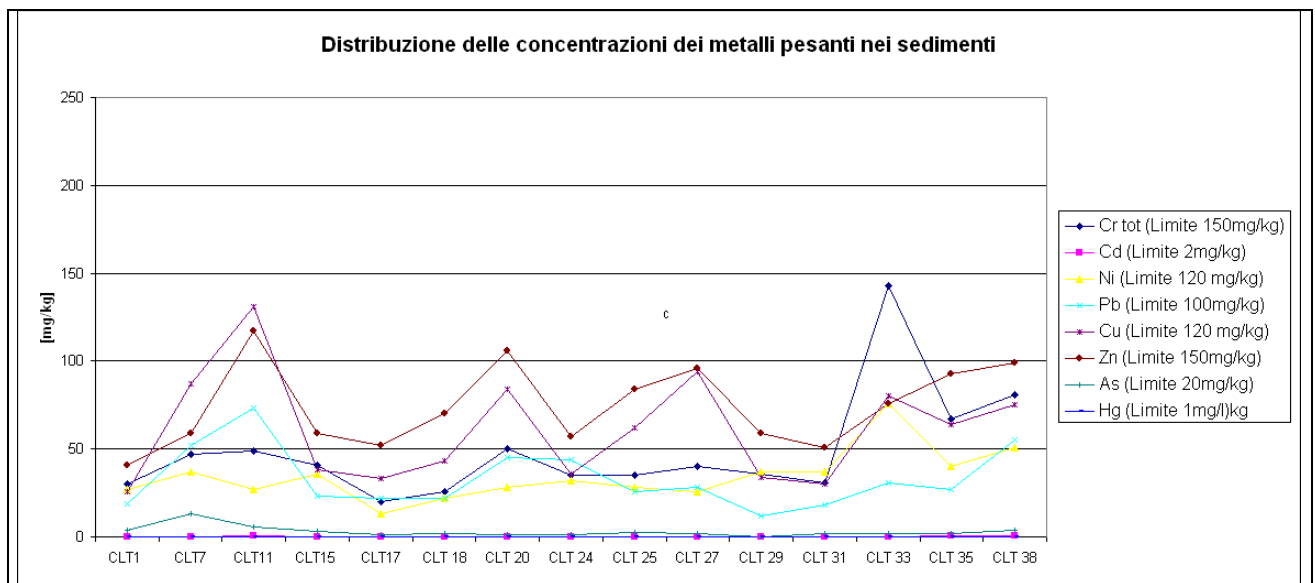


Fig. 2.3.2.2 - Distribuzione delle specie di metalli pesanti nei sedimenti

Di seguito riportiamo gli istogrammi delle carote per le quali è stato possibile effettuare la caratterizzazione chimica fino ad 80 cm di profondità. In generale la porzione superficiale dei sedimenti presenta le maggiori concentrazioni delle sostanze presenti. Si nota che nelle porzioni più profonde, in linea di massima, le concentrazioni di metalli e di idrocarburi tendono a diminuire.

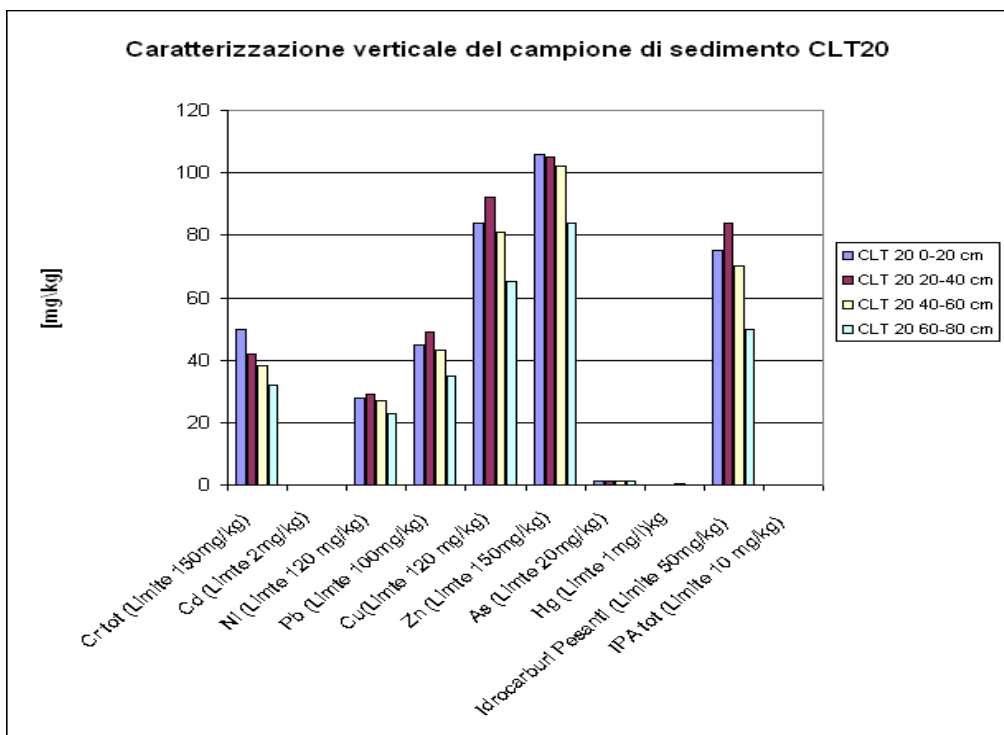


Fig. 2.3.2.3 - Nella porzione di sedimenti in località *S.Maria Pietra Rossa* le concentrazioni di metalli seguono una pendenza negativa. Le porzioni superficiali contengono la maggior quantità di sostanze presenti.

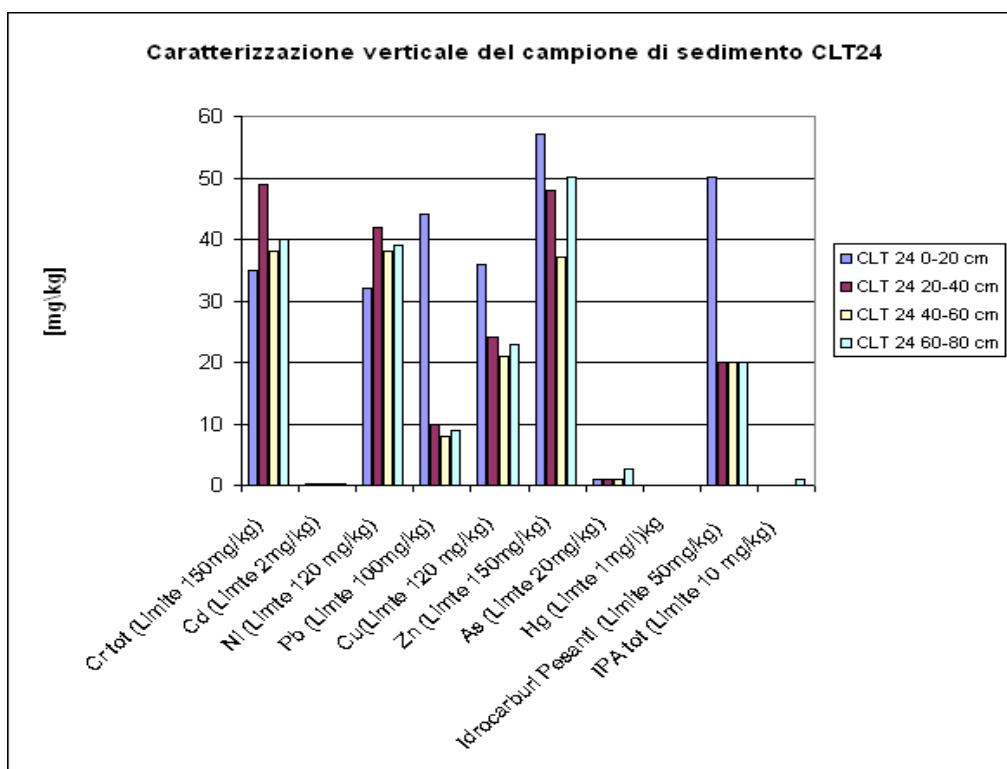


Fig. 2.3.2.4 - In località *Casa del suffragio-Casco dell'acqua* la porzione superficiale dei sedimenti è la più significativa per la distribuzione dei metalli pesanti e degli idrocarburi.

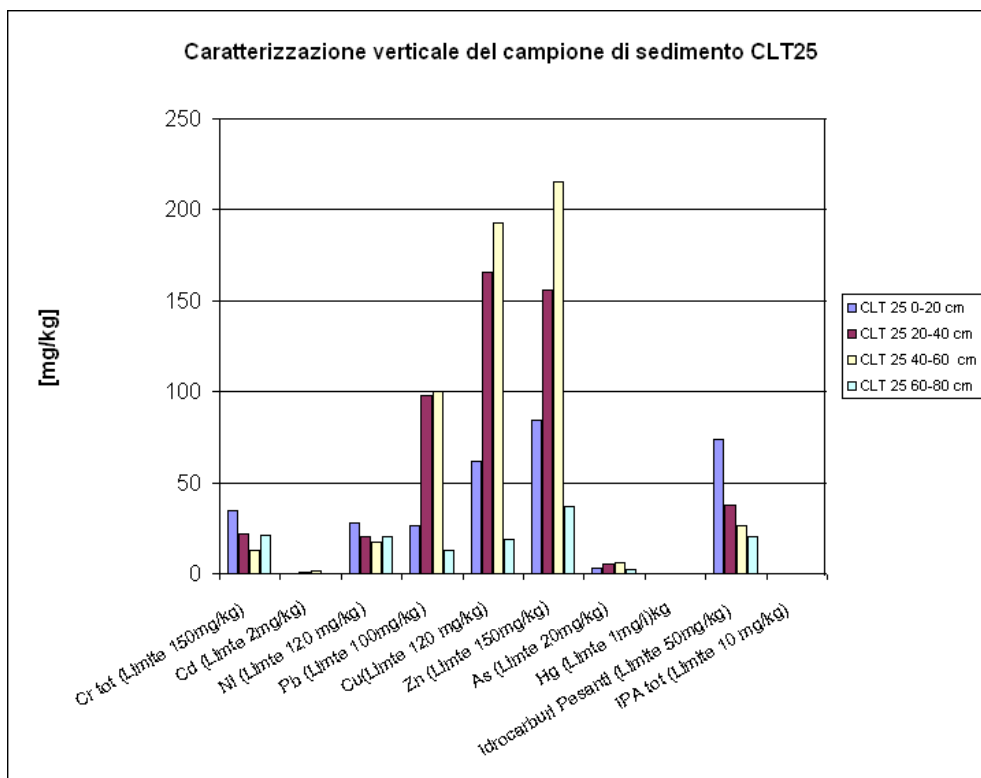


Fig. 2.3.2.5 - Nel campione prelevato a *Casco dell'acqua* si notano concentrazioni maggiori di zinco e rame nelle porzioni centrali di sedimento. E' da notare che per gli altri elementi la porzione superficiale resta comunque la più rappresentativa.

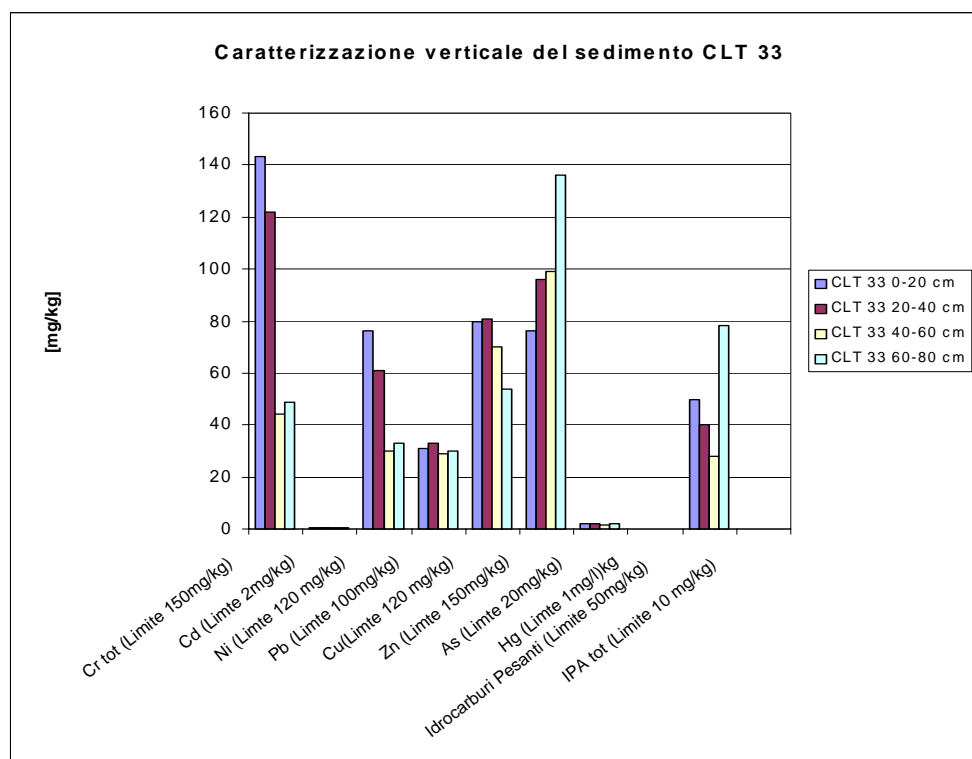


Fig. 2.3.2.6 - Il campione di sedimenti prelevato presso località *Sportone di Maderno-Bevagna* presenta la distribuzione di metalli pesanti concentrata nella porzione superficiale. Eccezione, insieme agli idrocarburi pesanti, è rappresentata dallo zinco.

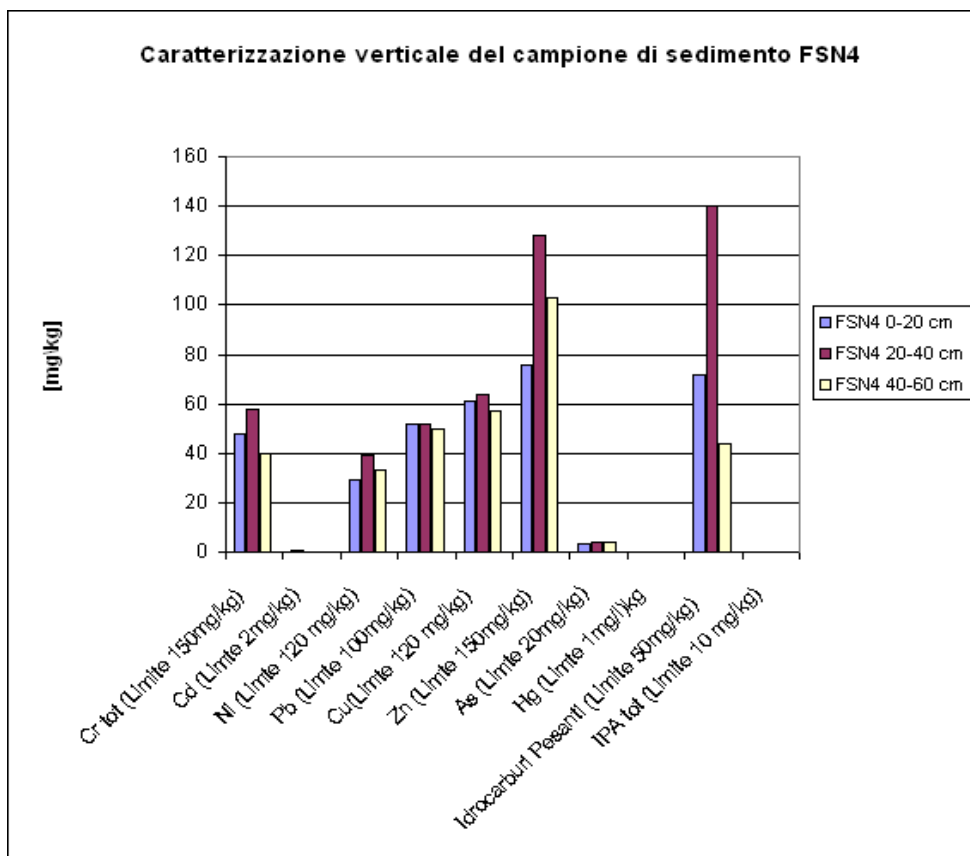


Fig. 2.3.2.7 - Composizione chimica del campione di sedimenti prelevato nel fosso della *Fiumicella*. Le sostanze presenti sono concentrate nella porzione compresa tra 20 e 40 cm.

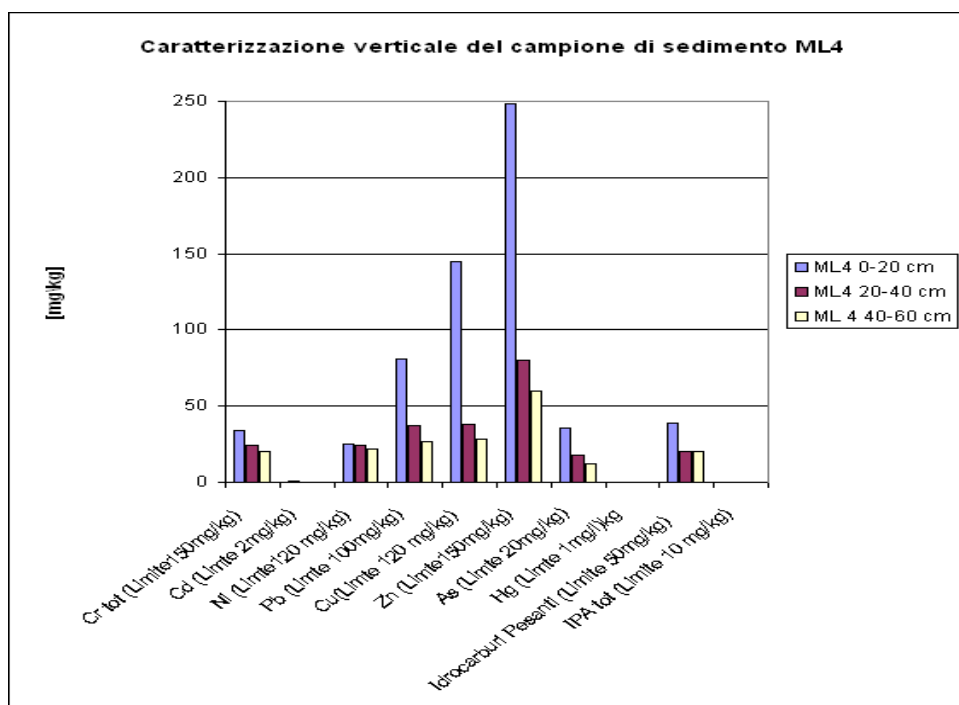


Fig. 2.3.2.8 - Nel sedimento del *Marroggiola* i metalli pesanti e gli idrocarburi presenti sono concentrati nella porzione superficiale.

2.4. Analisi statistica dei dati

Le analisi effettuate in questo studio sono volte a descrivere la composizione chimica dei campioni senza operare una normalizzazione dei dati rispetto alla non omogeneità granulometrica delle differenti sezioni di sedimento; alcune componenti chimiche, infatti, possono esibire differenti proprietà di adsorbimento nei confronti delle diverse frazioni granulometriche. Possiamo affermare che i dati riferiti alla porzione superficiale, sulla quale sono stati effettuati anche i test biologici, sono certamente i più significativi poiché il sedimento fine apicale raccolto in tutto il reticolo fluviale presenta una granulometria piuttosto omogenea. In considerazione di ciò, l'analisi statistica è stata effettuata solo sui dati relativi alla porzione superficiale del sedimento.

Inizialmente, sono state effettuate delle regressioni lineari per evidenziare eventuali tendenze nelle concentrazioni di ogni singolo analita, procedendo dalle *Fonti del Clitunno* verso *Bevagna*. Successivamente, utilizzando metodi di statistica multivariata, sono state verificate le correlazioni esistenti tra i vari parametri analizzati, per ravvisare la presenza di eventuali interdipendenze. Infine, attraverso l'analisi delle componenti principali, si è tentato di determinare alcuni "fattori ambientali" che, in numero decisamente inferiore ai parametri analizzati, fossero comunque rappresentativi dello stato ambientale del fiume *Clitunno*, consentendo osservazioni di sintesi. Tali osservazioni devono essere considerate solo parzialmente esaustive, sia per il numero limitato di dati sperimentali utilizzati nell'analisi statistica, sia per la componente di "soggettività" che caratterizza questo genere di studi a carattere interpretativo.

2.4.1. Distribuzione dei singoli elementi

I parametri analizzati sono stati singolarmente confrontati con le localizzazioni dei campioni, ottenendo dei grafici che mostrano i valori di concentrazione, a vari livelli di profondità, in funzione della distanza dalla sorgente; su di essi è stata raffigurata la linea di tendenza.

In figura 2.4.1.1 è raffigurato l'andamento del cromo totale. La regressione lineare effettuata sulle porzioni superficiali di sedimento (0-40 cm) mostra una tendenza all'aumento delle concentrazioni procedendo verso *Bevagna*. Tale andamento è praticamente ripetuto anche nelle porzioni più profonde, anche se il numero limitato di campioni ne riduce la significatività. Occorre notare la presenza di un campione (CLT33) che contribuisce pesantemente alla linea di tendenza sopra descritta.

Il nichel, anche se non rappresentato, mostra un andamento pressoché analogo.

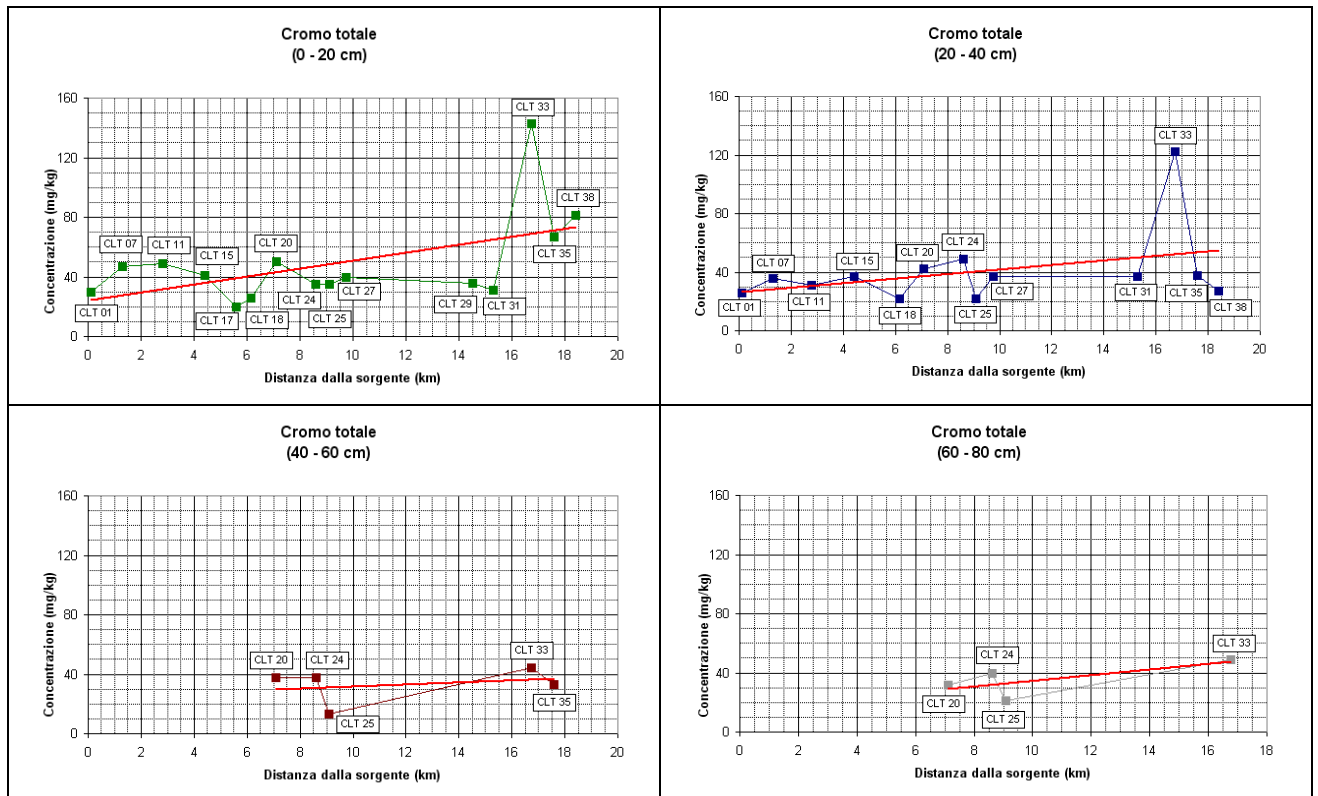


Fig. 2.4.1.1 – Distribuzione del cromo totale riferita alle varie profondità. Si nota una tendenza all'aumento delle concentrazioni procedendo dalle *Fonti del Clitunno* a *Bevagna*, a tutte le profondità considerate.

Vi è anche un elemento la cui linea di tendenza ha andamento opposto, l'arsenico, rappresentato in figura 2.4.1.2. In particolare, i primi 20 cm di sedimento sono caratterizzati da concentrazioni elevate di arsenico in prossimità del campione CLT7, prelevato a monte della confluenza con il *Marrogiola*. Considerando che il campione ML4 prelevato nel *Marrogiola* (vedere figura 2.3.2.1) presenta una concentrazione di arsenico (36 mg/kg s.s.) che supera il limite consentito, possiamo supporre che nell'area in esame, relativa al *Fosso Tre ponti* e al sotto bacino del *Marrogiola*, vi sia o vi sia stata una fonte di inquinamento, presumibilmente di origine agricola, vista la tipologia dei terreni interessati. Tale considerazione dovrà essere supportata da ulteriori analisi.

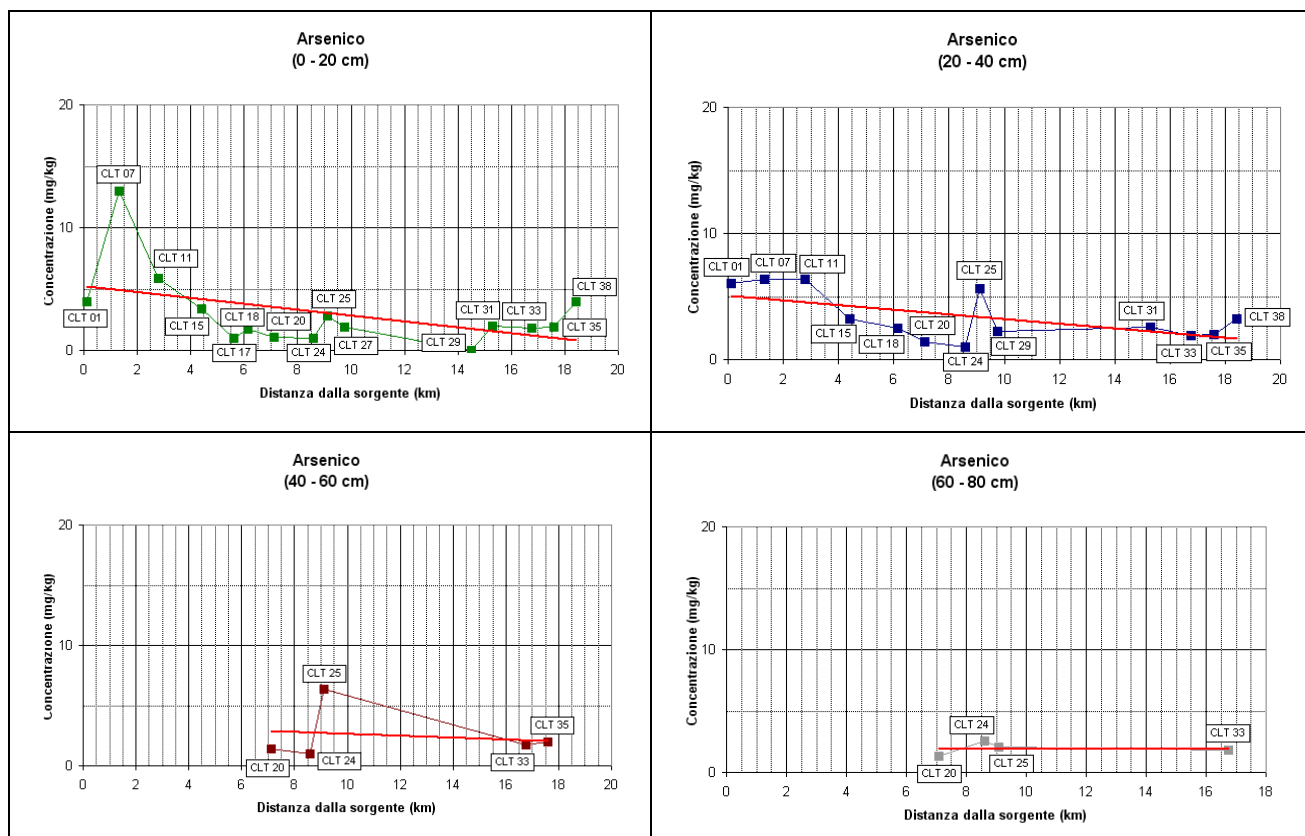


Fig. 2.4.1.2 – Distribuzione dell’arsenico riferita alle varie profondità. Si nota una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni procedendo dalle *Fonti del Clitunno* a *Bevagna*, nei primi 40 cm di sedimento.

Per quanto riguarda gli altri analiti non illustrati graficamente, non si riscontrano particolari tendenze. Tale andamento suggerisce che il carico inquinante sia distribuito nell’intera asta del fiume senza particolari accumuli in zone definite e senza dar luogo a concentrazioni sostanzialmente crescenti o decrescenti procedendo verso valle.

2.4.2 Analisi delle componenti principali

I dati sono stati elaborati utilizzando applicativi dedicati all’analisi statistica multivariata, per verificare la presenza di eventuali correlazioni. La matrice iniziale è costituita da 15 righe, pari al numero di campioni prelevati lungo l’asta principale del fiume *Clitunno*, e da 13 colonne, pari agli analiti rilevati. Nei dati analitici non sono stati inclusi i saggi di tossicità acuta con *Daphnia magna*, poiché i valori riscontrati sono sempre pari a zero. Inoltre, per quanto illustrato nel paragrafo 2.4, sono stati presi in considerazione solo i dati relativi alla porzione superficiale di sedimento (0-20 cm), considerata granulometricamente omogenea, trascurando le sezioni profonde.

I dati analitici caratterizzati da concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale sono stati inseriti come ½ del valore stesso.

Elaborando i dati di partenza si è ottenuta una matrice di correlazione che mostra, attraverso un coefficiente matematico, il legame reciproco tra le variabili. Ovviamente, la correlazione sarà tanto più stretta quanto più il coefficiente è prossimo ad 1.

	Idrocarburi pesanti	IPA tot	Cr tot	Cd	Ni	Pb	Cu	Zn	As	Hg	Tox A	Tox B	Tox C
Idrocarburi pesanti	1,00	0,15	0,34	0,33	0,20	0,51	0,45	0,13	0,01	0,38	0,14	-0,18	0,15
IPA tot	0,15	1,00	-0,17	-0,17	-0,15	0,08	0,01	-0,22	0,21	0,02	-0,10	-0,12	0,26
Cr tot	0,34	-0,17	1,00	0,22	0,92	0,13	0,26	0,05	-0,11	0,06	0,31	-0,07	-0,06
Cd	0,33	-0,17	0,22	1,00	0,12	0,67	0,69	0,80	0,74	0,79	0,24	0,59	-0,32
Ni	0,20	-0,15	0,92	0,12	1,00	-0,03	0,05	-0,10	-0,12	-0,07	0,19	-0,18	-0,10
Pb	0,51	0,08	0,13	0,67	-0,03	1,00	0,83	0,73	0,66	0,78	0,08	0,40	-0,11
Cu	0,45	0,01	0,26	0,69	0,05	0,83	1,00	0,83	0,66	0,72	0,27	0,31	-0,23
Zn	0,13	-0,22	0,05	0,80	-0,10	0,73	0,83	1,00	0,83	0,84	0,08	0,60	-0,30
As	0,01	0,21	-0,11	0,74	-0,12	0,66	0,66	0,83	1,00	0,81	0,00	0,63	-0,28
Hg	0,38	0,02	0,06	0,79	-0,07	0,78	0,72	0,84	0,81	1,00	-0,17	0,65	-0,32
Tox A	0,14	-0,10	0,31	0,24	0,19	0,08	0,27	0,08	0,00	-0,17	1,00	-0,23	-0,14
Tox B	-0,18	-0,12	-0,07	0,59	-0,18	0,40	0,31	0,60	0,63	0,65	-0,23	1,00	-0,11
Tox C	0,15	0,26	-0,06	-0,32	-0,10	-0,11	-0,23	-0,30	-0,28	-0,32	-0,14	-0,11	1,00

Tab. 2.4.2.1 – Correlazioni tra i parametri analizzati: IPA_{TOT}= Idrocarburi policiclici aromatici totali, Cr_{TOT} = Cromo totale, Cd = Cadmio, Ni = Nichel, Pb = Piombo, Cu = Rame, Zn = Zinco, As = Arsenico, Hg = Mercurio, Tox A = Tossicità acuta *Vibro fischeri* con acqua interstiziale, Tox B = Tossicità acuta *Vibro fischeri* con elutriato, Tox C = Test crescita algale *Selenastrum capricornutum* con elutriato. In rosso sono evidenziati i fattori di correlazione significativi .

