



Valutazione dello Stato di Qualità Ambientale del Reticolo Idrografico del Fiume Clitunno e del Sottobacino Marroggia-Teverone-Timia

Relazione finale

Febbraio 2009

arpa umbria

Gruppo di Lavoro	Contributi	Visto
<p>Attività laboratorio mobile - Capitoli 1, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.3, 5 - Allegati A, B C, D, G, H, I, L, M – Tavv. 1, 2, 3, 4, 5, 9 - Docum. Fotografica relativa a scarichi ed Attingimenti (<i>coordinamento Dott. Mirko Nucci</i>): Dott. Mirko Nucci¹, Dott.ssa Sonia Renzi¹, Dott. Michele Sbaragli¹.</p> <p>Capitoli 2.4, 3.4, 5 - Allegati E, F, N, O – Tavv. 6, 7, 8, 10, 1 - Docum. Fotografica relativa alle comunità macrofite (<i>coordinamento Dott.ssa Fedra Charavgis</i>): Dott.ssa Fedra Charavgis¹, Dott.ssa Tatiana Notargiacomo², Dott.ssa Barbara Todini¹</p> <p>Capitolo 4 Dott. Massimo Lorenzoni⁵, Dott.ssa Antonella Carosi⁵, Dott.ssa Elisabetta Franchi⁵, Dott. Gianandrea La Porta⁵, Dott. Giovanni Pedicillo⁵, Dott.ssa Laura Pompei⁵, Dott.ssa Maria Pia Spigonardi⁵.</p> <p>Analisi di laboratorio: Dott.ssa Eugenia Peirone³, Dott. Fabrizio Archinucci³, Claudio Spaccini³, Mauro De Luca³, Dott.ssa Maria Grazia Raffa³, Luca Falocci³, Dott.ssa Elisabetta Ciccarelli⁴, Dott.ssa Giovanna Tozzi⁴, Dott.ssa Giuliana Taramella⁴, Annarita Petrini⁴</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 Cellulare e Ambientale - Sezione di Biologia Animale ed Ecologia</p>	<p>Dott. M. Guidi Dott. G. Brufola Dott. L. Tamburi Dott. R.Crea Geom. L. Di Matteo Dott.ssa O. Paciotti Dott. M. Bulletti Dott.ssa F. Rocchi Dott.ssa D. Colabrese Associazione ARCI Pesca F.I.S.A.</p>	<p>Dott. A. Micheli</p>

3. Reticolo idrografico Marroggia-Teverone-Timia	95
3.1 - Studio dei sedimenti	98
3.1.1 - Analisi chimiche ed ecotossicologiche	98
3.2 - Mappatura degli scarichi	105
3.2.1 - Test tossicologici	106
3.2.2 - Analisi chimiche	107
3.3 - Monitoraggio delle acque	115
3.3.1 - Test tossicologici	115
3.3.2 - Parametri chimico-fisici e analisi chimiche	117
3.3.3 - Analisi microbiologiche delle acque superficiali dell'intero reticolo fluviale	125
3.3.3.1 - Analisi microbiologiche del fiume Clitunno	125
3.3.3.2 - Analisi microbiologiche del reticolo Marroggia – Teverone -Timia.....	127
3.4 - Valutazione della qualità ecologica	128
3.4.1 - Studio delle comunità macrobentoniche.....	128
3.4.1.1 Analisi dei dati	130
3.4.2 - Applicazione dell'Indice di funzionalità fluviale (IFF)	132
3.4.2.1 – Analisi dei dati.....	133
3.4.2.2 - Caratterizzazione del sistema Timia-Teverone-Marroggia.....	162
 4. Studio delle comunità ittiche	 164
4.1 - Impostazione della ricerca	164
4.1.1 - Premessa	164
4.1.2 - Scelta delle stazioni	165
4.1.3 - Metodi di campionamento	167
4.1.4 - Determinazione dell'età.....	173
4.1.5 - Densità e standing crop	174
4.1.6 - Indici di comunità	175
4.1.7 - Struttura di popolazione	177
4.1.8 - Accrescimento	179
4.1.9 - Stato ecologico dei corsi d'acqua	182
4.2 - Caratteristiche ambientali dell'area	184
4.2.1 - Parametri ambientali	184
4.2.2 - Parametri morfo-idrologici	190
4.2.3 - Parametri fisico-chimici	196
4.3 - Analisi delle comunità ittiche	203
4.3.1 - Note sulla sistematica e la conservazione delle specie ittiche presenti	204
4.3.2 - Distribuzione e frequenza delle specie ittiche	206
4.3.3 - Abbondanza della fauna ittica	208
4.3.4 - Indici di comunità	210
4.4 - Analisi delle popolazioni	217
4.4.1 - Regressione lunghezza-peso	217
4.4.2 - Accrescimento	223
4.4.3 - Struttura di popolazione	234

4.4.4 - Peso relativo	239
4.5 - Stato ecologico dei corsi d'acqua	244
4.5.1 - Fidess	244
4.5.2 - ISECI	246
4.5.3 - Confronto tra i due metodi	247
4.6 - Conclusioni	248
5. Quadro riassuntivo	258
5.1 - Reticolo idrografico del fiume Clitunno	258
5.1.1 - Suggerimenti per il miglioramento della qualità ambientale	262
5.2 - Reticolo idrografico Marroggia-Teverone-Timia.....	266
5.2.1 - Suggerimenti per il miglioramento della qualità ambientale	268
Bibliografia	273

PARTE SECONDA

Allegato A - Reticolo idrografico Clitunno <i>Test ecotossicologici dei sedimenti effettuati in campo</i>
Allegato B - Reticolo idrografico Clitunno <i>Test ecotossicologici dei sedimenti effettuati in laboratorio</i>
Allegato C - Reticolo idrografico Clitunno <i>Analisi chimiche dei sedimenti</i>
Allegato D - Reticolo idrografico Clitunno <i>Test di tossicità e analisi chimiche effettuati sugli scarichi attivi</i>
Allegato E - Reticolo idrografico Clitunno <i>Schede di rilevamento IFF</i>
Allegato F - Reticolo idrografico Clitunno <i>Schede di rilevamento IBE</i>
Allegato G - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Analisi chimiche delle acque</i>
Allegato H - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Analisi chimiche dei sedimenti</i>
Allegato I - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Analisi chimiche delle acque interstiziali</i>
Allegato L - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Analisi chimiche e test eco tossicologici effettuati sugli scarichi attivi</i>
Allegato M - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Test eco tossicologici effettuati sulle acque interstiziali e sulle acque superficiali</i>
Allegato N - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Schede di rilevamento IFF</i>
Allegato O - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia <i>Schede di rilevamento IBE</i>

PARTE TERZA

- Tavola 1** - Reticolo idrografico Clitunno
Mappatura dei sedimenti fini
- Tavola 2** - Reticolo idrografico Clitunno
Campionamento dei sedimenti per test tossicologici
- Tavola 3** - Reticolo idrografico Clitunno
Campionamento dei sedimenti per caratterizzazione chimica
- Tavola 4** - Reticolo idrografico Clitunno
Mappatura degli scarichi
- Tavola 5** - Reticolo idrografico Clitunno
Mappatura degli attingimenti
- Tavola 6** - Reticolo idrografico Clitunno
Rappresentazione cartografica dell'IFF
- Tavola 7** - Reticolo idrografico Clitunno
Rappresentazione cartografica delle stazioni di campionamento IBE
- Tavola 8** - Reticolo idrografico Clitunno
Rappresentazione cartografica delle stazioni di campionamento Macrofite
- Tavola 9** - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia
Punti di campionamento di acque, sedimenti e scarichi
- Tavola 10** - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia
Rappresentazione cartografica delle stazioni di campionamento IBE
- Tavola 11** - Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia
Rappresentazione cartografica dell'IFF

PARTE QUARTA

1. Reticolo idrografico Clitunno
Documentazione fotografica scarichi
2. Reticolo idrografico Clitunno
Documentazione fotografica attingimenti
3. Reticolo idrografico Clitunno
Documentazione fotografica comunità macrofite
4. Reticolo idrografico Marroggia / Teverone / Timia
Documentazione fotografica scarichi

Introduzione

In seguito all'incidente verificatosi il 25 novembre 2006 presso l'oleificio Umbria Olii 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, macrofite 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 Olii, come illustrato nello schema riportato nella pagina seguente.

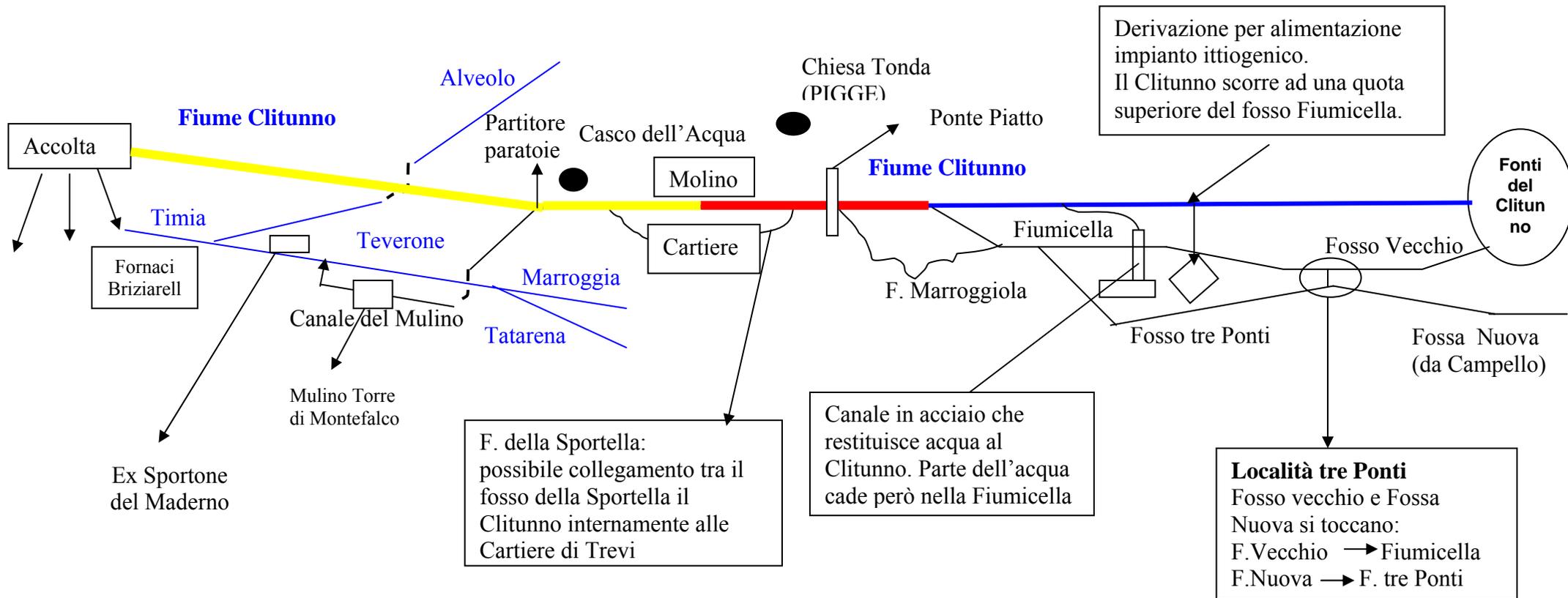
Questo studio, propedeutico ad eventuali azioni di controllo e risanamento dell'area, è stato esteso al sottobacino del Marroggia-Teverone-Timia nel corso dell'anno 2008, aggiungendo alle matrici esaminate anche le acque fluviali.



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 2.1.2.4).

Reticolo idrografico del fiume Clitunno

2.1 Studio dei sedimenti

Nello studio dei sedimenti fluviali, particolare attenzione è stata rivolta ai sedimenti a granulometria fine (limi e argille), in quanto luogo di raccolta e sorgente della maggior parte del carico inquinante negli ecosistemi acquatici. Quando un inquinante giunge in acqua, infatti, in parte entra in soluzione, in parte tende ad adsorbirsi al particolato sospeso che, nel medio periodo e secondo le caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, tende a depositarsi e ad accumularsi nel sedimento.

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.

2.1.1 Mappatura dei sedimenti fini

Il fiume Clitunno, traendo origine da un sistema sorgentizio con portate pressoché costanti, è caratterizzato da un regime di flusso piuttosto regolare, con oscillazioni ridotte tra le portate relative alle fasi di magra e di morbida. In questo contesto, la distribuzione dei sedimenti a granulometria fine 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 ritrovano depositi limo-argillosi che possono superare abbondantemente il metro di spessore. Tra le due condizioni estreme vi sono vari stadi di transizione, ove tali depositi assumono 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, il movimento 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, essi 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.

2.1.2 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.

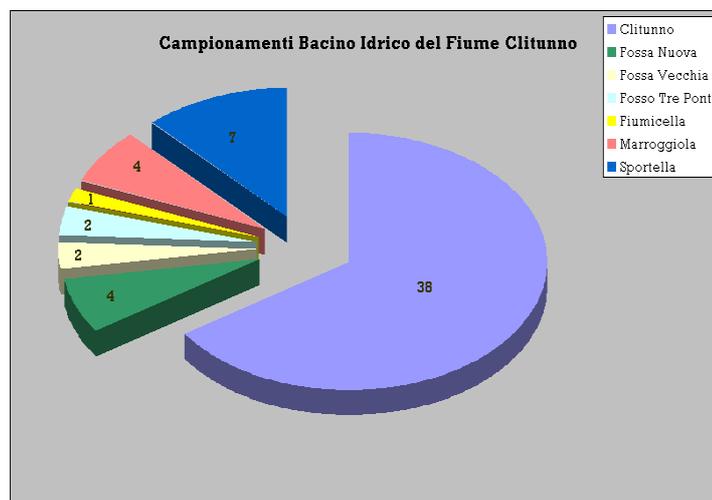


Fig. 2.1.2.1 – Distribuzione dei campionamenti effettuati per i test tossicologici nel reticolo fluviale del Clitunno.

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*.

2.1.2.1 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. 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.

2.1.2.2 Metodi di analisi tossicologiche

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

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.

2.1.2.3 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 interno che utilizza l'acqua interstiziale come substrato del test di tossicità acuta con *Vibrio fischeri*. Il metodo ad oggi impiegati per il maggior recupero dell'acqua interstiziale dai sedimenti è la centrifugazione; 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 sovranatante è stato recuperato e ne sono stati misurati pH e conducibilità.

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).

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 alla parte seconda - allegato A.

Nella tabella successiva sono riportati i risultati delle analisi tossicologiche dei corsi d'acqua costituenti il reticolo idrografico del fiume Clitunno.

Campione	Località	Livello di tossicità	Tratto di 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-Cartiere	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. 2.1.2.3.1 – Tossicità riscontrate nel reticolo idrografico del Clitunno.

Dalla tabella risulta che il 60,5% dei campioni di sedimento dell'asta principale del Clitunno risulta tossica dal punto di vista eco-tossicologico.

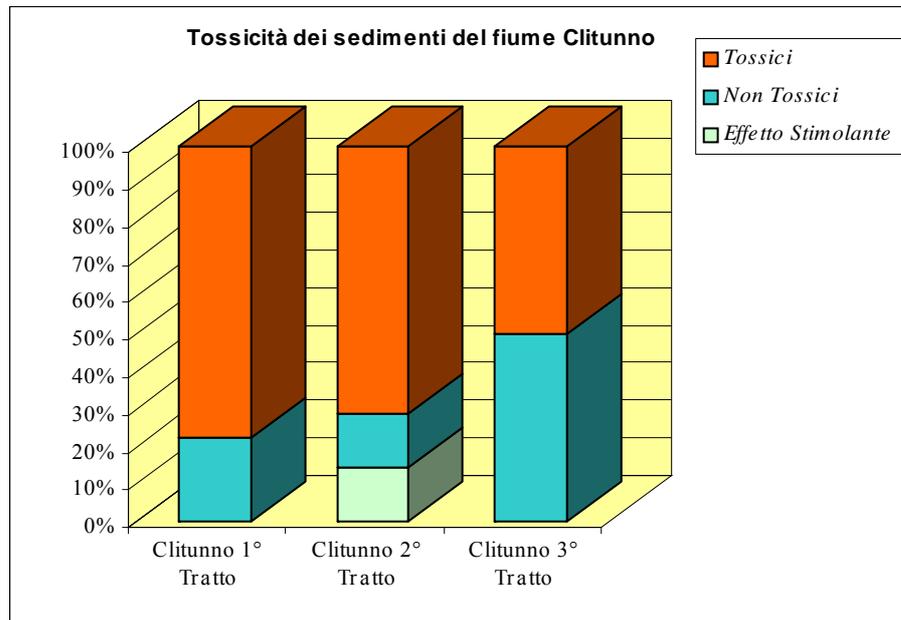


Fig. 2.1.2.3.1 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti nei diversi tratti del fiume Clitunno.