Dalla matrice di correlazione, ove i legami significativi sono stati evidenziati in rosso, si possono trarre le seguenti considerazioni:

1. gli idrocarburi pesanti risultano correlati con il piombo: tale legame potrebbe indicare un'origine comune di questi analiti come residui di combustibili, presenti sul manto stradale e trasportati nel fiume dalle acque di dilavamento;
2. il cromo è strettamente correlato con il nichel: tale associazione è dovuta all'analogo comportamento chimico delle due specie nei processi ossido-riduttivi, con precipitazione in forma di idrossidi di ferro e manganese;
3. i metalli pesanti (cadmio, rame, zinco, mercurio) e arsenico sono tra loro strettamente correlati: ciò lascia supporre un'origine comune che potrebbe derivare da attività produttive (gli scarichi della zona industriale di *Campello sul Clitunno*, fino a pochi mesi fa, erano rilasciati nel *Fossa Nuova*) e/o agricole (pesticidi, erbicidi, ecc.);
4. gli idrocarburi policiclici aromatici (IPA) non sono correlati alle altre variabili;
5. la tossicità acuta determinata con *Vibro fischeri* sull'elutriato è legata alla presenza di alcuni metalli pesanti, quali cadmio, zinco, mercurio e arsenico; di contro, la tossicità acuta determinata con *Vibro fischeri* sull'acqua interstiziale non presenta alcuna correlazione. Ciò

sta ad indicare che la tossicità acuta determinata sull'acqua interstiziale è presumibilmente dovuta alla presenza di altre sostanze non contemplate nelle analisi chimiche. Occorre inoltre sottolineare che nell'acqua interstiziale si ritrovano solamente le sostanze fortemente idrosolubili e immediatamente biodisponibili, mentre nell'elutriato tali sostanze, presenti nel sedimento, sono estratte mediante lavaggio della matrice solida; nell'acqua interstiziale, quindi, tali elementi non si ritrovano in soluzione;

6. il test di crescita algale con *Selenastrum capricornutum* sull'elutriato non presenta correlazioni con altre variabili.

Attraverso l'analisi delle componenti principali, si è tentato di ridurre il numero di variabili che descrivono il sistema, ottenendo un numero limitato di fattori in grado di descrivere, con analoga valenza, lo stato ambientale del fiume *Clitunno*. Elaborando i dati con un applicativo dedicato, è stata determinata una matrice di correlazione dalla quale è stato possibile dedurre i fattori più significativi.

Variabile	Fattore 1	Fattore 2	Fattore 3	Fattore 4
Cr_{tot}	0,053613	0,965264	0,080791	0,150280
Cd	0,898916	0,032809	0,027651	-0,149854
Ni	-0,105946	0,975056	-0,018071	0,015359
Pb	0,832634	-0,128866	0,205150	0,351378
Cu	0,932561	0,002894	0,066625	0,225901
Zn	0,884075	-0,029204	-0,148187	0,325648
As	0,328265	-0,088646	0,787114	0,187181
Hg	0,311820	0,007375	0,003125	0,875656
Idrocarburi Pesanti	0,071961	0,179301	0,130153	0,925572
IPA_{tot}	-0,161649	-0,018096	0,862869	-0,026955
Var. sp.	3,402984	1,941402	1,457145	1,985040
Prp. Tot	0,340298	0,194140	0,145714	0,198504

Tab. 2.4.2.2 – Estrazione delle componenti principali. Sono evidenziati in rosso i pesi >0.7. Var.sp.: Varianza spiegata; Prp. tot.: Proporzione totale.

In tabella 2.4.2.2 sono illustrati i 4 fattori caratterizzati da un autovalore >1 e pertanto ritenuti maggiormente significativi. I fattori ottenuti possono essere descritti nel modo seguente:

Fattore 1 - Associazione di cadmio, piombo, rame e zinco.

Fattore 2 - Associazione cromo – nichel

Fattore 3 - Associazione arsenico – IPA

Fattore 4 - Associazione mercurio-idrocarburi pesanti

Il fattore 1 è associato esclusivamente ai metalli pesanti. Osservando l'andamento del fattore 1 in funzione della distanza dalle *Fonti del Clitunno*, si nota una tendenza generale all'aumento, procedendo verso *Bevagna*.

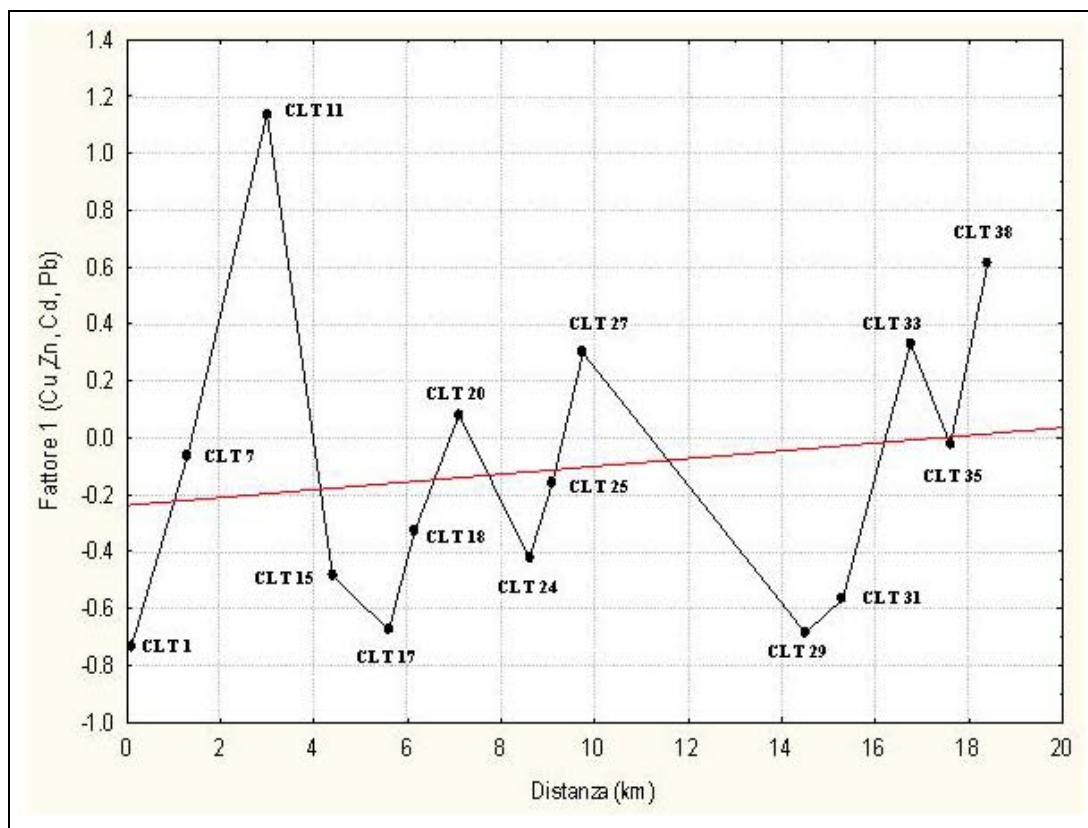


Figura 2.4.2.1 – Andamento del Fattore 1 in funzione della distanza dalle *Fonti del Clitunno*.

Osservando le planimetrie relative alla distribuzione dei punti di campionamento e degli scarichi, si può osservare quanto segue:

1. La fig. 2.4.2.1 mostra alcuni tratti di maggior variabilità: il primo tratto, tra le *Fonti del Clitunno* e località *Chiesa Tonda*, è caratterizzato da un marcato incremento del fattore 1; tale aumento potrebbe essere ricondotto alla presenza di numerosi scarichi (vedere Tav. n° 4) di tipo prevalentemente domestico, concentrati in locc. *Pissignano-Chiesa tonda*. Occorre sottolineare che il punto di campionamento denominato CLT11, cui corrisponde il picco massimo del fattore 1, è localizzato immediatamente a valle della confluenza con il *Marroggiola*, ove si sono riscontrati valori di rame e zinco eccedenti i limiti normativi e, in ogni caso, valori piuttosto elevati di tutti i metalli (vedere campione ML4, allegato C).

2. Il secondo tratto, localizzato tra *Chiesa Tonda* e loc. *Faustana*, è caratterizzato da una brusca diminuzione del fattore 1, cui corrisponde l'assenza pressoché totale di scarichi.
3. Il terzo tratto, localizzato tra loc. *Faustana* e *Pietra Rossa*, è caratterizzato da un nuovo incremento del fattore 1, cui è associabile la presenza di numerosi scarichi, sia di tipo civile (loc. *Faustana*) che di tipo agricolo (tra *Borgo Trevi* e *Pietra Rossa*).
4. Il quarto tratto, localizzato tra *Pietra Rossa* e *Casa del Suffragio* è caratterizzato da una nuova diminuzione del fattore 1, cui corrisponde l'assenza totale di scarichi.
5. Il quinto tratto, localizzato tra *Casa del Suffragio* e *Casco dell'Acqua*, è caratterizzato da un nuovo incremento del fattore 1; tale incremento corrisponde ad un marcato aumento del numero degli scarichi rilevati nel corso del *Clitunno*, soprattutto a *Casco dell'Acqua*, sprovvisto di rete fognaria.
6. Il sesto tratto, localizzato tra *Casco dell'Acqua* e *Torre di Montefalco*, è caratterizzato da una forte diminuzione del fattore 1, associata all'assenza di scarichi.
7. Il sesto ed ultimo tratto, localizzato tra *Torre di Montefalco* e *Bevagna*, mostra un marcato incremento del fattore 1; questa parte del fiume *Clitunno* è caratterizzata dalla presenza di numerosi scarichi di varia origine, localizzati soprattutto a *Torre di Montefalco*.

Dall'analisi dei dati si può pertanto affermare l'esistenza di un legame tra l'andamento del fattore 1 e la presenza di scarichi; tale correlazione supporta l'ipotesi che gli scarichi possano essere responsabili dell'inquinamento da metalli riferiti al fattore 1.

Il fattore 2 è dato dall'associazione di cromo e nichel. Osservando la figura 2.4.2.2, si può notare una tendenza all'aumento del fattore 2 procedendo verso *Bevagna*. In particolare, il campione denominato CLT33, localizzato presso lo *Sportone di Maderno*, è caratterizzato da un valore del fattore 2 molto elevato, che influenza pesantemente la linea di tendenza. Tale campione è stato prelevato a valle di un impianto industriale di cromatura. Nonostante lo stabilimento non recapiti più nel fiume *Clitunno*, i sedimenti analizzati anche nella porzione più profonda (vedere allegato C) presentano valori di cromo totale molto elevati, prossimi al limite normativo.

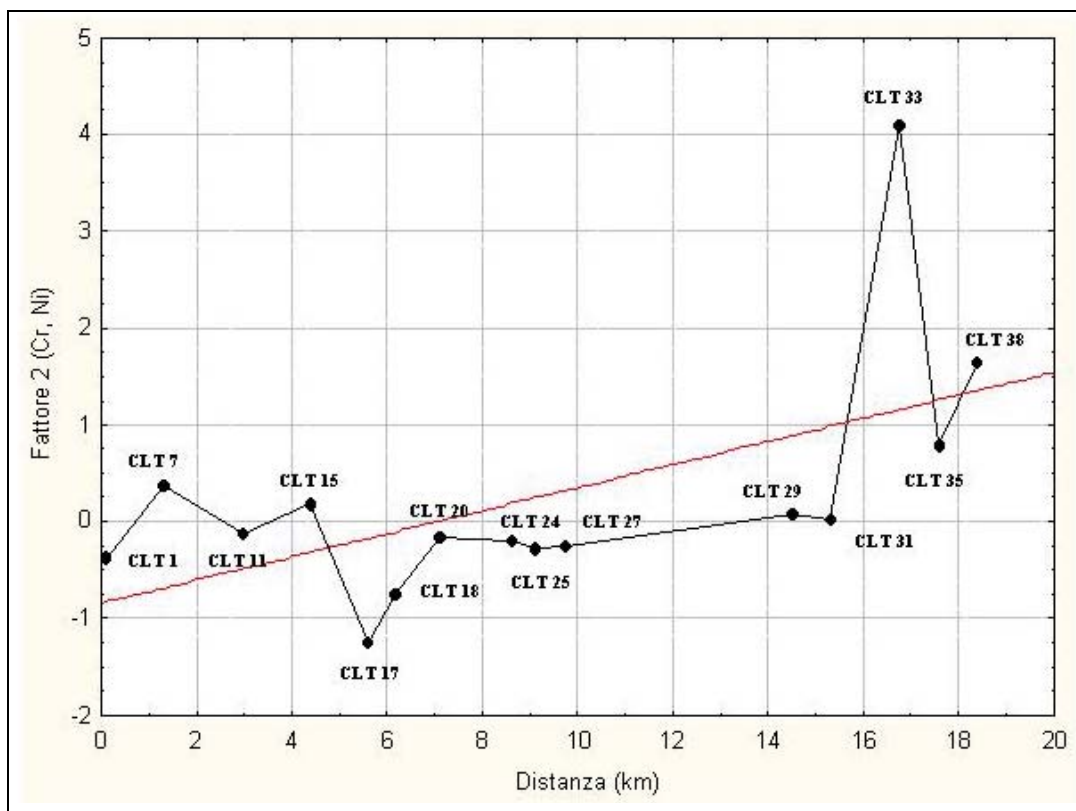


Figura 2.4.2.2 – Andamento del Fattore 2 in funzione della distanza dalle *Fonti del Clitunno*.

La presenza di IPA nel fattore 3 e mercurio nel fattore 4 che presentano, nella maggior parte dei campioni, concentrazioni inferiori al limite di rilevabilità strumentale, non garantisce la significatività dei fattori stessi, che non saranno pertanto commentati.

Mappatura degli scarichi

Nell'ambito del progetto, particolare attenzione è stata rivolta alla problematica degli scarichi, pubblici e privati, che recapitano direttamente nel *Clitunno* e nei suoi affluenti (*F.sso della Fossa Nuova*, *F.sso della Fossa Vecchia*, *Fosso della Fiumicella*, *F.sso dei Tre Ponti*, *F.sso Marroggiola* e *F.sso della Sportella*). Gli scarichi, in quanto fonte reale o comunque potenziale di inquinamento, condizionano lo stato ambientale di un corso d'acqua; da qui la necessità di avere un quadro conoscitivo dettagliato del loro numero, della loro localizzazione e, laddove possibile, tipologia.

Una ricostruzione esaustiva è stata effettuata a partire dalla raccolta di tutti i dati esistenti, seguita da un'azione in campo, volta ad approfondire ed aggiornare le conoscenze acquisite. Il lavoro in campo ha permesso non solo l'individuazione degli scarichi mediante osservazione diretta, ma anche una prima caratterizzazione di quelli attivi, per mezzo del campionamento e delle analisi effettuate sul posto. I dati acquisiti nel corso della campagna hanno permesso la redazione di una carta tematica dell'intera rete idrografica del fiume *Clitunno*, ove sono specificati gli scarichi censiti e quelli attivi (sui quali sono state effettuate analisi chimiche).

3.1. Dati di partenza

In primo luogo, sono state raccolte tutte le informazioni esistenti reperibili presso vari Enti pubblici quali Province e Comuni. I lavori reperiti ed utilizzati per avere un quadro conoscitivo di riferimento sono essenzialmente due: il *Catasto degli Scarichi*, redatto dalla Provincia di Perugia nell'ambito del progetto "Fiume Clitunno" e il *Censimento degli Scarichi sul Fiume Clitunno*, realizzato dal Comune di *Trevi* lungo il tratto di fiume di sua competenza.

In base al *Catasto degli Scarichi* della Provincia di Perugia, relativo all'anno 1994, risulta che gli scarichi esistenti sul fiume *Clitunno*, da *Campello* a *Bevagna*, erano in totale 151, di cui il 74% di tipo civile, il 17% industriale e il 9% zootecnico. Su 151 scarichi, ben 83 (pari al 55% del totale) recapitavano direttamente nel fiume.

Ad oggi la situazione è in qualche misura cambiata, soprattutto per quanto riguarda gli scarichi civili e industriali. Si può considerare, a titolo di esempio, la rete fognaria dell'abitato di *Campello*

sul Clitunno: gli scarichi della zona industriale e parte degli scarichi civili, fino alla fine del 2006 recapitavano nella *Fossa Nuova*, da cui prendeva origine il *F.sso della Fossa Nuova*; da qui, attraverso il *F.sso dei Tre Ponti* prima e della *Marroggiola* poi, i reflui entravano nel fiume *Clitunno* in località *Chiesa Tonda*. Dall'inizio del 2007, la *Fossa Nuova* non viene più utilizzata e tutti i reflui di *Campello sul Clitunno* recapitano all'impianto di depurazione, che rilascia nel torrente *Marroggia*.

Per quanto riguarda gli scarichi che insistono sui rami secondari del fiume *Clitunno*, non c'era alcun dato disponibile, per cui si è proceduto direttamente con il rilevamento in campo.

3.2. Modalità di rilevamento degli scarichi

Il rilevamento degli scarichi lungo il *Clitunno* è stato effettuato mediante un'osservazione diretta del corso d'acqua, sia dagli argini che dal suo interno. L'intero fiume, dalle *Fonti del Clitunno* a *Bevagna*, è stato percorso a piedi lungo gli argini e, simultaneamente, nello stesso alveo, utilizzando una piccola imbarcazione in vetroresina. In questo modo è stata effettuata una duplice osservazione, che ha permesso di individuare molti scarichi altrimenti non visibili per la presenza di una folta vegetazione.



Fig. 3.2.1 – Esempi di scarichi rilevati nel corso principale del *Clitunno* (SC10-Località *Pissignano*, SC18-Località *Chiesa Tonda*, SC62/SC65-Località *Casco dell'Acqua*, SC75-*Torre di Montefalco*, SC85-*Bevagna*).

In alcuni tratti, per la presenza di ostacoli lungo l'alveo, non è stato possibile procedere con la barca. In questi casi il rilevamento è stato effettuato solamente dall'esterno, procedendo simultaneamente lungo le due sponde.

Il rilevamento degli scarichi lungo gli affluenti del fiume *Clitunno* è stato effettuato senza l'ausilio dell'imbarcazione, poiché le dimensioni e le portate dei corsi d'acqua hanno consentito osservazioni esaurienti procedendo semplicemente a piedi.

Per ogni scarico individuato è stata compilata una scheda nella quale sono stati riportati il codice del punto, le sue coordinate geografiche (Gauss-Boaga) ed una breve descrizione dello stesso; inoltre, sono state indicate la localizzazione all'interno dell'alveo (riva destra o sinistra) e, laddove possibile, la tipologia di scarico. Ogni scheda è stata corredata di documentazione fotografica. Sono state prese in esame tutte le strutture di recapito visibili, quali tubazioni, canali e canalette, anche se apparentemente non utilizzate, senza poterne specificare l'utilizzo (agricolo, civile e industriale); dal momento che non è stato possibile raccogliere in campo informazioni sull'origine dello scarico, sui proprietari o sulla loro natura, questo lavoro non può essere considerato un vero e proprio censimento; per approfondimenti in tal senso si rimanda al *Catasto degli Scarichi*, redatto dalla Provincia di Perugia.

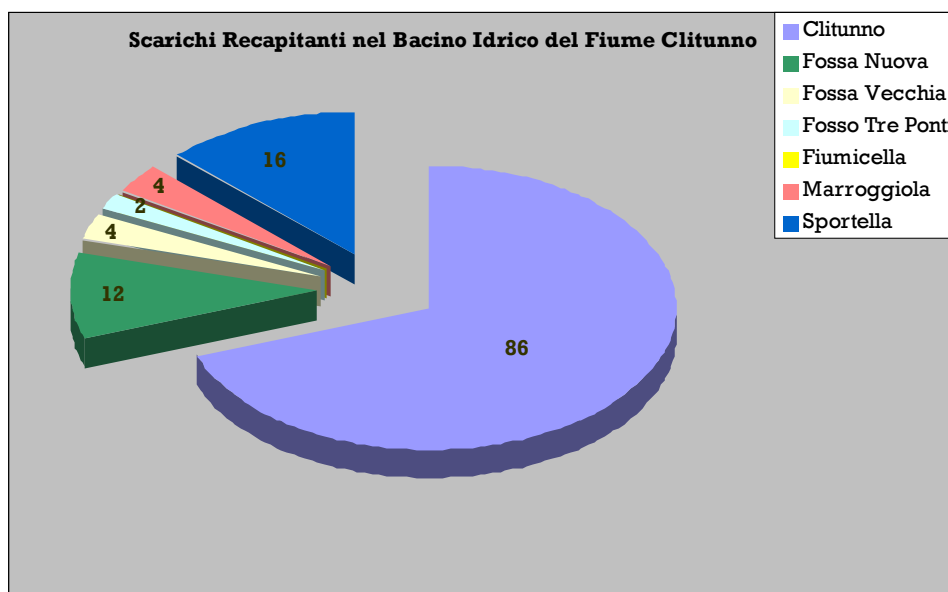


Fig. 3.2.2 - Quadro riassuntivo degli scarichi rilevati nel bacino idrico del fiume *Clitunno*.

Tutti gli scarichi che rilasciavano nel fiume al momento del rilevamento sono stati analizzati dal punto di vista chimico e tossicologico.

Sono stati individuati 124 scarichi, 12 dei quali sono stati campionati ed analizzati in campo. Come si evince dalla tabella 3.2.2, il *Clitunno* presenta il numero più elevato di scarichi, mentre il corso

d'acqua con la maggior incidenza di scarichi per chilometro è il *Fossa Vecchia*, ove la quasi totalità di questi è costituita da drenaggi ad uso agricolo.

Corso d'acqua	Tratto fluviale (km)	Scarichi	Scarichi / km	Scarichi analizzati
Fiume Clitunno	18.4	86	4.67	11
F.sso Fossa Nuova	2.5	12	4.8	-
Fossa Vecchia	0.6	4	6.7	-
F.sso della Fiumicella	1.0	-	-	-
F.sso dei Tre Ponti	0.8	2	2.5	1
F.sso Marroggiola	1.0	4	4	-
F.sso della Sportella	5.0	16	3.2	-
Totale	29.3	124	4,2	12

Tab. 3.2.1 - Quadro riassuntivo degli scarichi lungo l'asta principale del *Clitunno* ed i suoi affluenti. Sono indicati il numero degli scarichi relativi ad ogni corso d'acqua, la densità espressa in numero di scarichi per chilometro ed il numero di scarichi analizzati.

3.3. Monitoraggio degli scarichi attivi

Nell'attività di monitoraggio sono stati prelevati campioni di reflui da dodici scarichi che rilasciavano nel fiume al momento del rilevamento.

Il campionamento è stato effettuato direttamente dalle condotte di scarico mediante un bicchiere orientabile in polipropilene da 500 ml, posto all'estremità di un'asta telescopica. Su questi campioni sono state eseguite determinazioni chimiche e tossicologiche direttamente in campo, con l'ausilio della strumentazione a corredo del laboratorio mobile.

3.3.1. Test tossicologici

I test di tossicità acuta sono stati effettuati in campo con batteri bioluminescenti (*Vibrio fischeri*); per approfondimenti in merito ai test effettuati e alla definizione di "livello di tossicità" si rimanda ai paragrafi 4.3.2 e 4.3.3.

In tabella 3.3.1.1 sono riportati i risultati ottenuti per ogni scarico esaminato.

Campione	Localizzazione	Livello di Tossicità
SC 16	Chiesa Tonda	Tossico
SC 25	Chiesa Tonda	Tossico
SC 31	Mulino Marani	Non tossico
SC 35	Faustana	Non tossico
SC 36	Borgo Trevi	Tossico
SC 38	Borgo Trevi	Tossicità variabile in funzione della diluizione
SC 62	Casco dell'Acqua	Non tossico
SC 64	Casco dell'Acqua	Tossico
SC 65	Casco dell'Acqua	Tossico
SC 69	Casco dell'Acqua	Tossico
SC 71	Casco dell'Acqua	Non tossico
STP 1	Pissignano Basso	Effetto stimolante

Tab 3.3.1.1 - Risultati dei test di tossicità acuta effettuati sugli scarichi attivi.

I dati relativi ai campioni SC35 e SC38 mostrano un aumento della tossicità in corrispondenza delle diluizioni effettuate. Non potendo definire la composizione chimica dettagliata dei campioni, è ragionevole supporre che tale effetto sia dovuto sia alle variazioni di pH, sia alle diluizioni in acqua salina, che potrebbero rendere maggiormente biodisponibili le sostanze tossiche.

Il 50% dei campioni sono risultati altamente tossici, il 42% non tossici ed un solo campione presenta un effetto stimolante. Va sottolineato che è stato possibile analizzare solo una piccola porzione degli scarichi presenti, vale a dire quelli attivi al momento dei rilievi; tuttavia, si può ragionevolmente supporre che la maggior parte degli scarichi rilevati sia comunque attiva. Pertanto, il dato risulta allarmante0 vista l'incidenza negativa delle sostanze rilasciate sull'ecosistema fluviale.

3.3.2. Analisi chimiche

Le analisi chimiche sono state effettuate utilizzando tecniche spettrofotometriche.. Va sottolineato che tali test rappresentano uno screening iniziale e forniscono dati utili per la segnalazione di possibili superamenti dei limiti di emissioni in acque superficiali.

La caratterizzazione chimica dei reflui è stata effettuata analizzando i seguenti parametri: COD, azoto ammoniacale (N/NH₄⁺), nitrati (NO₃⁻), azoto totale, fosforo totale, fenoli, tensioattivi anionici, tensioattivi non ionici. La scelta di questi è stata condotta in base alla tipologia delle attività produttive presenti nell'area esaminata e alla presenza di nuclei abitati che recapitano direttamente nei corsi d'acqua

Tali parametri forniscono indicazioni relative allo stato ambientale del fiume *Clitunno* e alle sostanze rilasciate a seguito dell'incidente occorso presso lo stabilimento *Umbria Olii*, le quali potrebbero essere tuttora recapitate in alveo da alcuni drenaggi ad uso agricolo.

In tabella 3.3.1.1 sono illustrati i risultati delle analisi chimiche effettuate dal laboratorio mobile sui campioni prelevati dagli scarichi attivi.

Codice punto	N_{TOT} (mg/l)	N/NH₄⁺ (mg/l)	N/NO₃⁻ (mg/l)	P_{TOT} (mg/l)	Fenoli (mg/l)	COD (mg/l)	Tensioattivi Tot mg/l
SC 16	-	>60	6.82	-	4.9	666	5.3
SC 25	5.01	3.11	4.73	0.11	0.383	455	12.6
SC 31	1.36	0.065	4.76	0.142	0.03	45.9	7.657
SC 35	65.6	>60	3.87	17.6	2.79	144	0.615
SC 36	148	>60	4.5	33.7	5.51	662	7.7
SC 38	1.5	0.03	5.22	0.674	0.04	37.6	0.317
SC 62	1.67	0.149	3.89	0.135	0.04	12.1	0.176
SC 64	16.8	10.1	15.5	1.38	3.25	351	6.66
SC 65	116	>60	2.7	38.2	3.73	353	6.2
SC 69	26.3	27.4	2.41	6.65	1.18	352	9.9
SC 71	3.48	0.054	1.99	0.371	0.38	87.9	5.63
STP1	1.6	1.56	0.052	0.1	0.351	2.58	0.25

Tab 3.3.2.1 – Analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati dagli scarichi attivi al momento del rilevamento.

Per avere un'idea della pericolosità delle sostanze rilasciate dagli scarichi, a titolo di riferimento, è stato effettuato un confronto con i limiti illustrati in tabella 3 dell'allegato 5 parte III del DLgs. 152/06, relativa a: "Valori limite di emissioni in acque superficiali e in fognatura – scarico in acque superficiali".

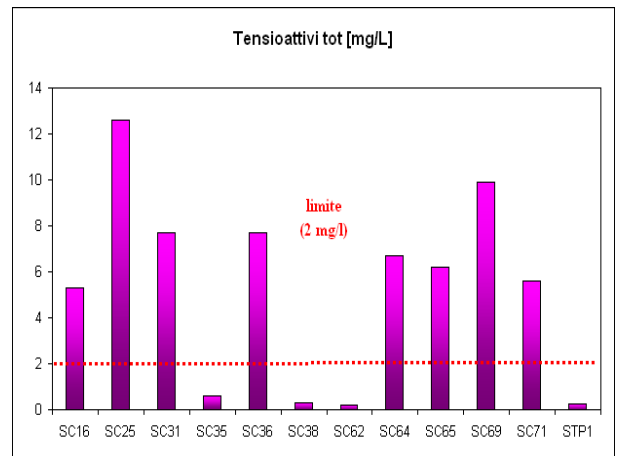
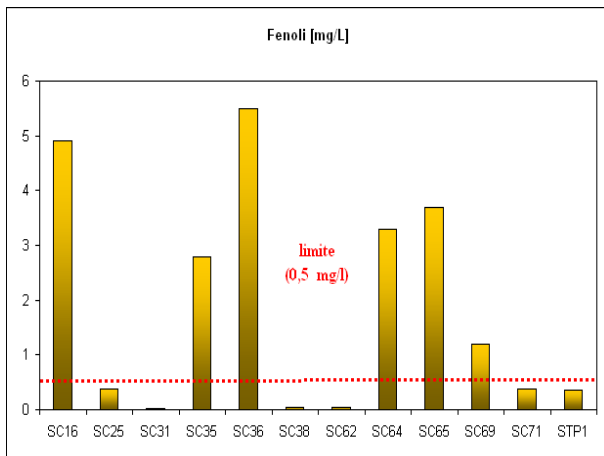
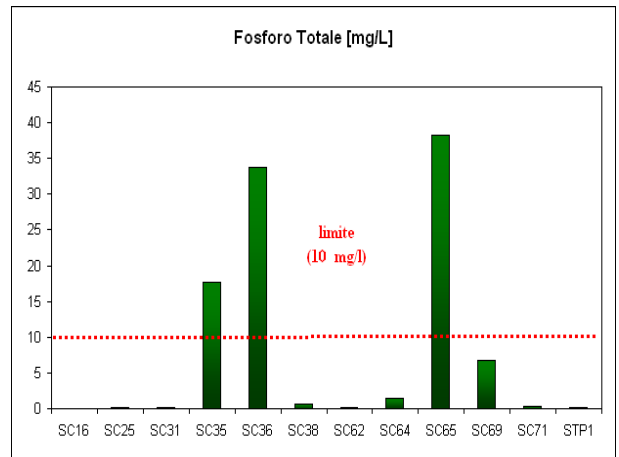
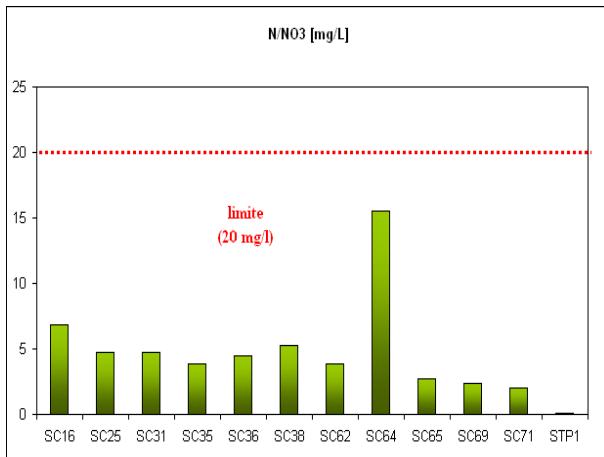
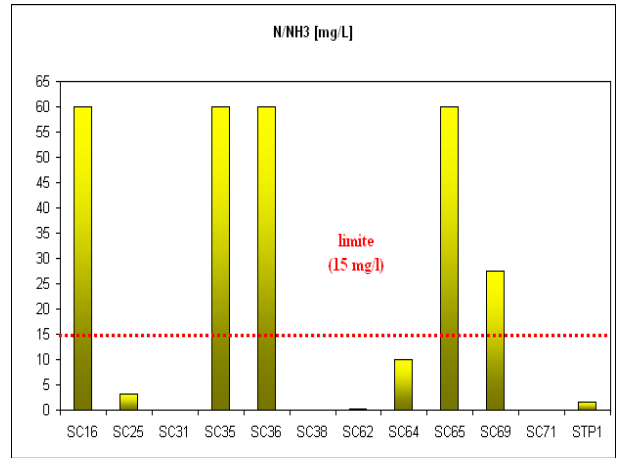
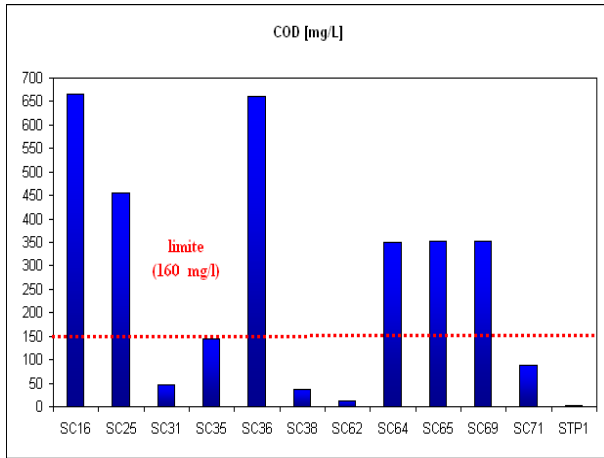


Fig. 3.3.2.1 – Analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati dagli scarichi attivi al momento del rilevamento.

L'analisi dei dati chimici pone in evidenza che il 50% degli scarichi esaminati oltrepassa abbondantemente i limiti della Domanda Chimica di Ossigeno (COD) e della concentrazione di fenoli. Analogamente, circa il 42% degli scarichi esaminati supera la soglia di concentrazione per l'azoto ammoniacale. Per quanto riguarda i tensioattivi totali, circa il 60% dei campioni supera notevolmente il limite consentito.

Questi dati delineano uno scenario piuttosto eloquente della situazione del bacino del *Clitunno*, sottoposto al recapito diretto di sostanze inquinanti, le quali contrastano pesantemente con il carattere di rilievo paesaggistico, storico e naturalistico dell'area.

Mappatura degli attingimenti

I prelievi concorrono a determinare lo stato di qualità ambientale di un corso d'acqua. Il volume degli attingimenti deve essere attentamente valutato, affinché la portata del corso d'acqua, nella stagione di magra, non assuma valori critici per l'ecosistema esistente. Tuttavia, un'analisi del bilancio idrico esula dal carattere prettamente qualitativo di questo studio; pertanto, ci limiteremo a fornire una mappatura degli attingimenti, indicando semplicemente la sponda sulla quale è localizzato il sistema di prelievo, senza considerare l'entità e la tipologia delle captazioni.

Sono stati mappati tutti gli attingimenti di carattere permanente, caratterizzati da strutture, anche artigianali, che lasciano supporre un utilizzo "durevole" del sistema di prelievo; tuttavia, il lavoro effettuato rappresenta una "fotografia" della situazione esistente al momento della fase di rilievo in campo, effettuata nel periodo tardo estivo-autunnale, che potrebbe essere aggravata da prelievi temporanei operati nei periodi di maggiore siccità.

Nella maggior parte dei casi, gli attingimenti sono localizzati in prossimità di piccole strutture private poste a ridosso dell'alveo; questi sistemi di captazione, realizzati in modo artigianale, sono caratterizzati da un pompaggio presumibilmente saltuario e di modesta entità. Sono stati riscontrati anche prelievi di maggior consistenza, ad uso prevalentemente agricolo; essi sono realizzati con sistemi di pompaggio posti a ridosso dell'alveo, oppure con derivazioni in canale regolate da apposite paratie.

Nel complesso, sono stati identificati e mappati 62 punti di prelievo nell'asta principale del fiume *Clitunno* e nei rami secondari considerati in questo lavoro, distribuiti come indicato in parte III - Tavola 5.

Corso d'acqua	Tratto fluviale (km)	Prelievi	Prelievi / km
Clitunno	18,4	49	2,66
Fossa Nuova	2,5	-	-
Fossa Vecchia	0,6	1	1,67
Fosso della Fiumicella	1,0	-	-
Fosso Tre Ponti	0,8	3	3,75
Marroggiola	1,0	1	1,00
Fosso della Sportella	5,0	8	1,60

Tab. 4.1 – Tabella riassuntiva degli attingimenti nell'asta principale del fiume *Clitunno* e nei rami secondari.

La tabella 4.1. mostra chiaramente che la maggior “densità” di punti di prelievo è localizzata nell’asta principale del *Clitunno* e nel *Fosso dei Tre Ponti*, che costituiscono i tratti fluviali più esposti alle attività antropiche. La rappresentazione completa di quanto rilevato in campo è consultabile in parte III - Tavola 4. La documentazione fotografica è consultabile in parte IV.

Valutazione della qualità ecologica

La qualità ecologica del fiume è stata valutata attraverso indagini puntuali sulle componenti biologiche dell'ecosistema quali:

- comunità macrobentoniche
- macrofite
- fauna ittica

In aggiunta, lungo tutto il corso d'acqua, è stato effettuato uno studio di tipo idromorfologico finalizzato ad una valutazione globale dell'ecosistema fluviale e della sua funzionalità attraverso l'applicazione dell'**Indice di Funzionalità Fluviale**.

5.1 Studio delle comunità macrobentoniche

Lungo l'asta principale del fiume *Clitunno* sono state individuate e campionate un numero significativo di stazioni di monitoraggio per il rilevamento delle comunità macrobentoniche e la determinazione dell'Indice Biotico Esteso. Le stazioni sono state localizzate tenendo conto dell'omogeneità e rappresentatività del tratto fluviale considerato, dei principali fattori di impatto e delle attività produttive.

Allo scopo di valutare eventuali ulteriori apporti inquinanti, sono state posizionate quattro stazioni di controllo lungo i fossi tributari che scorrono parallelamente al fiume *Clitunno* nel suo tratto iniziale e che poi vi confluiscono presso la località di *Chiesa Tonda (Fossa Vecchia, Fossa Nuova, Fiumicella e Marroggiola)*.

In tabella 5.1.1 viene presentata la dislocazione delle stazioni.

CORSO	STAZIONE	LOCALIZZAZIONE	TRATTO DI FIUME
Clitunno	CLT1-B	Tre Ponti	I
Clitunno	CLT2-B	A monte allevamento	I
Clitunno	CLT3-B	A valle allevamento	I
Clitunno	CLT4-B	Chiesa Tonda	II
Clitunno	CLT5-B	A valle cartiera di Trevi	III
Clitunno	CLT6-B	Trevi	III
Clitunno	CLT7-B	Casco dell'Acqua	III
Clitunno	CLT8-B	Casevecchie	III
Clitunno	CLT9-B	Torre di Montefalco	III
Clitunno	CLT10-B	Bevagna	III
Fossa vecchia	FSV1-B	Tre Ponti	I
Fossa Nuova	FSN1-B	Tre Ponti	I
Fiumicella	FMC1-B	Taverna del Pescatore, a monte	I
Marroggiola	ML1-B	Chiesa Tonda, a monte confluenza f.	II

Tab.5.1.1 - Dislocazione delle stazioni di monitoraggio I.B.E.

5.1.2 Il metodo I.B.E.

L'Indice Biotico Esteso (I.B.E.; Ghetti, 1997) si basa sullo studio delle comunità di macroinvertebrati bentonici che colonizzano le diverse tipologie fluviali, attraverso l'analisi della ricchezza in taxa e della diversa sensibilità agli inquinanti. Tale metodologia, nella normativa nazionale ed europea, è stata inserita tra le metodiche obbligatorie per la determinazione dello stato ecologico delle acque superficiali. In questo studio è stata utilizzata l'ultima versione del metodo I.B.E. (APAT IRSA – CNR Met 9010 Man 29/03), che prevede una determinazione sistematica dei macroinvertebrati fino al livello di genere o famiglia a seconda dei gruppi tassonomici, portando all'individuazione delle Unità Sistematiche (Tabella 5.1.2.1).

GRUPPI FAUNISTICI	LIVELLI DI DEFINIZIONE TASSONOMICA
PLECOTTERI	Genere
EFEMEROTTERI	Genere
TRICOTTERI	Famiglia
COLEOTTERI	Famiglia
ODONATI	Genere
DITTERI	Famiglia
ETEROTTERI	Famiglia
CROSTACEI	Famiglia
GASTEROPODI	Famiglia
BIVALVI	Famiglia
TRICLADI	Genere
IRUDINEI	Genere
OLIGOCHETI	Famiglia
ALTRI	Sialidae Gordiidae Osmylidae Prostoma

Tab. 5.1.2.1 – Livelli di definizione tassonomica previsti dal metodo IBE (Fonte APAT IRSA – CNR Met 9010 Man 29/03)

Per arrivare al giudizio di qualità si fa riferimento ad una tabella a due ingressi; l'ingresso orizzontale viene scelto sulla base del taxon più sensibile campionato, mentre l'ingresso verticale è determinato dal numero totale delle Unità Sistematiche presenti. Dall'incrocio dei due ingressi si ottiene il valore dell'indice. Questo valore corrisponde ad una Classe di Qualità che può oscillare da una I classe (ambiente non inquinato o non alterato in modo sensibile) fino ad una V (ambiente fortemente inquinato e fortemente alterato). Infine, le cinque Classi di Qualità possono essere facilmente visualizzate cartograficamente con colori convenzionali, in modo da rappresentare direttamente in cartografia il giudizio sullo stato di qualità dei tratti di corpi idrici indagati (Tabella 5.1.2.2).

Classe di qualità	IBE	Giudizio di qualità	Colore relativo
Classe I	≥10	ambiente non inquinato o comunque non alterato in modo sensibile	Azzurro
Classe II	8-9	ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione	Verde
Classe III	6-7	ambiente inquinato o comunque alterato	Giallo
Classe IV	4-5	ambiente molto inquinato o comunque molto alterato	Arancione
Classe V	0-1-2-3	ambiente fortemente inquinato e fortemente alterato	Rosso

Tab. 5.1.2.2 - Tabella di conversione dei valori di I.B.E. in classi di qualità, con relativo giudizio e colore per la rappresentazione cartografica (fonte *IRSA-CNR, 29/2003*)

Oltre alle attività finalizzate alla determinazione del giudizio di qualità biologica (campionamento, separazione e classificazione dei macroinvertebrati), il metodo I.B.E. prevede anche una attenta lettura dei caratteri dell'ambiente fluviale complessivo attraverso il rilievo di parametri eco-morfologici, secondo le indicazioni riportate in un'apposita scheda di campo, al fine di localizzare la stazione, definirne la tipologia ed esprimere un giudizio sulla qualità ambientale del sito in esame.

Tra i parametri da esaminare sono indicati:

granulometria dei substrati nell'alveo bagnato - il substrato è uno dei fattori che influenzano maggiormente la struttura delle comunità di macroinvertebrati e la distribuzione delle popolazioni che formano la comunità. Un'elevata diversità ambientale a microscala, rappresentata da un'eterogeneità del substrato, consente un'elevata diversità biologica che, a sua volta, contribuisce ad una migliore efficienza depurativa e ad una maggiore stabilità del sistema.

presenza di manufatti artificiali sul fondo e sulle sponde - spesso l'inquinamento non è il solo fattore di degrado dei corsi d'acqua. Gli interventi artificiali, infatti, che alterano profondamente e banalizzano l'ambiente fluviale (risagomature, rettifiche, arginature, tombamenti e altri), possono causare un deterioramento ancora maggiore per un corpo idrico.

ritenzione del detrito organico - segnala la capacità del corso d'acqua di trattenere quantità più o meno rilevanti di detrito organico. Il processo di ritenzione della materia organica è molto importante in quanto maggiori sono le quantità di detrito trattenuto maggiori sono le possibilità di assimilarlo da parte dei macroinvertebrati; in queste condizioni aumenta l'efficienza di risposta dell'ecosistema ad aggiunte di nutrienti e, di conseguenza, la sua stabilità.

stato di decomposizione della materia organica - viene esaminata la consistenza della sostanza organica raccolta durante il campionamento, in quanto fornisce indicazioni sull'efficienza di demolizione da parte degli organismi acquatici e, quindi, sull'efficienza dei processi di autodepurazione. Mentre la presenza di materia organica particolata grossolana e fine indica una comunità macrobentonica ricca e condizioni ottimali (buona capacità di ritenzione, buona ossigenazione ed elevata ciclizzazione dei nutrienti), la prevalenza di frammenti polposi è sintomo di una demolizione essenzialmente di tipo batterico, che si instaura in condizioni di inquinamento, comunità bentonica squilibrata e scarsa ossigenazione.

presenza di anaerobiosi sul fondo - si rileva la presenza più o meno ampia di macchie nerastre lucide o di limo nerastro sui sedimenti, dovuti all'azione di solfobatteri; questi indicatori ambientali segnalano condizioni di anaerobiosi o di forte carenza di ossigeno. La comunità, pertanto, sarà composta prevalentemente da organismi in grado di tollerare queste condizioni e che, con il tempo, si sostituiranno ai taxa più sensibili, fino a scomparire essi stessi in caso di condizioni di anossia prolungata.

organismi incrostanti - viene esaminato il periphyton, una pellicola incrostante che si sviluppa sui fondi duri ed è costituita da batteri, funghi, alghe microscopiche (soprattutto Diatomee), spesso anche alghe filamentose e la cui densità dipende sia dalle condizioni d'illuminazione del fondo che dal chimismo delle acque.

vegetazione acquatica - si segnala la presenza di macrofite acquatiche in alveo; la copertura macrofita, insieme allo sviluppo del feltro perifitico, è un indicatore dello stato trofico delle acque. L'eutrofizzazione di un corso d'acqua, infatti, si riflette nello sviluppo di uno spesso feltro perifitico e, se la velocità della corrente lo permette, nella crescita di macrofite acquatiche, specie quelle tolleranti stati trofici elevati.

vegetazione riparia - viene osservato l'ambiente ripario, cioè quella zona di interfaccia tra l'ambiente acquatico e il territorio circostante, segnalando la presenza di fasce di vegetazione riparia o l'assenza di vegetazione naturale, per presenza di campi o di manufatti. Le fasce riparie sono considerate uno dei sistemi depuranti dei corsi d'acqua in quanto, oltre a stabilizzare l'alveo, fornire detrito organico, limitare l'eccessivo riscaldamento e l'eccessivo sviluppo della vegetazione

acquatica, intercettano, filtrano e depurano le acque di dilavamento del suolo, ostacolando i processi di eutrofizzazione fluviale.

caratteri dell'ambiente naturale e costruito circostante - viene rilevata in sponda destra e sinistra la presenza di insediamenti, attività, manufatti che aiutano a caratterizzare il paesaggio in cui scorre il fiume e che possono influenzare la qualità dell'ambiente.

Vengono, infine, rilevate altre caratteristiche ambientali fondamentali per capire il regime idrologico e la morfologia dell'alveo (larghezza dell'alveo bagnato rispetto all'alveo di piena, velocità della corrente, altezza media e altezza massima dell'acqua).

5.1.3 Analisi dei dati

In tabella 5.1.3.1 e in figura 5.1.3.1 vengono riportati i risultati dei rilievi effettuati sulle comunità macrobentoniche. Occorre sottolineare che i punti di campionamento per la valutazione dello stato ecologico, pur avendo una nomenclatura analoga a quelli relativi ai campioni prelevati per l'analisi dei sedimenti, non si riferiscono alle stesse coordinate geografiche. Tale distinzione è stata evidenziata aggiungendo al codice della stazione la lettera B (analisi di tipo biologico).

STAZIONE	LOCALIZZAZIONE	I.B.E.	CLASSE DI QUALITA'	GIUDIZIO
CLT1-B	Tre Ponti	9	II	ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
CLT2-B	A monte allevamento	7-8	III-II	ambiente inquinato o comunque alterato - ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
CLT3-B	A valle allevamento	7-8	III-II	ambiente inquinato o comunque alterato - ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
CLT4-B	Chiesa Tonda	8	II	ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
CLT5-B	A valle cartiera di Trevi	8	II	ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
CLT6-B	Trevi	7	III	ambiente inquinato o comunque alterato
CLT7-B	Casco dell'Acqua	7	III	ambiente inquinato o comunque alterato
CLT8-B	Casevecchie	9-8	II	ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
CLT9-B	Torre di Montefalco	5-6	IV-III	ambiente molto inquinato o comunque molto alterato - ambiente inquinato o comunque alterato
CLT10-B	Bevagna	2-1	V	ambiente fortemente inquinato e fortemente alterato
FSV1-B	Tre Ponti	8	II	ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione
FSN1-B	Tre Ponti	7-6	III	ambiente inquinato o comunque alterato
FMC1-B	Taverna del Pescatore	5-6	IV-III	ambiente molto inquinato o comunque molto alterato - ambiente inquinato o comunque alterato
M11-B	Chiesa Tonda	7	III	ambiente inquinato o comunque alterato

Tab. 5.1.3.1 - I.B.E. e classi di qualità relative alle stazioni di monitoraggio.

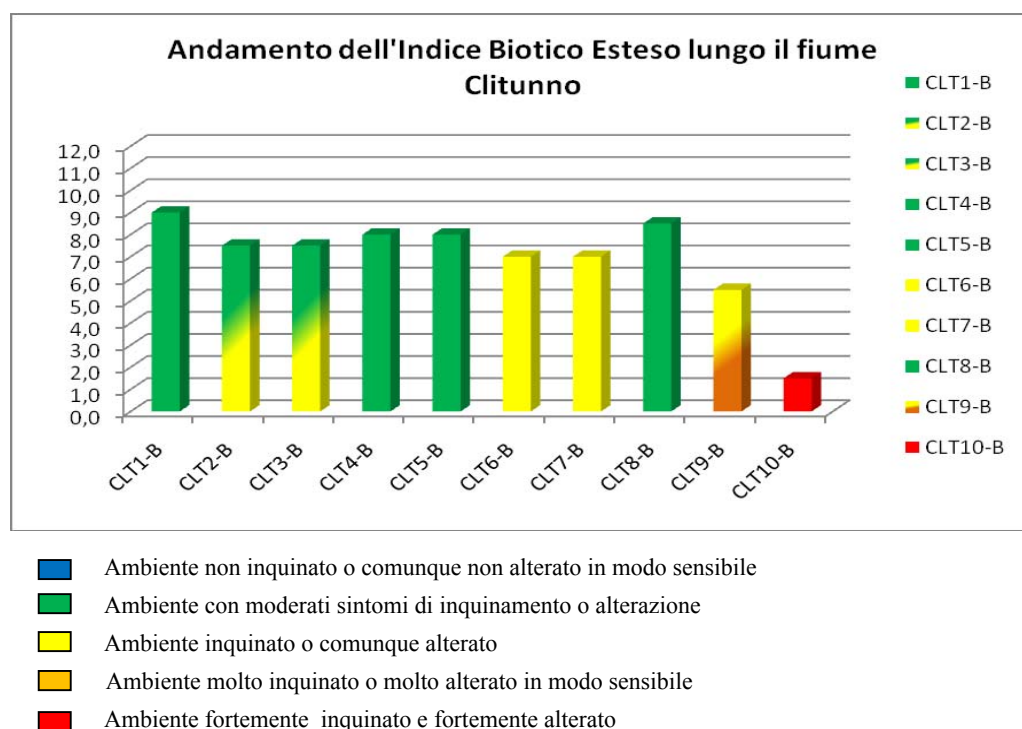


Fig 5.1.3.1- Andamento dell'I.B.E. lungo il fiume Clitunno.

Dall'applicazione dell'Indice Biotico Esteso si evince come il Fiume *Clitunno* segue un trend qualitativo tipico di fiumi scorrenti in ambienti fortemente antropizzati. Nel tratto medio – alto, fino al punto di campionamento immediatamente a valle della cartiera di *Trevi*, le stazioni CLT1-B, CLT4-B e CLT5-B (C.Q. = II) mostrano una buona eterogeneità del substrato e ricchezza di microhabitat che favoriscono la colonizzazione di una fauna macrobentonica diversificata, tra cui spiccano elementi crenobionti, tipici cioè di ambienti di tratti fluviali sorgentizi e ruscellanti, quali i Tricotteri Glossosomatidae e Goeridae. Sempre in questo tratto, invece, le stazioni CLT2-B e CLT3-B, site rispettivamente a monte e a valle dell'allevamento ittico, presentano iniziali segni di deterioramento, come testimoniato dalla riduzione del numero di *taxa*, dalla massiccia presenza di alghe filamentose e del dittero *Chironomus thummi plumosus*, tipico di ambienti poco ossigenati. Entrambe le stazioni, infatti, ricadono in una classe di qualità intermedia III-II (ambiente inquinato o comunque alterato - ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione), con un valore I.B.E. pari a 7-8. A partire dalle stazioni CLT6-B e CLT7-B (*Trevi-Pietrarossa* e *Casco dell'Acqua*), viene registrato un peggioramento della qualità delle acque e delle caratteristiche ambientali, che determinano una marcata perdita di diversità biologica (C.Q. = III). Sempre più spesso, infatti, viene rilevata la predominanza di limo nel substrato e la presenza di sedimento nero,

caratteristico di ambienti in anaerobiosi che favoriscono l'insediamento di una comunità composta prevalentemente dagli organismi più tolleranti.

Nella stazione CLT8-B (*Casevecchie*) è stato, invece, rilevato un valore dell'indice più elevato (IBE = 9-8; C.Q. = II), probabilmente legato alla riduzione locale dell'impatto antropico.

Nel tratto fluviale che scorre tra *Torre di Montefalco* e *Bevagna* è stato riscontrato un netto deterioramento delle caratteristiche ambientali. Infatti, a livello delle stazioni CLT9-B e CLT10 -B (C.Q. = IV-III; V), si osserva una banalizzazione del substrato (prevalenza di limo) nonché la diffusa presenza di detrito anaerobico maleodorante, che contribuiscono ad una drastica riduzione nel numero dei *taxa* (6 nella stazione 9 e 2 nella stazione 10). Significativo, infatti, è il rilevamento, tra i pochi organismi presenti, del dittero *Chironomus thummi plumosus*, specie legata a condizioni di forte anaerobiosi e inquinamento delle acque. Dai campionamenti eseguiti sui fossi tributari, si desume che solamente la *Fossa Vecchia* (località *Tre Ponti*) presenta una buona qualità delle acque, ricadendo in una II classe di qualità, con 18 *taxa* reperiti.

La stazione posizionata sulla *Fossa Nuova*, sempre in località *Tre Ponti*, mostra, invece, i primi segni di alterazione dell'ecosistema (C.Q. = III) e conseguente perdita dei *taxa* più sensibili (Glossosomatidae e Goeridae), ascrivibile essenzialmente all'impatto antropico subito dal fosso. Le condizioni ambientali peggiori sono state rilevate sul fosso *Fiumicella*, nel punto di monitoraggio situato a monte della confluenza con il fiume *Clitunno* (*Taverna del Pescatore*). Qui il substrato è caratterizzato dalla componente limosa dominante, il sedimento nero è maleodorante e si è riscontrata anaerobiosi estesa. Conseguentemente la comunità macrobentonica appare scarsamente diversificata, come rilevato dall'indice IBE (C.Q. IV-III).

L'ultima stazione, localizzata sul fosso *Marroggiola* a *Chiesa Tonda* (IBE = 7; C.Q. = III), presenta condizioni ambientali simili alla precedente.



Fig. 5.1.3.2 - Detrito anaerobico rilevato nell'ultimo tratto fluviale (CLT10).



Fig. 5.1.3.3 -Tappeto di alghe filamentose (a valle dell'allevamento ittico).



Fig. 5.1.3.4 - Tricottero della famiglia *Goeridae*.



Fig. 5.1.3.5 - Tricottero della famiglia *Limnephilidae*.



Fig. 5.1.3.6 - Tricottero della famiglia *Hydroptilidae*.



Fig. 5.1.3.7 - Tricottero della famiglia *Hydropsychidae*.



Fig. 5.1.3.8 - Efemerottero della famiglia *Baetidae*.



Fig. 5.1.3.9 - Coleottero della famiglia *Elmidae* (adulto e larva).



Fig. 5.1.3.10 - Crostacei *Gammaridae*.



Fig. 5.1.3.11 - Gasteropode della famiglia *Physidae*.



Fig. 5.1.3.12 - Tricladi (genere *Dendrocoelum*).



Fig. 5.1.3.13 - Irudinei (genere *Dina*).



Fig. 5.1.3.14 - Ditteri della famiglia *Chironomidae* (specie *Chironomus thummi plumosus*).



Fig. 5.1.3.15 - Ditteri della famiglia *Simuliidae*.

5.2 Rilievo delle comunità a macrofite

Con il termine **macrofite** si intende un raggruppamento di organismi vegetali macroscopicamente visibili che colonizzano gli ambienti acquatici, comprendendo al loro interno sia le macroalghe sia le piante superiori acquatiche (Briofite, Pteridofite e Angiosperme).

La flora acquatica è una flora altamente specializzata, costituita essenzialmente da specie erbacee con areale molto ampio. Le specie che vivono in acque correnti presentano una grande variabilità morfologica e diverse strategie di adattamento per assicurarsi gli scambi gassosi, mantenere le foglie sommerse in buone condizioni di illuminazione, resistere alle sollecitazioni meccaniche dovute al flusso della corrente ed essere in grado di effettuare l'impollinazione. L'insieme dei fattori ambientali determina la struttura, la composizione e l'esistenza stessa delle cenosi a macrofite.

Le piante acquatiche possono essere distinte in base alla forma biologica in più gruppi a diversa ecologia:

- **Idrofite**: sono le macrofite realmente acquatiche, organismi che vivono completamente sommersi o sulla superficie dell'acqua; è possibile distinguere tra idrofite sommerse (*Myriophyllum sp.*, *Ceratophyllum sp.*, *Fontinalis sp.*, *Characeae*), idrofite radicate e flottanti (*Potamogeton natans*, *Nuphar luteum*), idrofite non radicate e flottanti (*Lemna sp.*, *Azolla sp.*);
- **Elofite**: piante radicate in un substrato sommerso, aventi solo la parte basale in acqua ma emergenti per la maggior parte del corpo (*Phragmites australis*, *Typha sp.*, *Juncus sp.*, *Sparganium sp.*);
- **Geofite**: pur essendo piante terrestri, all'interno di questo gruppo ce ne sono molte tipiche di ambienti umidi, che si propagano fino agli ambienti acquatici e colonizzano l'habitat spondicolo, rimaneggiato spesso dalle morbide del corso d'acqua; sono in grado di tollerare temporanei periodi di sommersione e molte non sono neanche particolarmente igrofile. A questo gruppo appartengono le specie definite anche pioniere di greto o sopra-acquatiche (*Carex sp.*, *Cyperus sp.*, *Chenopodium sp.*, *Polygonum sp.*)

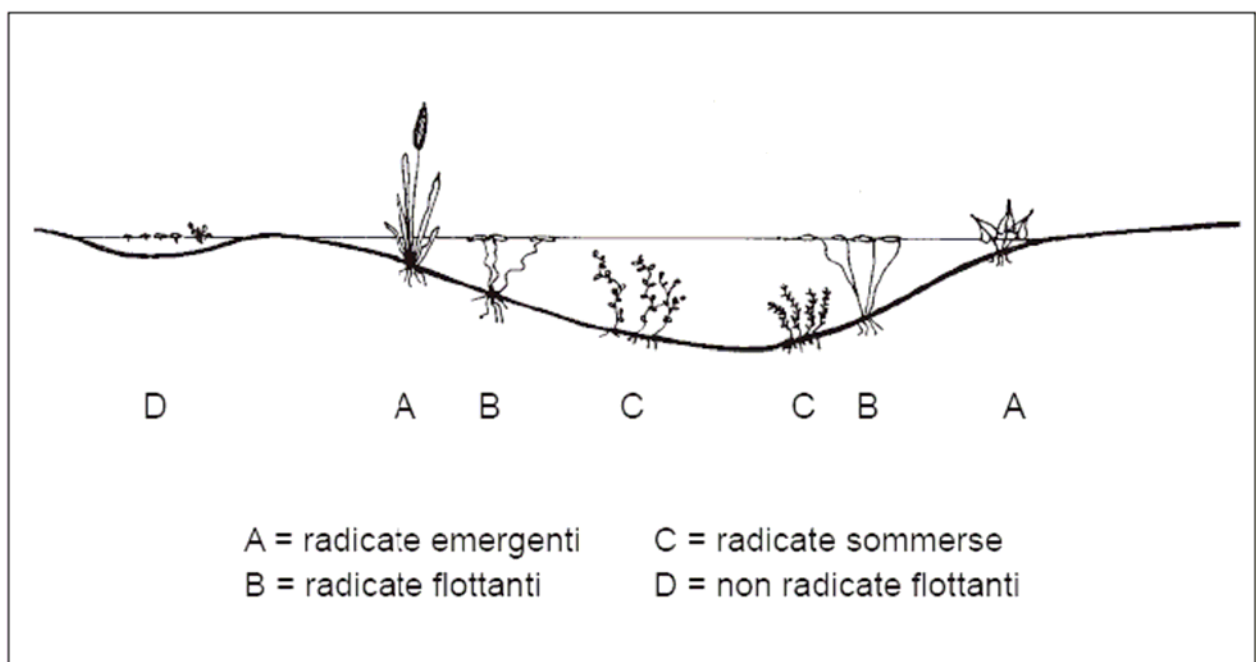


Fig. 5.2.1 - Schema semplificato della distribuzione delle macrofite in alveo (da Siligardi et al., 2001).

Le macrofite possono essere considerate degli ottimi indicatori biologici in quanto la loro sensibilità nei confronti dell'inquinamento, in particolare di quello organico e dell'eutrofizzazione, è stata dimostrata da diversi studi (Butcher, 1933; Seddon, 1972; Haslam, 1978; Holmes, 1980 e altri), anche se molto rimane da approfondire sull'effettiva efficacia di questi indicatori.

Al variare del grado di alterazione dell'ambiente fluviale, le comunità macrofite reagiscono in modo molto simile alle comunità animali. Una elevata disponibilità di nutrienti (fosfati, nitrati), infatti, stimola lo sviluppo di tali cenosi, anche se la comunità si arricchisce soprattutto di specie tolleranti, con un basso valore ecologico; al di sopra di certi valori, invece, prolifera il phytoplankton e, quindi, diminuendo la penetrazione della luce, si riduce la crescita di macrofite radicate sommerse.

Oltre ad essere sensibili all'inquinamento, le macrofite presentano una relativa facilità di identificazione, una mobilità limitata e un ciclo vitale lungo, annuale o pluriennale.

I principali limiti nel loro utilizzo sono legati al fatto che le macrofite sono influenzate, oltre che dalle caratteristiche qualitative del corso d'acqua, da parametri fisico-chimici molto selettivi. Pertanto, l'analisi di tali biocenosi può dare informazioni corrette solo dove la loro copertura è significativa.

Come per altri bioindicatori, l'uso delle macrofite permette di evidenziare gli effetti sinergici dovuti a più fattori di stress e, quindi, di valutare se la comunità è soggetta a disturbi, ma non di individuare la causa prima di inquinamento. È, pertanto, un tipo di analisi complementare ai

metodi tradizionali e fondamentale per un approccio integrato nella valutazione dello stato di qualità degli ecosistemi acquatici.

Sulla base di studi relativi all'autoecologia di alcune specie vegetali acquatiche (Hynes, 1960, 1970; Haslam, 1978), sono state formulate le prime liste di specie indicatrici.

Indici biotici che utilizzano le macrofite sono molto utilizzati in Inghilterra, Irlanda, Francia ed Austria; mentre alcuni indici si basano sulla presenza/assenza e abbondanza di un numero limitato di *taxa* indicatori, altri si basano sull'attribuzione di coefficienti numerici specifici ad un certo numero di *taxa* (indici a punteggio).

5.2.1 Analisi delle comunità a macrofite nel fiume Clitunno

Sulle stesse stazioni dove è stato effettuato il rilievo delle comunità macrobentoniche, è stata analizzata la struttura e composizione delle biocenosi a macrofite presenti, con l'inserimento di un ulteriore sito di campionamento in prossimità del laghetto delle fonti (CLTF-B), vista l'importanza dal punto di vista naturalistico di tale ambiente.

A completamento di ogni rilievo floristico-vegetazionale sono state annotate una serie di informazioni relative a diversi parametri (idrogeologici, idromorfologici, stato ed uso del territorio e fattori antropici), al fine di valutare le potenziali forme di disturbo che possono maggiormente condizionare la distribuzione e lo sviluppo della componente macrofitica.

La composizione e la struttura delle piante acquatiche, infatti, possono essere influenzate da numerosi fattori, sia di origine naturale che antropica. Spesso l'assenza o la presenza sporadica in alcune aree della componente macrofitica, e soprattutto di quella acquatica, non necessariamente è dovuta a fattori d'inquinamento o di disturbo antropico, ma può essere legata all'influenza di fattori prettamente naturali relativi all'idrologia e all'idromorfologia del fiume. Sicuramente, caratteristiche quali una buona trasparenza delle acque, una scarsa o ridotta ombreggiatura, una velocità della corrente medio-bassa o un substrato a granulometria fine, determinano le condizioni ottimali per lo sviluppo delle macrofite. Tra le forme di disturbo antropico più importanti, invece, va considerato l'inquinamento delle acque, l'artificializzazione del corso d'acqua (spondale e/o dell'alveo), l'alterazione del corso naturale del fiume, l'urbanizzazione e lo sfalcio della vegetazione acquatica, palustre e di greto.