La figura 2.1.2.3.1 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.

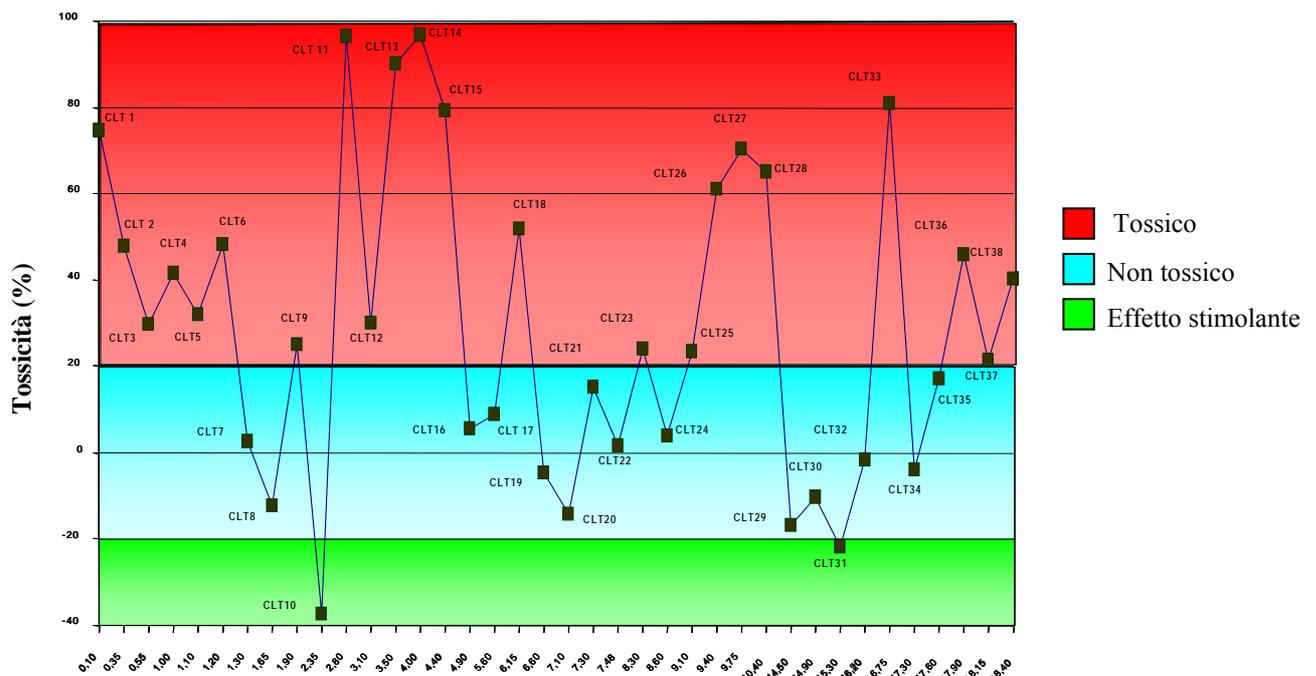


Fig. 2.1.2.3.2 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti nei diversi tratti del fiume Clitunno.

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. Nel tratto finale la situazione tende a migliorare, presentando una percentuale di tossicità di poco superiore al 50% dei campioni.

Come si evince dalla figura 2.1.2.3.2., 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.

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. 2.1.2.3.2 - 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 Marroggiola, SP-Fosso della Sportella).

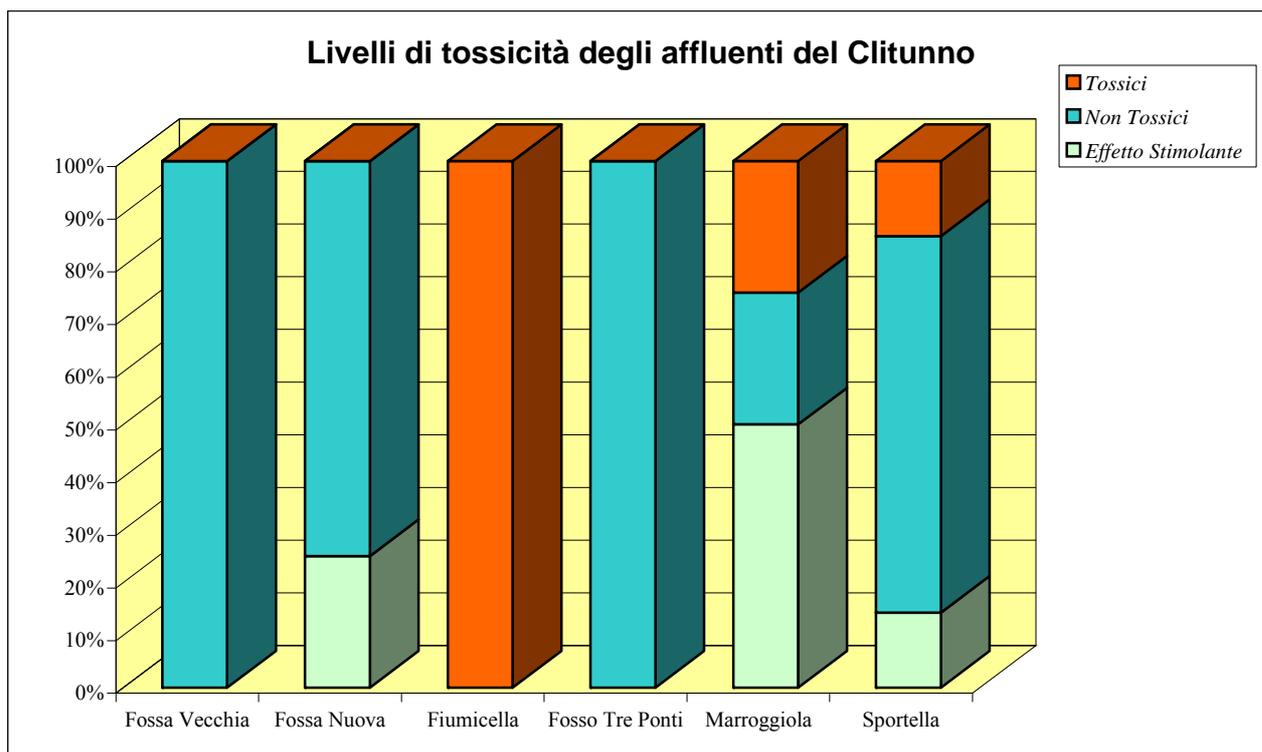


Fig. 2.1.2.3.3 - Livelli di Tossicità dell'acqua interstiziale dei sedimenti negli affluenti del fiume Clitunno.

2.1.2.4. 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.

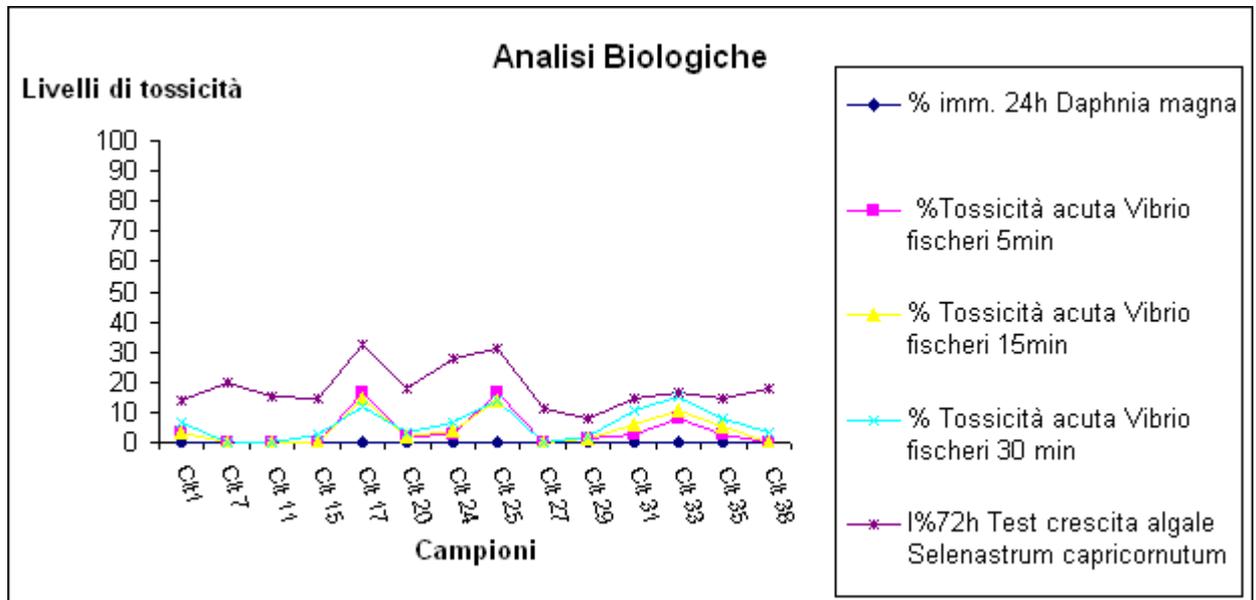


Fig. 2.1.2.4.1 – Analisi del Laboratorio Provinciale di Perugia : livelli di tossicità dei sedimenti del fiume Clitunno.

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 apprezzabili. 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).

2.1.3 Caratteristiche chimiche dei sedimenti

2.1.3.1 Modalità di campionamento

Per avere una visione più approfondita dello stato ambientale del fiume Clitunno, è stata effettuata anche 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.

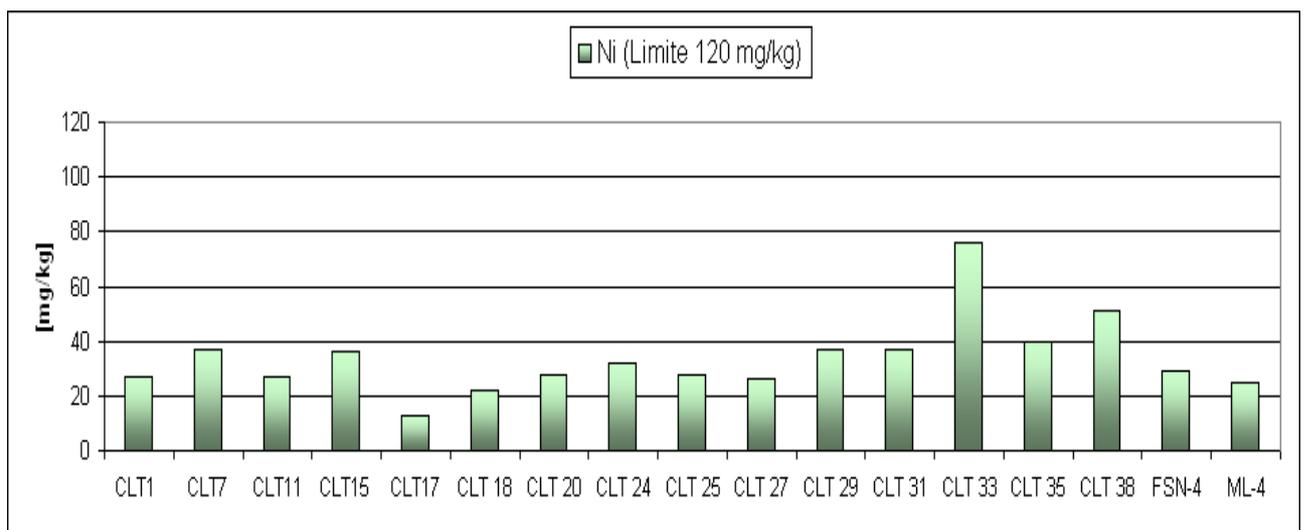
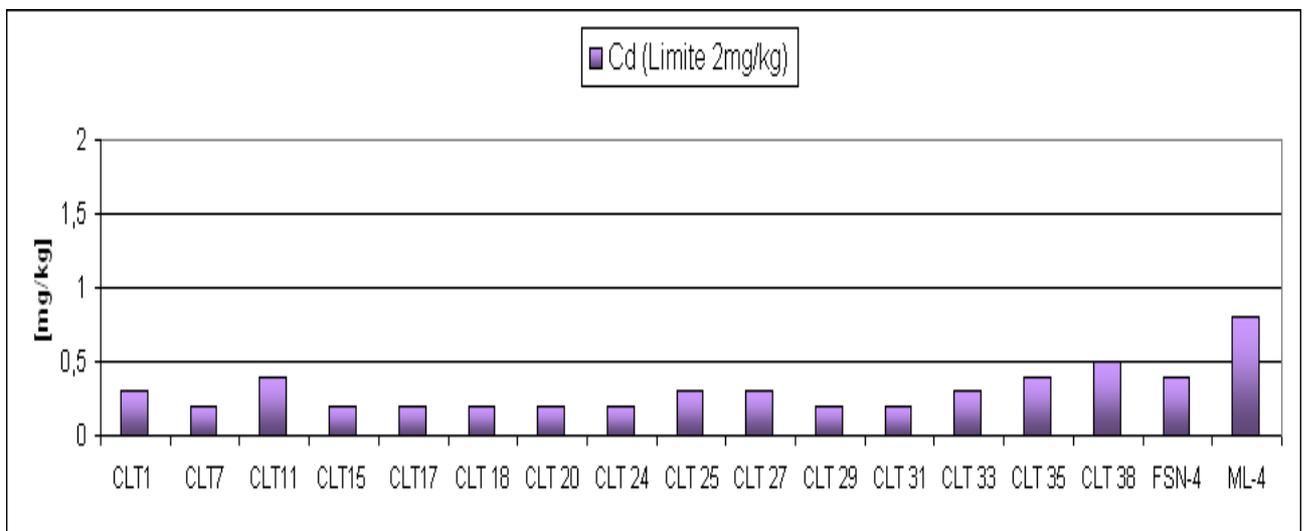
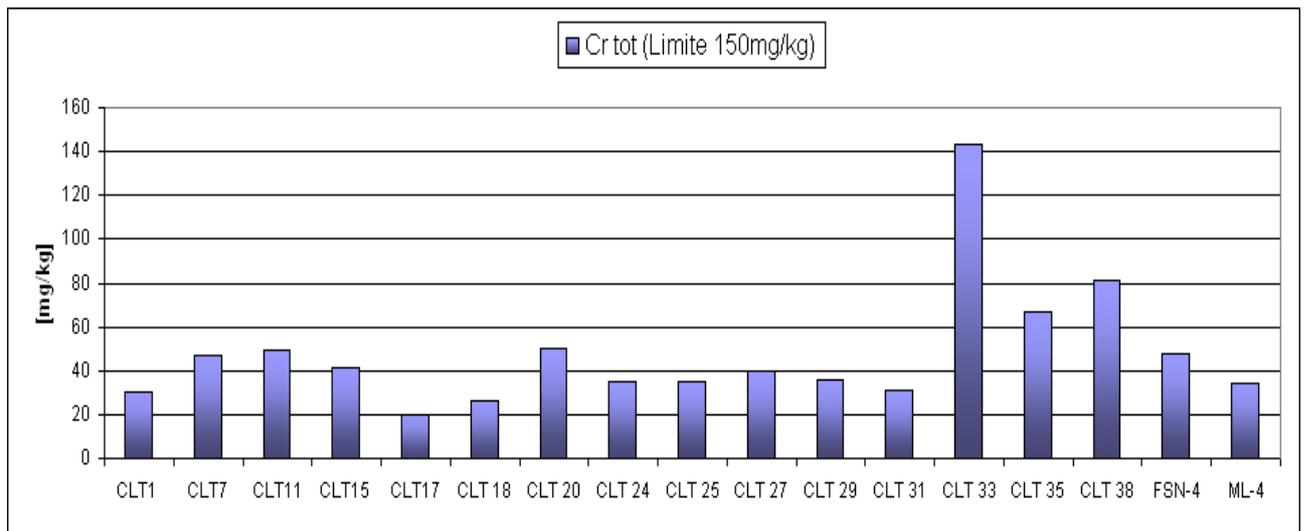
I campioni sono stati prelevati ogni 1000 metri negli stessi punti in cui sono stati effettuati i test tossicologici al fine di poter sovrapporre i dati ed effettuare una valutazione completa degli eventuali fenomeni inquinanti.

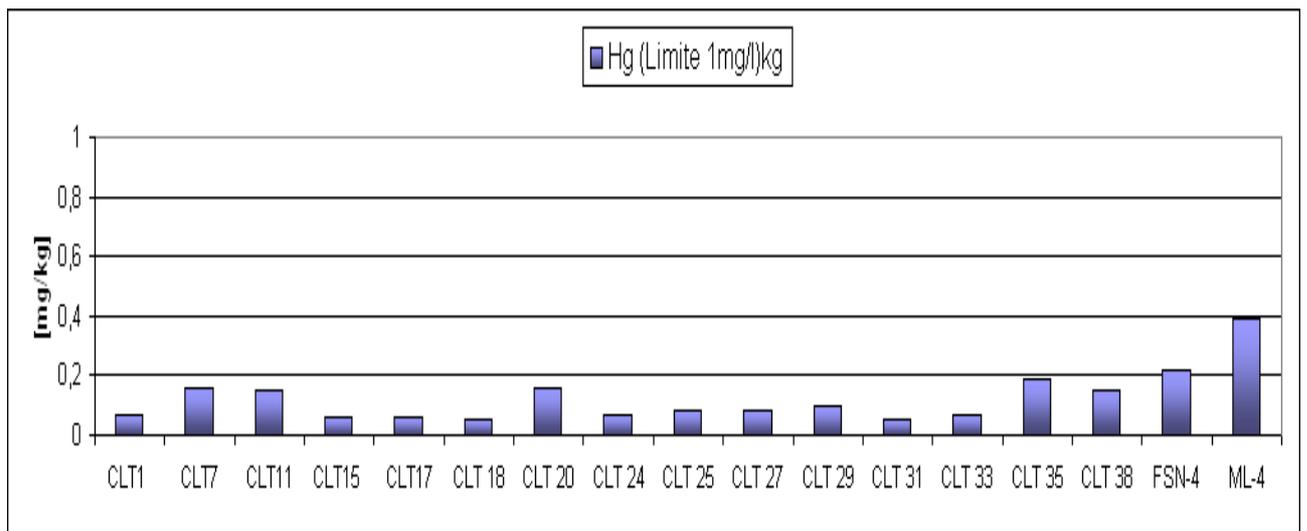
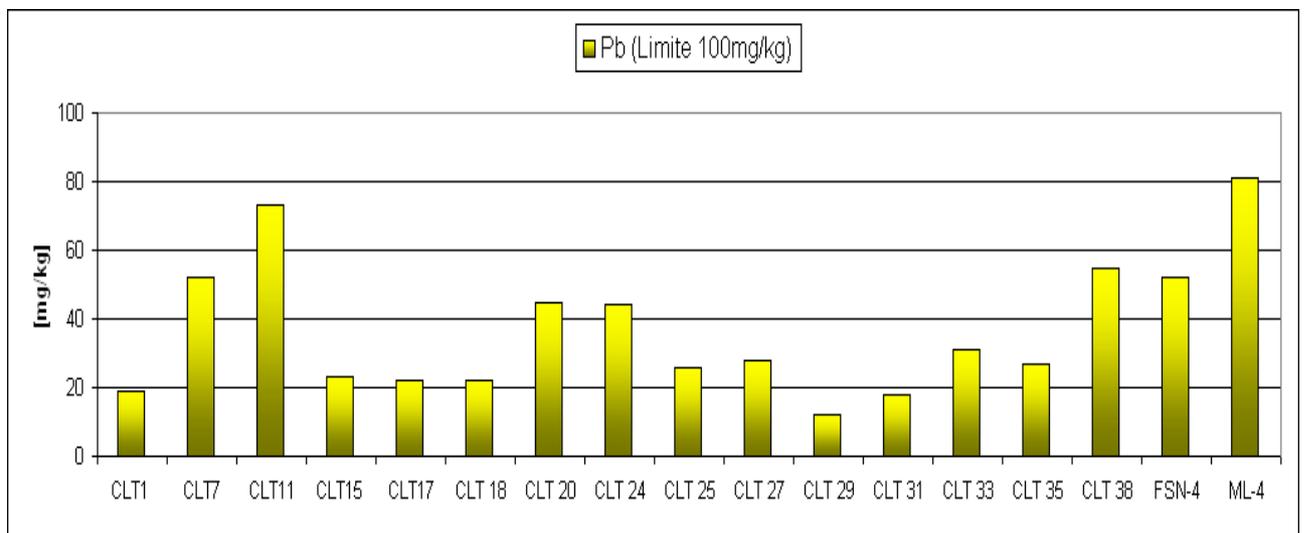
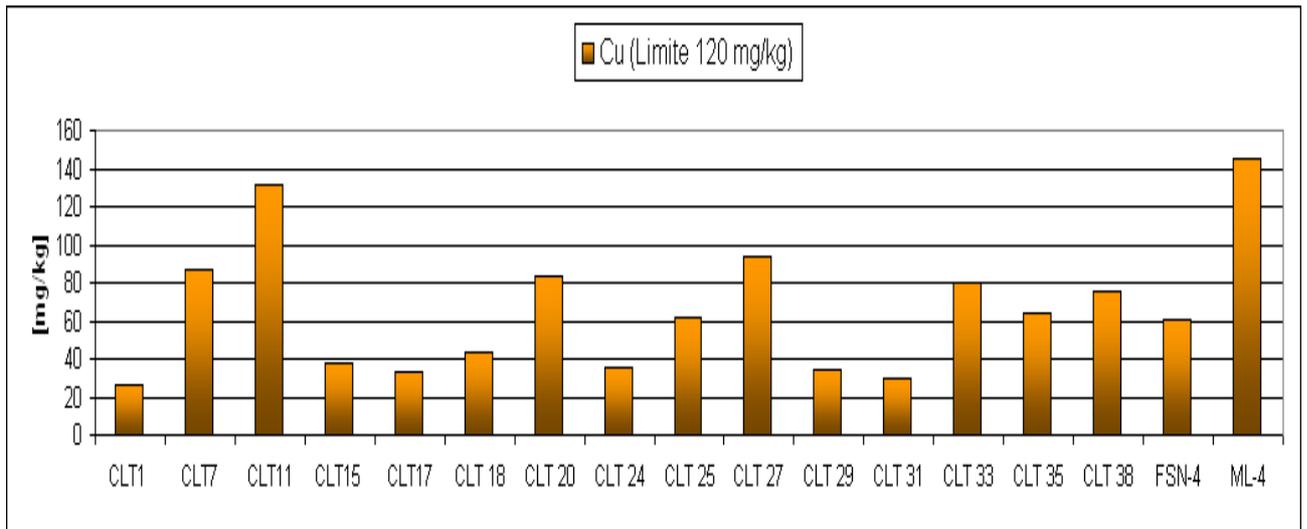
Le carote sono state suddivise in segmenti di 20 cm l'uno in modo da poter confrontare la composizione chimica del livello superficiale, quello biologicamente più attivo su cui sono stati effettuati tutti i test biologici, con quella degli strati più profondi.

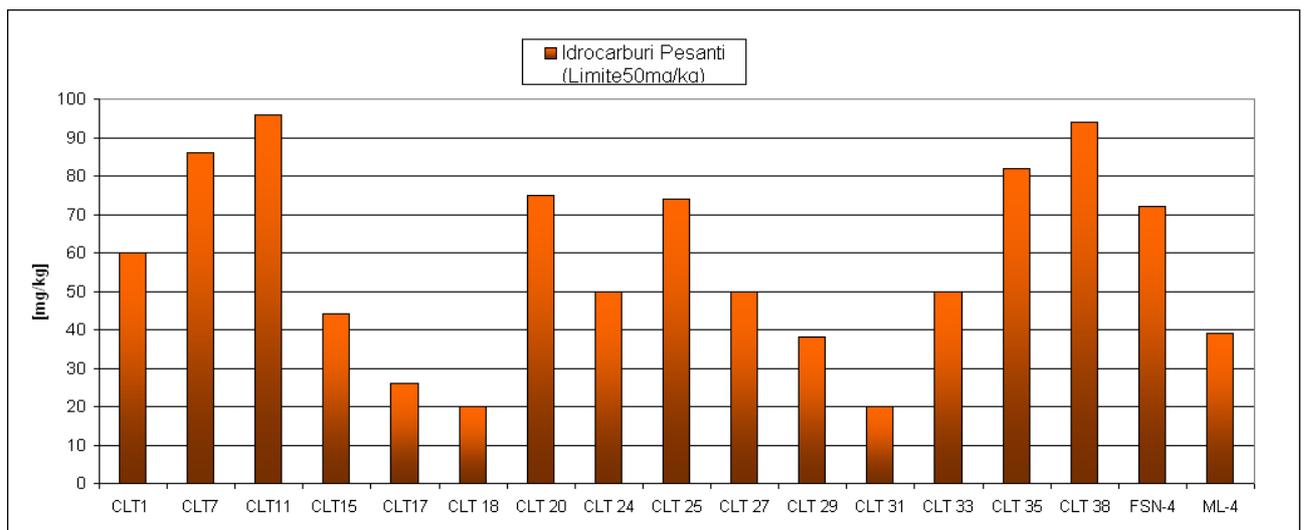
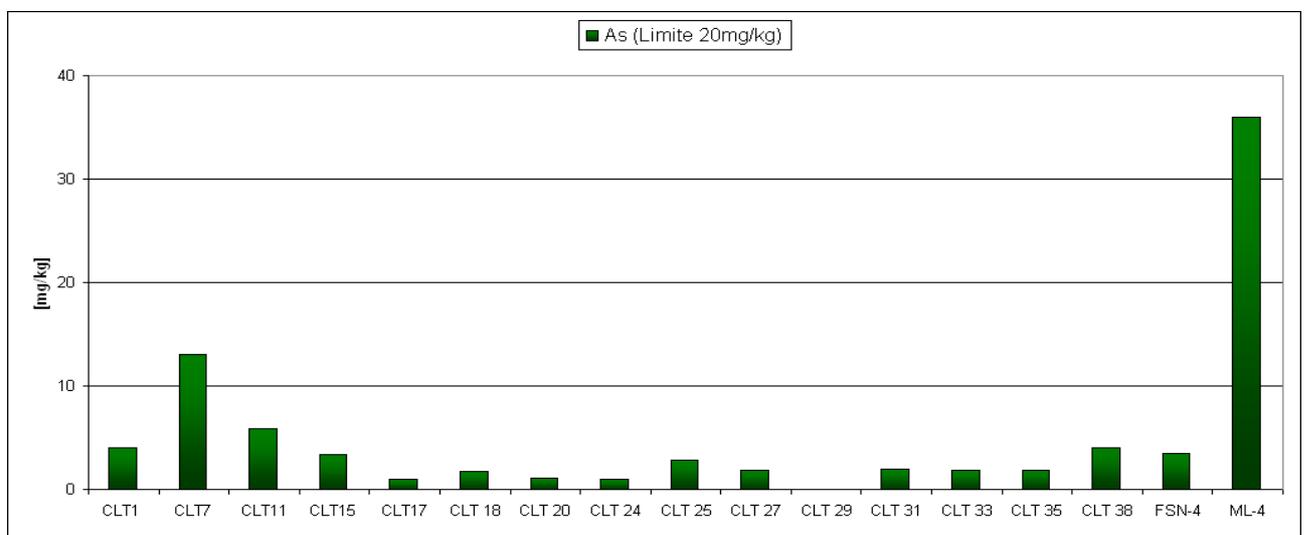
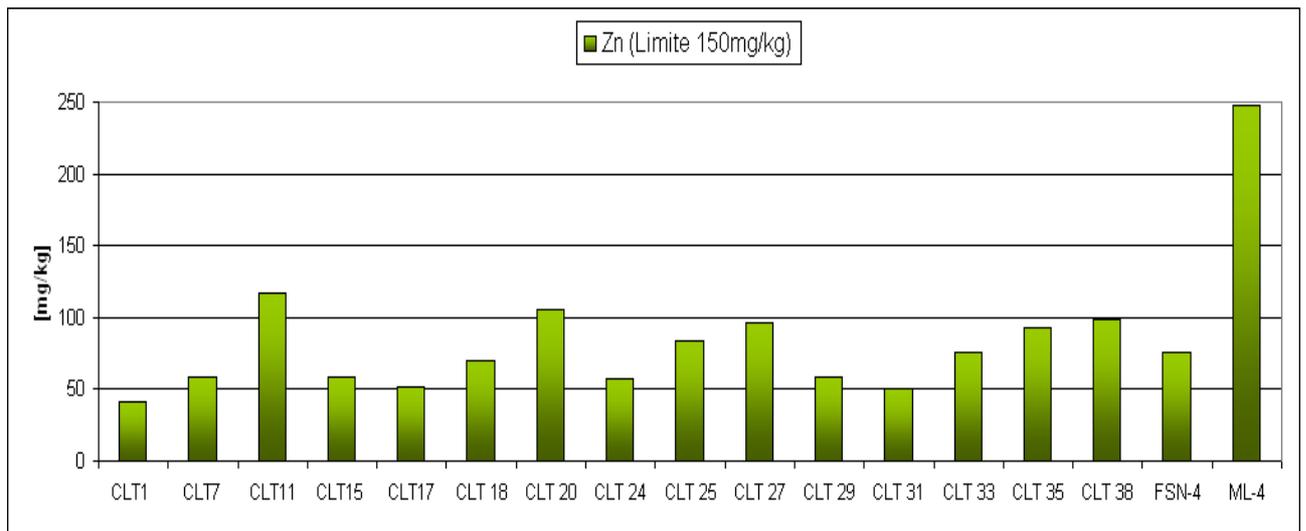
Le sezioni verticali sono state preparate in campo e conservate in recipienti di materiale inerte a 4°C. Le analisi di laboratorio sono state eseguite dal Laboratorio Provinciale di Perugia.

2.1.3.2 Caratterizzazione chimica

Di seguito riportiamo i dati relativi alla composizione chimica della porzione superficiale dei sedimenti. I limiti di concentrazione indicati in fig. 2.1.3.2.1 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.







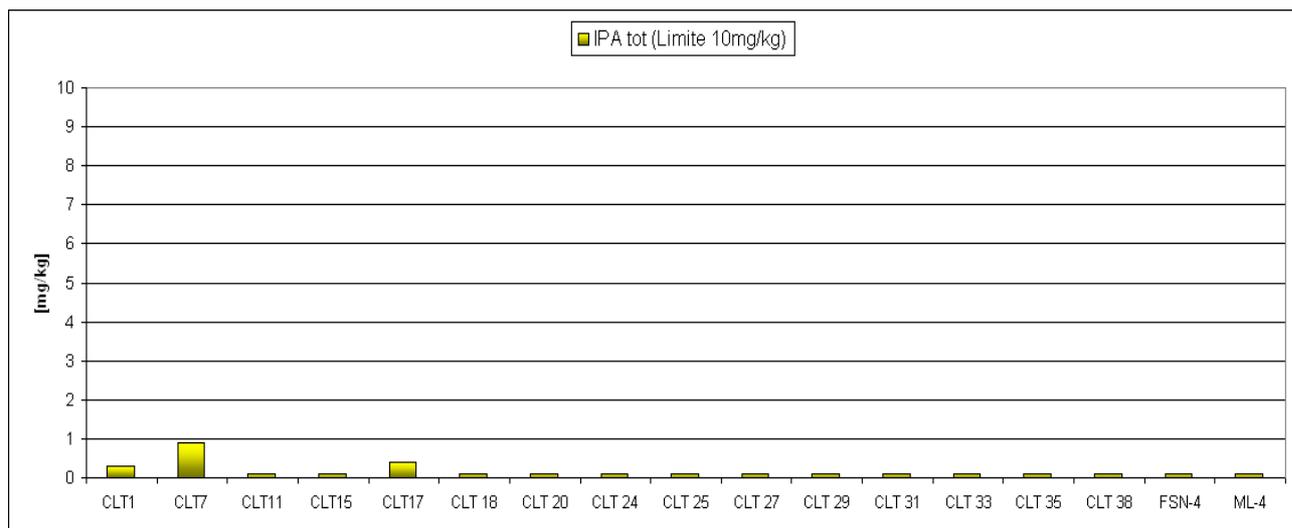


Fig. 2.1.3.2.1 – Concentrazioni di metalli, Idrocarburi pesanti ed IPA riscontrate nella porzione superficiale dei sedimenti.