La presenza di tali disturbi determina una serie di effetti sulla componente vegetale, che si manifestano in una variazione sia della ricchezza di specie sia nella composizione specifica (ad

esempio specie ruderali si sostituiscono alle specie riparali, le alloctone alle autoctone e le specie tolleranti a quelle sensibili).

Le principali forme di disturbo antropico riscontrate nei tratti esaminati sono rappresentate da:

- Sfalcio;
- Vicinanza strade e abitati;
- Calpestio;
- Alterazione antropica;
- Rifiuti in acqua.

In questa analisi vengono presi in esame sia la ricchezza floristica delle popolazioni macrofittiche sia la composizione in specie delle comunità.

Per quanto riguarda la **ricchezza floristica** delle comunità macrofittiche rilevate sul fiume *Clitunno* e sui suoi tributari, la figura 5.2.1 mostra come varia questo parametro nelle stazioni monitorate, considerando solo le specie acquatiche. Le specie sopracquatiche, infatti, non sono state prese in considerazione dal momento che la massiccia presenza di forme di disturbo, quali sfalcio e calpestio, danneggia in modo particolare questa componente e non permette una corretta valutazione della presenza di specie e della relativa copertura.

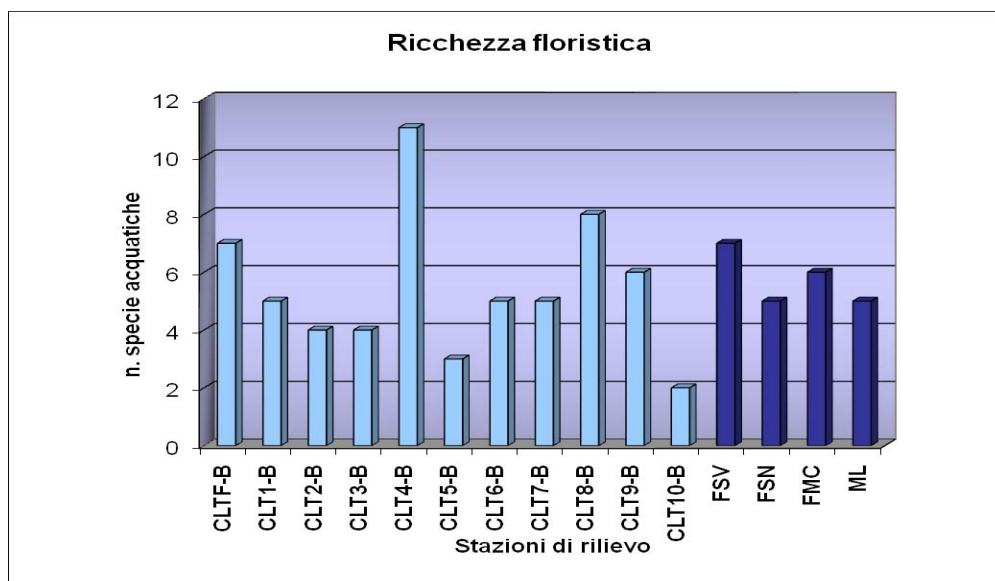


Fig. 5.2.1.1 - Ricchezza floristica delle comunità di macrofite rilevate nelle stazioni di monitoraggio sul Clitunno e sui fossi tributari, riferita alle sole specie acquatiche.

Dall'analisi dei risultati emergono le seguenti considerazioni:

- la stazione di *Chiesa Tonda* (CLT4-B) si distingue nettamente dagli altri punti di campionamento per essere caratterizzata dalla più elevata ricchezza di specie registrata lungo il corso d'acqua (11 specie acquatiche) e, quindi, da una comunità ben strutturata e diversificata;
- le stazioni situate in prossimità del laghetto delle *Fonti del Clitunno* (CLTF-B) e presso la località di *Casevecchie* (CLT8-B) mostrano una buona ricchezza floristica, sebbene il numero di specie riscontrato sia nettamente inferiore rispetto a quello rilevato presso la stazione di *Chiesa Tonda*;
- poco diversificate sono anche le comunità a macrofite osservate presso le stazioni CLT2-B e CLT3-B, localizzate, rispettivamente, a monte e a valle dell'allevamento ittico;
- le condizioni peggiori per i valori di ricchezza floristica più bassi, infine, sono state riscontrate sia presso la stazione a valle della cartiera (CLT5-B), con tre specie acquatiche rilevate, sia sull'ultimo sito di campionamento (CLT10-B, *Bevagna*), caratterizzato dalla presenza di due sole specie.

Per quanto riguarda i fossi tributari, la maggiore ricchezza floristica è stata osservata presso la stazione in località *Tre Ponti* sulla *Fossa Vecchia*, che presenta una comunità macrofítica anche più diversificata di quella che colonizza il tratto parallelo del fiume *Clitunno*. Le stesse considerazioni possono essere fatte per il rilevamento effettuato sulla *Fiumicella*, mentre le stazioni campionate sulla *Fossa Nuova* e sulla *Marrogiola* sono caratterizzate da una comunità meno diversificata rispetto agli altri punti di campionamento.

In generale, i settori fluviali dove il numero di specie risulta ridotto sono probabilmente soggetti ad un maggior inquinamento e disturbo antropico (interventi in alveo e sulle sponde). In tali siti, infatti, la scarsa ricchezza floristica non è legata alle caratteristiche dell'ambiente fluviale, dal momento che i tratti esaminati sono tutti caratterizzati da scarsa ombreggiatura, profondità limitata, portata e velocità della corrente medio-basse e buona trasparenza delle acque, tutti fattori che concorrono allo sviluppo delle macrofite.

Confrontando i risultati ottenuti con i dati relativi all'applicazione dell'Indice Biotico Esteso, si possono fare le seguenti considerazioni:

- per le stazioni a monte e a valle dell'allevamento ittico (CLT2-B e CLT3-B), i dati ricavati dal campionamento delle comunità a macrofite e dei macroinvertebrati bentonici concordano, individuando per questi due punti di campionamento un'alterazione delle condizioni fluviali rispetto ai tratti a monte e a valle;
- lo studio delle biocenosi animali e vegetali presso il punto di campionamento a valle della cartiera (CLT5-B) mostra, invece, risultati discordanti. Infatti, mentre la stazione risulta essere caratterizzata da una comunità a macrofite povera, presenta una popolazione bentonica ben diversificata, favorita probabilmente da caratteristiche ottimali di substrato, che la pone in seconda classe di qualità (ambiente con moderati sintomi di inquinamento o di alterazione);
- la stazione di *Bevagna* risulta sempre la più povera qualitativamente e quantitativamente per le biocenosi riscontrate e, quindi, la più alterata da un punto di vista ecologico.

Per quanto riguarda la **composizione** in specie delle comunità, i rilievi effettuati lungo il fiume *Clitunno* evidenziano come la vegetazione macrofitica risponda al variare dello stato trofico delle acque.

Sulla base delle specie rilevate è possibile distinguere due tratti fluviali principali:

- il primo tratto, compreso tra le *Fonti del Clitunno* e *Casco dell'Acqua*, è caratterizzato dalla presenza di comunità tendenzialmente meso-eutrofiche, indicatrici di un inquinamento organico medio (*Ranunculus tricophyllus*, *Berula erecta*, *Hippuris vulgaris*, *Lemna trisulca*, *Potamogeton tricoides*). Le uniche stazioni che si discostano da tali condizioni sono quelle localizzate a monte e a valle dell'allevamento ittico (CLT2-B e CLT3-B) per la presenza di diverse specie di alghe filamentose con copertura estesa dell'alveo, segno di elevato carico organico;
- il secondo tratto, tra *Casco dell'Acqua* a *Bevagna*, è caratterizzato invece da comunità eutrofiche o ipertrofiche, dominate da specie indicatrici di inquinamento organico elevato (*Miriophyllum verticillatum*, *Potamogeton pectinatus*). Tale tratto è soggetto, nel periodo estivo e in particolari condizioni di riscaldamento delle acque, a massicce fioriture algali, dovute ad una condizione di ipertrofia, legata all'eccessiva immissione di sostanze di natura organica (scarichi, reflui di origine agricola, ecc.). Anche in questo caso, la stazione di *Casevecchie* si distingue dagli altri siti di campionamento per essere caratterizzata da una comunità macrofitica meso-eutrofica (ricomparsa di *Ranunculus tricophyllus*, *Berula erecta*, *Lemna trisulca*).

In conclusione, le informazioni ricavate dall'analisi della composizione in specie delle comunità a macrofite sembrano trovare maggiore riscontro con i dati I.B.E. rispetto al confronto degli stessi con la ricchezza floristica.

5.3 Rilievo della fauna ittica

Il monitoraggio della fauna ittica è stato condotto il 9 novembre 2007 su due settori fluviali del fiume *Clitunno*, uno localizzato in località *Pigge* (CLT4-B), l'altro in località *Casco dell'Acqua* (CLT7-B). Tale localizzazione è stata scelta per sovrapporla alle stazioni della Carta Ittica Regionale (rispettivamente 01CLIT01 e 01CLIT02): ciò ha reso possibile il confronto fra la situazione attuale con quanto esistente nel passato.

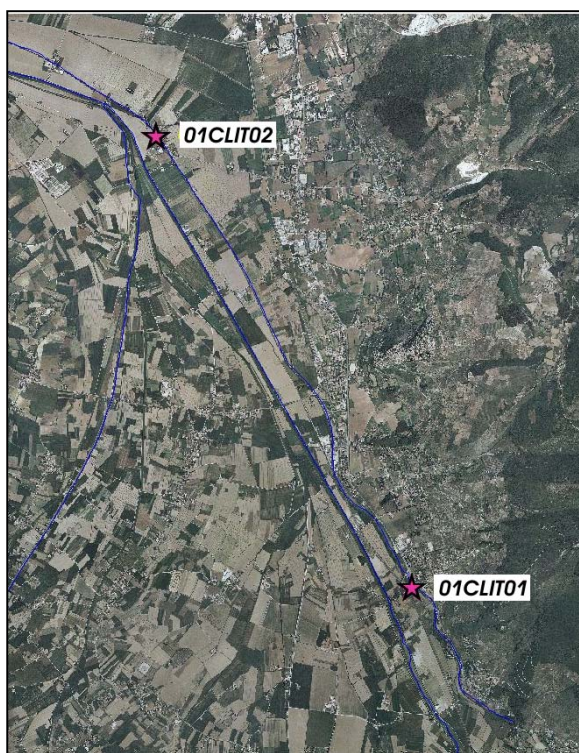


Fig. 5.3.1 - Localizzazione delle stazioni di campionamento della fauna ittica (*Pigge*, UTM 33T 316263- 746685 e *Casco dell'Acqua* UTM 33T 312755-4753866).

Nello studio per la realizzazione della Carta Ittica Regionale di secondo livello del sottobacino del *Chiascio-Topino* (Mearelli et al., 2001) sono stati effettuati due campionamenti per ciascuna

stazione, come riportato in tabella 5.3.1.

STAZIONE CARTA ITTICA	STAZIONE DEL PROGETTO	Fase 1	Fase 2
01CLT01	CLT4-B	29/04/1999	21/10/1999
01CLT02	CLT7-B	29/04/1999	27/10/1999

Tab. 5.3.1- Date dei campionamenti della Carta Ittica di II livello.

I campionamenti per gli aggiornamenti della Carta Ittica del sottobacino del fiume *Chiascio-Topino* sono stati effettuati il 10/10/2005 (dati non pubblicati).

5.3.1 Metodi di campionamento

Tutti i campionamenti ittici sono stati condotti con il sistema della pesca elettrica, mediante l'ausilio di un elettrostorditore. Questa tecnica consente di catturare la fauna ittica in tempi brevi in un ampio tratto di fiume, senza nuocere al pesce catturato, che può essere rilasciato subito dopo le operazioni di determinazione sistematica, di misurazione del peso e della lunghezza e di prelievo delle scaglie. I limiti della pesca elettrica vanno ricercati nella sua inefficacia in presenza di grandi volumi di acqua e nella difficoltà a catturare le specie e gli individui di piccole dimensioni (Mearelli et al., 2002).

I campionamenti sono stati effettuati mediante la tecnica delle passate successive (Moran, 1951; Zippin, 1956, 1958); questa metodologia prevede il campionamento dello stesso tratto fluviale, partendo da monte verso valle per due volte consecutive e cercando di applicare lo stesso sforzo-pesca (Seber e Le Cren, 1967). Ciò al fine di catturare tutte le specie presenti e, nell'ambito di ciascuna specie, gli individui di diverse età, in modo da poter calcolare l'abbondanza e la struttura delle singole popolazioni.

I pesci catturati nei due campionamenti successivi sono stati mantenuti separati fra loro, e quindi anestetizzati con acetonecloroformio (0,7 ml l⁻¹ di acqua), in modo da agevolare e rendere meno traumatica la loro manipolazione. Questa fase è stata seguita dalla determinazione sistematica di ogni singolo individuo catturato e dalle successive misure di campo, che per ogni stazione di campionamento sono state le seguenti:

- lunghezza individuale degli esemplari catturati, espressa in cm (con precisione di $\pm 0,1$ cm). La misura è stata rilevata dall'apice del muso fino al lobo superiore della pinna caudale

(Anderson e Neumann, 1996), per mezzo di una tavoletta ittiometrica graduata;

- peso individuale degli esemplari catturati, espresso in grammi. E' stato valutato mediante una bilancia elettronica da campo (con precisione ± 1 g).

Il prelievo delle scaglie, per la successiva determinazione dell'età in laboratorio, è stato effettuato su un sub-campione, cercando di selezionare gli individui per coprire tutte le classi di lunghezza presenti ad intervalli di 1 cm.

Il prelievo è stato effettuato sui fianchi, in zone diverse a seconda delle specie catturate (Bagenal, 1978; Ombredane e Richard, 1990); le scaglie sono state conservate in etanolo al 30%, fino alla successiva determinazione dell'età in laboratorio.

Effettuati tutti i rilievi, i pesci sono stati risvegliati e acclimatati prima del loro rilascio in acqua nei medesimi settori fluviali di prelievo.

5.3.2 Determinazione dell'età

In laboratorio si è proceduto alla determinazione dell'età mediante analisi microscopica delle scaglie (scalimetria).

Il metodo scalimetrico (Bagenal, 1978; De Vries e Frie, 1996) per l'attribuzione dell'età è basato sull'individuazione del numero di annuli presenti nella scaglia. Gli annuli si formano durante i periodi di più lento accrescimento del pesce; negli organismi ectotermi, quali i pesci, ciò avviene soprattutto come conseguenza delle variazioni termiche stagionali (ma anche di alcune influenze interne).

La lettura delle scaglie permette di valutare l'età del pesce in base al conteggio degli annuli, cioè al numero d'inverni trascorsi fino al momento della cattura, e quindi di collocare gli individui nelle appropriate classi d'età. Le classi di età per convenzione si designano come 0+, 1+, 2+ e così via, in cui il valore numerico si riferisce agli inverni trascorsi, mentre il segno + si riferisce all'accrescimento realizzato nei mesi successivi alla formazione dell'ultimo annulo, indipendentemente dalla data di cattura.

Per l'attribuzione dell'età a tutti gli individui, il metodo scalimetrico è stato integrato con quello di Petersen che si basa sulla distribuzione delle frequenze delle lunghezze del campione (Bagenal, 1978).

5.3.3 Densità e standing crop

Il metodo di campionamento utilizzato (metodo delle catture successive) permette di stimare, per ogni specie, il numero probabile di individui presenti nel settore fluviale indagato; sulla base di tale dato è possibile calcolare successivamente la biomassa probabile e quindi la densità ($N \text{ ind m}^{-2}$) e lo standing crop (g m^{-2}).

Affinché il metodo possa essere applicato correttamente, il numero di pesci catturati nella prima passata (C_1) deve essere superiore al numero di pesci catturati nella seconda passata (C_2). Il numero probabile (N) di pesci presenti nel settore, quando si verifica tale condizione, sarà quindi:

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

Se la condizione richiesta non si verifica, si può soltanto concludere che:

$$N \geq C_1 + C_2$$

Il metodo delle catture successive può essere applicato solo se si verificano le seguenti condizioni (Marconato, 1991):

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

La seconda condizione, a differenza della prima e della terza, può non essere sempre garantita; infatti, il metodo di cattura utilizzato presenta un certo grado di selettività, in quanto l'elettrostorditore è più efficace nei confronti degli esemplari più grandi. Ciò indica che la probabilità di cattura non è la stessa per tutti gli individui della popolazione (Marconato, 1990). Nel calcolo dell'abbondanza delle popolazioni, a tale inconveniente si è ovviato in parte scomponendo il campione in classi di taglia omogenea (classi di età).

La biomassa probabile (B) è stata calcolata moltiplicando il numero probabile per il peso medio

degli esemplari catturati (Marconato, 1991):

$$B = N P$$

La densità (N ind m⁻²) e lo standing crop (g m⁻²) sono stati calcolati dividendo il numero probabile e la biomassa probabile per le superfici dei rispettivi settori di campionamento, riportate in tabella 5.3.3.1.

STAZIONE	1999 fase 1	1999 fase 2
CLT4-B	1200 m ²	1200 m ²
CLT7-B	740 m ²	660 m ²

Tab. 5.3.3.1 - Superfici campionate

5.3.4 Indici di comunità

Il numero di specie presenti nella comunità (o ricchezza di specie presunta \hat{S}) è stato stimato mediante la formula (Krebs, 1998):

$$\hat{S} = s + ((n-1)/n) k$$

dove:

s = numero totale di specie presenti in n osservazioni;

n = numero totale di osservazioni;

k = numero di specie uniche, cioè presenti in un'unica osservazione.

Per meglio caratterizzare le comunità ittiche presenti nei tratti fluviali indagati in periodi di tempo diversi (struttura, rapporti tra le singole specie) è stato utilizzato l'indice di diversità (Shannon-Wiever, 1949). Tale indice permette di valutare lo stato di organizzazione e la complessità delle interazioni tra specie appartenenti alla stessa comunità; per fare ciò utilizza il numero di specie presenti e le relative abbondanze. L'indice valuta anche, per un individuo della comunità preso a caso, l'incertezza di appartenere ad una determinata specie. Quindi, tanto più il valore dell'indice si allontana dallo zero, tanto maggiore sarà la diversità. L'indice di diversità è definito dalla seguente formula:

$$H = - \sum_{j=1}^s \left[\frac{n_j}{N} \log_2 \frac{n_j}{N} \right]$$

in cui

n_j = numero di individui appartenenti alla specie j -esima;

N = numero totale di individui.

L'indice di diversità è quindi un indice matematico che descrive in termini sintetici, ma astratti, il numero e l'abbondanza relativa delle specie presenti in un'area. Se una comunità contiene molte specie tutte egualmente abbondanti, l'indice raggiunge i valori massimi; i valori di diversità sono minimi se è presente una specie largamente dominante accanto ad altre specie molto rare.

5.3.5 Struttura di popolazione

La struttura di popolazione è definita in base all'abbondanza (densità e standing crop) e diffusione della popolazione stessa ed è data dalla composizione per età che definisce i rapporti numerici tra le diverse classi di età. Lo studio della struttura per età è stato condotto tenendo in considerazione i seguenti parametri di riferimento:

- numero di classi di età;
- grado di continuità della struttura;
- densità degli individui 0+.

Sulla struttura di popolazione influiscono anche altri fattori relativi all'ambiente, alle interazioni con altre specie, ai cicli riproduttivi e vitali, così come i prelievi o le immissioni operate dall'uomo. Tale analisi rappresenta un valido supporto nello studio dello sfruttamento delle risorse ittiche e nella ricerca delle cause ambientali che agiscono da fattori limitanti, così come permette di fare previsioni sulle future condizioni demografiche di una popolazione.

La struttura di popolazione è stata rappresentata graficamente tramite la distribuzione del numero di individui disaggregati per classi di età. Il rapporto tra i vari gruppi di età di una popolazione definisce il suo stato riproduttivo ed influenza la natalità e la mortalità. Una popolazione in rapida espansione sarà costituita, infatti, in prevalenza da individui giovani, una stazionaria avrà una distribuzione più uniforme delle classi di età, una in declino, infine, sarà composta per la maggior parte da individui vecchi. Raggiunta una certa stabilità, le naturali fluttuazioni di dimensione della popolazione non influiscono sulla struttura che, invece, può essere alterata da fattori esterni. Un'eccessiva pressione di pesca comporterà un appiattimento della struttura, per l'esistenza di un prelievo differenziale che agisce soprattutto sugli esemplari più anziani. Una cattiva qualità delle acque, l'esistenza di ostacoli che frammentano la popolazione (come dighe e traverse), la presenza di specie competitive possono disturbare gli equilibri interni tra gli individui, distorcendo ed

alterando la struttura per età della popolazione: fattori ambientali avversi penalizzeranno innanzi tutto la riproduzione e gli stadi giovanili che, come è noto, rappresentano le fasi più sensibili a tutti i tipi di degrado ambientale.

5.3.6 Analisi dei dati

Stazione di Pigge: abbondanza delle popolazioni ittiche

Le abbondanze complessive della fauna ittica catturata nella stazione di **Pigge** ed espresse come densità e biomassa areale, sono riportate nella tabella 5.3.6.1. Dai dati calcolati è possibile osservare come il campionamento del 2007 sia caratterizzato dalla densità più bassa e dalla biomassa più elevata rispetto a tutti gli anni precedenti, con la sola eccezione della densità della fase 1 del 1999. Quest'ultimo campionamento, tuttavia, non è direttamente confrontabile con gli altri, in quanto solo in questo caso il dato è stato rilevato nel periodo primaverile e quindi risulta penalizzato dall'assenza dei giovani nati nell'anno (classe 0+), non presenti poiché la riproduzione non era ancora avvenuta o era troppo prossima al campionamento.

Stazione	1999 fase 1	1999 fase 2	2005	2007
Densità (ind m ⁻²)	00/01/1900	00/01/1900	0,57	0,16
Biomassa areale (g m ⁻²)	14/01/1900	21/01/1900	13,58	43,59

Tab. 5.3.6.1- Densità e biomassa ittica del Clitunno a Pigge.

Le specie complessivamente presenti nella stazione sono 9 e nella tabella 5.3.6.3 viene riporta la loro densità: due sono le specie presenti in modo costante durante tutti i campionamenti, la trota fario (*Salmo trutta* L.) e lo spinarello (*Gasterosteus aculeatus* L.); tinca (*Tinca tinca* L.), barbo (*Barbus tyberinus* Bp.), cobite (*Cobitis bilineata* Can.) e lampreda di ruscello (*Lampetra planeri* Bloch.) sono, al contrario, specie di comparsa saltuaria.

SPECIE	1999 Fase 1	1999 Fase 2	2005	2007
<i>Anguilla anguilla</i>	0,002	0,004	0,003	

<i>Barbus tyberinus</i>				0,008
<i>Cobitis bilineata</i>			0,009	
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0,013	0,02	0,012	0,004
<i>Leuciscus souffia</i>	0,013		0,008	0,002
<i>Rutilus rubilio</i>	0,011	0,03	0,285	
<i>Salmo trutta</i>	0,075	0,247	0,251	0,141
<i>Lampetra planeri</i>		0,003		
<i>Tinca tinca</i>		0,001		

Tab. 5.3.6.3 - Densità delle diverse specie ittiche nel Clitunno a Pigge (i valori in ind m⁻²).

Il confronto fra le abbondanze ittiche rilevate nel 2007 rispetto a quelle del 2005 evidenzia una generale riduzione della densità in tutte le specie, ad eccezione del solo barbo tiberino; in particolare, tale riduzione è particolarmente evidente per la trota fario e per la rovella (*Rutilus rubilio* Bp.), che nel 2005 appare la specie più numerosa del settore fluviale indagato, mentre nel 2007 risulta addirittura del tutto scomparsa (figura 5.3.6.1); nel 2007, oltre alla rovella, risultano assenti anche il cobite e l'anguilla (*Anguilla anguilla* L.).

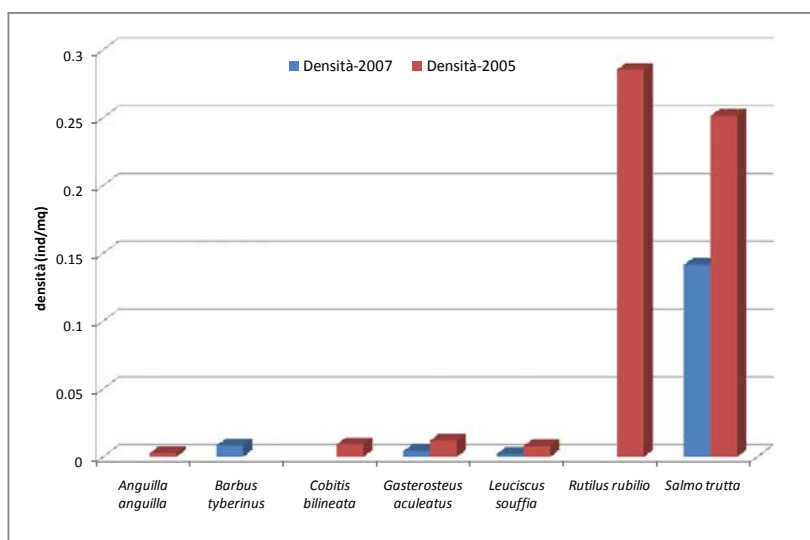


Fig. 5.3.6.1 - Densità per specie ittica nel Clitunno a Pigge: confronto fra il 2005 ed il 2007

La tabella 5.3.6.4 riporta, invece, la biomassa areale determinata nella stessa stazione e ripartita sempre per specie ittica. Le specie dominanti dal punto di vista ponderale appaiono la trota fario, che in assoluto rappresenta la specie più importante, l'anguilla e la rovella.

Il confronto fra i campionamenti del 2005 e del 2007 (Figura 5.3.6.2) evidenzia come la trota fario abbia fatto registrare in questo caso un incremento davvero importante rispetto al passato (2005 = 10,42 g m⁻²; 2007 = 42,93 g m⁻²). Tutte le specie, ad eccezione del barbo assente negli anni precedenti, riducono nel 2007 le proprie abbondanze; l'anguilla, il cobite e la rovella, come già

detto, risultano del tutto assenti.

SPECIE	1999 Fase 1	1999 Fase 2	2005	2007
<i>Anguilla anguilla</i>	0,487	1,756	2,2	
<i>Barbus tyberinus</i>				0,589
<i>Cobitis bilineata</i>			0,023	
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0,035	0,027	0,024	0,004
<i>Leuciscus souffia</i>	0,592		0,142	0,077
<i>Rutilus rubilio</i>	0,146	0,25	0,772	
<i>Salmo trutta</i>	13,292	19,051	10,417	42,925
<i>Lampetra planeri</i>		0,021		
<i>Tinca tinca</i>		0,001		

Tab. 5.3.6.4 - Biomassa areale delle diverse specie ittiche nel Clitunno a Pigge (i valori in g^{-2})

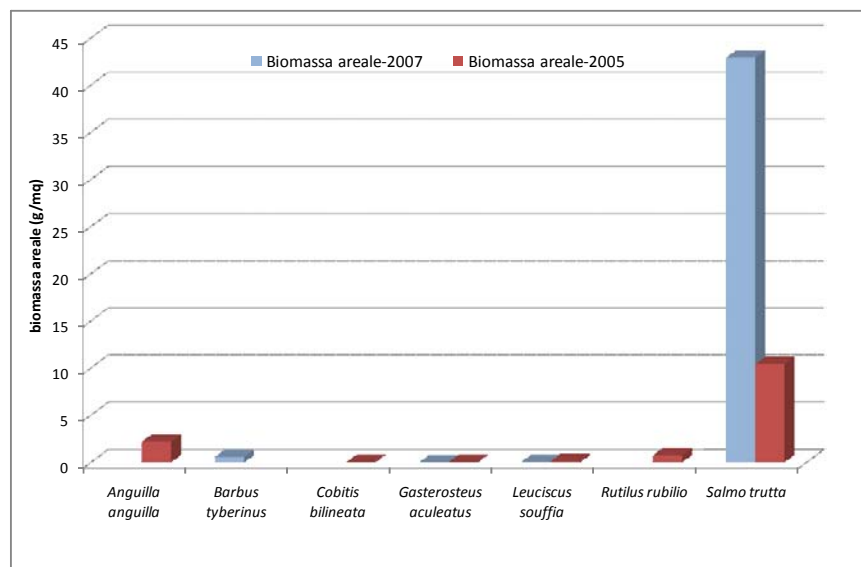


Fig. 5.3.6.2 - Biomassa per specie ittica nel Clitunno a Pigge: confronto fra il 2005 ed il 2007.

Questa analisi, quindi, evidenzia come a **Pigge** si sia registrata nel 2007 una netta riduzione del numero di specie presenti, una generale diminuzione dell'abbondanza numerica delle popolazioni ittiche e della loro biomassa areale, con la sola eccezione della trota fario, per la quale si osserva una riduzione della densità, ma un netto incremento della biomassa areale rispetto al passato. Tale situazione è da attribuirsi ad un aumento della taglia media degli esemplari presenti, sicuramente conseguenza di alcuni ripopolamenti effettuati successivamente all'incidente alla Umbria Olii; ciò apparirà ancora più evidente dall'analisi della struttura di popolazione, che sarà discussa più avanti, ed è confermato dall'elevata percentuale di esemplari aventi malformazioni ed altri segni che evidenziano una loro lunga permanenza nelle vasche di allevamento. Fra le note più negative del

confronto fra i campionamenti del 2005 ed del 2007 c'è l'estinzione della rovella, specie autoctona che nel passato dominava dal punto di vista numerico la comunità ittica di tale settore fluviale.

Indici di comunità

Il tratto fluviale riferibile alla stazione di **Pigge** (CLT4-B), per la propria composizione specifica, è attribuibile alla zona inferiore della trota: la comunità ittica appare dominata dalla trota fario, con presenza di ciprinidi reofili (rovella, vairone) e specie associate (lampreda di ruscello, spinarello, anguilla) (Mearelli et al., 1995). Il bilancio ambientale, emerso nel corso della Carta Ittica Regionale di II livello (Mearelli et al., 1999), appare dubbio in quanto tutti i parametri fisico-chimici risultano idonei per i salmonidi (D.L. 152/1999), ma l'I.B.E., riferito a tale periodo, è in IV classe di qualità dell'acqua (ambiente molto inquinato). Il numero complessivo di specie ittiche rinvenute nel tratto esaminato durante l'intero periodo oggetto di indagine (1999-2007) è pari a 9, anche se nei singoli campionamenti la ricchezza di specie varia da un minimo di 4 (2007) ad un massimo di 6 (1999 fase 2 e 2005). La ricchezza di specie presunta (\hat{S}) è, tuttavia, pari a 12; ciò indica l'esistenza di un'elevata variabilità nel numero delle specie ittiche che in tempi diversi colonizza tale tratto fluviale, come conseguenza della presenza di un alto numero di specie rare e saltuarie.

La tabella 5.3.6.7 riporta i valori degli indici di comunità: è evidente la consistente riduzione della diversità registrata nel 2007, quando tale indice fa registrare il valore più basso fra tutti quelli osservati, con un netto peggioramento rispetto al monitoraggio immediatamente precedente. L'indice di diversità descrive in modo sintetico il numero e l'abbondanza relativa delle specie presenti in un'area: i valori sono massimi in una comunità indisturbata, contenente molte specie con eguale abbondanza; i valori di diversità sono minimi se sono presenti poche specie delle quali la maggior parte sono molto rare, mentre una o poche assomma a sé la maggior parte degli individui. Le relazioni tra stress ed indice di diversità non sono necessariamente monotone: aumenti elevati del grado di inquinamento determinano comunque la caduta dei valori di diversità, anche se livelli intermedi di stress non necessariamente riducono la diversità, ma talvolta l'aumentano (Marchetti, 1993). Anche se non è possibile stabilire una connessione diretta con l'incidente avvenuto alla Umbria Olii, appare evidente come si sia osservato nel periodo intercorso tra gli ultimi due monitoraggi un netto peggioramento nella composizione della comunità ittica presente nel settore fluviale indagato. E' molto probabile, inoltre, che tale deterioramento sia addirittura maggiore rispetto a quanto è stato registrato dall'indice di diversità: ciò a causa dei ripopolamenti che, almeno

per la trota fario, hanno contribuito in parte a ricostituire le popolazioni presenti.