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 ($C > 12$), abbiamo una percentuale di campioni del 50% circa che supera i 50 mg/kg, distribuiti in tutto il corso d'acqua. La metodica di analisi adottata esclude l'origine vegetale di tali composti, che sono pertanto riconducibili ad attività antropiche.

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 essendo 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

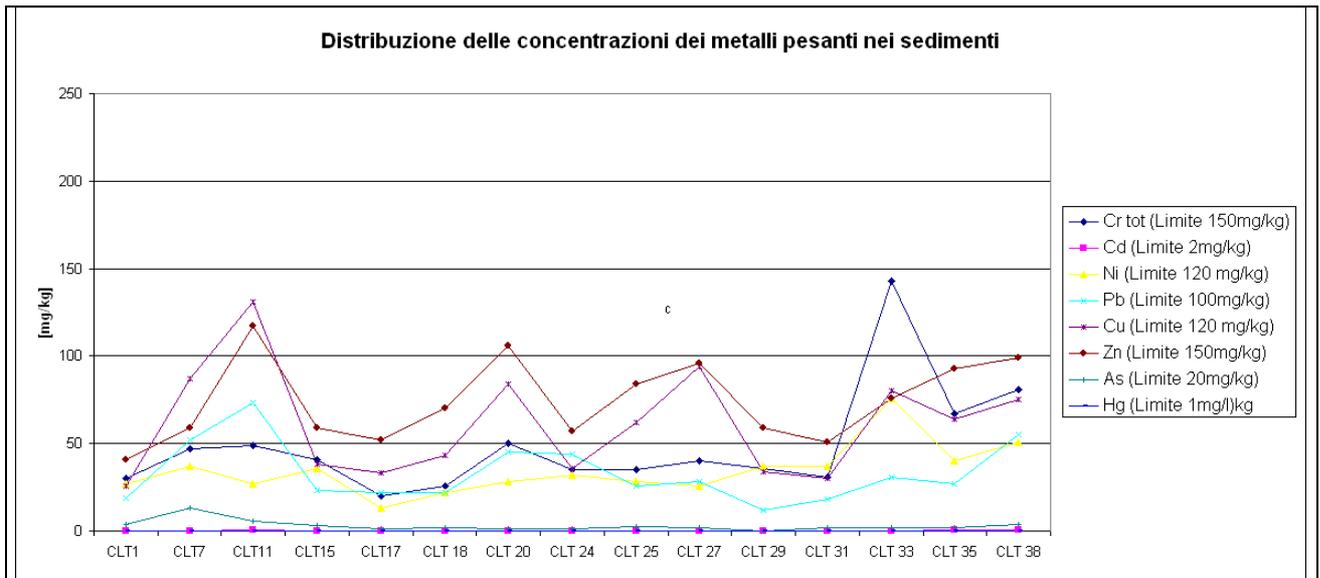


Fig. 2.1.3.2.2 - Distribuzione delle specie di metalli pesanti nei sedimenti

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.

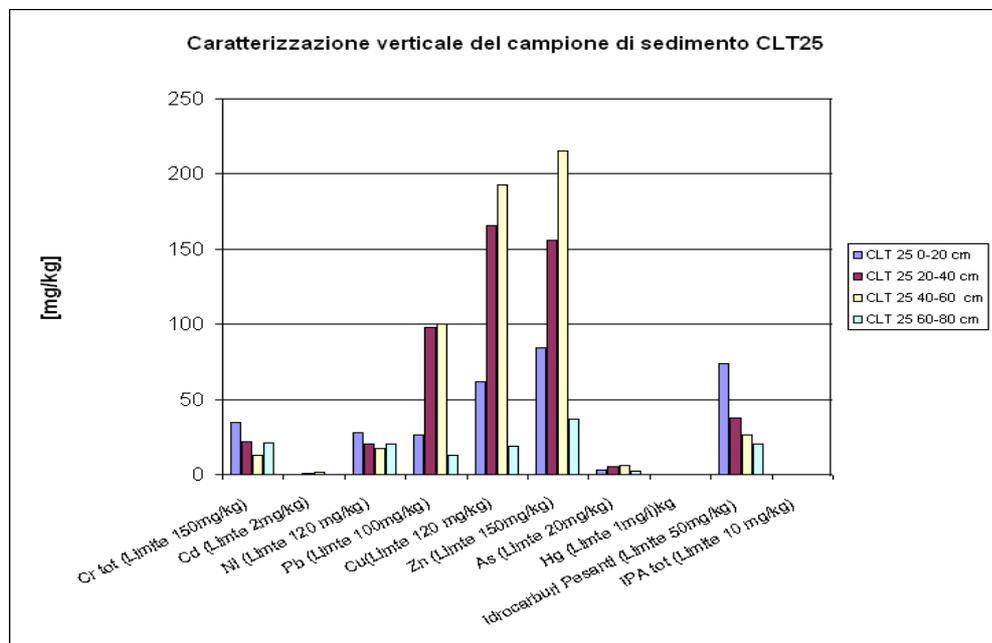


Fig. 2.1.3.2.5 - Nel campione prelevato a Casco dell'acqua si notano concentrazioni maggiori di zinco e rame nelle porzioni centrali di sedimento. E' da notare che per gli altri elementi la porzione superficiale resta comunque la più rappresentativa.

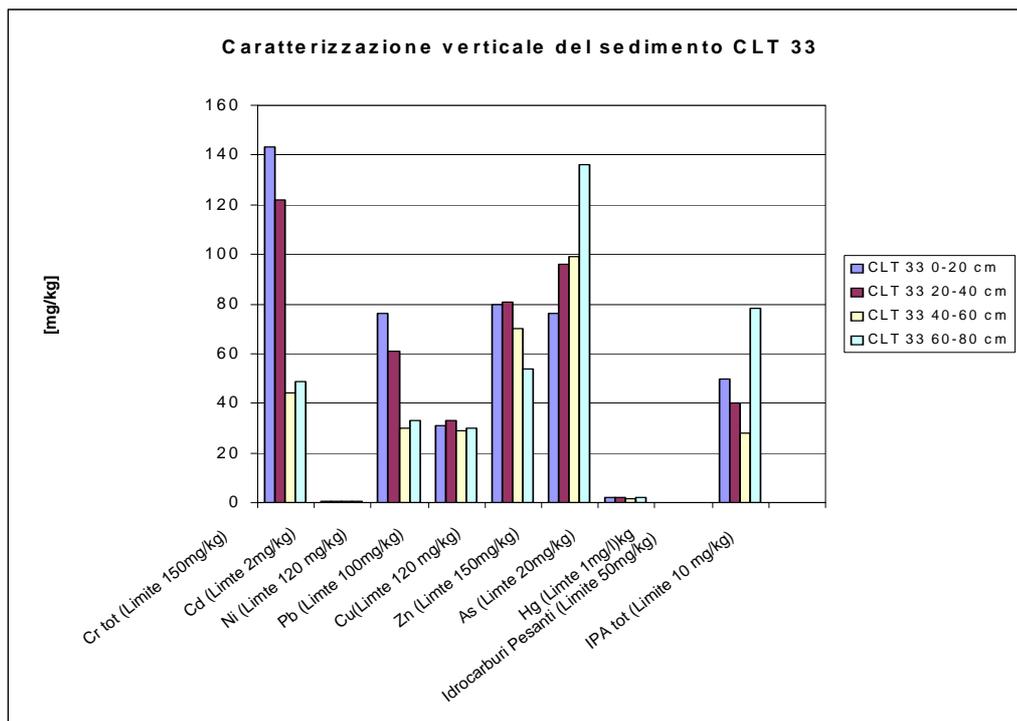


Fig. 2.1.3.2.6 - Il campione di sedimenti prelevato presso località Sportone di Maderno-Bevagna presenta la distribuzione di metalli pesanti concentrata nella porzione superficiale. Eccezione, insieme agli idrocarburi pesanti, è rappresentata dallo zinco.

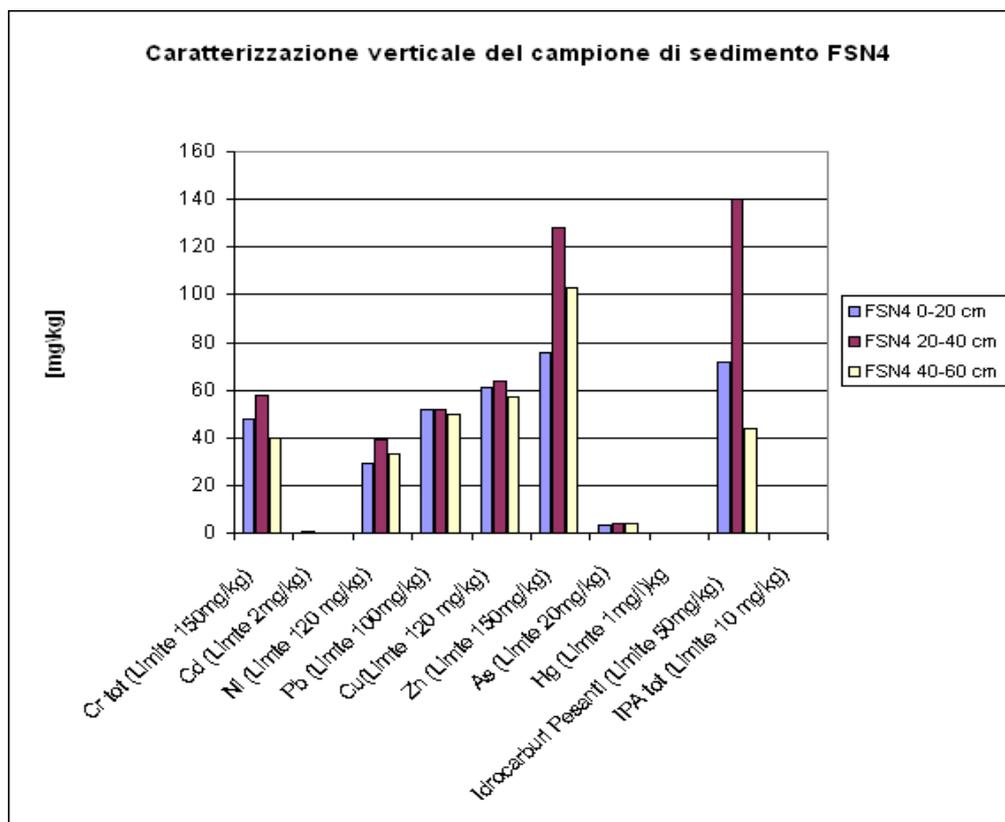


Fig. 2.1.3.2.7 - Composizione chimica del campione di sedimenti prelevato nel fosso della Fiumicella. Le sostanze presenti sono concentrate nella porzione compresa tra 20 e 40 cm.

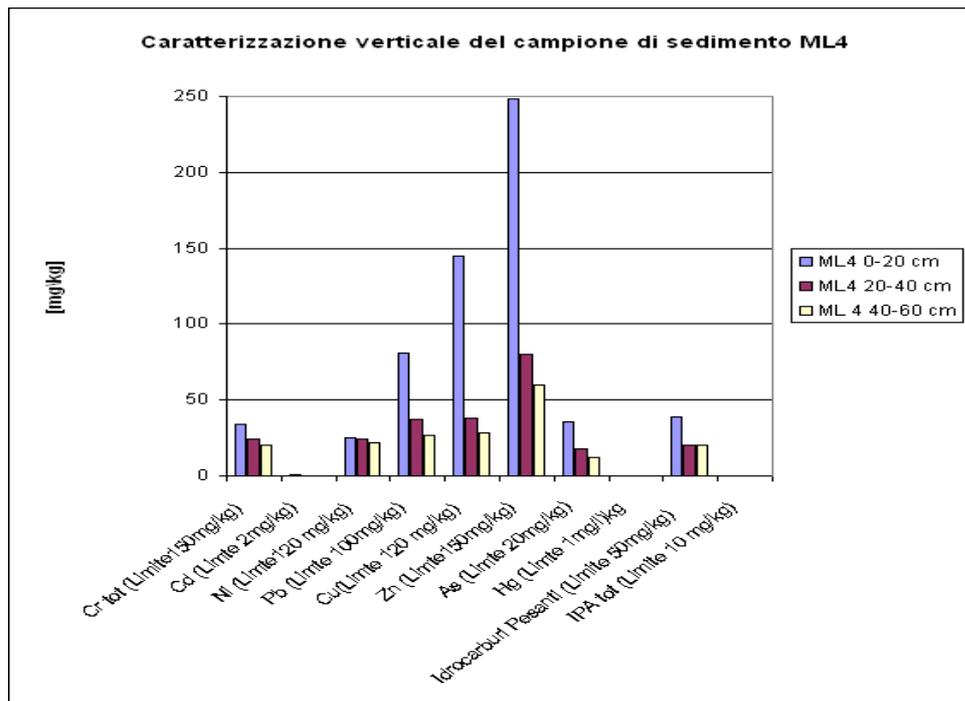


Fig. 2.1.3.2.8 - Nel sedimento del Marroggiola i metalli pesanti e gli idrocarburi presenti sono concentrati nella porzione superficiale.

2.1.3.2.1 Area sperimentale per l'intervento di rimozione dei sedimenti fini

Il Clitunno è caratterizzato dalla presenza massiccia di sedimenti fini distribuiti in modo disomogeneo lungo tutto l'alveo. Per le sue caratteristiche idrauliche, il fiume non è in grado di rimuoverli in modo naturale. Tra le azioni proposte per il miglioramento della qualità ambientale del fiume, si riconosce la necessità di intervenire nei punti critici, asportando i depositi di sedimenti fini dal letto fluviale, mediante opportune tecniche ingegneristiche (cfr. 5.1.1). Tale necessità nasce dal fatto che i depositi sono caratterizzati da un'ecotossicità diffusa delle acque interstiziali (oltre il 60% dei campioni esaminati) e da un impatto visivo/olfattivo decisamente sgradevole.

Il tratto fluviale con le maggiori criticità è stato localizzato in prossimità di Casco dell'Acqua; tale zona può essere identificata come "area sperimentale di intervento" (vedere fig. 2.1.3.2.1.1), ove eventualmente effettuare le prime operazioni di rimozione. A tale scopo, sono stati prelevati campioni della porzione superficiale di sedimento in tre punti distinti: Casa del Suffragio (CLTS3) e a monte/ valle dell'abitato di Casco dell'Acqua (CLTS4 e CLTS5) (fig. 2.1.3.2.1.1).



Fig. 2.1.3.2.1.1 – Localizzazione dell’area sperimentale di intervento ove effettuare eventuali azioni di rimozione del sedimento fine. I cerchi rossi indicano i punti di prelievo dei campioni di sedimento utilizzati per verificare la possibilità di riutilizzo del materiale.

La rimozione dei sedimenti fini deve essere necessariamente abbinata ad un piano di riutilizzo o smaltimento del materiale estratto dall’alveo. La possibilità di riutilizzare il materiale in seno al corpo idrico (rafforzamento degli argini, ecc.) rappresenta sicuramente, dal punto di vista economico, la soluzione più vantaggiosa al problema. Tuttavia, la destinazione del materiale rimosso dall’alveo, se spostato all’interno delle acque superficiali, è subordinata a quanto espressamente indicato nella Direttiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo del 19.11.08, Art. 2, comma 3. A tale scopo, sono state effettuate alcune analisi di tipo chimico e biologico, che consentono di stabilire con maggior dettaglio le caratteristiche dei sedimenti. I risultati delle analisi sono sintetizzati in tabella 2.1.3.2.1.1.

Codice punto	Idrocarburi totali	PCB totali	IPA totali	Pesticidi organoclorurati	Escherichia coli	Salmonella
CLT S3	< 20	< 0.01	0.2	< 0.01	1300	assente
CLT S4	50	< 0.01	<0.01	< 0.01	3480	assente
CLT S5	40	< 0.01	<0.01	< 0.01	2100	assente

Tab. 2.1.3.2.1.1 – Risultati delle analisi effettuate sui campioni di sedimento prelevati nell’area sperimentale di intervento.

Sarà necessario valutare, attraverso un’analisi del rischio, il livello di pericolosità del materiale, al fine di stabilirne la destinazione e le corrette procedure di estrazione. Si rimanda tale compito ad un tavolo tecnico al quale, oltre ad ARPA Umbria, partecipino gli altri soggetti pubblici coinvolti nelle azioni di risanamento del fiume Clitunno.

2.1.4 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 è caratterizzato da 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 “sogettività” propria di questo genere di studi a carattere interpretativo.

2.1.4.1. Distribuzione dei singoli elementi

I parametri analizzati sono stati messi in relazione 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 2.1.4.1.1 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.

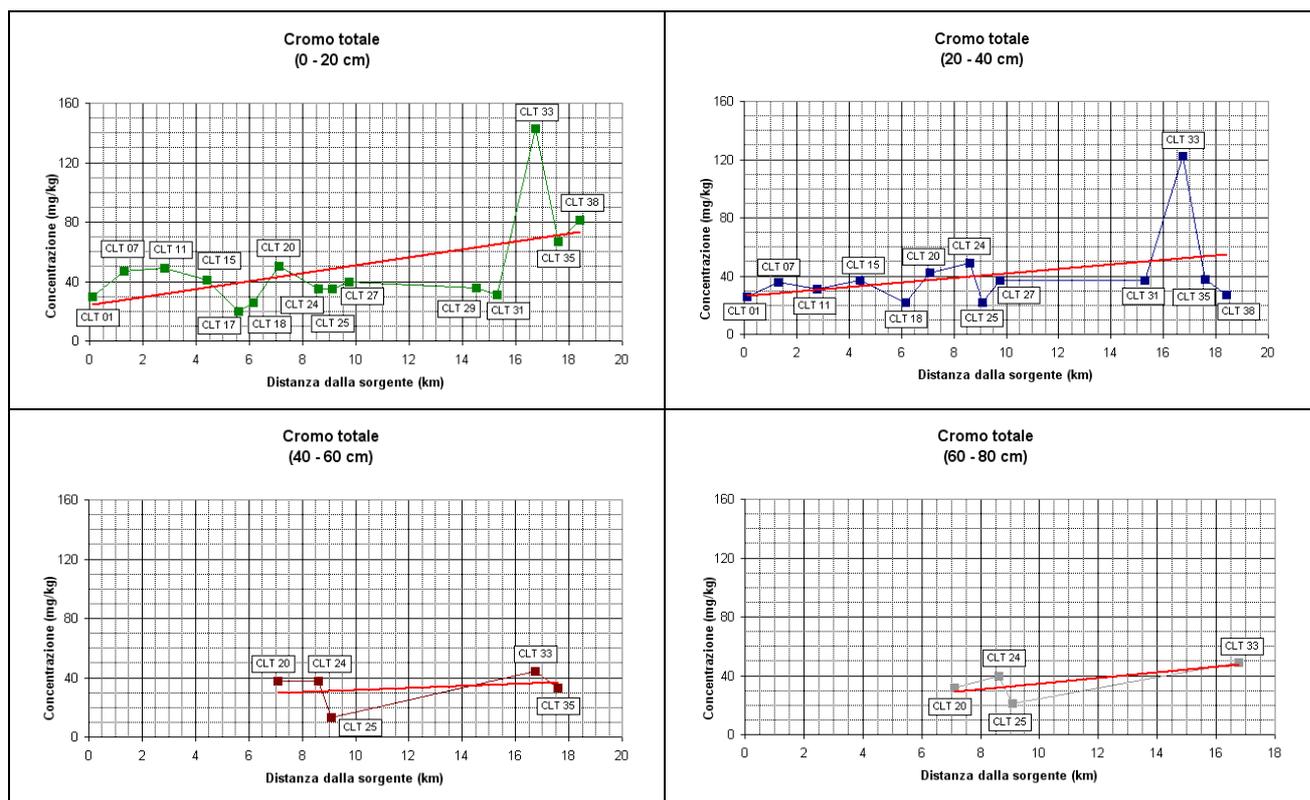


Fig. 2.1.4.1.1 – Distribuzione del cromo totale riferita alle varie profondità. Si nota una tendenza all'aumento delle concentrazioni procedendo dalle Fonti del Clitunno a Bevagna, a tutte le profondità considerate.

Vi è anche un elemento, l'arsenico, la cui linea di tendenza presenta un andamento opposto (Fig. 2.1.4.1.2) sia nella porzione superficiale che in quelle più profonde di sedimento, con maggiori

concentrazioni nel primo tratto fluviale. In particolare, nei primi 20 cm di sedimento, le concentrazioni più elevate di arsenico sono state riscontrate in prossimità del campione CLT7, prelevato a monte della confluenza con il Marroggiola. Considerando che il campione ML4 relativo al Marroggiola (vedere figura 2.1.3.2.1) 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 Marroggiola, 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.

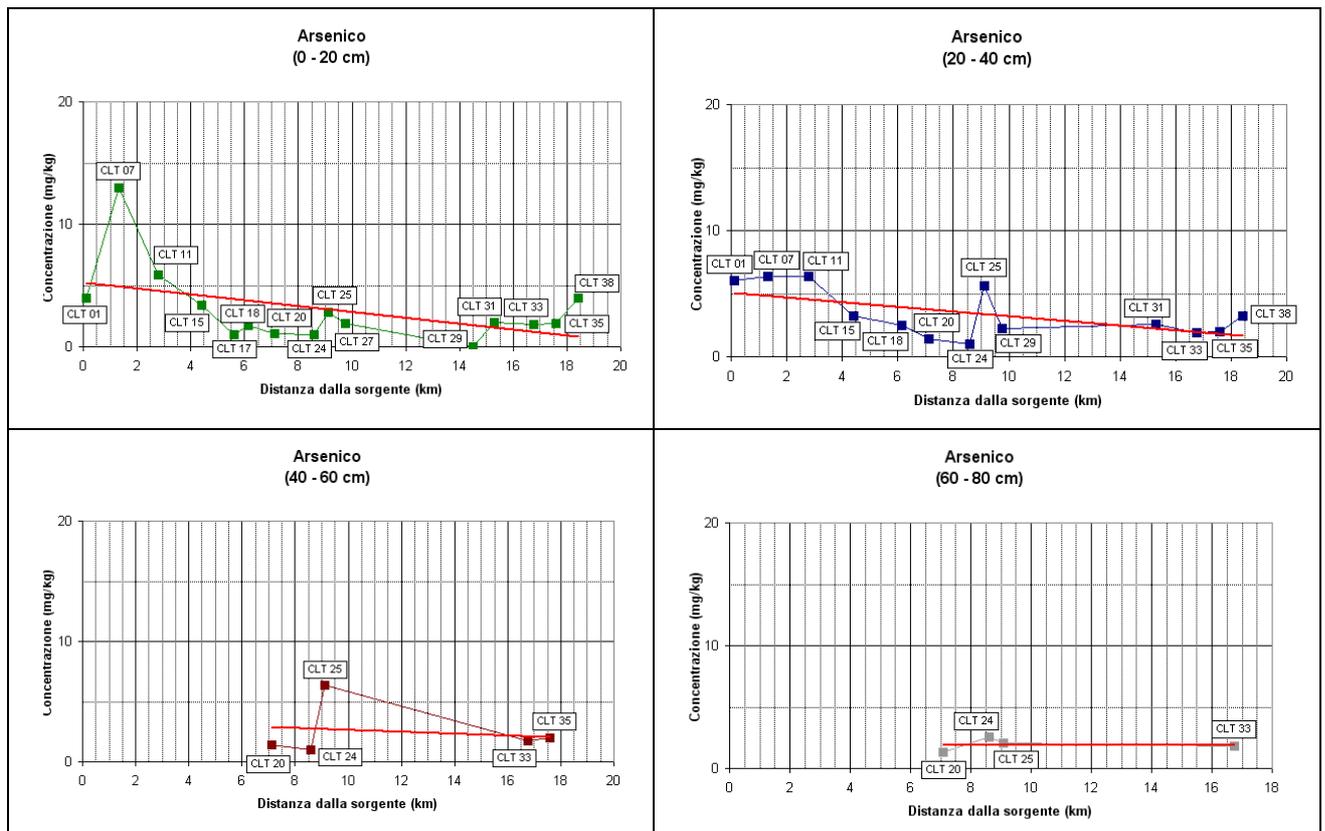


Fig. 2.1.4.1.2 – Distribuzione dell'arsenico riferita alle varie profondità. Si nota una tendenza alla diminuzione delle concentrazioni procedendo dalle Fonti del Clitunno a Bevagna, nei primi 40 cm di sedimento.

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.

2.1.4.2 Analisi delle componenti principali

I dati sono stati elaborati utilizzando applicativi dedicati all'analisi statistica multivariata, al fine di 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 2.1.4, 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. 2.1.4.2.1 – 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 *Vibrio fischeri* con acqua interstiziale, Tox B = Tossicità acuta *Vibrio 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. 2.1.4.2.2 – Estrazione delle componenti principali. Sono evidenziati in rosso i pesi >0.7. Var.sp.: Varianza spiegata; Prp. tot.: Proporzione totale.

In tabella 2.1.4.2.2 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.

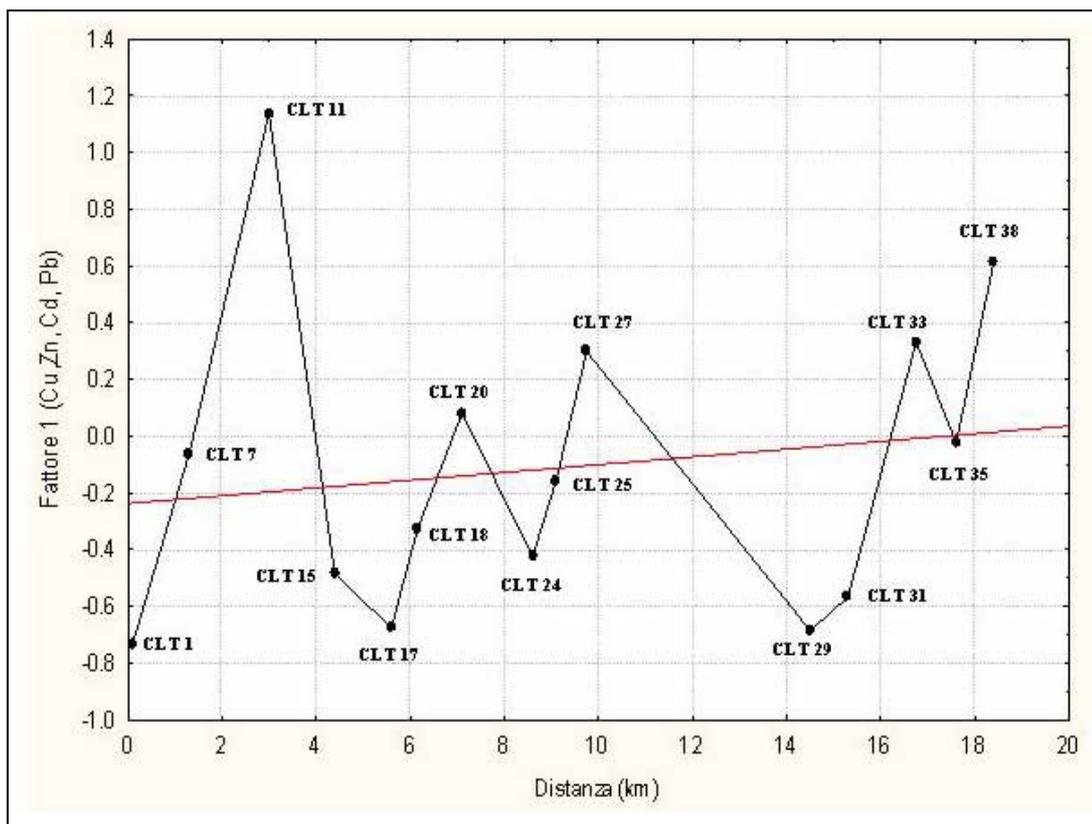


Figura 2.1.4.2.1 – Andamento del Fattore 1 in funzione della distanza dalle Fonti del Clitunno.

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

1. La fig. 2.1.4.2.1 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 loc. 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 Marrogiola, ove si sono riscontrati valori di arsenico, 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, compreso 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, compreso 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, concentrati in particolare a Torre di Montefalco.

Dall'analisi dei dati, sintetizzata in fig. 2.1.4.2.2, 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.

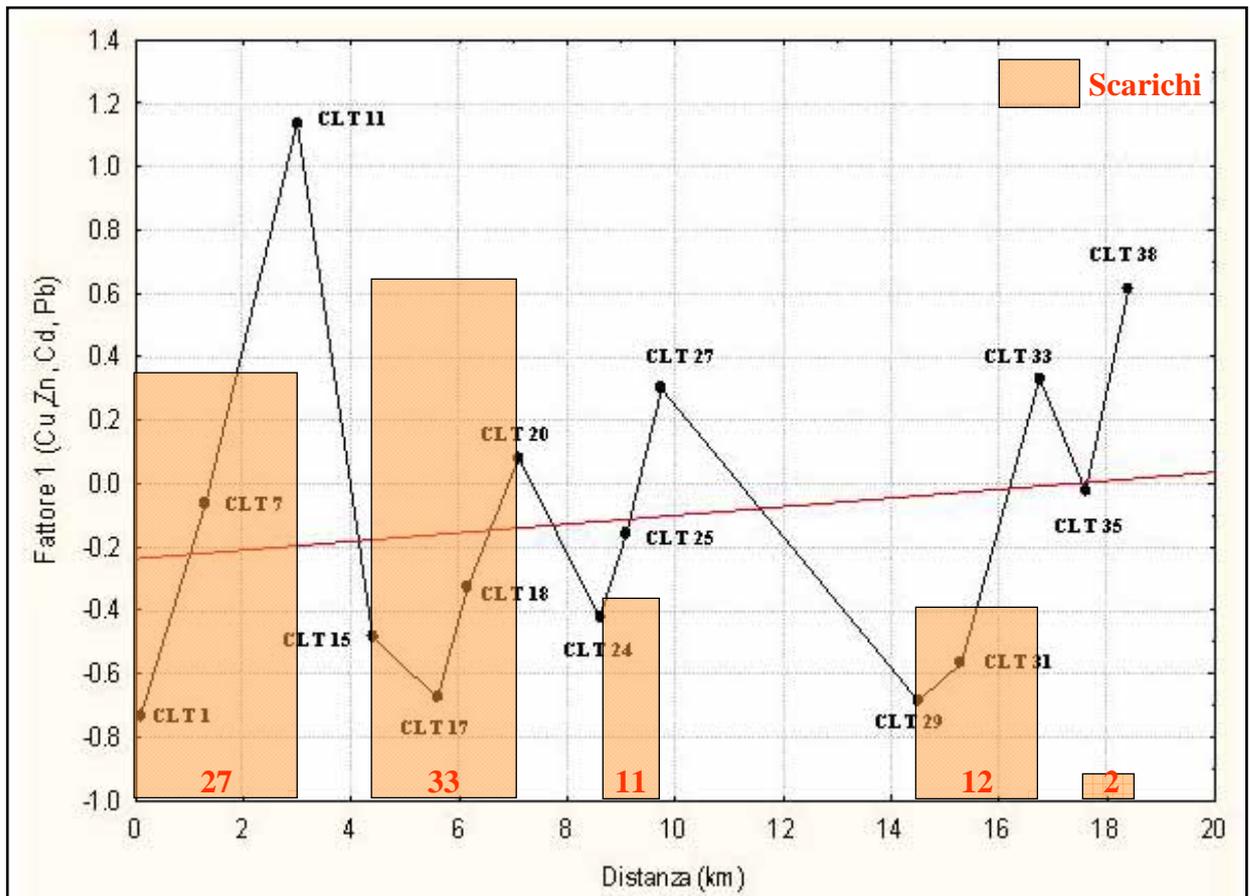


Figura 2.1.4.2.2 – Andamento del Fattore 1 in funzione della distanza dalle Fonti del Clitunno, cui è stato sovrapposto il numero di scarichi presenti nelle vare zone. L'altezza dei rettangoli è proporzionale al numero di scarichi rilevati.