INDICE	1999 Fase 1	1999 Fase 2	2005	2007
<i>Ricchezza di specie</i>	5	6	6	4
<i>Diversità</i>	1,067	0,698	0,942	0,39

Tab. 5.3.6.7 - Ricchezza di specie e diversità nel Clitunno a Pigge

Struttura per età

L'analisi della struttura per età delle popolazioni presenti nel 1999 è stata effettuata per la sola trota fario (figura 5.3.6.5): nella Carta Ittica di II livello tale struttura è stata giudicata positiva in entrambe le fasi, per l'elevato numero di classi di età, per la buona dotazione di giovani e per la presenza dei nati dell'anno (0+), che testimoniavano la buona capacità riproduttiva per la trota in tale settore fluviale: Forse al di sotto delle potenzialità produttive del Clitunno appariva l'abbondanza degli esemplari di taglia maggiore, ma ciò è da imputarsi sicuramente agli effetti del prelievo operato dai pescatori sportivi. Nel 2005 la struttura per età appare molto simile a quella del 1999 ed ancora complessivamente positiva: unico cambiamento di un certo rilievo risiede in una leggera riduzione delle classi di età presenti, a danno degli esemplari più anziani (5+ e 6+); molto buona, ancora una volta, l'abbondanza degli esemplari più giovani.

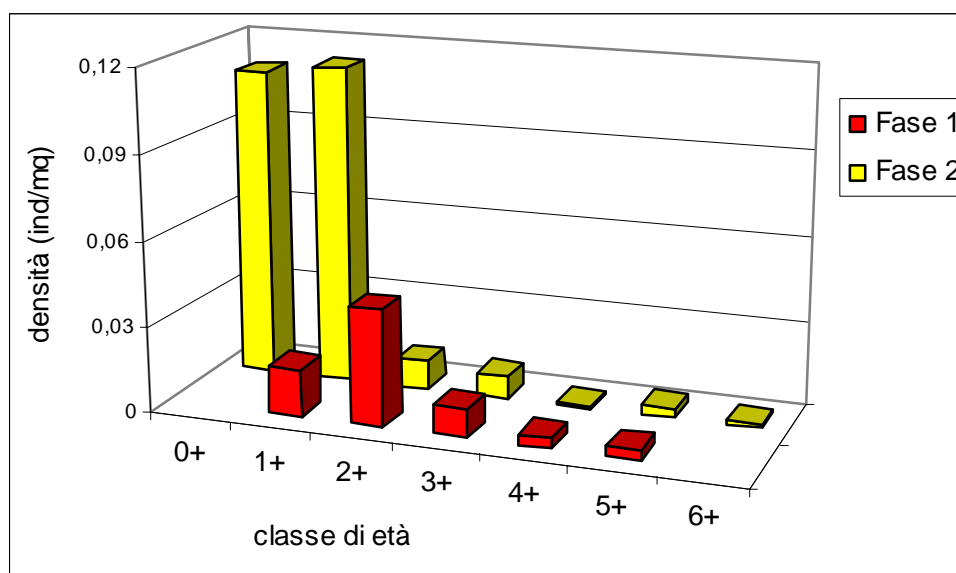


Fig. 5.3.6.5 - Struttura di popolazione della trota fario nel Clitunno a Pigge nel 1999.

Nel 2007 la situazione appare radicalmente mutata: la densità delle classi 0+ e 1+ si riducono in modo molto pronunciato, mentre gli individui più anziani vedono aumentare complessivamente le

proprie presenze (classi da 2+ a 4+), ma in ciò si devono ravvisare le conseguenze dei ripopolamenti, avvenuti evidentemente con materiale adulto. La percentuale degli esemplari aventi malformazioni conseguenti al loro permanere negli allevamenti, sicuro indice della presenza nella popolazione di materiale di semina recente, cresce con l'età: le classi 0+ e 1+ non presentano in nessun caso esemplari malformati, la percentuale sale al 15,4% negli individui 2+, al 20,0% nei 3+ e al 90,91% nei 4+.

La struttura che attualmente caratterizza la trota fario presente nel settore indagato deve essere quindi giudicata in modo molto negativo, poichè in essa si ravvisa un grave stravolgimento qualitativo della popolazione rispetto al passato. Ciò può essere indice dell'esistenza di fattori ambientali che penalizzano gli stadi giovanili: è noto, infatti, che questi ultimi risultano molto più sensibili degli adulti a tutti i tipi di degrado ambientale. Gli effetti di tale impatto sulla trota fario appaiono particolarmente preoccupanti in quanto riguardano in modo particolare le classi di età più giovani, con sicure conseguenze negative sulla popolazione anche per gli anni a venire.

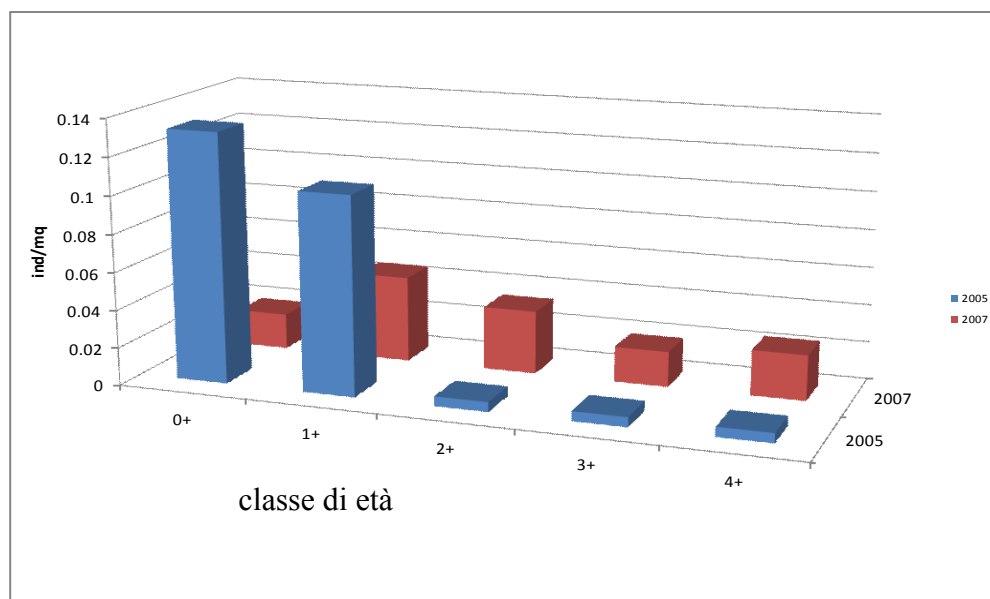


Fig. 5.3.6.6 - Struttura di popolazione della trota fario nel Clitunno a Pigge nel 2005 e nel 2007.

La situazione appare ancora più compromessa quando si analizza la struttura del vairone (figura 5.3.6.7) e della rovela (figura 5.3.6.8), due delle più rappresentative specie ittiche autoctone della zona del barbo. Il vairone, infatti, era presente nel 2005 con 5 classi di età, il che è in accordo con la longevità tipica della specie; buona la dotazione dei giovani nati dell'anno (0+), a testimonianza della capacità della popolazione a riprodursi nel tratto indagato. Nel 2007 è presente un'unica classe di età, la 3+, a causa della totale scomparsa di tutte le altre.

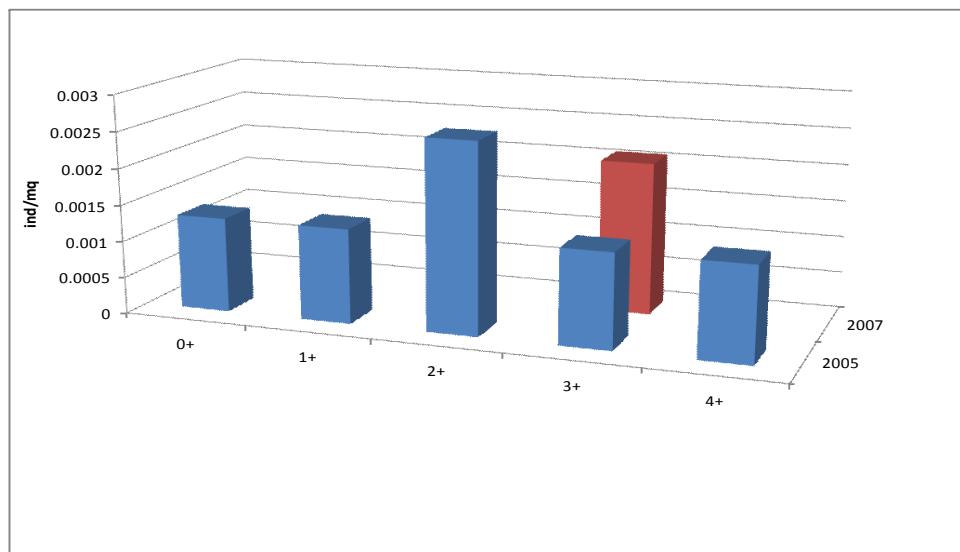


Fig. 5.3.6.7 - Struttura di popolazione del vairone nel Clitunno a Pigge nel 2005 e nel 2007

Nel 2007 la popolazione di rovela si è estinta nel settore indagato, in quanto non è stato catturato neanche un esemplare di questa specie: ciò appare particolarmente negativo, in quanto nel 2005 la popolazione appariva molto ben strutturata. L'analisi condotta sullo stato delle popolazioni di vairone e rovela appare particolarmente significativa poichè tali specie, a differenza di quanto osservato per la trota fario, non sono oggetto di ripopolamenti e prelievo e presentano una struttura per età che non risente delle operazioni gestionali condotte in funzione della pesca sportiva.

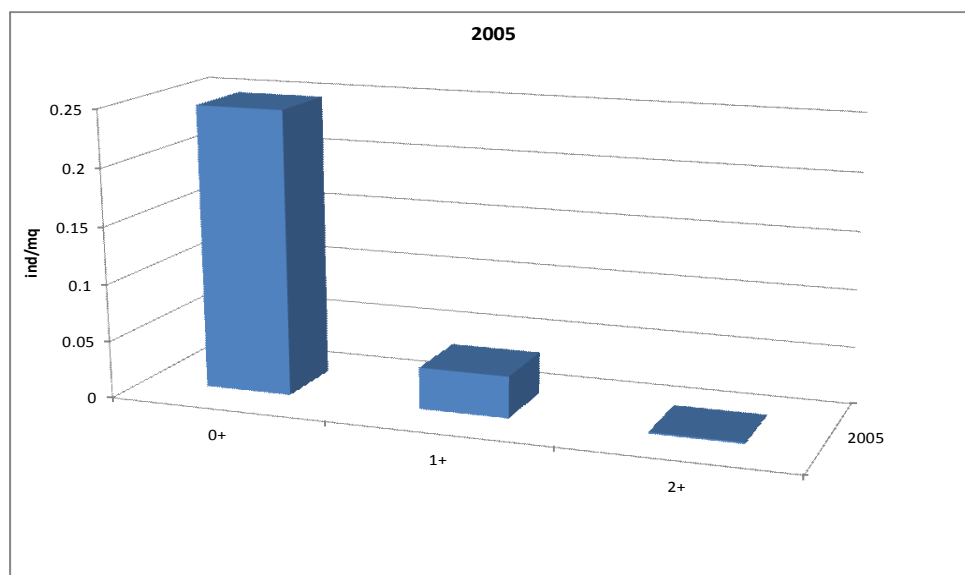


Fig. 5.3.6.8 - Struttura di popolazione della rovela nel Clitunno a Pigge nel 2005
Stazione di Casco dell'Acqua: abbondanza delle popolazioni ittiche

Diversa appare la situazione nella stazione di *Casco dell'Acqua* (tabella 5.3.6.2), caratterizzata da

abbondanze ittiche notevolmente inferiori rispetto al tratto posto più a monte. Si rileva, inoltre, una quasi perfetta omogeneità fra i valori dei campionamenti del 2005 e del 2007, ad indicare la sostanziale stabilità delle condizioni che caratterizzano la comunità ittica di tale settore fluviale.

STAZIONE	1999 fase 1	1999 fase 2	2005	2007
Densità (ind m ⁻²)	00/01/1900	00/01/1900	0,09	0,09
Biomassa areale (g m ⁻²)	06/01/1900	05/01/1900	11,09	11,19

Tab. 5.3.6.2 - Densità e biomassa ittica del Clitunno a Casco dell'Acqua.

La tabella 5.3.6.5 riporta le densità, ripartite per specie ittica, registrate presso la stazione: le specie complessivamente presenti sono 13, ma di queste solo 4 e precisamente anguilla, rovello, cavedano e trota fario sono state catturate in tutti i campionamenti effettuati a partire dal 1999. In generale le densità osservate risultano per tutte le specie abbastanza esigue e poco variabili da un anno all'altro. Ciò vale anche nel confronto fra i risultati dei campionamenti effettuati nel 2005 e 2007 (figura 5.3.6.3). La ricchezza di specie aumenta: vairone (*Leuciscus souffia* Bp.), carpa (*Cyprinus carpio* L.), carassio dorato (*Carassius auratus* L.) e spinarello risultano presenti nel 2007, ma assenti nel 2005.

Specie	1999 Fase 1	1999 Fase 2	2005	2007
<i>Anguilla anguilla</i>	0,008	0,012	0,008	0,006
<i>Alburnus alburnus alborella</i>			0,011	0,004
<i>Barbus tyberinus</i>		0,001	0,011	0,005
<i>Carassius auratus</i>	0,001			0,001
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0,011			0,011
<i>Ctenopharyngodon idellus</i>			0,002	0,001
<i>Cyprinus carpio</i>				0,001
<i>Rutilus rubilio</i>	0,005	0,003	0,049	0,042
<i>Leuciscus souffia</i>				0,001
<i>Tinca tinca</i>	0,001			
<i>Leuciscus cephalus</i>	0,003	0,002	0,002	0,006
<i>Salmo trutta</i>	0,001	0,002	0,004	0,007
<i>Oncorhynchus mykiss</i>			0,049	0,001

Tab. 5.3.6.5 - Densità delle diverse specie ittiche nel Clitunno a Casco dell'Acqua (i valori in ind m⁻²)

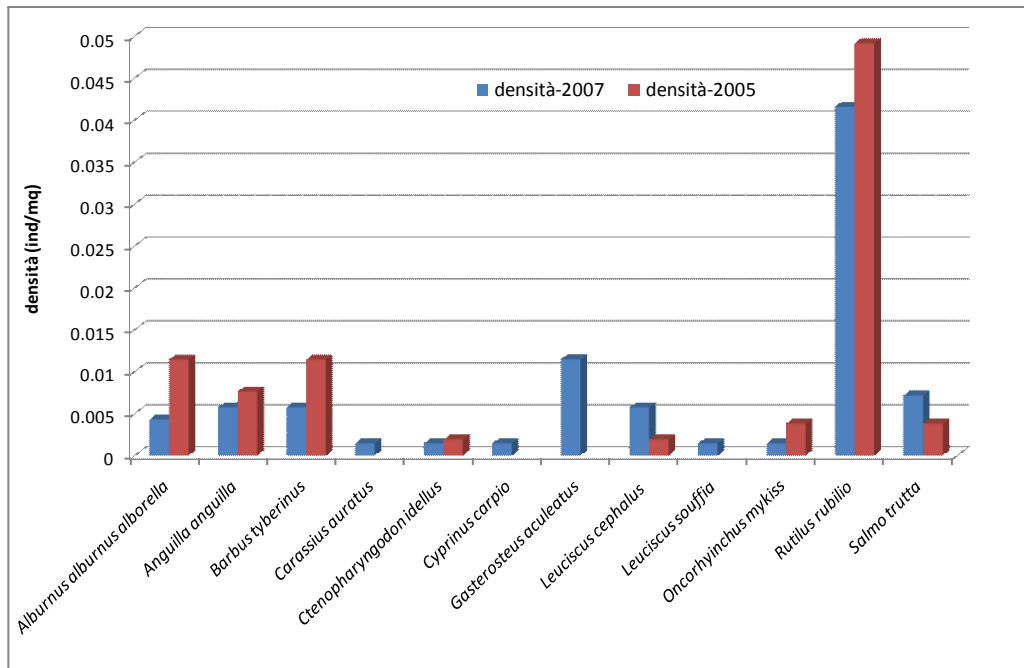


Fig. 5.3.6.3 - Densità per specie ittica nel Clitunno a Casco dell'Acqua: confronto fra il 2005 ed il 2007.

La tabella 5.3.6.6 riporta i dati di biomassa areale registrati nella stessa stazione e disaggregati per specie ittica. Anche in questo caso i valori appaiono esigui e relativamente poco variabili nel tempo. L'anguilla, ed in misura minore, il barbo, il cavedano, la carpa erbivora o amur (*Ctenopharyngodon idellus*) e la trota fario appaiono dal punto di vista ponderale le specie ittiche dominanti la comunità ittica di tale settore fluviale. La trota fario evidenzia anche una costante tendenza all'aumento delle proprie abbondanze nel tempo, ma tale situazione risulta ancora una volta nettamente condizionata dai ripopolamenti. Il confronto fra l'esito dei campionamenti del 2005 e del 2007 è riportato nella figura 5.3.6.4: dall'analisi dei dati emerge una tendenza nel tempo all'aumento dei valori di cavedano, rovella e trota fario, mentre il contrario avviene per alborella (*Alburnus alburnus alborella* De Fil.), anguilla, barbo, amur e trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*).

SPECIE	1999 Fase 1	1999 Fase 2	2005	2007
<i>Anguilla anguilla</i>	3,062	5,048	4,516	3,785
<i>Alburnus alburnus alborella</i>			0,056	0,026
<i>Barbus tyberinus</i>		0,192	1,314	0,841
<i>Carassius auratus</i>	0,605			0,71
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	0,022			0,029
<i>Ctenopharyngodon idellus</i>			2,257	0,803
<i>Cyprinus carpio</i>				0,986
<i>Rutilus rubilio</i>	0,128	0,03	0,416	0,746
<i>Leuciscus souffia</i>				0,01
<i>Tinca tinca</i>	1,015			
<i>Leuciscus cephalus</i>	1,249	0,033	0,091	1,426
<i>Salmo trutta</i>	0,13	0,615	0,787	2,43
<i>Oncorhynchus mykiss</i>			1,749	0,107

Tab. 5.3.6.6 - Biomassa areale delle diverse specie ittiche nel Clitunno a Casco dell'Acqua (i valori in g m⁻²)

In questo caso, quindi, non è possibile evidenziare per tale settore fluviale del *Clitunno* nessun evidente peggioramento nello stato delle popolazioni ittiche rispetto al passato. La comunità ittica risulta quantitativamente insufficiente rispetto alle potenzialità, ma tale situazione appare riconducibile al generale degrado della qualità ambientali del tratto indagato, più che alle conseguenze dirette dell'incidente avvenuto alla Umbria Olii.

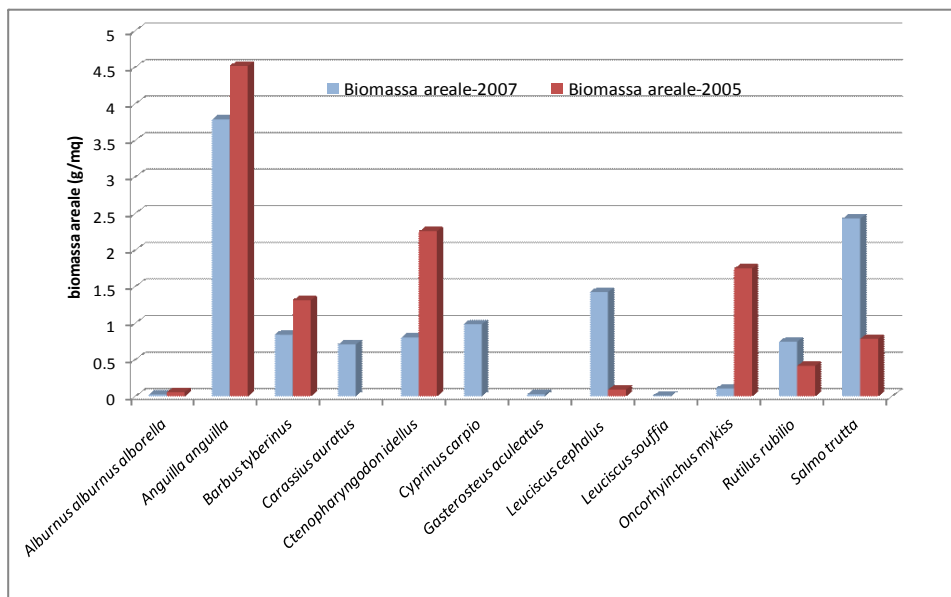


Fig. 5.3.6.4 - Biomassa areale per specie ittica nel Clitunno a Casco dell'Acqua: confronto fra il 2005 ed il 2007.

Indici di comunità

Il fiume Clitunno a **Casco dell'Acqua** (CLT7-B) presenta una situazione radicalmente diversa: in questo caso il settore è attribuibile alla zona del barbo. La comunità ittica appare molto composita ed articolata, anche se dominata da ciprinidi reofili (rovella, vairone, barbo, cavedano), con presenza di ciprinidi limnofili (tinca, carassio, carpa e carpa erbivora) e specie associate (anguilla, spinarello) (Mearelli et al., 1995). Il bilancio risulta anche in questo caso dubbio: in quanto tutti i parametri fisico-chimici risultano idonei per i salmonidi (D.L. 152/1999), ma l'I.B.E. è in IV classe di qualità dell'acqua a testimonianza di un livello di inquinamento molto elevato. Il numero complessivo di specie ittiche rinvenute nel tratto esaminato è pari a 13, anche se nei singoli campionamenti la ricchezza di specie varia notevolmente oscillando tra un minimo di 5 (1999 fase 2) ed un massimo di 12 (2007). La ricchezza di specie presunta (\hat{S}) è pari a 17, anche qui si denota, quindi, la presenza di un'elevata variabilità nel numero delle specie ittiche che in tempi diversi colonizza tale tratto fluviale. La tabella 5.3.6.8 riporta i valori degli indici di comunità registrati: la diversità appare sostanzialmente poco variabile nel tempo e raggiunge il valore più elevato nel 2007.

INDICE	1999 Fase 1	1999 Fase 2	2005	2007
<i>Ricchezza di specie</i>	7	5	8	12
<i>Diversità</i>	1,589	1,201	1,537	1,756

Tab. 5.3.6.8 - Ricchezza di specie e diversità nel Clitunno a Casco dell'Acqua.

Struttura per età

Nel fiume Clitunno a **Casco dell'Acqua** non è stato mai possibile condurre un'analisi approfondita della struttura delle popolazioni presenti, poichè in nessun caso si è riscontrato un numero adeguato di individui ed una sufficiente articolazione in classi di età. I popolamenti ittici sono stati sempre caratterizzati dalla presenza di pochi esemplari, tutti adulti, a causa della completa assenza degli stadi giovanili. Questa situazione si è verificata in entrambe le fasi del 1999, nel 2005 ed è stata confermata anche per il 2007. Sicuramente ciò costituisce un indice di una cattiva qualità ambientale, che si riflette negativamente sullo stato dei popolamenti ittici; da questo punto di vista non è possibile ravvisare nessun peggioramento nel tempo e la situazione appare quindi abbastanza costante.

5.4 Applicazione dell'Indice di Funzionalità Fluviale al fiume Clitunno

Al fine di rendere il monitoraggio dello stato di qualità del fiume Clitunno più completo e significativo, si è cercato di utilizzare parametri ed informazioni ambientali eterogenei attraverso l'applicazione di varie metodologie di indagine.

A supporto dei metodi di monitoraggio tradizionali è stato, quindi, utilizzato l'indice di Funzionalità Fluviale (Siligardi *et al.*, 2000), sia perché integra i risultati dei metodi chimici e biotici estendendo il campo d'indagine all'intero ambiente fluviale, sia perché fornisce valutazioni sintetiche sulle cause del suo deterioramento consentendo, quindi, di orientare gli interventi di riqualificazione e di stimarne l'efficacia.

5.4.1 Cenni storici e finalità dell'indice

L'Indice di Funzionalità Fluviale è un indice di recente definizione che deriva dall'RCE-I (Riparian Channel Environmental Inventory), ideato alla fine degli anni '80 da Petersen allo scopo di redigere un inventario dello stato degli alvei e delle fasce riparie dei fiumi svedesi.

Nel 1990 il metodo è stato applicato, in via sperimentale, in Trentino su 480 tratti dei principali corsi d'acqua. Dall'analisi dei dati è emersa l'esigenza di apportare alcune modifiche al metodo originale, al fine di adattarlo alle caratteristiche eco-morfologiche dei corsi d'acqua italiani. È stato pertanto proposto l'RCE-2, con una nuova scheda per la valutazione (Siligardi e Maiolini, 1993).

L'esigenza di disporre di nuovi strumenti di valutazione dell'ecosistema, ha portato alla veloce diffusione del nuovo indice RCE-2 nel territorio italiano.

Tuttavia, l'applicazione del metodo in Italia ha messo in evidenza la necessità di un aggiornamento che lo rendesse più generalizzabile (coprendo le varie tipologie fluviali italiane), definendone con maggior rigore le finalità e garantendo la confrontabilità dei risultati attraverso la stesura di linee guida e di precise istruzioni per gli utilizzatori. A tal fine, l'Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (A.N.P.A.) ha riunito nel 1998 un gruppo di lavoro che, a seguito di approfondite riflessioni e confronti, ha apportato varie modifiche alle domande e alle risposte della scheda, al loro significato e al loro peso tanto da richiedere una nuova denominazione dell'indice: Indice di Funzionalità Fluviale (I.F.F.).

Alla fine del 2004, nell'ambito dell'Accordo di Programma Quadro per la Tutela delle Acque e la Gestione Integrata delle Risorse Idriche, stipulato tra il Ministero dell'Ambiente e Tutela del

Territorio e la Provincia Autonoma di Trento, è stato costituito un altro Gruppo di Lavoro, composto dagli autori del primo manuale, da altri tecnici esperti del settore e da rappresentanti del Ministero e di APAT, finalizzato ad adeguare l'indice IFF alla filosofia ed alle indicazioni della Direttiva 2000/60/CE; in particolare si è ritenuto opportuno considerare esplicitamente le zone umide tra gli elementi da considerare ai fini della valutazione della funzionalità degli ambienti fluviali.

L'obiettivo principale dell'indice consiste nel rilievo dello stato complessivo dell'ambiente fluviale e della sua funzionalità, intesa come risultato della sinergia e dell'integrazione di un'importante serie di fattori biotici e abiotici presenti nell'ecosistema acquatico e in quello terrestre ad esso collegato. A tale scopo vengono osservate le principali caratteristiche ecologiche di un fiume, attraverso l'analisi di parametri di natura morfologica, strutturale e biotica, rilevando, per ognuno di essi, la funzione associata e l'eventuale grado di allontanamento dalla condizione ottimale di massima funzionalità.

Rispetto ai metodi chimici e microbiologici (il cui campo d'indagine è limitato all'acqua fluente) e a quelli biotici (che indagano tutto l'alveo bagnato), l'IFF prende in considerazione l'intero sistema fluviale (approccio olistico). L'indice è in grado di evidenziare come l'inquinamento non sia il solo fattore di degrado dei corsi d'acqua e che, spesso, il degrado maggiore è rappresentato dalle opere di artificializzazione, che banalizzano l'ambiente fluviale, riducendone la diversità ambientale e la stabilità.

L'IFF è anche un valido strumento di cambiamento, dal momento che il quadro d'insieme risultante dallo studio dei diversi comparti ambientali fornisce preziose informazioni sulle cause del suo deterioramento e permette di:

- individuare i tratti fluviali che necessitano maggiormente di interventi di riqualificazione;
- evidenziare i singoli elementi da recuperare;
- verificare l'efficacia degli interventi stessi.

5.4.2 Il metodo I.F.F.

L'I.F.F. risulta strutturato per essere applicato in qualunque ambiente d'acqua corrente, sia montano che pianiziale e di qualsiasi ordine e grandezza. Il periodo di rilevamento più idoneo per la corretta

applicazione è quello compreso tra il regime idrologico di morbida e di magra e, comunque, durante l'attività vegetativa delle fitocenosi.

La metodologia non richiede una strumentazione sofisticata ma è requisito fondamentale la competenza degli operatori, che devono essere in possesso di un'adeguata conoscenza dell'ecologia fluviale e devono essere in grado di effettuare una lettura critica dell'ambiente, distaccandosi da una visione puntuale e di dettaglio.

L'applicazione dell'IFF deve essere preceduta da uno studio preliminare dell'ambiente oggetto d'indagine, attraverso l'utilizzo di un'adeguata cartografia necessaria per inquadrare i corsi d'acqua in esame, definire l'uso del suolo e individuare i punti di accesso (carte tematiche, foto aeree).

Successivamente, viene svolta l'attività di campo secondo la procedura indicata nel protocollo di applicazione del metodo I.F.F. (APAT, 2003). Il corso d'acqua indagato deve essere percorso a piedi da valle verso monte, individuando tratti fluviali omogenei per una serie di parametri ecomorfologici e compilando, per ognuna delle due sponde, una scheda di rilevamento.

La scheda IFF si compone di una parte iniziale, contenente informazioni ambientali relative al bacino e al corso d'acqua, e di 14 domande che consentono di indagare diversi comparti ambientali e possono essere raggruppate in quattro gruppi funzionali:

- stato del territorio circostante il corso d'acqua e condizioni vegetazionali delle rive (1-4);
- ampiezza relativa dell'alveo bagnato e struttura fisica e morfologica delle rive (5 e 6);
- struttura dell'alveo (7-11);
- caratteristiche biologiche (12-14)

Per ogni domanda è possibile esprimere una sola delle quattro risposte predefinite che evidenziano una funzionalità ecologica decrescente. Il valore di I.F.F. si ottiene sommando i punteggi parziali relativi ad ogni domanda e viene tradotto in 5 Livelli di Funzionalità (dal I, che indica la funzionalità migliore, al V, che indica quella peggiore), ai quali corrispondono i relativi giudizi di funzionalità; sono inoltre previsti livelli intermedi, al fine di meglio graduare il passaggio da una classe all'altra (Tabella 5.4.2.1).

Valore di I.F.F.	Livello di Funzionalità	Giudizio di Funzionalità	Colore
261 - 300	I	Ottimo	blu
251 - 260	I-II	Ottimo-buono	blu-verde
201-250	II	Buono	verde
181 - 200	II-III	Buono-mediocre	verde-giallo
121 - 180	III	Mediocre	giallo
101 - 120	III-IV	Mediocre-scadente	giallo-arancio
61 - 100	IV	Scadente	arancio
51 - 60	IV-V	Scadente-pessimo	arancio-rosso
14 - 50	V	Pessimo	rosso

Tab. 5.4.2.1 - Livelli di funzionalità e relativo giudizio e colore di riferimento.

Ad ogni Livello di Funzionalità viene associato un colore convenzionale per la rappresentazione cartografica e ogni tratto fluviale viene rappresentato in cartografia con due linee, corrispondenti ai colori dei Livelli di Funzionalità risultanti, distinguendo le due sponde del corso d'acqua. Attraverso una rappresentazione cartografica di facile comprensione è possibile, pertanto, cogliere con immediatezza la funzionalità dei singoli tratti fluviali ed individuare i tratti che risentono delle maggiori criticità ambientali e sono più esposti agli impatti.

Esaminando poi in dettaglio i valori di I.F.F. ed, eventualmente, i punteggi assegnati ai diversi gruppi di domande, possono essere evidenziate le componenti ambientali più compromesse e, di conseguenza, individuati gli interventi di ripristino ambientale più opportuni.

5.4.3 Analisi dei dati

L'applicazione dell'IFF sul fiume Clitunno è stata preceduta da un'indagine preparatoria basata su uno studio preliminare dell'ambiente in esame. Sono state utilizzate carte tematiche e carte di campo a scala 1:10.000 per inquadrare il corso d'acqua, definire l'uso del suolo e individuare le strade e i punti di accesso all'alveo.

Il rilievo dell'IFF è stato effettuato nel mese di ottobre lungo tutta l'asta principale, dalle sorgenti fino a Bevagna, percorrendo a piedi il corso d'acqua per un tratto complessivo di circa 20 km.

In seguito all'osservazione dei principali parametri eco-morfologici dell'ambiente fluviale sono stati identificati tratti omogenei e per ognuno di questi tratti è stata compilata un'unica scheda che viene identificata con un codice composto dalle iniziali del corso d'acqua indagato e da un numero; per

ognuno dei tratti suddetti, le schede sono state numerate in ordine progressivo di compilazione da valle verso monte (allegato E).

Lo studio ha portato alla compilazione di 47 schede, per un totale di circa 18 km di corso d'acqua, con una media di una scheda ogni 400 m di fiume, indice di un'elevata discontinuità del paesaggio fluviale e, quindi, di una forte frammentazione del corridoio fluviale.

La distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità di tutta l'asta fluviale e delle due sponde, riferita alla lunghezza dei tratti, è riportata nelle figure seguenti.

La figura 5.4.3.1 evidenzia come lungo tutto il tratto esaminato prevalga un III livello di funzionalità fluviale, corrispondente ad un giudizio mediocre. Tale livello presenta una frequenza percentuale piuttosto elevata, pari al 65%, mentre tutti gli altri livelli di funzionalità si distribuiscono con frequenze molto più basse. Tra questi, il livello più rappresentato è il IV (17%), che esprime una funzionalità scadente.

Frequenze ancora più basse (9 e 7%) sono state registrate sia per i tratti con funzionalità fluviale mediocre-scadente (III-IV livello) sia per quelli con funzionalità buona-mediocre (II-III livello).

Sia il livello IV/V (scadente-pessimo), che il livello V (pessimo) sono presenti con una frequenza dell'1% e sono stati registrati nell'ultimo tratto fluviale, in prossimità dell'abitato di Bevagna, rispettivamente sulla sponda sinistra e in quella destra.

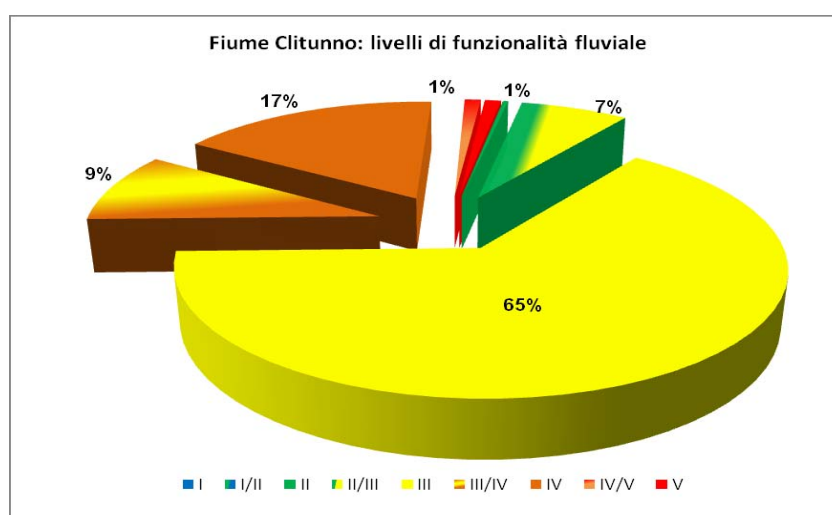


Fig. 5.4.3.1- Distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità lungo l'asta principale del fiume Clitunno.

Infine, i livelli di funzionalità più elevata (I e I-II) non sono stati mai rilevati lungo il fiume Clitunno, mentre solo in un tratto si rilevano condizioni di buona funzionalità (livello II).

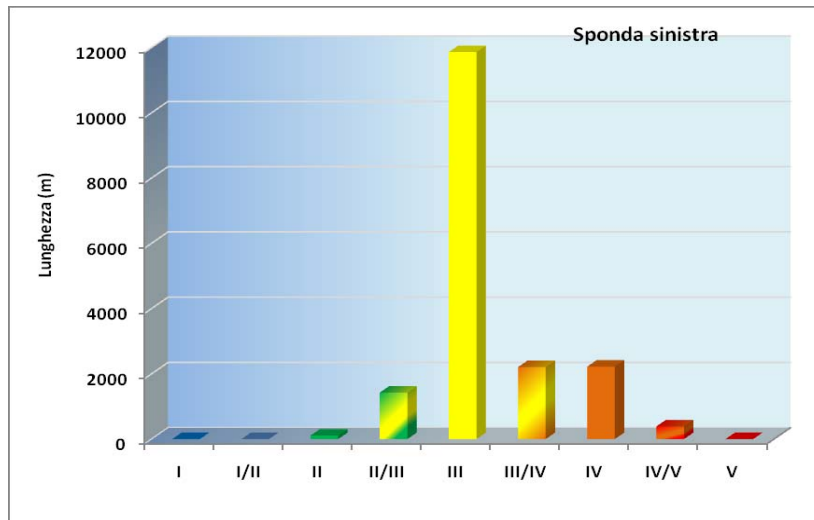


Fig.5.4.3.2 - Distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità fluviale per la sponda sinistra.

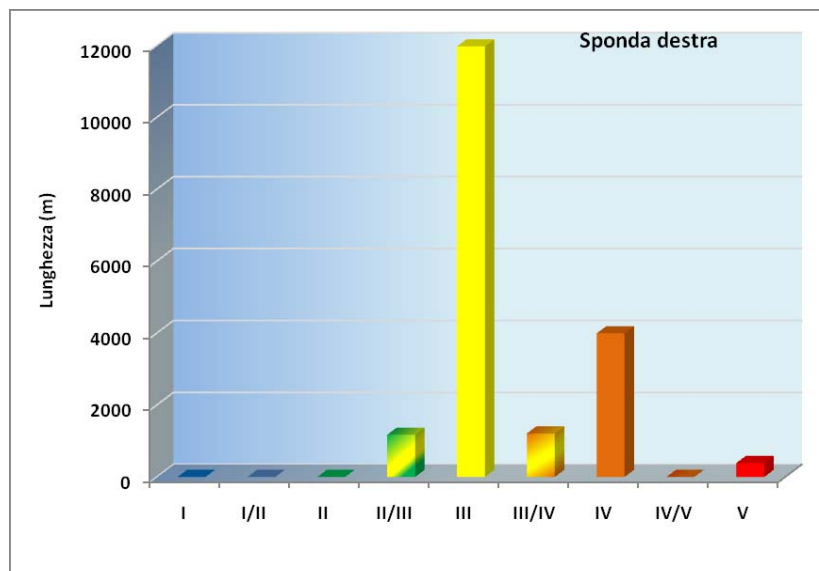


Fig.5.4.3.3 - Distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità fluviale per la sponda destra.

Le figure 5.4.3.2 e 5.4.3.3 mostrano la distribuzione percentuale dei livelli IFF per singola sponda. Complessivamente si osserva una sostanziale analogia tra sponda destra e sponda sinistra, dal momento che il livello di funzionalità più frequente, in entrambi i casi, è il III.

Gli scostamenti più significativi tra le due sponde sono dovuti, principalmente, ad una maggiore compromissione della funzionalità ecologica per la sponda destra, dove sono stati registrati più tratti con un livello di funzionalità scadente. Quest'ultima, infatti, risente maggiormente dell'impatto antropico per la presenza di piccoli agglomerati urbani e attività industriali.

Sempre nella stessa sponda, inoltre, si evidenzia l'assenza di tratti caratterizzati da una buona funzionalità fluviale (II livello), sebbene per la sponda sinistra vi sia solo un tratto appartenente a tale livello.

Frequenza dei punteggi per singola domanda

Per ogni tratto omogeneo individuato, vengono di seguito descritti in dettaglio i parametri eco-morfologici che sono stati analizzati nel corso dell'indagine, evidenziando, per ognuno di essi, il grado di funzionalità rilevato.

Per prima cosa, nel protocollo di lavoro, viene definito lo **stato del territorio circostante** il corso d'acqua. Quest'ultimo rappresenta, infatti, una fonte di apporti, siano essi puntiformi o diffusi, di materia organica e di nutrienti, nonché di inquinanti per ruscellamento superficiale e scorrimento ipodermico. La condizione di massima funzionalità viene attribuita ad un corso d'acqua che scorre in un territorio in cui la presenza umana è talmente ridotta da non provocare impatti sull'ecosistema fluviale, mentre la funzionalità si riduce in presenza di coltivazioni intensive e di aree urbanizzate.

Dall'analisi effettuata si evidenzia come il fiume Clitunno scorra in un territorio caratterizzato prevalentemente da un'urbanizzazione rada e da coltivazioni intensive (figura 5.4.3.4).

Sebbene gli insediamenti urbani e industriali possano causare modificazioni più drastiche a scala locale, l'agricoltura rappresenta spesso uno dei fattori di pressione principali sugli ambienti acquatici. Oltre a determinare profonde alterazioni delle caratteristiche idromorfologiche dei corsi d'acqua, infatti, rappresenta anche la più importante sorgente diffusa di inquinanti.

La frequenza dei tratti con aree circostanti urbanizzate risulta essere notevolmente più bassa; i tratti con foreste e boschi sono completamente assenti, mentre prati, pascoli o incolti sono presenti solo in rari casi.

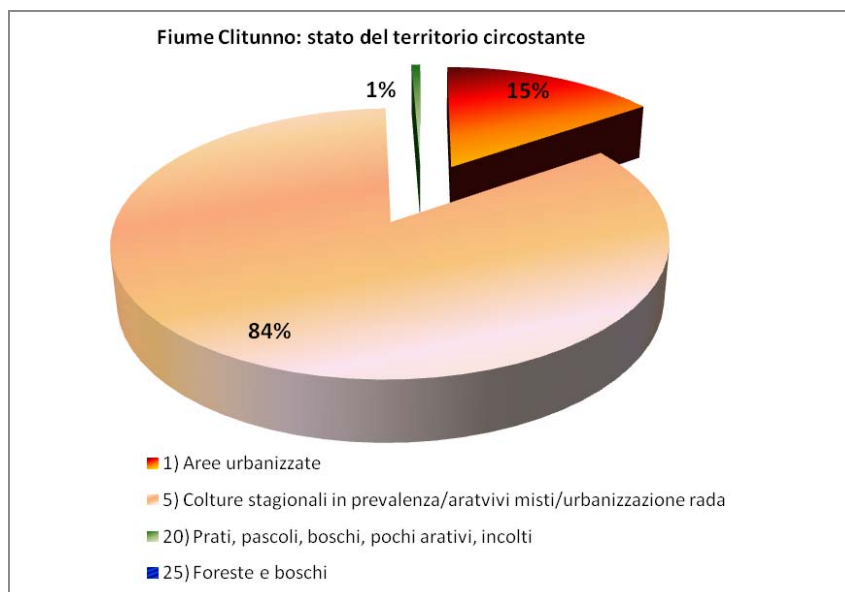


Fig 5.4.3.4 - Fiume Clitunno, stato del territorio circostante.



Fig. 5.4.3.5 - Coltivazioni intensive in prossimità delle sponde del fiume Clitunno.

Nella figura 5.4.3.6 viene rappresentata la distribuzione dei punteggi lungo le due sponde. Quest'analisi, di maggiore dettaglio, conferma come la presenza di coltivazioni intensive sia prevalente su entrambe le sponde. Le aree urbanizzate, in percentuale molto inferiore, sono localizzate soprattutto in destra idrografica.

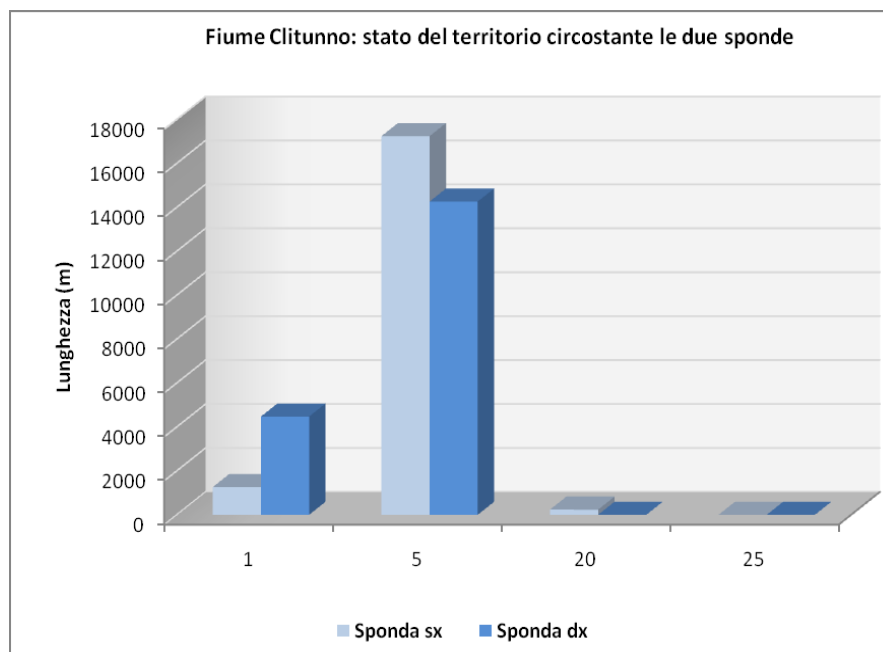


Fig. 5.4.3.6 - Fiume Clitunno, stato del territorio circostante le due sponde.

Vengono poi rilevate le caratteristiche, in termini di composizione e struttura, delle **formazioni vegetali presenti nella fascia perifluviale**, localizzata lungo il corso d'acqua immediatamente all'esterno dell'alveo di morbida e comprendente, al suo interno, l'ecotono tra alveo e territorio circostante. In particolare, vengono individuate la tipologia, l'ampiezza e la continuità delle fasce di vegetazione riparia o l'assenza di vegetazione naturale, per presenza di campi o di manufatti.

Le fasce riparie, parte integrante dell'ecosistema fiume, sono considerate uno dei principali sistemi depuranti dei corsi d'acqua dal momento che, oltre a stabilizzare l'alveo, fornire detrito organico, limitare l'eccessivo riscaldamento delle acque e l'eccessivo sviluppo della vegetazione acquatica, intercettano, filtrano e depurano le acque di dilavamento del suolo, ostacolando i processi di eutrofizzazione fluviale.

La massima funzionalità ecologica di un ecosistema fluviale è garantita da:

- Formazioni arboree riparie, costituite prevalentemente da piante igrofile (ontani, salici arborei e pioppi), ossia la cui crescita è influenzata dalla vicinanza dell'acqua, più efficaci come fasce tampone rispetto a formazioni non riparie (a dominanza di specie esotiche) o vegetazione erbacea;
- Fasce di vegetazione arborea, arbustiva o canneto che superano i 30 metri, ampiezza necessaria per il pieno espletamento delle funzioni di filtro, stabilizzazione delle sponde, corridoio ecologico per la fauna e controllo delle inondazioni (quest'ultima funzione si

esplica attraverso una regimazione naturale dei deflussi superficiali che determina una riduzione delle portate di piena dei fiumi);

- Fasce riparie senza interruzioni naturali o artificiali, che possono compromettere molte delle funzioni ecologiche che esse svolgono.

Secondo quanto indicato dal metodo, sono state individuate due tipologie di fascia perifluviale:

- *Fascia perifluviale primaria*: fascia formata in modo naturale, dove la vegetazione spontanea si è insediata e consolidata con modelli naturali ed esiste una condizione di totale permeabilità ai flussi tra alveo e territorio circostante.
- *Fascia perifluviale secondaria*: fascia vegetale formatasi all'interno di un alveo artificiale. Sono ascrivibili a questa tipologia le fasce vegetazionali formatesi all'interno di arginature, con evidente interruzione della permeabilità e del *continuum* trasversale.

La maggior parte dei tratti del Clitunno studiati risultano caratterizzati dalla presenza di una fascia perifluviale primaria (82%, figura 5.4.3.7), anche se la tipologia prevalente è rappresentata da una vegetazione arbustiva non riparia, erbacea o assente (per un'estensione pari a circa 19 km di sponde). Questo è dovuto, principalmente, al forte incremento delle superfici destinate ad uso agricolo che, determinando profonde alterazioni delle caratteristiche idromorfologiche dei corsi d'acqua, causano la riduzione o scomparsa delle fasce di vegetazione perifluviale e, di conseguenza, un incremento dell'erosione e del trasporto dei sedimenti e dei nutrienti.

Circa il 20% del tratto indagato è caratterizzato dalla presenza di formazioni arbustive riparie e/o canneto, che, nonostante siano meno efficaci delle formazioni arboree per la funzionalità fluviale, svolgono comunque importanti funzioni ecologiche, quali ad esempio stabilizzazione delle sponde, fasce tampone, diversità ambientale ecc.

Solo una percentuale molto ridotta è rappresentata da formazioni arboree riparie, concentrate soprattutto nel primo tratto fluviale.

In figura 5.4.3.8, relativa alla distribuzione delle diverse tipologie di vegetazione perifluviale primaria tra le due sponde, si evidenzia come in destra idrografica siano meno frequenti i tratti privi di vegetazione perifluviale, mentre aumentano quelli con vegetazione riparia arbustiva e arborea.

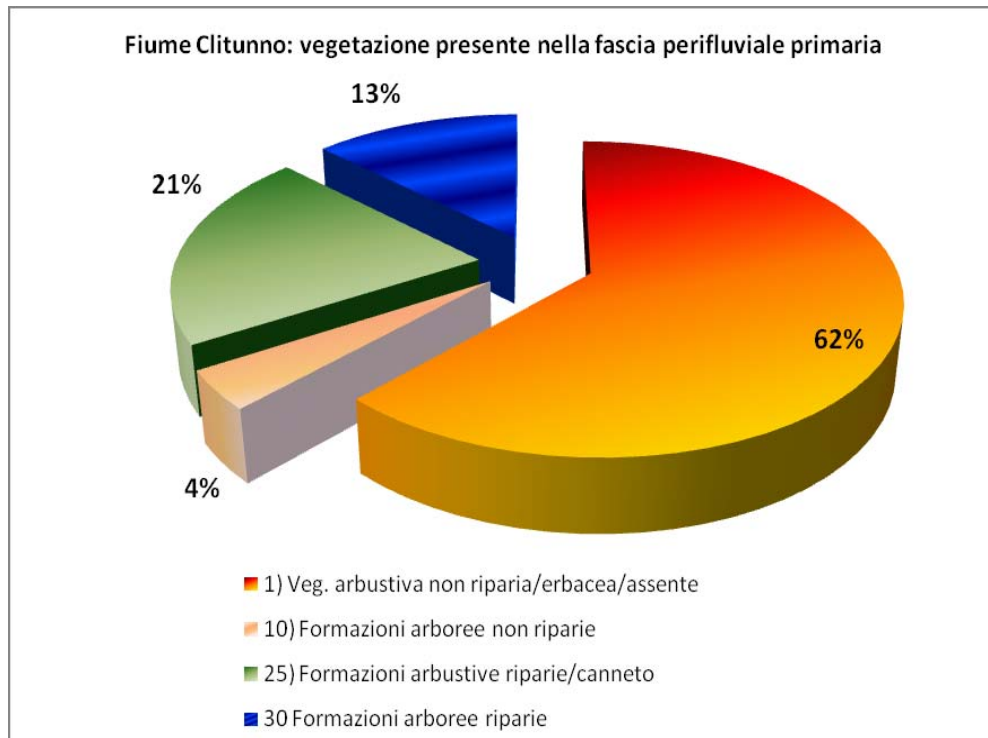


Fig 5.4.3.7 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale primaria.

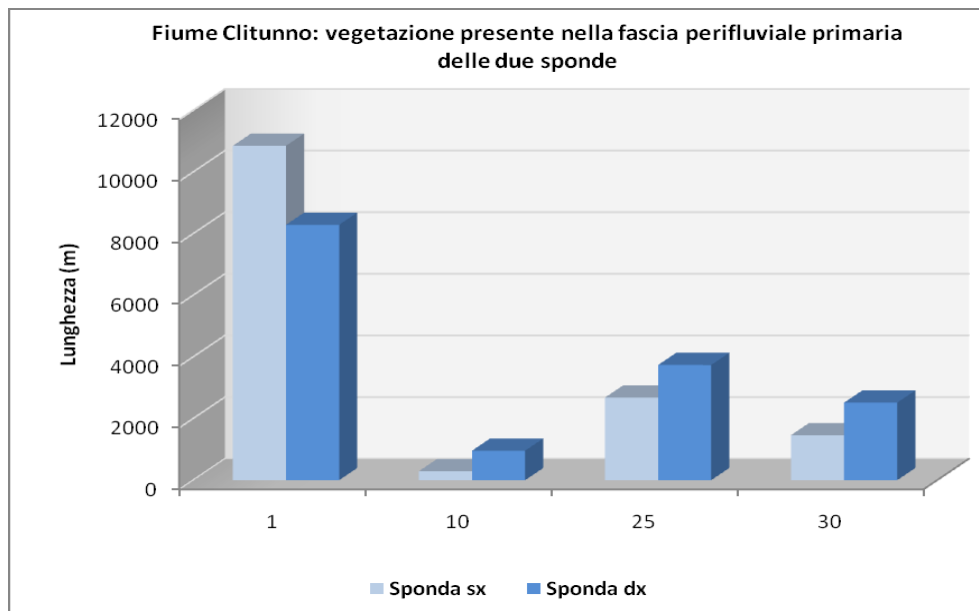


Fig 5.4.3.8 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale primaria delle due sponde.

Nelle figure seguenti viene mostrata la vegetazione perifluviale presente nella fascia secondaria e la distribuzione percentuale delle diverse tipologie. Anche in questo caso, la tipologia prevalente è rappresentata da una vegetazione arbustiva non riparia, erbacea o assente (per un'estensione pari a circa 4 km di sponde).

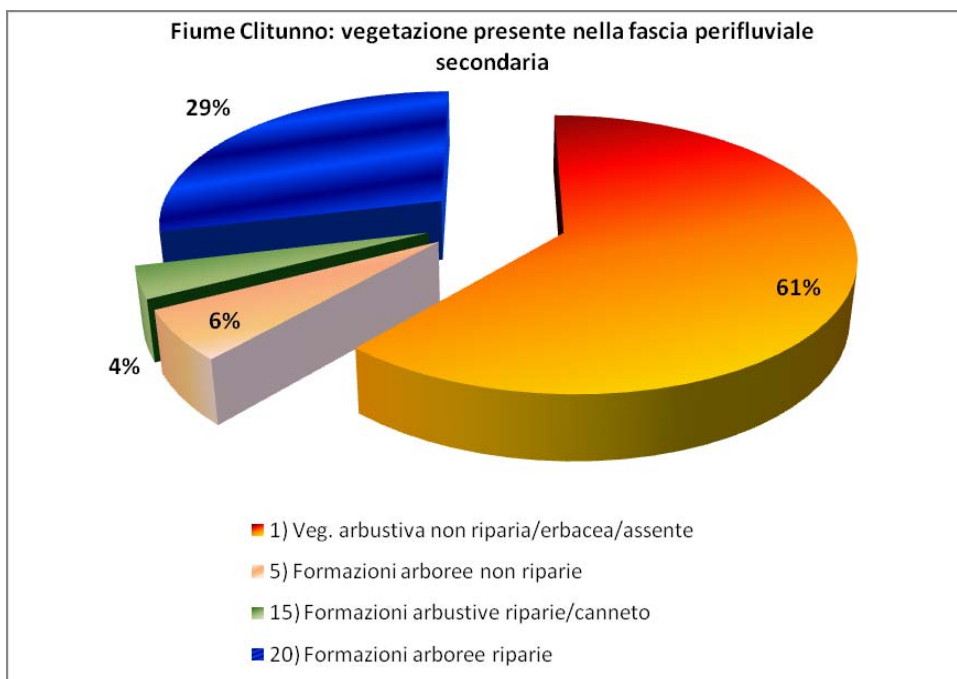


Fig. 5.4.3.9 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale secondaria.

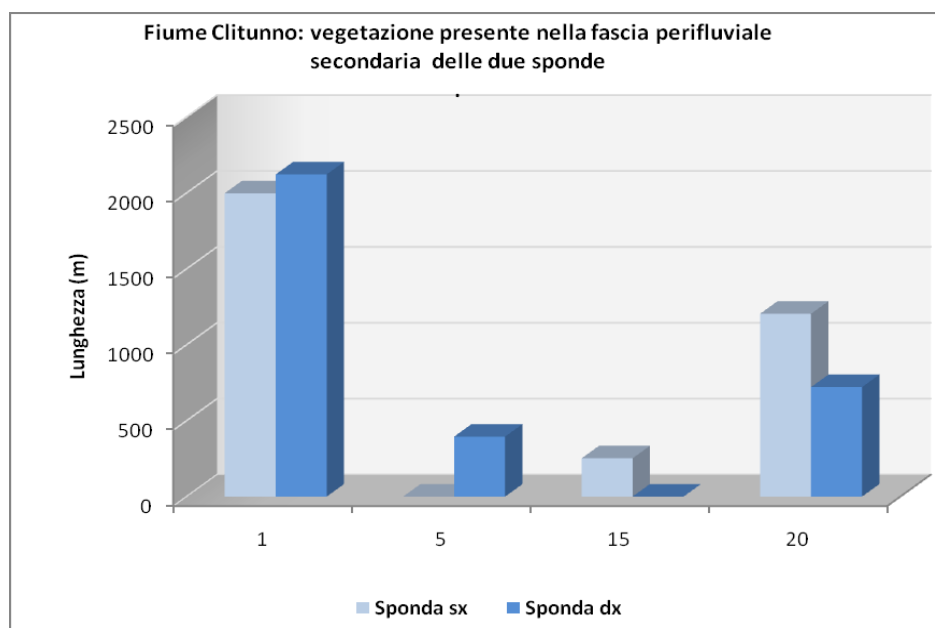


Fig. 5.4.3.10 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale secondaria delle due sponde.

In riferimento all'**ampiezza** della fascia vegetazionale, la figura 5.4.3.11 mostra che oltre la metà dei tratti fluviali monitorati non presenta fasce di vegetazione perifluviale, come già evidenziato precedentemente. Ciò è legato soprattutto all'eliminazione di queste ultime per favorire gli usi antropici del territorio circostante. In particolare, lo sfalcio della vegetazione che colonizza le sponde fluviali è una comune pratica di gestione e manutenzione, effettuata periodicamente lungo il corso d'acqua per facilitarne il deflusso. Anche quando non è massiccio, lo sfalcio della

vegetazione altera profondamente la struttura e composizione delle fitocenosi legate all'ambiente acquatico, favorendo essenzialmente poche specie resistenti al taglio.

Il 43% delle sponde presenta un'ampiezza compresa tra 1 e 5 m, non sufficiente per il mantenimento di livelli di funzionalità accettabili. Infine, solo il 3% dei tratti monitorati risulta caratterizzato da una discreta ampiezza delle fasce perifluviali.

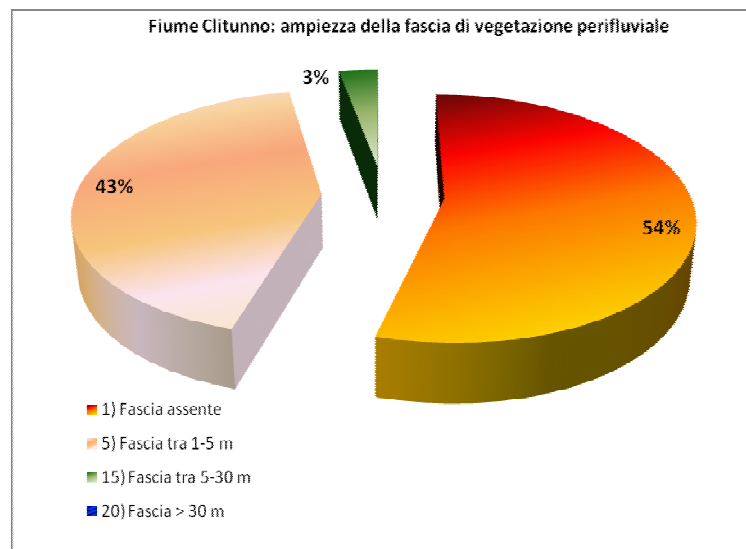


Fig. 5.4.3.11 - Fiume Clitunno, ampiezza della vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva.

Nella figura seguente viene mostrata l'ampiezza della vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva lungo le due sponde.

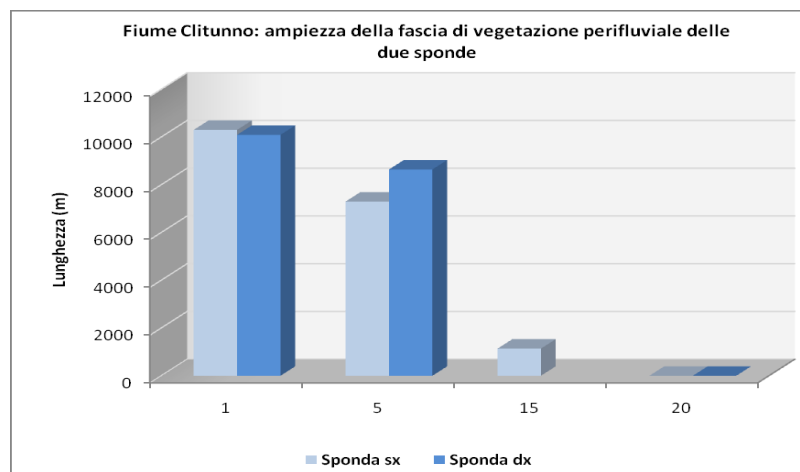


Fig. 5.4.3.12 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva delle due sponde.

Per quanto riguarda la **continuità** della vegetazione riparia (figure 5.4.3.13 e 5.4.3.14), si osserva come siano predominanti fasce con frequenti interruzioni o addirittura sia presente solo vegetazione erbacea (continua e consolidata).

L'assenza di una copertura continua lungo le sponde, dovuta sia ad interventi artificiali che a condizioni naturali, compromette a vario livello molte delle funzioni ecologiche svolte dalla vegetazione perifluviale. Importante anche la percentuale delle sponde caratterizzate dalla presenza di vegetazione erbacea rada o suolo nudo mentre solo nel 15% dei tratti monitorati si rilevano fasce di vegetazione arborea o arbustiva senza interruzioni significative.

L'analisi effettuata a livello delle due sponde, evidenzia come in destra idrografica si rilevi una maggiore frequenza di tratti con frequenti interruzioni delle fasce riparie o presenza di sola vegetazione erbacea.

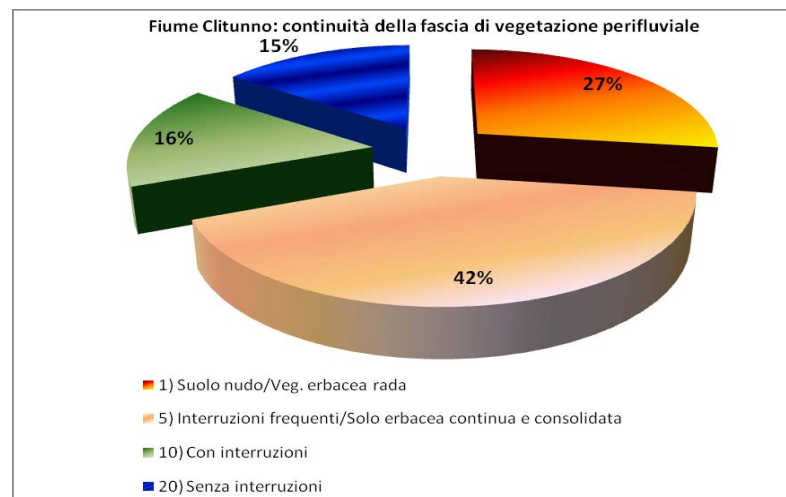


Fig. 5.4.3.13 - Fiume Clitunno, continuità della vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva.

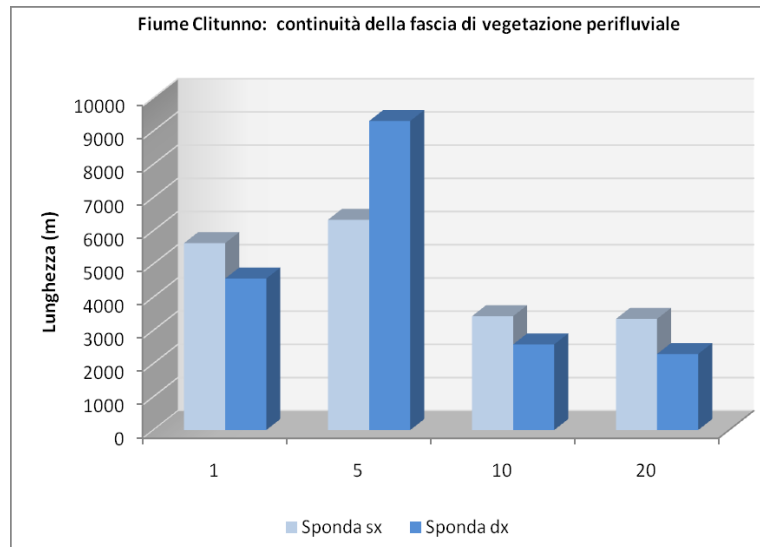


Fig. 5.4.3.14 - Fiume Clitunno, continuità della vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva delle due sponde.



Fig. 5.4.3.15 - Vegetazione perifluviale arborea presente su entrambe le sponde.



Fig. 5.4.3.16 - Sponde soggette a sfalcio con interruzione del canneto.



Fig. 5.4.3.17 - Tratto con fasce perfluviali di canneto continue lungo entrambe le sponde.



Fig. 5.4.3.18 - Esempio di sponda fluviale priva di vegetazione riparia in cui è stata realizzata una palizzata.