Il fattore 2 è dato dall'associazione di cromo e nichel. Osservando la figura 2.1.4.2.3, 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.

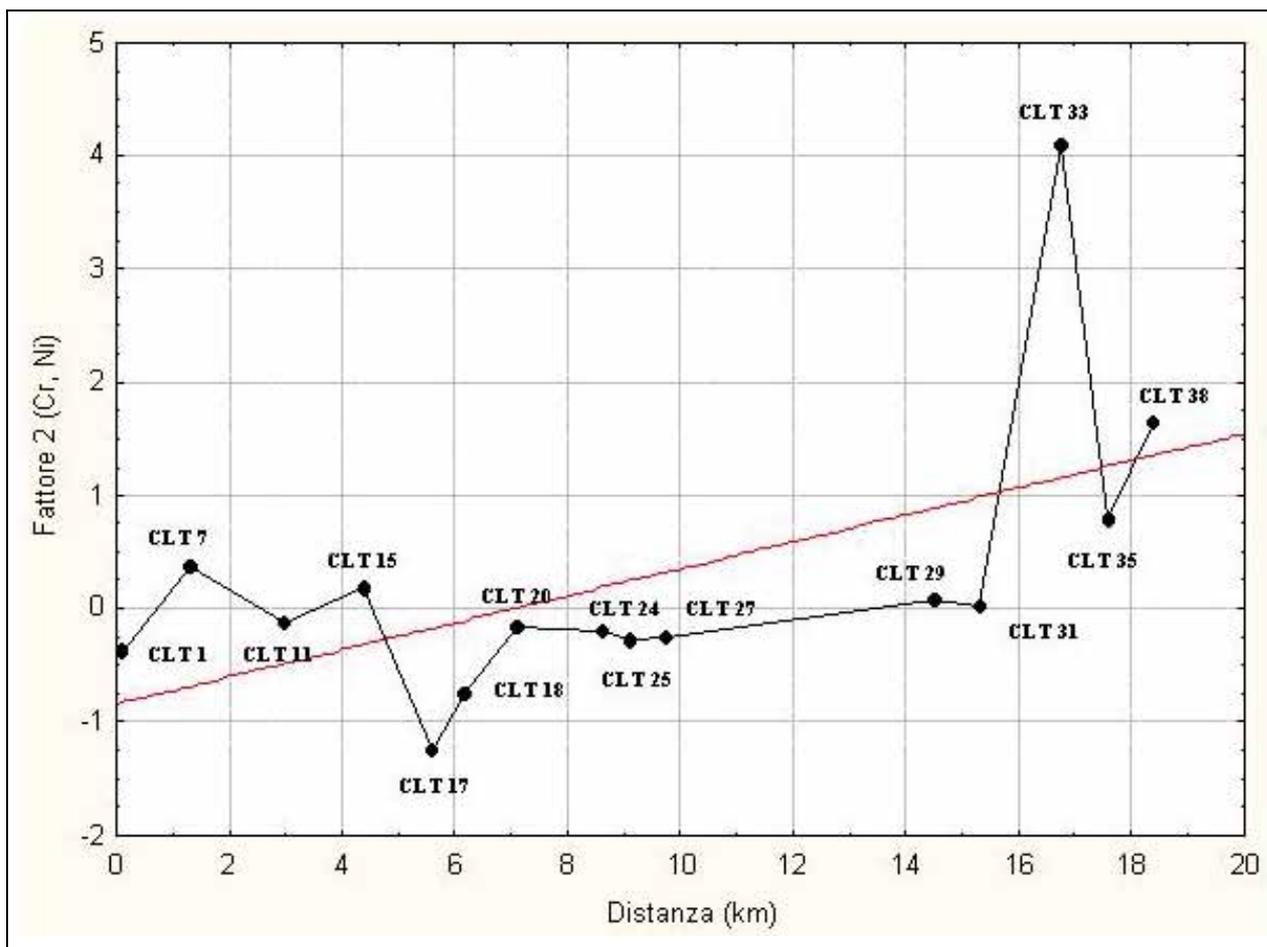


Figura 2.1.4.2.3 – Andamento del Fattore 2 in funzione della distanza dalle Fonti del Clitunno.

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

2.2 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 stati riportati tutti gli scarichi censiti e quelli sui quali sono state effettuate le analisi chimiche.

2.2.1. 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.

2.2.2. 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'interno 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. 2.2.2.1 – 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 lungo gli argini.

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.

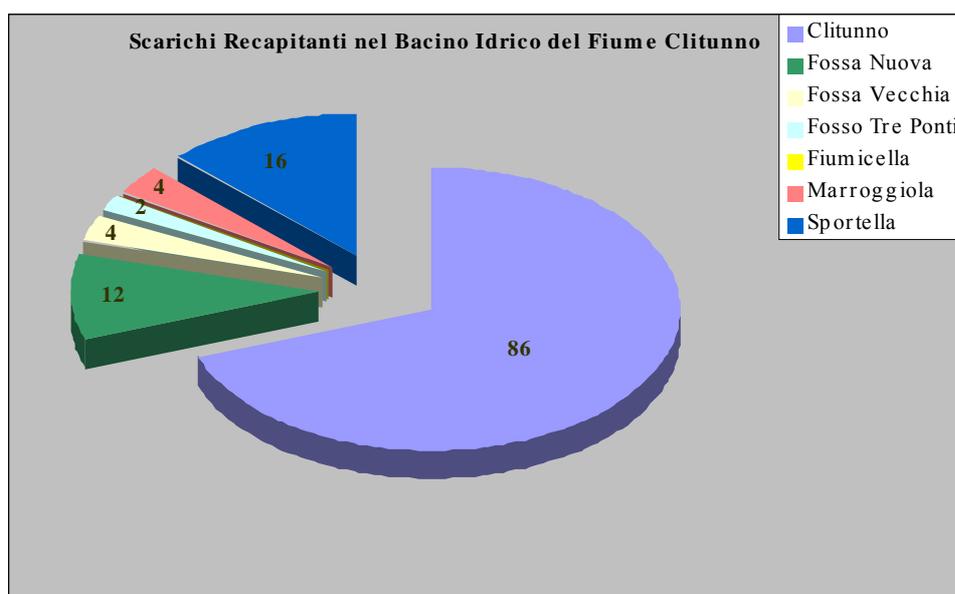


Fig. 2.2.2.2 - Quadro riassuntivo degli scarichi rilevati nel bacino idrico del fiume Clitunno.

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 2.2.2.1, 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 Marrogiola	1.0	4	4	-
F.sso della Sportella	5.0	16	3.2	-
Totale	29.3	124	4,2	12

Tab. 2.2.2.1 - 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.

2.2.3 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.

2.2.3.1 Test tossicologici

I test di tossicità acuta sono stati effettuati in campo con batteri bioluminescenti (*Vibrio fischeri*); per approfondimenti in merito ai test effettuati si rimanda ai paragrafi 2.1.2.2 e 2.1.2.3.

In tabella 2.2.3.1.1 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 2.2.3.1.1 - 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 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 allarmante vista l'incidenza negativa delle sostanze rilasciate sull'ecosistema fluviale.

2.2.3.2 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 2.2.3.2.1 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 2.2.3.2.1 – 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". Si ritiene che i limiti indicati nel DLgs. 152/06 rappresentino un riferimento più appropriato dei valori limite di emissione indicati nel D.G.R. n° 1171 del 09.07.07 (Direttiva tecnica regionale – Disciplina degli scarichi delle acque reflue) in quanto, in questa fase del

progetto, non è possibile valutare il numero di abitanti equivalenti (AE) riferito alle singole condotte di scarico.

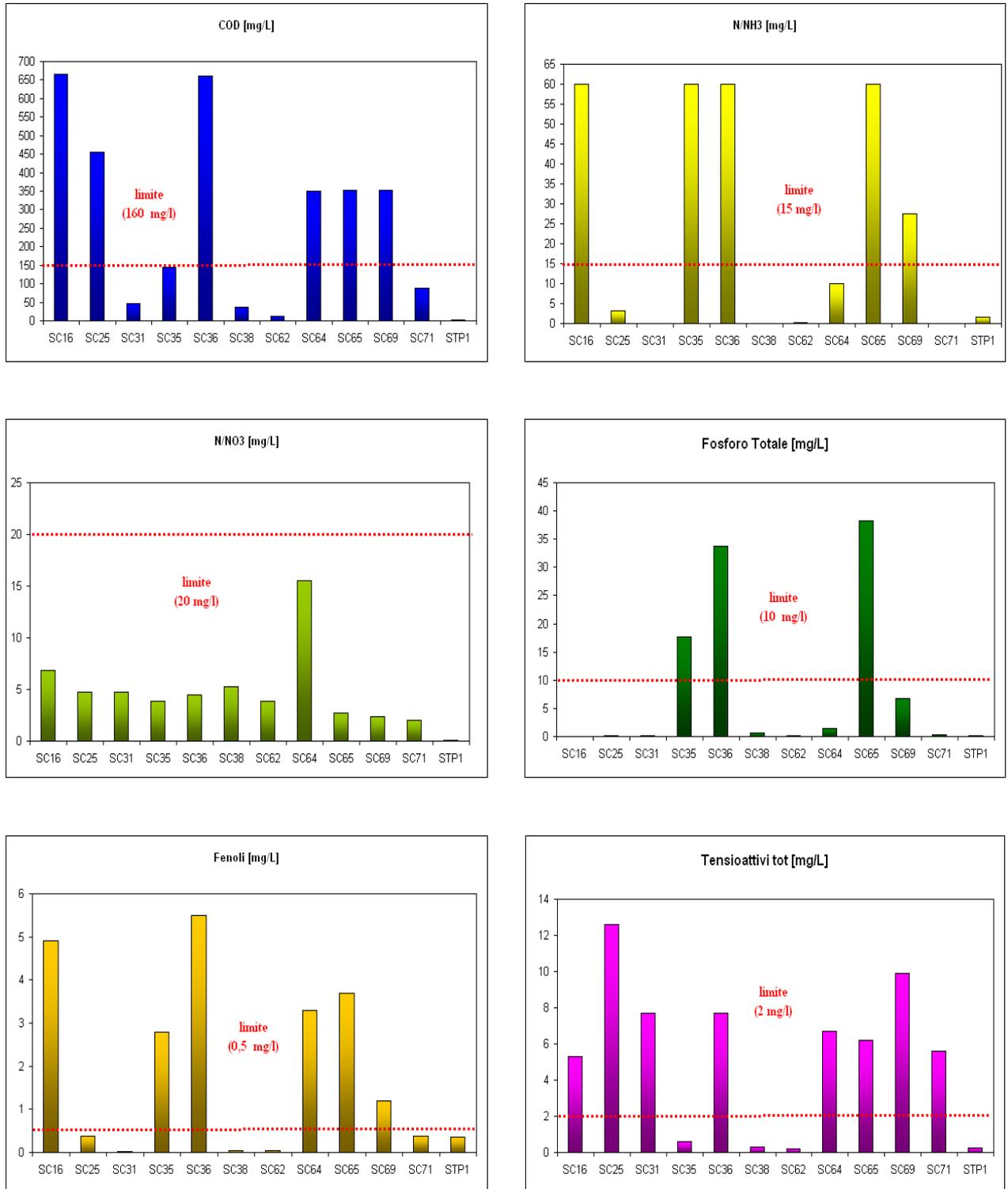


Fig. 2.2.3.2.1 – Analisi chimiche effettuate sui campioni prelevati dagli scarichi attivi al momento del rilevamento.

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.

2.3 Mappatura degli attingimenti

In questo studio è stata rivolta l'attenzione anche agli attingimenti diretti dai corsi d'acqua, in quanto concorrono a determinarne lo stato di qualità ambientale. 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.

Va considerato che il lavoro effettuato costituisce una "fotografia" della situazione esistente al momento del rilievo in campo, condotto nel periodo tardo estivo-autunnale; tale situazione potrebbe essere aggravata da ulteriori 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. 2.3.1 – Tabella riassuntiva degli attingimenti nell'asta principale del fiume Clitunno e nei rami secondari.

La tabella 2.3.1 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.

2.4 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**.

2.4.1 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 2.4.1.1 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 Cartiere 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. 2.4.1.1 - Dislocazione delle stazioni di monitoraggio I.B.E.

2.4.1.1 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 2.4.1.1.1).

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. 2.4.1.1.1 – 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 2.4.1.1.2).

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. 2.4.1.1.2 - 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).

2.4.1.2 Analisi dei dati

In tabella 2.4.1.2.1 e in figura 2.4.1.2.1 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 Cartiere 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
MI1-B	Chiesa Tonda	7	III	ambiente inquinato o comunque alterato

Tab. 2.4.1.2.1 - I.B.E. e classi di qualità relative alle stazioni di monitoraggio.

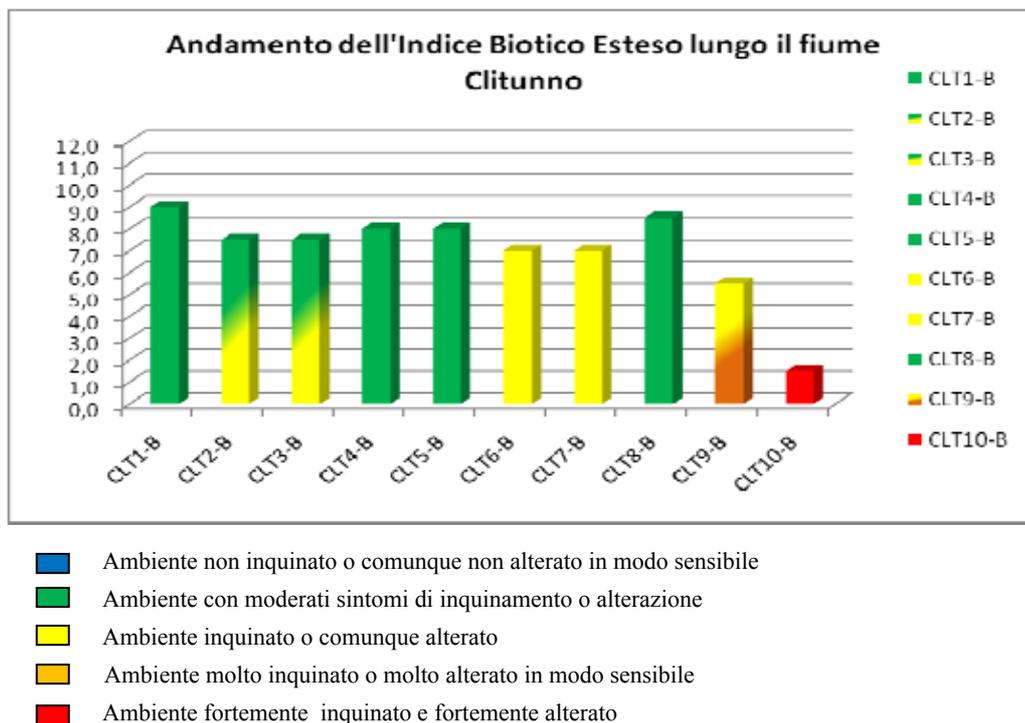


Fig 2.4.1.2.1- Andamento dell'I.B.E. lungo il fiume Clitunno.

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 Cartiere 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. 2.4.1.2.2 - Detrito anaerobico rilevato nell'ultimo tratto fluviale (CLT10).