Attraverso la scheda di campo vengono indagate anche le **condizioni idriche dell'alveo**, valutando l'influenza della frequenza e dell'intensità delle variazioni di portata sull'efficienza della colonizzazione da parte delle cenosi vegetali e animali. Il regime idraulico di un corso d'acqua è condizionato principalmente dalla natura geologica del bacino e dal tipo di copertura vegetale. Alle variazioni di portata naturali si possono aggiungere quelle indotte dall'uomo, che possono essere giornaliere (derivazioni idroelettriche) o stagionali (soprattutto derivazioni a scopo irriguo) ed influiscono sullo stato delle comunità bentoniche. In genere, i corsi d'acqua caratterizzati da un regime idraulico stabile ospitano comunità più abbondanti e varie, mentre corsi d'acqua con variazioni forti e frequenti sono colonizzati da comunità povere qualitativamente e quantitativamente, formate da poche specie che sono adattate a queste condizioni ambientali.

Il fiume Clitunno mostra, in generale, portate relativamente costanti, essendo alimentato da emergenze di acque sotterranee che rappresentano la falda di base della struttura omonima. Ciò dovrebbe favorire, almeno potenzialmente, un'efficiente e stabile colonizzazione dell'alveo da parte di comunità biotiche.

Tra gli obiettivi dell'indice c'è anche quello di valutare le caratteristiche morfologiche e strutturali delle **rive**, che corrispondono alla stretta fascia di confine tra alveo di morbida e fascia perfluviale. In genere, una riva con struttura morfologica diversificata, costituita da massi, vegetazione arborea e anfratti, offre una ricca varietà di microhabitat per le biocenosi, contribuendo alla diversità biologica dell'ecosistema fluviale. Tale diversificazione viene spesso compromessa da interventi artificiali di consolidamento delle rive, come difese spondali realizzate in cemento o con massi

cementati, che rendono uniforme e monotona la stretta fascia di riva, riducendone la ricchezza in habitat.

Nella maggior parte del tratto indagato il fiume Clitunno presenta, su entrambe le sponde, rive caratterizzate da una copertura prevalentemente erbosa, in cui la diversità ambientale è fortemente ridotta (figura 5.4.3.19). In una discreta percentuale di tratti si rileva la presenza di rive con vegetazione arbustiva continua o alternata a tratti erbosi o canneto, che offrono comunque una maggiore ricchezza di habitat per le biocenosi.

Da segnalare, infine, un 19% di tratti in cui le rive sono prive di vegetazione o in cui sono stati realizzati interventi di consolidamento delle sponde (palizzate).

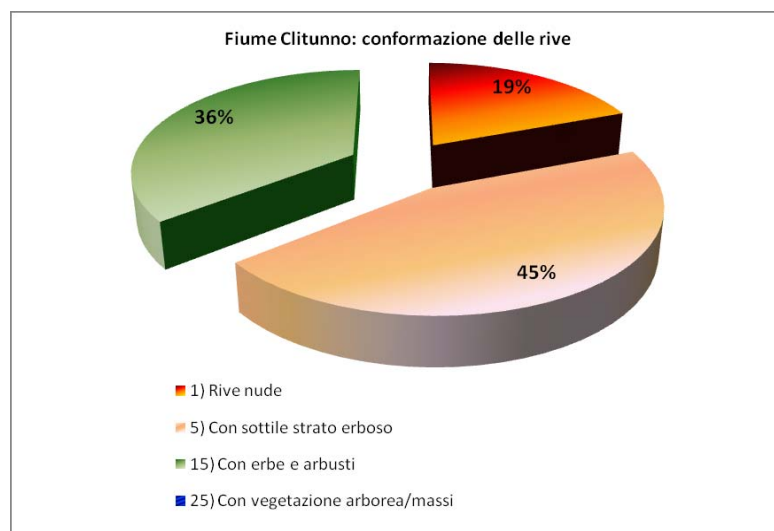


Fig. 5.4.3.19 - Fiume Clitunno, conformazioni delle rive.



Fig. 5.4.3.20 - Esemplio di sponda con rive coperte da uno strato erboso molto sottile che lascia scoperto il suolo sottostante.



Fig. 5.4.3.21 - Tratto fluviale con rive caratterizzate da un'alternanza di erbe e arbusti, che favorisce una certa varietà di microhabitat.

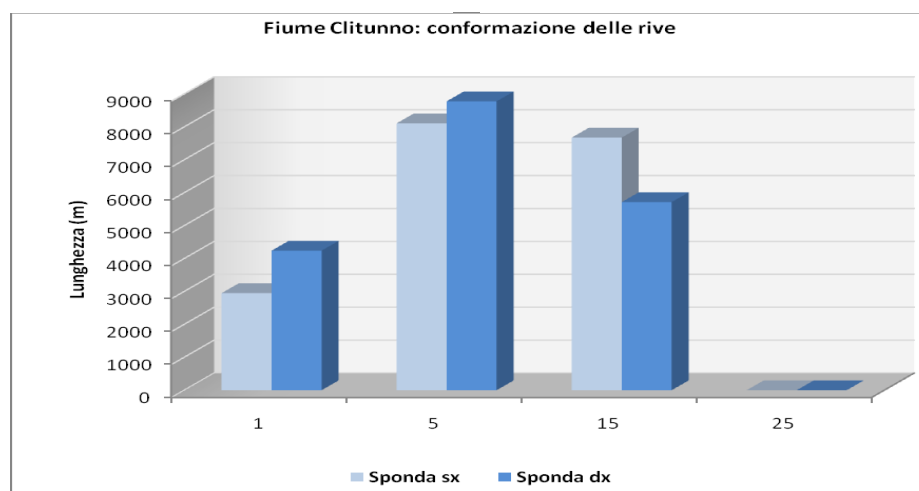


Fig. 5.4.3.22 - Fiume Clitunno, conformazioni delle rive nelle due sponde.

Vengono poi osservati una serie di parametri che consentono di valutare la struttura dell'alveo.

Attraverso l'analisi delle **strutture di ritenzione degli apporti trofici** si determina la capacità del corso d'acqua di trattenere quantità più o meno rilevanti di sostanza organica per la presenza di massi, ciottoli, radici o tratti caratterizzati da una ridotta velocità della corrente. Il processo di ritenzione della materia organica è essenziale per l'ecosistema fiume, dal momento che maggiori sono le quantità di detrito che vengono trattenute in alveo, maggiori sono le possibilità di degradarlo e assimilarlo da parte dei macroinvertebrati e degli altri sistemi depuranti. In queste condizioni aumenta l'efficienza di risposta dell'ecosistema ad aggiunte di nutrienti e, di conseguenza, la sua stabilità.

Più della metà dei tratti indagati del fiume Clitunno presenta, per questo parametro, il punteggio massimo, corrispondente ad una condizione ideale per la ritenzione. Quest'ultima è legata

soprattutto alla presenza in alveo di idrofite con copertura rilevante e, in alcuni casi, di fasce di canneto continue, che assicurano un'efficace azione di trattenimento del detrito (figura 5.4.3.23). Meno frequenti, ma comunque rappresentati lungo il fiume, sono i tratti in cui l'alveo mostra una minore efficacia ritenitiva dovuta o ad una rarefazione o alla scomparsa della copertura macrofitica e del canneto.

Il tratto finale del corso d'acqua, soprattutto nei pressi dell'abitato di Bevagna, presenta, invece, un netto peggioramento per questo parametro, essendo caratterizzato da un fondo limoso uniforme, spesso anossico.

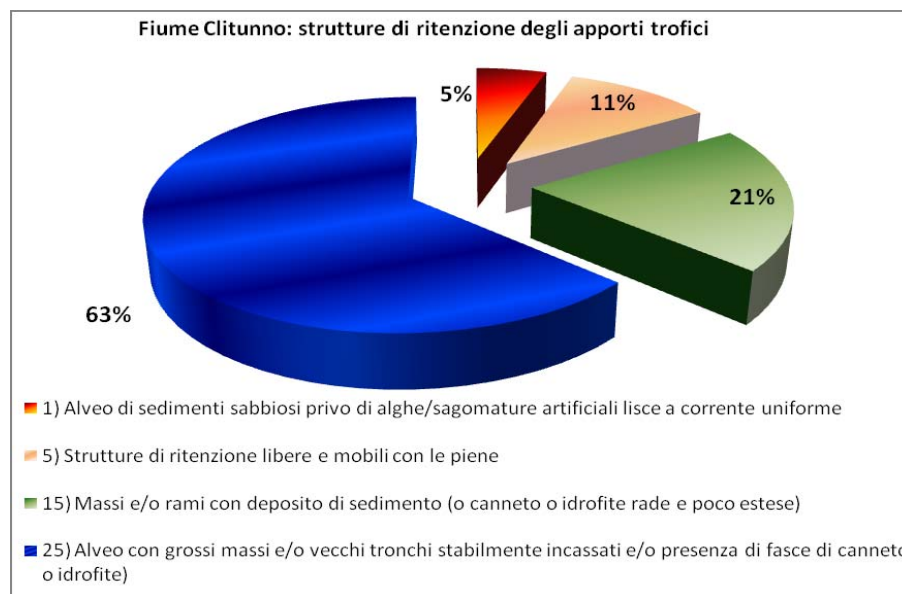


Fig. 5.4.3.23 - Fiume Clitunno, strutture di ritenzione degli apporti trofici.



Fig. 5.4.3.24 -Esempi di tratti fluviali con presenza in alveo di un'elevata copertura di idrofite che determina un'efficace capacità di ritenzione della sostanza organica, fonte di energia per l'ecosistema acquatico.

Nel corso dell'indagine sono stati individuati anche i processi erosivi in atto a carico delle due sponde. Un'erosione frequente, infatti, operando una continua e rapida trasformazione, riduce la funzionalità del corso d'acqua e non consente una maturazione del sistema. In questo caso è evidente lo scavo delle rive con scopertura delle radici o sono presenti opere longitudinali di difesa spondale, canalizzazioni o briglie poste ad una certa distanza tra loro. Tali manufatti artificiali, infatti, dal momento che sono finalizzati a ridurre l'erosione, indicano proprio un'elevata potenza erosiva della corrente.

Come mostra la figura 5.4.3.25, quasi tutta l'asta principale è caratterizzata da tratti privi di fenomeni erosivi evidenti. Ciò è legato prevalentemente al fatto che il fiume non è soggetto a fluttuazioni di portata evidenti, tranne piccoli tratti dove i fenomeni erosivi, anche se di modesta entità, derivano da interventi umani.

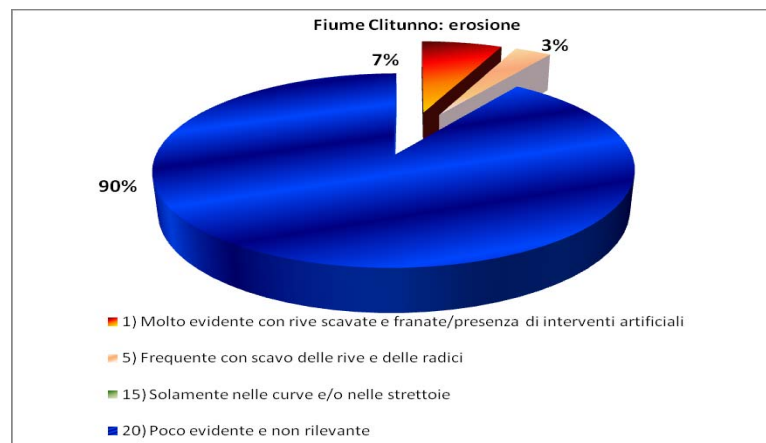


Fig. 5.4.3.25 - Fiume Clitunno, erosione.

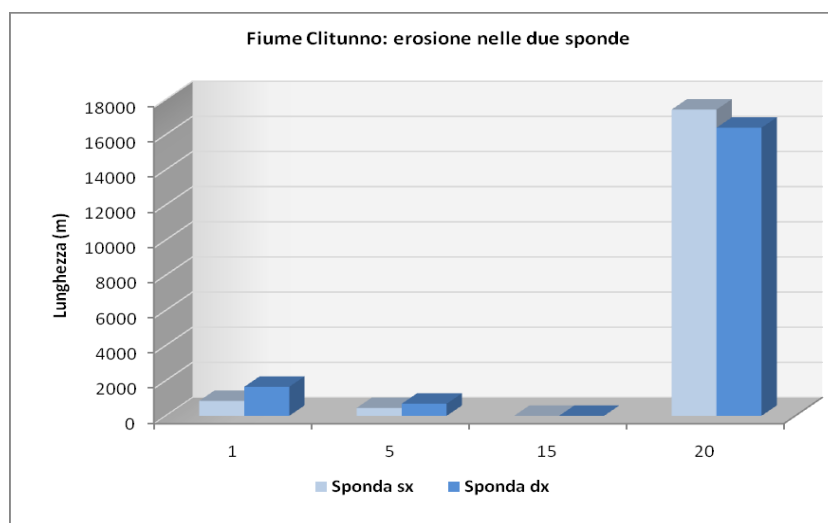


Fig. 5.4.3.26 - Fiume Clitunno, erosione delle due sponde.

Viene analizzata poi la naturalità della **sezione trasversale** e l'eventuale deterioramento dovuto a trasformazioni antropiche. Gli interventi artificiali di sistemazione dell'alveo (risagomature, rettifiche, arginature, tombamenti) e di consolidamento delle sponde, infatti, alterano profondamente l'ambiente fluviale e possono causare un degrado più grave di quello dovuto all'inquinamento. Una sezione naturale garantisce, infatti, sia la continuità verticale con la falda sia la continuità laterale con l'ecotono ripario.

All'intero corso d'acqua è stato attribuito, per questo parametro, sempre lo stesso punteggio dal momento che la sezione trasversale, sebbene artificiale, presenta elementi naturali dovuti all'evoluzione del corso d'acqua che nel tempo ha mitigato la sua natura originaria.

Per la valutazione della struttura dell'alveo, secondo quanto indicato nel metodo IFF, viene esaminata la diversità ambientale sia a livello di microscala che di macroscala.

Nel primo caso, si valuta la **struttura del fondo dell'alveo**, essendo uno dei fattori che influenzano maggiormente la struttura e la distribuzione delle comunità di macroinvertebrati, all'interno delle quali ogni specie presenta particolari adattamenti morfologici e comportamentali. Un alveo con substrato eterogeneo presenta una varietà di microhabitat che possono ospitare una fauna ricca e diversificata, garantendo, quindi, un'elevata diversità biologica che contribuisce ad una migliore efficienza depurativa e ad una maggiore stabilità del sistema.

Come mostra la figura 5.4.3.27, il fiume Clitunno è caratterizzato prevalentemente da situazioni in cui il fondo si presenta, a tratti, è più instabile e movibile con le piene (48%).

Una buona percentuale dei tratti indagati, tuttavia, presenta un letto fluviale stabile ed eterogeneo, in grado di ospitare una fauna ricca e diversificata (28%). Ciò è legato soprattutto alla colonizzazione dell'alveo da parte di idrofite radicate, che favoriscono la ricchezza di microhabitat. Altrettanto frequenti risultano, comunque, i tratti in cui il substrato è facilmente movibile e, quindi, meno idoneo alla colonizzazione di comunità biotiche ben strutturate.

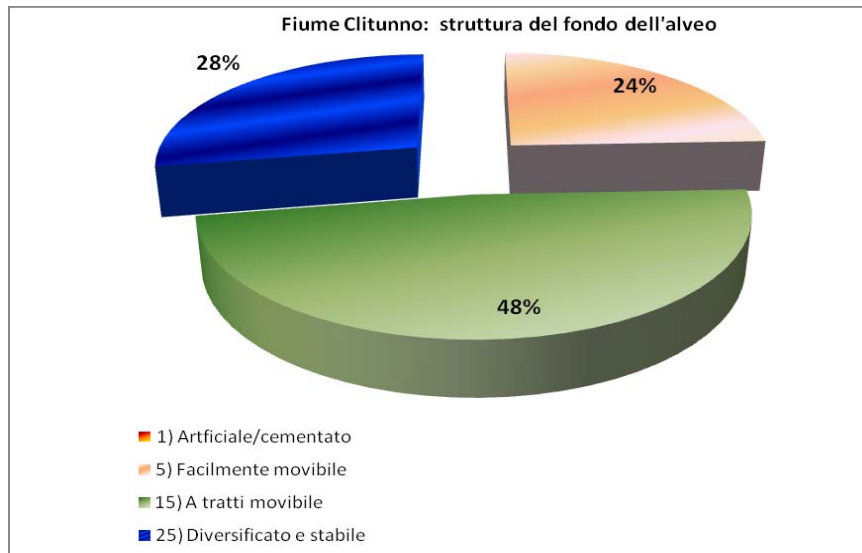


Fig. 5.4.3.27 - Fiume Clitunno, struttura del fondo dell'alveo.

A livello di macroscala, invece, la diversità ambientale dell'alveo fluviale dipende dalla disponibilità e ricorrenza di un mosaico di ambienti diversi. In condizioni naturali, la corrente di un corso d'acqua varia continuamente nel tempo e nello spazio; si formano, quindi, irregolarità morfologiche come **pozze** (zone più profonde, dove la velocità della corrente è più bassa e prevalgono sedimenti fini), **raschi** (aree rilevate ad elevata velocità e turbolenza, caratterizzate da un substrato grossolano), e **meandri** (anse che rendono sinuoso il tracciato di un fiume). In condizioni di massima funzionalità, le varie componenti sono presenti ad intervalli regolari, garantendo così un'elevata diversificazione morfologica del fiume e l'intero mosaico di ambienti necessari a tutte le attività vitali dei pesci.

Come evidenzia la figura 5.4.3.28, la diversità ambientale dell'alveo a livello di macroscala risulta compromessa nella maggior parte dei tratti indagati (86%), dal momento che il fiume Clitunno, essendo un corso d'acqua artificializzato, è un corso d'acqua sostanzialmente uniforme e presenta, in generale, un percorso raddrizzato. Solo in alcuni casi si rileva una certa diversificazione di ambienti, sebbene si tratti di condizioni caratterizzate da una distribuzione irregolare di microhabitat, che generalmente è sintomo di alterazioni nei processi idromorfologici.

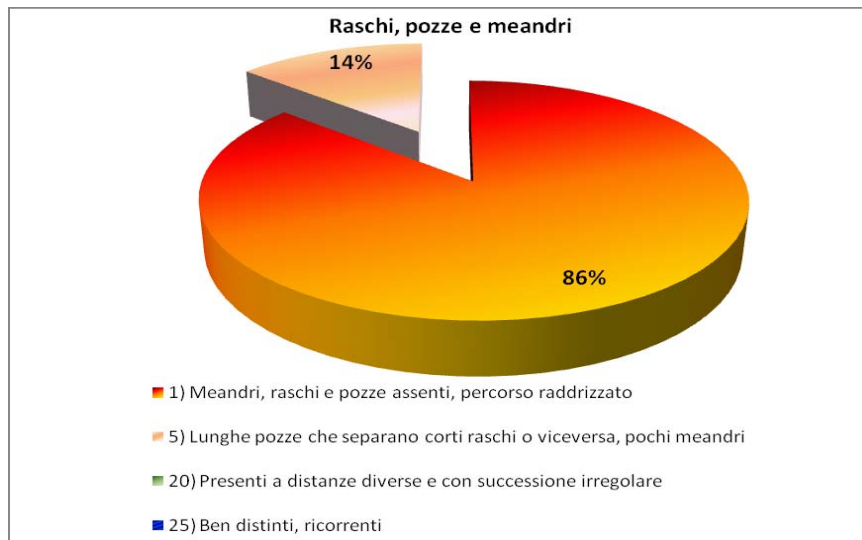


Fig. 5.4.3.28 - Fiume Clitunno, raschi, pozze e meandri.

Nell'applicazione del metodo IFF riveste molta importanza anche l'analisi delle componenti biologiche presenti in alveo (vegetazione acquatica e comunità macrobentonica).

Per quanto riguarda la **componente vegetale** vengono osservati il periphyton e la comunità di macrofite. Il **periphyton** è una pellicola biologica, scivolosa al tatto, che si sviluppa sui substrati duri ed è formata da comunità microscopiche di batteri, funghi, microalghe (soprattutto Diatomee), amebe e rotiferi, la cui densità dipende sia dalle condizioni d'illuminazione del fondo che dal chimismo delle acque. La sostanza organica che raggiunge un corso d'acqua, di origine naturale o antropica, viene demolita e resa più appetibile per i macroinvertebrati da questi microrganismi che rappresentano, pertanto, il primo sistema depurante di un fiume.

Le **macrofite**, popolamenti vegetali che si insediano nell'alveo bagnato, contribuiscono ai processi di autodepurazione delle acque attraverso l'organizzazione dei nutrienti. Inoltre, svolgono l'importante ruolo di produttori primari e creatori di microhabitat per la fauna.

L'eutrofizzazione di un corso d'acqua si riflette sia nello sviluppo di uno spesso feltro perifitico sia, se la velocità della corrente lo permette, nella crescita di macrofite acquatiche, specie quelle tolleranti stati trofici elevati.

I risultati del rilievo IFF sul fiume Clitunno evidenziano come, per questo parametro, una buona percentuale di tratti monitorati (41%) sia caratterizzata dalla presenza in alveo di un periphyton discreto, con scarsa copertura di macrofite tolleranti (figura 5.4.3.29).

Tuttavia, sono presenti tutte le possibili condizioni, da tratti con periphyton poco sviluppato a tratti con periphyton poco sviluppato ma significativa copertura di macrofite tolleranti (25%), fino alle

situazioni peggiori, in cui si rileva un feltro perifitico spesso (6%), costituito in prevalenza da alghe macroscopiche (ciuffi di alghe filamentose).

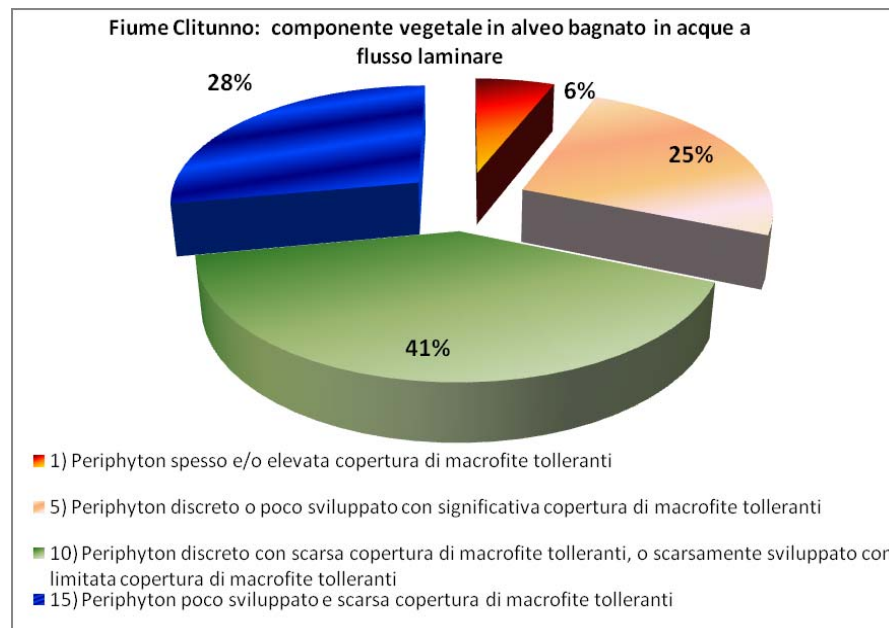


Fig. 5.4.3.29 - Fiume Clitunno, componente vegetale in alveo bagnato in acque a flusso laminare.



Fig. 5.4.3.30 - Presenza di alghe filamentose nell'alveo fluviale.

Viene poi esaminata la consistenza del **detrito** (sostanza organica trattenuta dal corso d'acqua), in quanto fornisce indicazioni sull'efficienza di demolizione da parte degli organismi acquatici e, quindi, sull'efficienza dei processi di autodepurazione. Un detrito costituito da materia organica particolata grossolana e fine indica la presenza di condizioni ottimali (buona capacità di ritenzione,

comunità macrobentonica diversificata e buona ossigenazione), in cui la demolizione dei frammenti vegetali è affidata principalmente ai macroinvertebrati trituratori. La prevalenza di frammenti polposi o, in assenza di ossigeno, di materiale fine nerastro è sintomo, invece, di una demolizione essenzialmente di tipo batterico, che si instaura in condizioni di inquinamento, comunità bentonica squilibrata e scarsa ossigenazione.

Il detrito analizzato nel fiume Clitunno è costituito, nella metà dei tratti indagati, da frammenti vegetali polposi (figura 5.4.3.31), indicatori di una condizione diffusa di squilibrio e di inquinamento.

Il 41% dei tratti presenta, invece, una condizione migliore, caratterizzata dalla presenza di frammenti vegetali fibrosi e polposi. Si evidenzia come, in alcuni tratti, soprattutto nei pressi dell'abitato di Bevagna, si verificano condizioni anaerobiche con formazione di materiale fine nerastro, talora maleodorante.

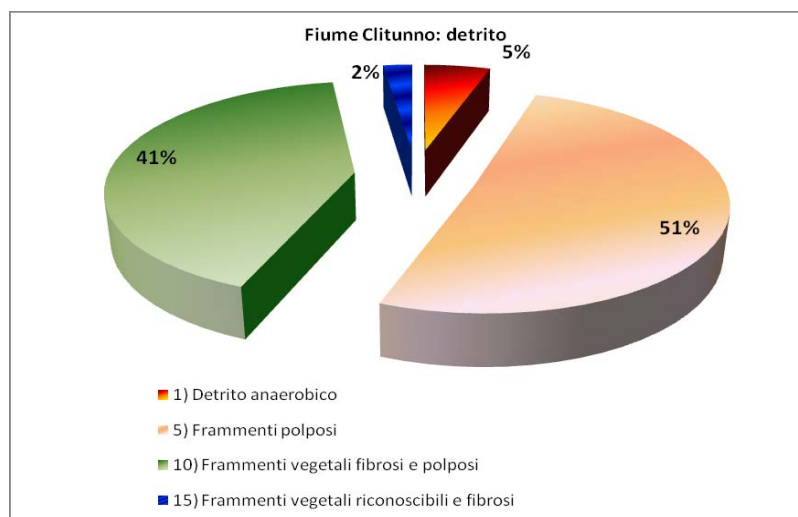


Fig. 5.4.3.31 - Fiume Clitunno, detrito.



Fig. 5.4.3.32 - Detrito anaerobico.

L'analisi della **comunità macrobentonica** consiste nella valutazione dello stato di salute della comunità stessa in termini di ricchezza e sensibilità dei taxa presenti. Si tratta di organismi invertebrati di dimensioni superiori al mm, che vivono almeno una parte del loro ciclo vitale in acqua, su substrati disponibili, e utilizzano diversi meccanismi di adattamento.

I macroinvertebrati, oltre ad essere fondamentali nella rete alimentare di un fiume, rappresentando un'importante fonte di energia per gli organismi superiori, sono il secondo sistema depurante di un ambiente lotico in quanto degradano i frammenti organici parzialmente trattati dai batteri e, grazie alla loro ricchezza di specializzazioni, possono utilizzare ogni forma di risorsa disponibile, anche di origine antropica. Una comunità ricca e diversificata, quindi, è in grado di rispondere alle variazioni stagionali o antropiche di carico organico, garantendo una buona capacità autodepurativa del corso d'acqua. In genere, alterazioni nella struttura della comunità possono essere dovute sia all'inquinamento sia a modificazioni morfologiche dell'alveo.

La comunità macrobentonica campionata nel fiume Clitunno (figura 5.4.3.33), risulta, in circa la metà dei casi esaminati, essere povera qualitativamente e quantitativamente, poco equilibrata e scarsamente diversificata; gli organismi più sensibili, tra gli Efemerotteri e i Tricotteri, sono assenti, mentre prevalgono i *taxa* più tolleranti all'inquinamento che tendono a formare popolazioni numerose. Il 41% dei tratti indagati presenta, tuttavia, condizioni migliori, anche se la comunità, pur essendo più diversificata, risulta comunque lievemente alterata nella struttura e continuano ad essere assenti i *taxa* più sensibili. Per un'analisi più dettagliata si rimanda al paragrafo 5.1.

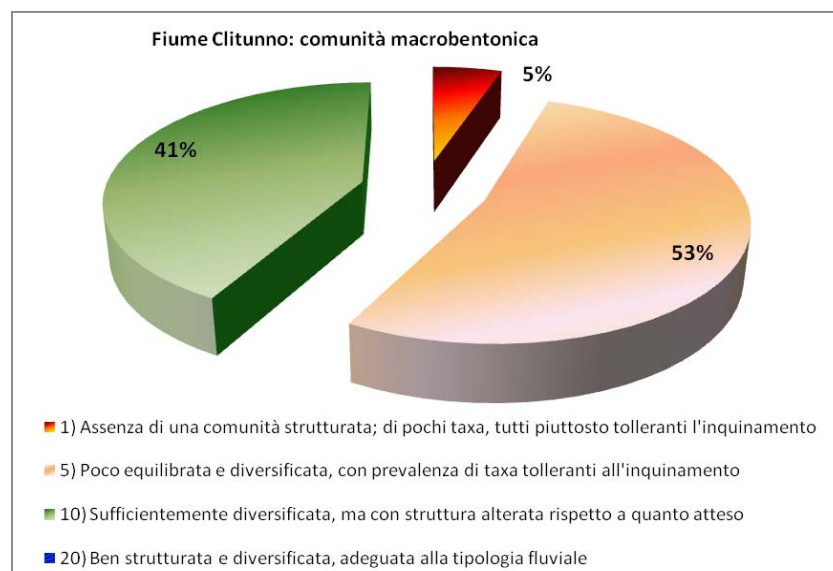


Fig. 5.4.3.33 - Fiume Clitunno, comunità macrobentonica.

Nel complesso, l'analisi dettagliata di ogni singolo parametro eco-morfologico rilevato nel corso dell'indagine, porta alla seguente caratterizzazione della funzionalità del fiume Clitunno:

- il territorio circostante è costituito in prevalenza da colture stagionali, arativi misti e urbanizzazione rada. Le aree urbanizzate, poco frequenti, si concentrano soprattutto lungo la sponda destra;
- in più della metà dei tratti studiati le fasce di vegetazione perifluviale sono praticamente assenti e le sponde sono caratterizzate per lo più dalla presenza di una vegetazione erbacea continua e consolidata, che non garantisce in modo adeguato le funzioni di filtro per sedimenti e nutrienti e di stabilizzazione della sponda proprie della vegetazione ripariale. Le tipologie di fasce riparie, qualora presenti, sono rappresentate da canneto o filari arborei isolati, con interruzioni frequenti sullo sviluppo longitudinale;
- circa la metà del tratto esaminato presenta, su entrambe le sponde, rive caratterizzate da una copertura prevalentemente erbosa, in cui la diversità ambientale è fortemente ridotta. In una buona percentuale del fiume Clitunno, tuttavia, sono comunque presenti tratti in cui si sviluppa una vegetazione arbustiva continua o alternata a tratti erbosi o canneto, che offre una maggiore ricchezza di habitat per le biocenosi;
- quasi tutta l'asta principale è caratterizzata da tratti privi di fenomeni erosivi evidenti. Ciò è legato prevalentemente al fatto che il fiume non è soggetto a fluttuazioni di portata evidenti, tranne piccoli tratti dove i fenomeni erosivi, anche se di modesta entità, derivano da interventi umani;
- la diversità ambientale dell'alveo, a livello di microscala, è buona nella maggior parte del tratto fluviale, dal momento che prevale un substrato caratterizzato dalla presenza di idrofite con copertura rilevante e, in alcuni casi, di fasce di canneto continue. Questo assicura una efficace azione di trattenimento della materia organica e di elaborazione di questa da parte degli organismi acquatici, fondamentale per l'autodepurazione del corso d'acqua;
- la diversità ambientale a livello di macroscala risulta, invece, compromessa nella maggior parte dei tratti indagati dal momento che il fiume Clitunno, essendo un corso d'acqua artificializzato, è sostanzialmente uniforme e presenta, in generale, un percorso raddrizzato;
- la componente vegetale in alveo è costituita in prevalenza da un periphyton discreto, con scarsa copertura di macrofite tolleranti, indice di una situazione eutrofica. In alcuni tratti, si segnala anche la presenza di un feltro perifitico spesso costituito in prevalenza da alghe macroscopiche (ciuffi di alghe filamentose);

- la comunità macrobentonica risulta, per almeno la metà dei casi, poco diversificata, povera qualitativamente e quantitativamente, e caratterizzata dalla presenza di pochi *taxa* tutti tolleranti. A ciò si accompagna la presenza di un detrito composto prevalentemente da frammenti vegetali polposi, indicatori comunque di una condizione diffusa di squilibrio e di inquinamento. Nonostante una buona eterogeneità di microhabitat in alveo, favorita dalla rilevante copertura di macrofite, la comunità rilevata risulta comunque alterata nella struttura essendo sempre assenti i *taxa* più sensibili.