Fig. 2.4.1.2.3 -Tappeto di alghe filamentose (a valle dell'allevamento ittico).



Fig. 2.4.1.2.4 - Tricottero della famiglia *Goeridae*.



Fig. 2.4.1.2.5 - Tricottero della famiglia *Limnephilidae*.



Fig. 2.4.1.2.6 - Tricottero della famiglia *Hydroptilidae*.



Fig. 2.4.1.2.7 - Tricottero della famiglia *Hydropsychidae*.



Fig. 2.4.1.2.8 - Efemerottero della famiglia *Baetidae*.



Fig. 2.4.1.2.9 - Coleottero della famiglia *Elmidae* (adulto e larva).



Fig. 2.4.1.2.10 - Crostacei *Gammaridae*.



Fig. 2.4.1.2.11 - Gasteropode della famiglia *Physidae*.



Fig. 2.4.1.2.12 - Tricladidi (genere *Dendrocoelum*).



Fig. 2.4.1.2.13 - Irudinei (genere *Dina*).



Fig. 2.4.1.2.14 - Ditteri della famiglia *Chironomidae* (specie *Chironomus thummi plumosus*).



Fig. 2.4.1.2.15 - Ditteri della famiglia *Simuliidae*.

2.4.2 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.*)

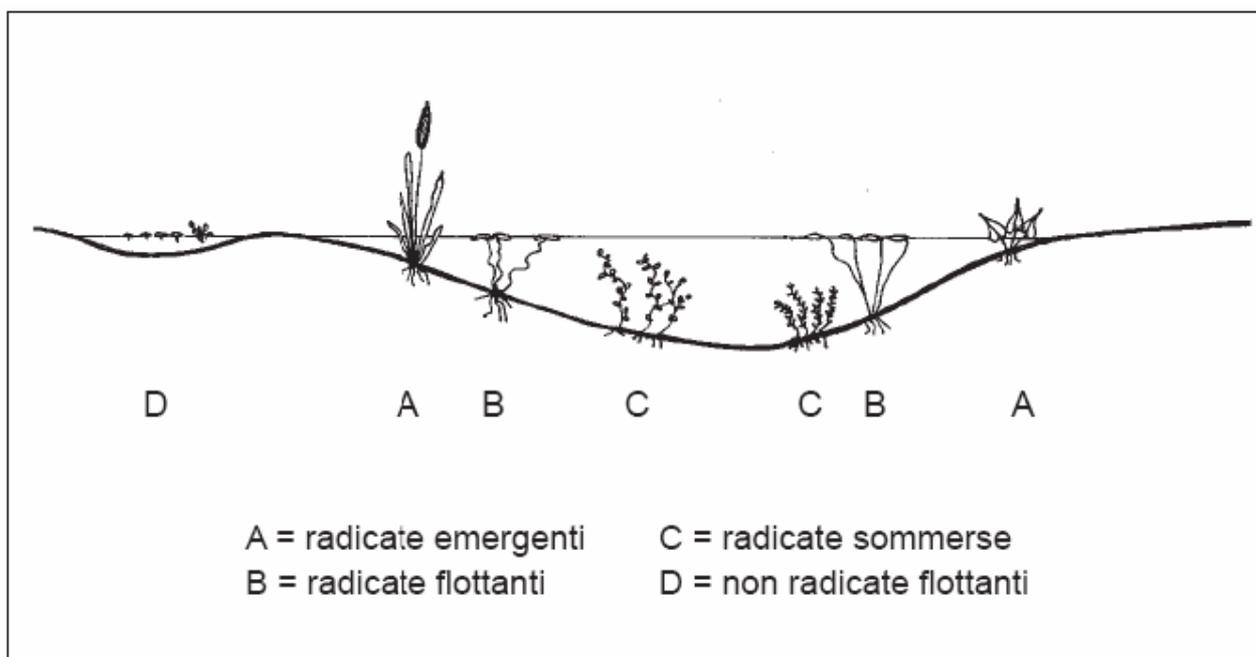


Fig. 2.4.2.1 - Schema semplificato della distribuzione delle macrofite in alveo (da Siligardi et al., 2001).

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).

2.4.2.1 Analisi delle comunità a macrofite

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 macrofite sia la composizione in specie delle comunità.

Per quanto riguarda la **ricchezza floristica** delle comunità macrofite rilevate sul fiume Clitunno e sui suoi tributari, la figura 2.4.2.1 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.

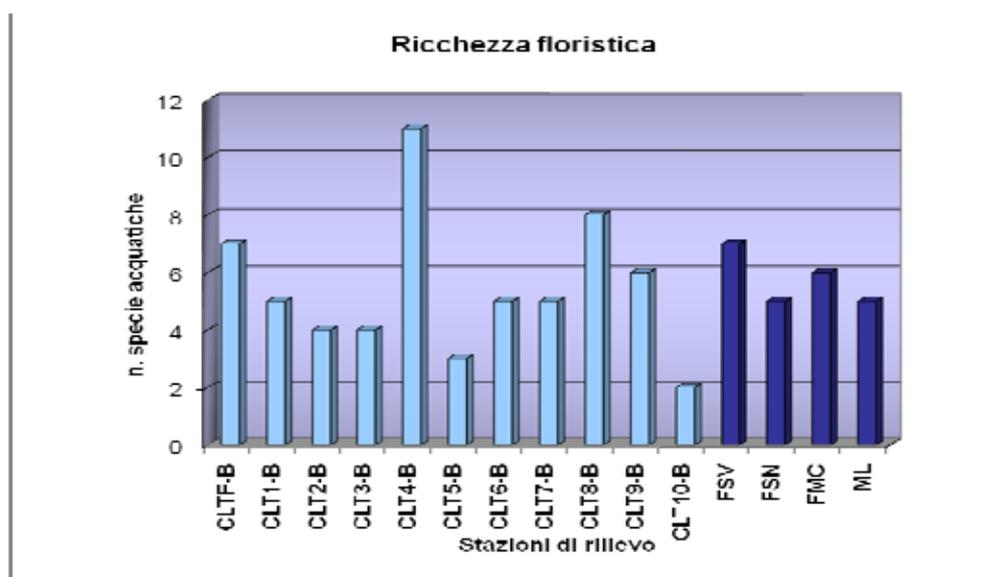


Fig. 2.4.2.1.1 - Ricchezza floristica delle comunità di macrofite rilevate nelle stazioni di monitoraggio sul Clitunno e sui fossi tributari, riferita alle sole specie acquatiche.

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 delle Cartiere di Trevi (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 Marroggiola 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 delle Cartiere di Trevi (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 macrofittica 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.

2.4.3 Applicazione dell'Indice di Funzionalità Fluviale (IFF) 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.

2.4.3.1 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.

2.4.3.2 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 eco-morfologici 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 2.4.3.2.1).

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. 2.4.3.2.1 - 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.

2.4.3.3 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 2.4.4.3.1 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.

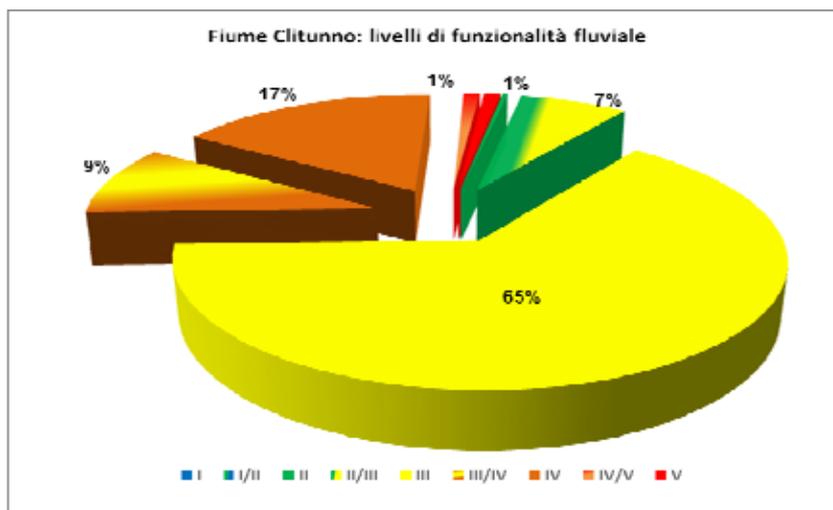


Fig. 2.4.3.3.1- Distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità lungo l'asta principale del fiume Clitunno.

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).

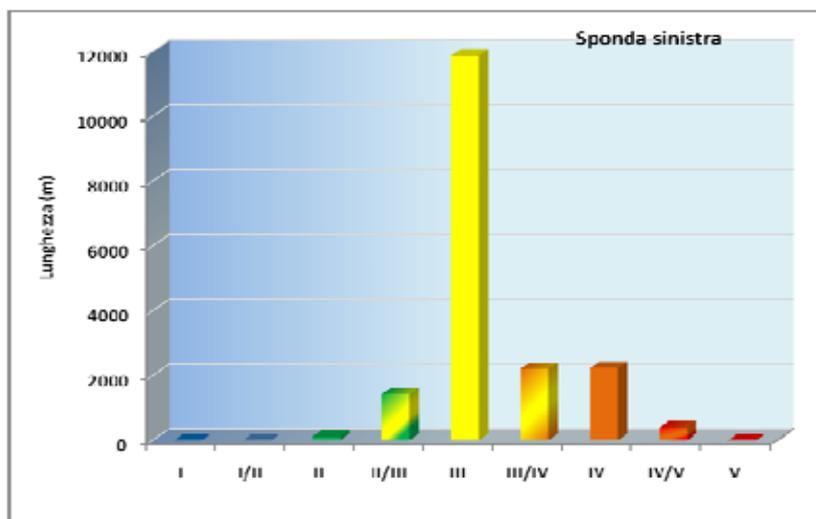


Fig.2.4.3.3.2 - Distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità fluviale per la sponda sinistra.

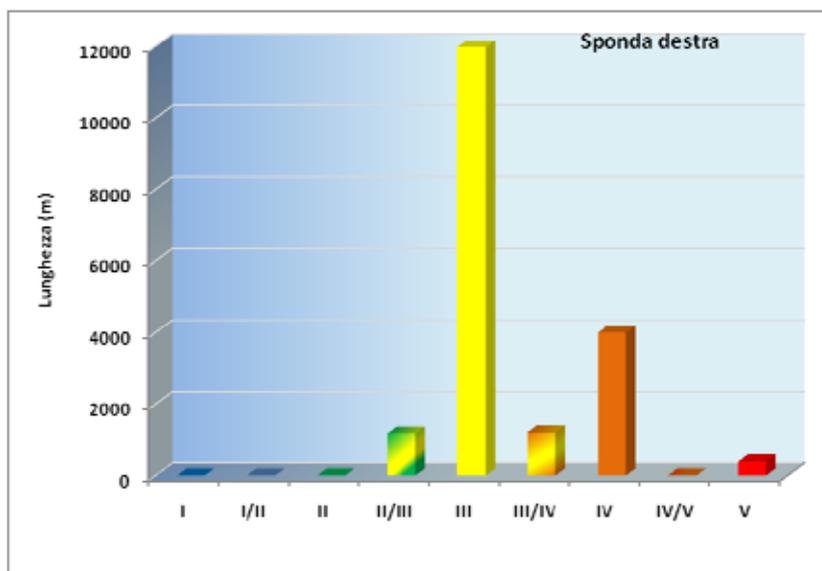


Fig.2.4.3.3.3 - Distribuzione percentuale dei livelli di funzionalità fluviale per la sponda destra.

Le figure 2.4.3.3.2 e 2.4.3.3.3 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 2.4.3.3.4).

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.

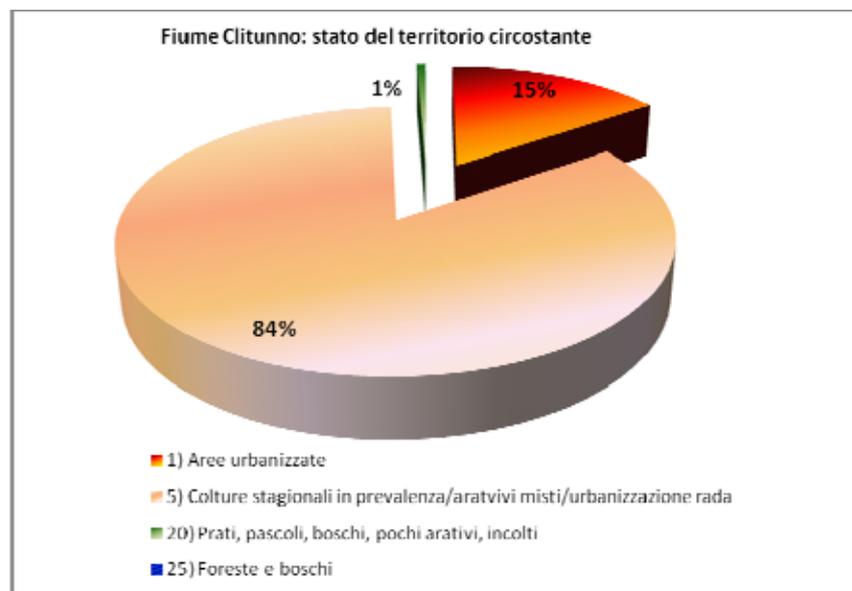


Fig 2.4.3.3.4 - Fiume Clitunno, stato del territorio circostante.



Fig. 2.4.3.3.5 - Coltivazioni intensive in prossimità delle sponde del fiume Clitunno.

Nella figura 2.4.3.3.6 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.

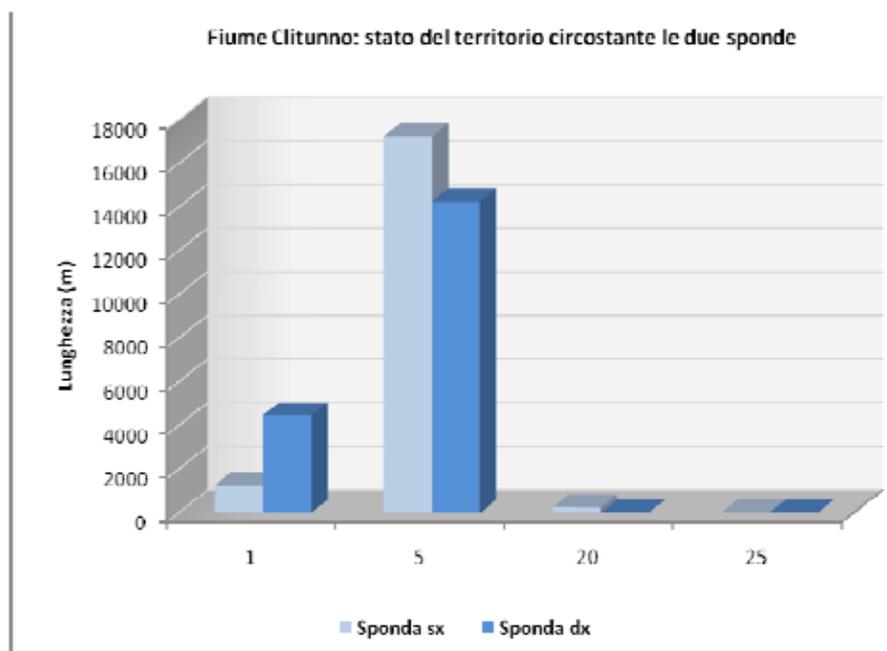


Fig. 2.4.3.3.6 - Fiume Clitunno, stato del territorio circostante le due sponde.

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'interni 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 2.4.3.3.7), 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 2.4.3.3.8, 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.