In tabella 5.4.3.1 vengono riportati in sintesi i risultati relativi all'analisi dei singoli parametri.

n. scheda	m	TERsx	TERdx	VEG1sx	VEG1dx	VEG2sx	VEG2dx	AMPsx	AMPdx	CONsx	CONdx	IDR	RIVsx	RIVdx	RIT	EROSx	ERODx	SEZ	FON	RAS	VEGT	VEGL	DET	MBT	IFFsx	IFFdx
CLT1	109	5	5	25	30	0	0	5	5	20	10	20	15	5	25	20	20	5	25	5	0	15	15	10	II	II-III
CLT2	313	5	5	1	1	0	0	1	1	5	5	20	5	5	25	20	20	5	25	5	0	15	15	10	III	III
CLT3	269	5	1	1	0	0	20	1	5	5	10	20	5	5	25	20	20	5	25	5	0	10	10	10	III	III
CLT4	452	5	5	0	0	1	20	1	5	5	10	20	5	1	25	5	5	25	5	0	1	5	10	III-IV	III	
CLT5	234	10	5	0	0	1	1	1	1	1	1	20	1	1	1	1	5	5	5	1	0	10	5	5	IV	IV
CLT6	164	5	5	30	30	0	0	5	5	20	20	20	5	5	25	20	20	5	25	5	0	1	5	10	II-III	II-III
CLT7	133	5	5	1	30	0	0	1	5	5	10	20	15	15	25	20	20	5	25	5	0	5	5	10	III	II-III
CLT8	208	5	5	30	30	0	0	5	5	10	10	20	5	5	25	20	20	5	25	5	0	1	5	10	III	III
CLT9	680	5	1	1	1	0	0	1	1	5	1	20	5	5	25	20	20	5	25	5	0	5	10	10	III	III
CLT10	373	5	1	30	30	0	0	5	5	5	5	20	15	15	25	20	20	5	25	1	0	15	10	10	II-III	II-III
CLT11	505	5	5	1	1	0	0	1	1	5	5	20	5	5	25	20	20	5	25	1	0	15	10	10	III	III
CLT12	252	5	5	0	0	15	5	5	5	5	5	20	15	15	25	20	20	5	15	1	0	15	10	10	III	III
CLT13	143	5	1	0	0	1	5	1	5	5	10	20	15	15	25	20	20	5	15	1	0	15	10	10	III	III
CLT14	232	5	1	0	0	1	1	1	1	1	1	20	1	1	25	1	1	5	25	5	0	10	10	10	III-IV	III-IV
CLT15	722	5	1	0	1	1	0	1	1	5	5	20	5	5	15	20	20	5	15	1	0	10	10	10	III-IV	III-IV
CLT16	718	5	1	1	10	0	0	5	5	5	5	20	15	15	25	20	20	5	15	1	0	10	5	10	III	III
CLT17	290	5	5	10	1	0	0	5	1	10	5	20	15	5	25	20	20	5	15	1	0	15	10	10	III	III
CLT18	393	5	5	25	30	0	0	5	5	20	20	20	15	5	25	20	20	5	15	1	0	15	10	10	II-III	II-III
CLT19	239	5	5	25	10	0	0	5	5	20	10	20	15	5	25	20	20	5	25	1	0	15	5	5	II-III	III
CLT20	318	5	5	1	1	0	0	5	5	5	5	20	5	5	25	20	20	5	25	1	0	15	5	5	III	III
CLT21	109	5	5	30	1	0	0	5	1	20	5	20	5	5	25	20	20	5	25	1	0	5	5	5	III	III
CLT22	271	5	5	25	1	0	0	5	1	20	5	20	15	15	25	20	20	5	25	1	0	15	5	5	III-II	III
CLT23	255	5	5	25	1	0	0	5	1	20	1	20	15	1	25	20	1	5	25	1	0	15	5	5	III-II	III-IV
CLT24	1515	5	5	1	1	0	0	5	1	10	5	20	15	5	25	20	20	5	15	1	0	15	5	5	III	III
CLT25	255	5	5	25	1	0	0	5	1	20	5	20	15	5	25	20	20	5	15	1	0	15	5	5	II-III	III
CLT26	230	1	1	1	1	0	0	1	1	5	1	20	5	1	25	20	1	5	15	1	0	10	10	5	III	IV
CLT27	237	1	1	25	0	0	1	15	1	10	1	20	5	1	25	20	1	5	15	1	0	10	10	5	III	IV
CLT28	309	5	5	1	1	0	0	1	1	1	1	20	1	1	15	20	1	5	15	1	0	1	10	5	III-IV	IV
CLT29	534	5	5	1	30	0	0	1	5	5	10	20	5	15	25	20	20	5	15	1	0	10	10	5	III	III
CLT30	751	5	5	1	25	0	0	1	5	1	5	20	5	15	25	20	20	5	15	1	0	10	10	5	III	III
CLT31	564	5	5	1	1	0	0	1	1	1	1	20	5	5	25	20	20	5	25	1	0	5	10	10	III	III
CLT32	1363	5	5	1	25	0	0	1	5	1	5	20	5	15	25	20	20	5	15	1	0	5	10	10	III	III
CLT33	600	5	5	1	30	0	0	1	5	1	20	20	1	15	15	20	20	5	15	1	0	5	5	5	IV	III
CLT34	955	5	5	1	25	0	0	1	5	1	20	20	1	15	15	20	20	5	5	1	0	5	5	5	IV	III
CLT35	341	5	5	25	1	0	0	5	1	10	5	20	15	5	5	20	20	5	5	1	0	10	5	5	III	IV
CLT36	296	5	5	25	1	0	0	5	1	20	5	20	15	5	5	20	20	5	5	1	0	10	5	5	III	IV
CLT37	532	5	5	30	1	0	0	5	1	10	1	20	15	1	15	20	20	5	5	1	0	10	5	5	III	IV
CLT38	900	5	5	0	0	20	1	15	1	20	1	20	15	5	5	20	20	5	5	1	0	10	5	5	III	IV
CLT39	215	5	5	0	0	1	1	1	1	5	5	20	5	5	5	20	20	5	5	1	0	10	5	5	IV	IV
CLT40	304	1	1	0	0	20	1	5	1	10	5	20	15	5	5	20	20	5	5	1	0	5	5	5	III	IV
CLT41	258	1	5	1	25	0	0	1	5	5	10	20	5	15	15	20	20	5	15	1	0	10	5	5	III-IV	III
CLT42	232	1	5	1	25	0	0	1	5	1	10	20	1	15	15	20	20	5	15	1	0	10	5	5	III-IV	III
CLT43	216	5	5	1	1	0	0	1	1	5	5	20	5	5	15	20	20	5	5	1	0	10	1	1	IV	IV
CLT44	178	5	5	20	1	0	0	5	1	20	5	20	15	5	5	20	20	5	5	1	0	10	1	1	III	IV
CLT45	73	5	1	30	25	0	0	5	5	20	20	20	15	15	15	20	20	5	15	1	0	10	1	1	III	III
CLT46	104	5	1	25	25	0	0	5	5	20	20	20	15	15	15	20	20	5	15	1	0	10	1	1	III	III
CLT47	387	5	1	1	1	0	0	1	1	1	1	20	1	1	5	1	1	5	5	1	0	10	1	1	IV-V	IV-V

Tabella 5.4.3.1 - Sintesi dei risultati I.F.F.

6. Quadro riassuntivo

Il progetto è stato sviluppato operando su diverse matrici/componenti ambientali: i sedimenti, sui quali sono stati effettuati saggi quantitativi, analisi chimiche e test tossicologici; gli scarichi, dei quali è stata effettuata la mappatura e, ove possibile, l'analisi chimica e tossicologica dei liquidi recapitati; gli attingimenti, per i quali è stata redatta una specifica carta tematica. Inoltre, è stata effettuata la valutazione della qualità ecologica attraverso il rilievo delle comunità macrobentoniche, delle comunità a macrofite e delle comunità ittiche. Infine, è stato applicato l'indice di funzionalità fluviale.

La particolare complessità del progetto ha portato all'esecuzione degli studi sulle singole matrici/componenti ambientali da parte di gruppi di lavoro indipendenti, coordinati dalla Direzione del Dipartimento Prov.le di Perugia. I risultati ottenuti nei diversi ambiti di studio concorrono in modo complementare a definire il quadro ambientale complessivo del reticolo fluviale indagato. Tali risultati, non essendo sempre "sovrapponibili" e correlabili, saranno descritti in modo indipendente:

1. I test di tossicità acuta effettuati con batteri bioluminescenti sull'acqua interstiziale del sedimento hanno evidenziato che il 60 % dei campioni analizzati sul fiume *Clitunno* è tossico (da debolmente ad altamente tossico, vedere fig. 2.2.3.1). La tossicità dei campioni, espressa in funzione della distanza dalla sorgente del *Clitunno*, mostra un andamento fluttuante, privo di qualsiasi tendenza (fig. 2.2.3.2).
2. Le analisi chimiche effettuate sui sedimenti mostrano una situazione non critica, dove i limiti di concentrazione relativi alla tabella 1 dell'allegato 5 al Titolo V del DLgs. 152/06 (*Concentrazioni soglia di contaminazione del suolo e del sottosuolo riferiti alla specifica destinazione d'uso dei siti da bonificare*) sono raramente superati. Va precisato che i valori espressi alla tabella 1 devono essere considerati come riferimento poiché riferiti ai suoli e non ai sedimenti fluviali. Questi ultimi sono soggetti alle interazioni con l'ambiente e l'ecosistema acquatico che possono alterare la distribuzione e le concentrazioni delle differenti specie chimiche. Emergono comunque delle situazioni locali che necessiterebbero di ulteriori approfondimenti:

- a) elevate concentrazioni di arsenico nell'area relativa al *Fosso Tre ponti* e al sotto bacino del *Marroggiola*, ove sono stati superati anche i limiti di legge;
 - b) elevate concentrazioni di cromo in prossimità dello *Sportone di Maderno*, presumibilmente riconducibili alla passata attività dell'impianto industriale di cromatura esistente a monte del punto di campionamento;
 - c) elevate concentrazioni di rame rilevate nel *Clitunno* in località *Chiesa Tonda* (a valle della confluenza con il *Marroggiola*) e di rame e zinco riscontrate nel *Marroggiola* stesso;
 - d) presenza di idrocarburi pesanti diffusi in molte aree, con componenti di origine presumibilmente sia antropica che naturale;
3. L'incremento nella concentrazione di alcuni metalli pesanti (cadmio, piombo, rame e zinco) è verosimilmente riconducibile alle zone ove sono stati rilevati il maggior numero di scarichi.
 4. In tutto il reticolo esaminato sono stati rilevati 124 scarichi di varia natura, dei quali 86 nell'asta principale del fiume *Clitunno*. Sul totale degli scarichi, soltanto 12 erano attivi durante il rilevamento. Tali scarichi sono stati analizzati sia dal punto di vista chimico, sia dal punto di vista tossicologico, mettendone in evidenza l'impatto negativo sull'ecosistema fluviale (elevate tossicità e valori limite di emissioni in acque superficiali ampiamente superati).
 5. In tutto il reticolo esaminato sono stati rilevati 62 punti di attingimento di varia natura ed entità, dei quali 49 nell'asta principale del fiume *Clitunno*.
 6. L'analisi della composizione specifica delle popolazioni ittiche presso le stazioni di *Pigge* e *Casco dell'Acqua* classifica i due tratti esaminati rispettivamente in zona inferiore della trota e zona del barbo. Rispetto ai campionamenti effettuati nel 2005, la prima stazione risulta caratterizzata da un netto peggioramento nella composizione della comunità ittica, con evidente riduzione della diversità in specie. Inoltre, è stata riscontrata la presenza di una serie di elementi nella comunità della trota fario (ad esempio malformazioni che evidenziano una loro lunga permanenza nelle vasche di allevamento) riconducibili ad azioni di ripopolamento effettuate in seguito ad incidenti di varia natura, che hanno causato morie di pesci, talvolta di grave entità (moria del 01.03.06). Nella seconda stazione, al contrario, non

è possibile evidenziare un peggioramento nello stato delle popolazioni ittiche rispetto al passato; la comunità risulta quantitativamente insufficiente rispetto alle potenzialità, ma tale situazione è riconducibile al generale degrado della qualità ambientale del tratto indagato più che alle conseguenze dirette dei vari incidenti verificatisi.

7. L'analisi dei parametri eco-morfologici rilevati attraverso l'applicazione dell'Indice di Funzionalità Fluviale evidenzia come il fiume *Clitunno* scorra in un ambiente fortemente antropizzato. L'incremento delle superfici destinate ad uso agricolo, infatti, causa la notevole riduzione o scomparsa delle fasce di vegetazione perifluviale e, di conseguenza, un aumento dell'erosione e del trasporto di sedimenti e nutrienti. A ciò si accompagna una struttura del fondo dell'alveo, a livello di macroscale, compromessa nella maggior parte dei tratti indagati, dal momento che il *Clitunno*, essendo un corso d'acqua artificializzato, ha un corso sostanzialmente uniforme, con percorso raddrizzato. Buona è invece la diversità ambientale a livello di microscale, dove prevale un substrato con copertura rilevante di idrofite e, in alcuni casi, di fasce di canneto continue. Tuttavia, nonostante una buona eterogeneità di microhabitat, la comunità a macroinvertebrati campionata risulta alterata nella struttura per la maggior parte dei casi esaminati.
8. La comunità macrobentonica campionata lungo il fiume *Clitunno* risulta, in almeno la metà delle stazioni monitorate, poco diversificata, povera qualitativamente e quantitativamente, e caratterizzata dalla presenza di pochi *taxa*, tutti tolleranti agli agenti inquinanti. A ciò si accompagna la presenza di un detrito composto prevalentemente da frammenti vegetali polposi, indicatori di una condizione diffusa di squilibrio e inquinamento. Poche sono le stazioni campionate che si discostano da tale situazione e che mostrano una comunità con una maggiore diversità ambientale, anche se i *taxa* più sensibili sono comunque sempre assenti. L'analisi della composizione delle comunità macrofitiche fornisce, sostanzialmente, lo stesso quadro ambientale delineato dallo studio delle popolazioni bentoniche.



Fig. 6.1 – Esempi di strutture realizzate a ridosso del fiume *Clitunno*.

Il quadro ambientale complessivo del fiume *Clitunno* e dei suoi affluenti, deducibile dalle conclusioni sopra esposte, mostra una situazione piuttosto eterogenea e complessa. Considerando il valore naturalistico ed ambientale che storicamente il *Clitunno* ha sempre rivestito, emerge una condizione di degrado generalizzata che necessita di interventi mirati.

Lo sviluppo urbano ed agricolo che ha interessato il settore centrale della *Valle Umbra* ha inciso pesantemente sulla qualità del corso d'acqua, divenuto indiscriminatamente il ricettacolo delle attività presenti nella zona (scarichi civili, agricoli ed industriali). Sono emerse realtà locali, ravvisate nel corso della campagna di monitoraggio, che mostrano una generale noncuranza nei confronti del fiume e dell'ecosistema che lo caratterizza: sono state rilevate appropriazioni improprie di alcuni tratti di sponda, per la realizzazione di recinzioni, strutture per l'allevamento del bestiame e apparati artigianali di attingimento. Inoltre, è stata rilevata la presenza diffusa di rifiuti solidi, frutto di un retaggio culturale che identifica il fiume come sistema gratuito di smaltimento ed evacuazione degli stessi.



Fig. 6.2 – Presenza di rifiuti solidi nel fiume *Clitunno* che ne testimoniano lo stato di degrado.

Anche dal punto di vista agricolo, la presenza di campi lavorati che si spingono immediatamente a ridosso delle rive, altera profondamente la struttura e composizione delle fitocenosi legate all'ambiente acquatico.

Occorre sottolineare la necessità immediata di rimuovere o ridimensionare pesantemente questi fattori di degrado, che porteranno, in assenza di interventi mirati, ad un costante peggioramento dello stato ambientale.



Fig. 6.3 – Campi coltivati che si spingono fino all’argine, senza fascia di vegetazione perifluviale.

6.1 Suggerimenti per il miglioramento della qualità ambientale

Il miglioramento della situazione ambientale non può prescindere dall’eliminazione degli scarichi presenti nel reticolo fluviale. Occorre sottolineare che, attualmente, sono stati avviati alcuni interventi mirati al convogliamento dei reflui verso impianti di depurazione esistenti. In particolare, abbiamo la seguente situazione:

1. i reflui provenienti dalla zona industriale di *Campello sul Clitunno* non sono più rilasciati nel *Fossa Nuova*, ma sono attualmente recapitati al vicino impianto di depurazione;
2. le acque di scarico dello stabilimento Umbra Olii non sono più rilasciate nel *Fossa Nuova*, ma attraverso una condotta dedicata sono attualmente convogliate direttamente nel *Marroggia*;
3. l’abitato di *Casco dell’Acqua* sarà dotato di una rete fognaria che consentirà, tramite un impianto di fitodepurazione locale, di trattare le acque di scarico prima del rilascio sul *Clitunno*.

Inoltre, vanno considerati altri interventi recenti di carattere diverso che concorrono comunque al miglioramento delle condizioni del fiume: ad esempio, l'allevamento ittico di *Pissignano* ha avviato il processo di raccolta e disidratazione dei fanghi accumulati nella vasca di sedimentazione per il riutilizzo a fini agronomici, secondo il D.G.R. 1492 del 06.09.06.



Fig. 6.1.1 – Nuovo scarico dello stabilimento Umbra Olii, recapitante nel *Marroggia*.

Gli interventi realizzati e/o in corso di realizzazione non possono essere ritenuti sufficienti per migliorare le condizioni del fiume. Sarebbe necessario agire con maggior determinazione in due direzioni complementari: eliminare (o ridurre sensibilmente) i fattori di degrado ambientale e intraprendere azioni di risanamento. Per quanto riguarda l'eliminazione dei fattori di degrado ambientale, si suggerisce quanto segue:

1. procedere all'eliminazione degli scarichi di origine civile ed industriale che recapitano reflui non trattati direttamente nel reticolo idrografico. Questa misura richiede uno studio specifico volto ad identificare le abitazioni e le aziende le cui acque di scarico confluiscono nei corsi d'acqua, cui dovrà seguire un piano attuativo per il collettamento dei reflui agli impianti di depurazione esistenti e/o da realizzare;
2. valutare con particolare attenzione il carico inquinante di origine agricola; tale indagine non è stata effettuata nell'ambito del progetto, poiché le condotte di drenaggio dei campi coltivati recapitanti nei fiumi non erano attive a causa della scarsità di precipitazioni. Sarà indispensabile una campagna mirata alla raccolta di campioni e all'analisi chimica degli stessi, per verificare la presenza di inquinanti riconducibili all'uso di prodotti per

l'agricoltura (pesticidi, erbicidi, fertilizzanti ecc.). Qualora si dovessero ravvisare concentrazioni elevate di sostanze inquinanti sarebbe opportuno, vista l'impossibilità di convogliare altrove le acque di dilavamento dei campi, procedere ad operazioni di controllo sul territorio per verificare il corretto utilizzo di prodotti per l'agricoltura ed eventualmente limitarne l'utilizzo;

3. rimozione immediata dei materiali di origine vegetale prodotti durante le operazioni di pulizia degli argini e di sfalcio periodico delle *Fonti del Clitunno*. Tali materiali, lasciati in balia della corrente, tendono ad arrestarsi lungo le sponde, a decomporsi e ad aumentare il contenuto di materia organica nei sedimenti;
4. effettuare un'azione di controllo sugli attingimenti diretti dal reticolo fluviale, anche se essi non costituiscono direttamente un fattore di degrado, per valutarne l'entità complessiva e l'eventuale impatto sull'ecosistema acquatico;
5. rivedere la gestione del regime fluviale dettata dalle esigenze delle attività locali; il *Clitunno* è caratterizzato da una portata pressoché costante, ed ogni intervento che modifichi le caratteristiche idrauliche del fiume, quali invasi e svasi periodici, deviazioni parziali della portata naturale ecc. può influire negativamente sull'ecosistema acquatico.

L'eliminazione dei fattori di degrado non è sufficiente, da sola, al ripristino di uno stato ambientale qualitativamente accettabile per il fiume *Clitunno*. Vi sono situazioni che non possono essere migliorate senza interventi diretti da parte delle amministrazioni interessate, come la presenza di rifiuti solidi in alveo o di costruzioni immediatamente a ridosso degli argini. Pertanto, si suggeriscono le seguenti azioni di risanamento:

1. rimozione dei rifiuti solidi presenti in tutto il reticolo fluviale, in particolar modo nell'asta principale del fiume *Clitunno*;
2. bonifica del tratto iniziale del *Fossa Nuova*, interessato tutt'ora da residui di olio bruciato, che potrebbero essere trasportati nel fiume *Clitunno*;
3. ripristino delle fasce tampone attraverso tecniche di ingegneria naturalistica (formazioni arbustive o arboree ripariali) che possano contribuire all'abbattimento dei nutrienti di origine agricola, alla stabilizzazione delle sponde fluviali ed a favorire la reintroduzione di microhabitat per le biocenosi acquatiche;

4. identificazione e rimozione delle strutture e delle recinzioni di carattere abusivo immediatamente a ridosso del fiume, che possono costituire una fonte di inquinamento diretta (stalle, pollai ecc.) o comunque un ostacolo al transito lungo le sponde.



Fig. 6.1.2 – Stato dell’affluente *Fossa Nuova* nel tratto iniziale, localizzato nella zona industriale di *Campello sul Clitunno*.

Occorre dedicare un’attenzione particolare al problema dei sedimenti fini. Dal punto di vista tossicologico, è stata riscontrata una criticità piuttosto diffusa, con oltre il 60% di campioni esaminati che presentano livelli di tossicità dell’acqua interstiziale da modesti ad elevati: pertanto, il sedimento fine può potenzialmente cedere sostanze nocive all’ecosistema fluviale. Vi sono anche altri fattori che, oltre al dato prettamente analitico, suggeriscono azioni mirate di bonifica dei sedimenti fini, quali l’impatto visivo e le caratteristiche olfattive; le azioni di risanamento fino ad ora proposte porteranno ad un miglioramento complessivo della qualità ambientale del *Clitunno*, ma non saranno sufficienti a restituire ad esso l’aspetto incontaminato che merita. Vi sono delle zone di accumulo di sedimenti fini di colore molto scuro (per la presenza di materia organica), spesso maleodoranti, con un aspetto decisamente sgradevole che il fiume, per le sue caratteristiche idrauliche, non riuscirà a rimuovere in modo naturale.

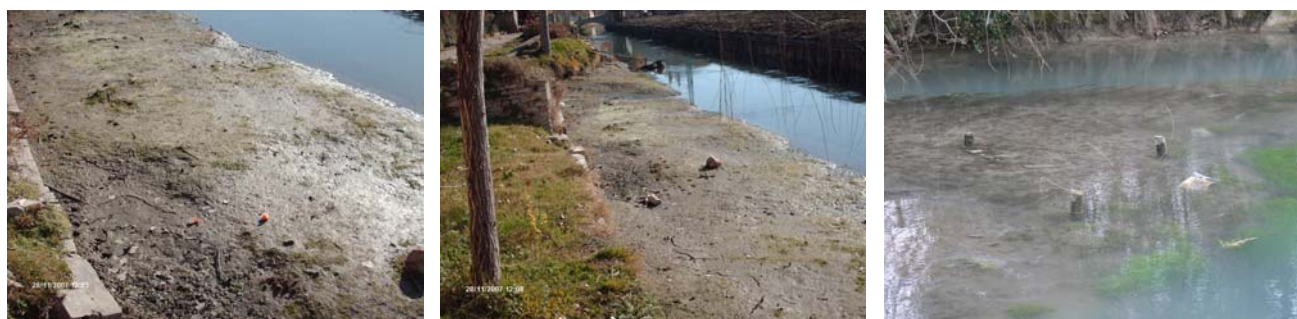


Fig. 6.1.3 – Depositi di sedimenti fini ubicati nell’abitato di *Casco dell’Acqua*.

La rimozione dei sedimenti, in ogni sua forma, rappresenta un problema molto delicato che deve essere affrontato con estrema cautela, per evitare danni “collaterali” al fiume, quali modifica del regime idraulico, cambiamenti nella permeabilità dell’alveo ed alterazioni dell’ecosistema esistente. Pertanto, pur riconoscendo la necessità di intervenire nelle situazioni più critiche, si raccomanda di procedere con accortezza, limitando gli interventi alle porzioni superficiali, senza intaccare in modo eccessivo la struttura dell’alveo e, in ogni caso, solo dopo aver effettuato uno studio specifico volto a verificarne la fattibilità, che dovrà valutare anche le possibilità di riutilizzo/smaltimento del materiale rimosso.

BIBLIOGRAFIA

Anderson R.O. e Neumann R.M. (1996). "*Length, weight and associated structural indices*". In Murphy B.R. e Willis D.W. (editors): Fisheries Techniques. American Fisheries Society, Bethesda.

Azur Enviromental 1995. Microtox Acute Basic Test Procedures .

Bagenal T.B. (1978). "*Methods for assessment of fish production in fresh waters*". Blackwell Scientific Publications Ltd, Londra.

Baldaccini G. N., Sansoni G. (2002). "*Prime riflessioni sull'applicazione dell'Indice di Funzionalità Fluviale*". Biologia Ambientale, 16 (1): 29-33, anno 2002.

Burgess R. M. and Scott K.J. "*The Significance of In-Place Conaminated Marine Sediments on the Water Column: Process and Effects*". In Burton G.A. (Ed.) Sediment Toxicity Assessment .Lewis Publ.: 129-165.

Burton GA. "*Sediment collection and processing: factors affecting realism*". In Burton G.A. (Ed.) Sediment Toxicity Assessment Ann Arbor, Mi:Lewis; 1992 pp.37-54.

Butcher R. W. (1933). "*Studies on the ecology of rivers. 1. On the distribution of macrophyte vegetation in the rivers of Britain*". Journal of ecology, 21: 58-91.

Campaioli S. et al. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane, Vol. I.* Provincia Autonoma di Trento; 1994.

Campaioli S. et al. *Manuale per il riconoscimento dei macroinvertebrati delle acque dolci italiane, Vol. II.* Provincia Autonoma di Trento; 1999.

Centro tematico acque interne e marino costiere. "*Metodologie analitiche della componente vegetazionale negli ambienti di acque correnti (Macrofite)*" Tk04.04.04a.

D. Lgs 152 del 1999. "*Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonte agricole*".

D. Lgs 258 del 2000. "*Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128*".

De Vries D.R. e Frie R.V. (1996). "*Determination of age and growth*". In Murphy B. R. e Willis D.W. (editors): Fisheries Techniques. American Fisheries Society, Bethesda.

Dinelli D., Giovannelli L. (2003). “*Valutazione della funzionalità fluviale del Bisenzio (Toscana)*”. Atti del seminario di studi “Nuovi orizzonti dell’ecologia”: 55-69.

Direttiva 2000/60/Ce del Parlamento Europeo e del Consiglio del 23 ottobre 2000 che istituisce un quadro per l’azione comunitaria in materia di acque.

Ditsworth GR, Schultz DW, Jone JKP (1990). “*Preparation of benthic substrates sediment toxicity testing with Ceriodaphnia dubia*”. Environ Toxicol Chem; 9:1523

Fondazione Lombardia per l’Ambiente (2002). “*Applicazione dell’Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) al sistema idrografico del Fiume Ticino*”.

Fuganti A., Siligardi M., Monauni C., Pozzi S. (2003). “*Il fiume Sarca (Trentino): studio della funzionalità fluviale*”. Atti del seminario di studi “Nuovi orizzonti dell’ecologia”: 55-69.

Gala W.R. Giesy GP. (1992). “*Photo-induced toxicity of Anthracene to the green alga Selenastrum capricornutum*”. Arch.Envirom.Contam Toxicol 1992 ; 23:316

Ghetti PF. *Indice Biotico Esteso (IBE). I macroinvertebrati nel controllo della qualità degli ambienti di acque correnti. Manuale di applicazione.* Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la Protezione dell’Ambiente; 1997.

Gomarasca S., Ferrario M, Galbiati D., Ficetola F. e Cotta Ramusino M. “*Macrofite acquatiche quali possibili indicatori di qualità ecologica del sistema irriguo minore*”. Convegno internazionale “Il sistema rurale. Una sfida per la progettazione tra salvaguardia, sostenibilità e governo delle trasformazioni. 13-14 ottobre 2004. Milano”.

Haslam S.M. (1978). “*River plant*”. Cambridge. Cambridge University Press, 369 pp.

Holmes N.T.H. (1980). “*Preliminary results from rivers macrophyte survey and implications for conservation*”. London. Nature Conservancy Council, 68 pp.

Hynes H.B.N. (1960). “*The biology of polluted water*”. Liverpool University Press, 202 pp.

Hynes H.B.N. (1970). “*The biology of running waters*”. Liverpool University Press, 232 pp.

IRSA-CNR: Metodi Analitici. Saggi di tossicità: Batteri bioluminescenti L.Guzzella IRSA-CNR Brugherio (Milano) Biologia Ambientale n°6\1996

Krebs C.J. (1998). “*Ecological Methodology*”. Benjamin & Cummings.

Manzo S., Leonardo Torricelli e Francesco Aliberti. “*La valutazione della tossicità dei sedimenti fluviali: confronto tra diversi organismi tes*”. ENEA Centro ricerche Portici.

Marchetti R. (1993). “*Ecologia applicata*”. Città Studi, Milano.

Marconato A. (1990). “*Calcolo della produzione ittica in popolazioni naturali*”. Riv. Idrobiol., 29: 329-342.

Marconato A. (1991). “*Metodi per lo studio della struttura delle popolazioni ittiche nelle acque interne: la densità di popolazione*”. Atti 2° Seminario Italiano Censimenti Faunistici dei Vertebrati,

26: 7-18.

Mearelli M., Giovinazzo G., Lorenzoni M., Petesse M.L., Carosi A. (1995). “*Zonazione ittica dei corsi d’acqua del bacino del Fiume Tevere*”. SITE Atti, 16: 669-671.

Mearelli M., La Porta G., Leoni P., Lorenzoni M., Carosi A., Cingolani L., Ghetti L., Mossone M., Uzzoli C. (2001). “*Carta Ittica Regionale. Bacino del Fiume Chiascio e Fiume Topino*”. Regione Umbria, Perugia.

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

Medeirosa P.M., Bicego M.C., Castelao R.M., Del Rosso C., Fillmann G., Zamboni A.J. (2005) *Natural and anthropogenic hydrocarbon inputs to sediments of Patos, Lagoon Estuary, Brazil - Environment International* 31 (2005) 77– 87.

Miniero R., Dellatte e., Lupi C. e Di Domenico A. (2005). “*Problematiche sperimentali inerenti la conduzione di saggi biotossicologici sui sedimenti*”: Ann.Ist.Super.Sanità 2005; 41 (3):381-387.

Moran P.A.P. (1951). “*A mathematical theory of animal trapping*”. Biometrika, 38: 307-311.

Murphy B.R. e Willis D.W. (1996). “*Fisheries techniques*”. American Fisheries Society, Bethesda.

Ombredane D. e Richard A. (1990). “*Determination de la zone optimale de prélèvement d’écailles chez les smolts de truite de mer (Salmo trutta L.)*”. Bull. Fr. Pêche Piscic., 319: 224-238.

Oris JT, Hall AT, Tylka JD (1990). “*Humic acids reduce thr photo-induced toxicity of Anthracene to fish and Daphnia*”. Environ Toxicol Chem 1990; 9:575

Parvez S., Venkataraman C, Mukherji S., (2006). “*A review on advantages of implementing luminescence inhibition test (Vibrio fischeri) for acute toxicity prediction of chemicals*” *Environmental International* 32 (2006); 265-268.

Sansoni G. *Atlante per il riconoscimento dei macroinvertebrati dei corsi d’acqua italiani.* Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Provinciale per la Protezione dell’Ambiente; 1988.

Sansoni G. (2003). “*La riqualificazione dei reticoli idrografici: approcci emergenti*”. Atti del seminario di studi “Nuovi orizzonti dell’ecologia”: 55-69.

Schipani I. (2003). “*Studio di un corso d’acqua cementificato e proposte per la sua rinaturazione: il caso del Sangro in Abruzzo*”. *Biologia Ambientale*, 17 (2): 3-18.

Seddon B. (1972). “*Aquatic macrophyte as limnological indicators*”. *Freshwater Biology*, 2: 107-130.

Sediment Porewater Testing – Standard methods- Toxicity 8000

Siligardi M. et al. *Indice di Funzionalità Fluviale I.F.F. Manuale di applicazione.* Trento: Provincia Autonoma di Trento, Agenzia Nazionale per la Protezione dell'Ambiente ANPA; 2001.

Standard Methods for the examination of water and wastewater 21st edition Centennial Edition

Turin P. & Wegher M. (1991). "*Le macrofite acquatiche come indicatori biologici di qualità delle acque*". *Biologia ambientale* n.3-4: 10-16.