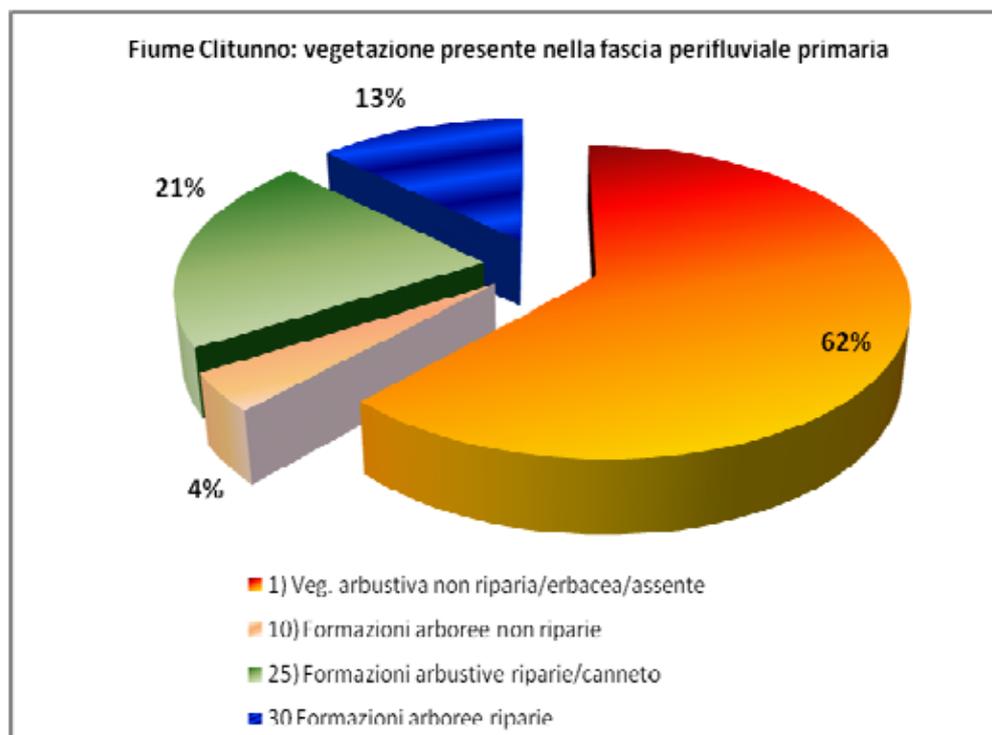


Fig 2.4.3.3.7 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale primaria.

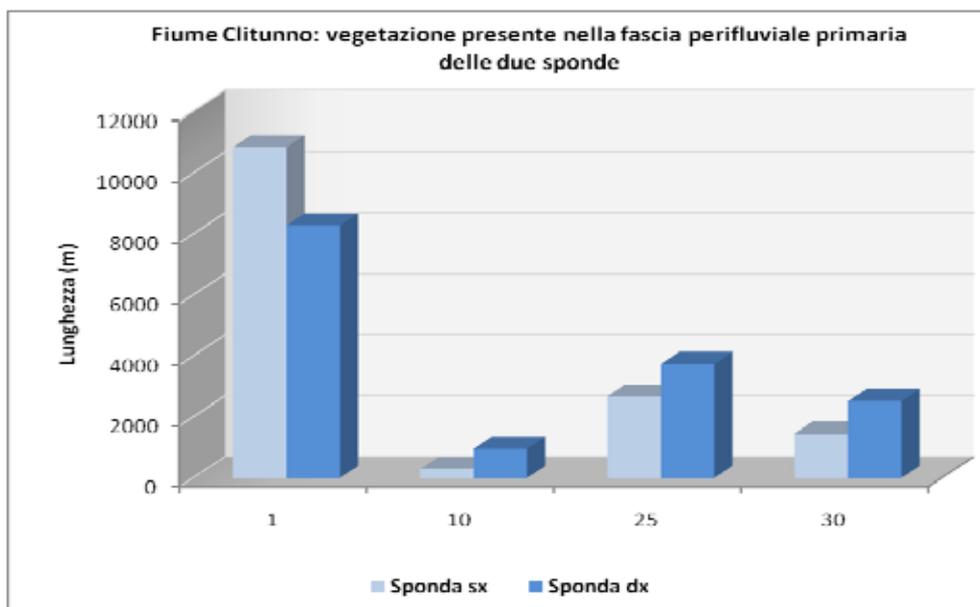


Fig 2.4.3.3.8 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale primaria delle due sponde.

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).

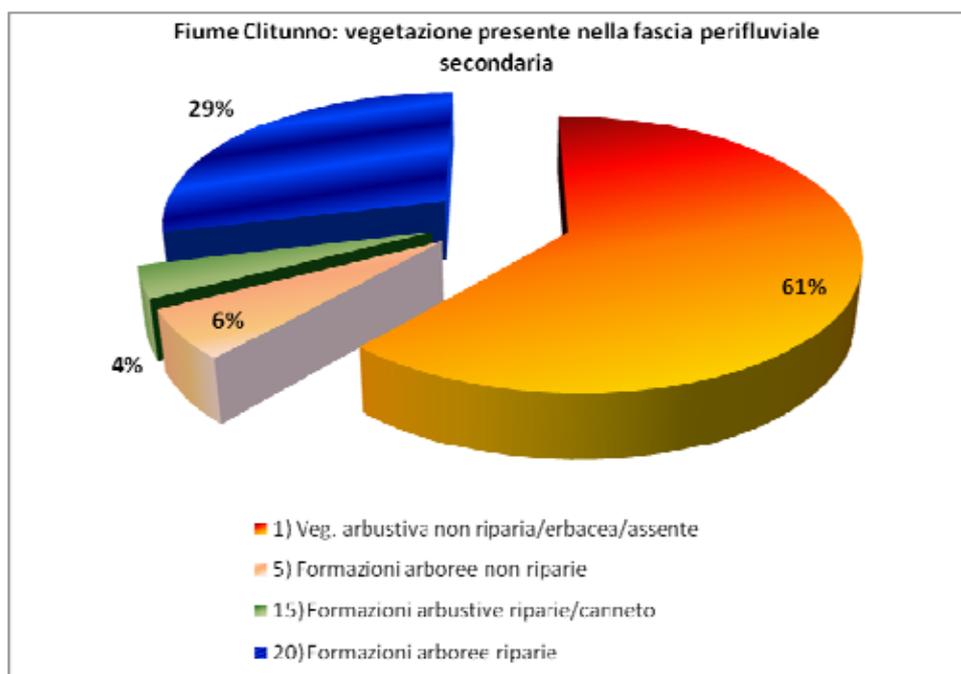


Fig. 2.4.3.3.9 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale secondaria.

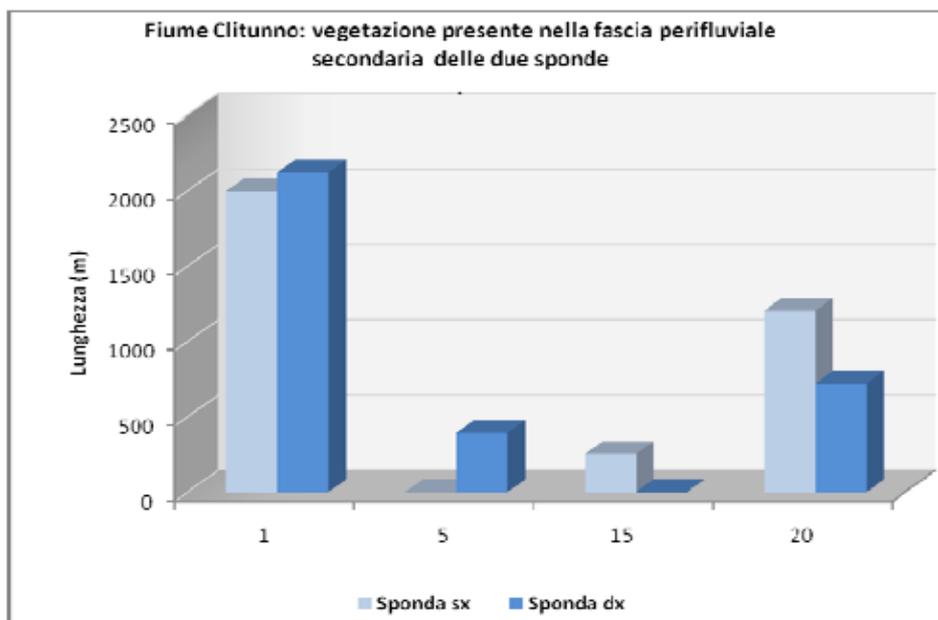


Fig. 2.4.3.3.10 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale secondaria delle due sponde.

In riferimento all'**ampiezza** della fascia vegetazionale, la figura 2.4.3.3.11 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.

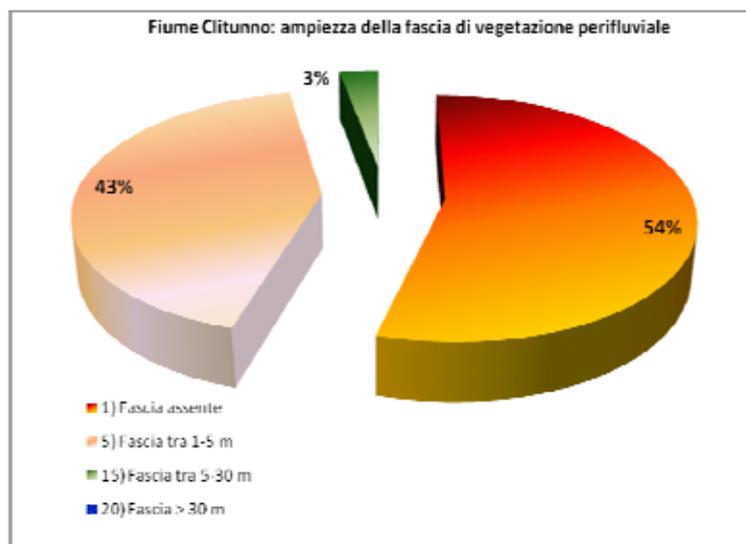


Fig. 2.4.3.3.11 - Fiume Clitunno, ampiezza della vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva.

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

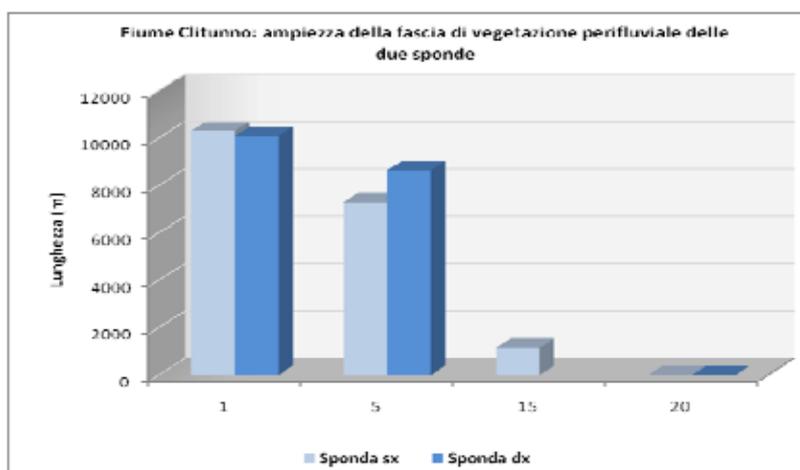


Fig. 2.4.3.3.12 - Fiume Clitunno, vegetazione presente nella fascia perifluviale arborea o arbustiva delle due sponde.

Per quanto riguarda la **continuità** della vegetazione riparia (figure 2.4.3.3.13 e 2.4.3.3.14), 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.

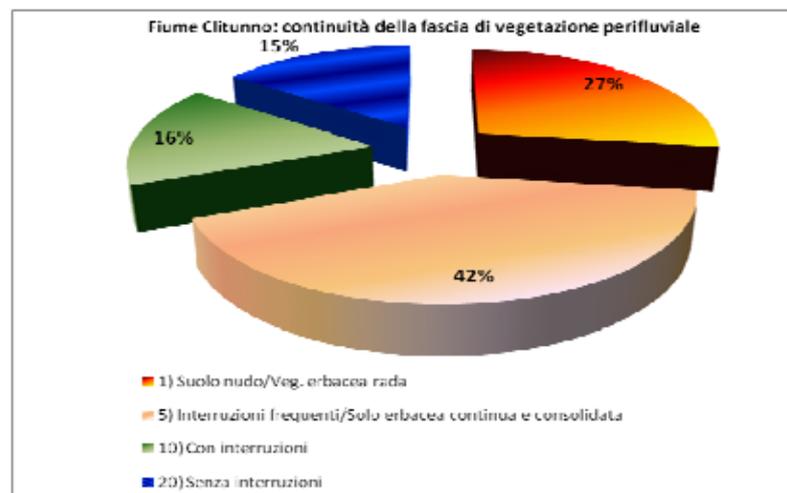


Fig. 2.4.3.3.13 - Fiume Clitunno, continuità della vegetazione presente nella fascia perfluviale arborea o arbustiva.

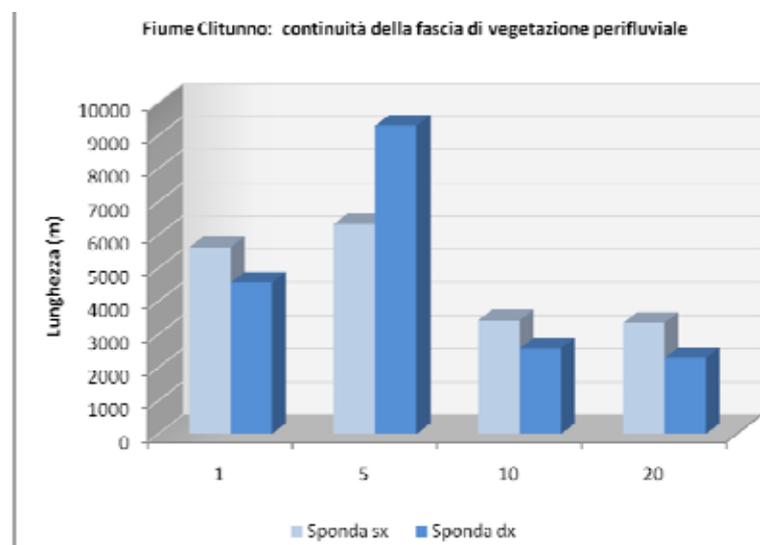


Fig. 2.4.3.3.14 - Fiume Clitunno, continuità della vegetazione presente nella fascia perfluviale arborea o arbustiva delle due sponde.



Fig. 2.4.3.3.15 - Vegetazione perifluviale arborea presente su entrambe le sponde.



Fig. 2.4.3.3.16 - Sponde soggette a sfalciamento con interruzione del canneto.



Fig. 2.4.3.3.17 - Tratto con fasce perifluviali di canneto continue lungo entrambe le sponde.



Fig. 2.4.3.3.18 - 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 perifluviale. 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 2.4.3.3.19). 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).

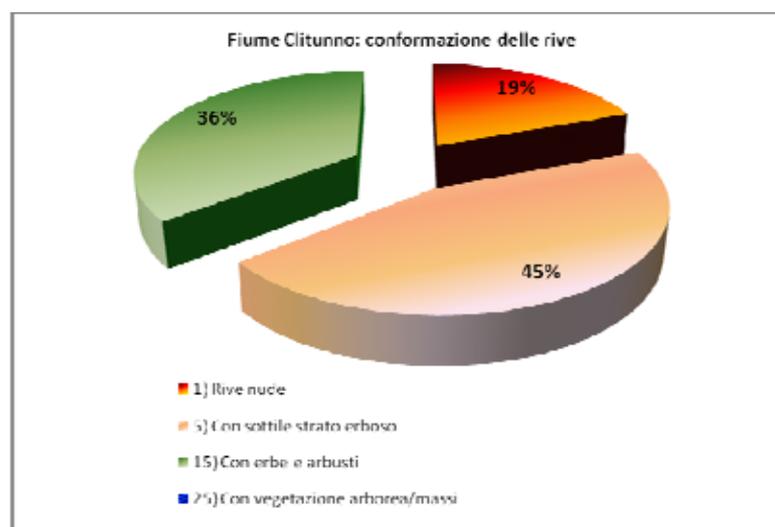


Fig. 2.4.3.3.19 - Fiume Clitunno, conformazioni delle rive.



Fig. 2.4.3.3.20 - Esempio di sponda con rive coperte da uno strato erboso molto sottile che lascia scoperto il suolo sottostante.



Fig. 2.4.3.3.21 - Tratto fluviale con rive caratterizzate da un'alternanza di erbe e arbusti, che favorisce una certa varietà di microhabitat.

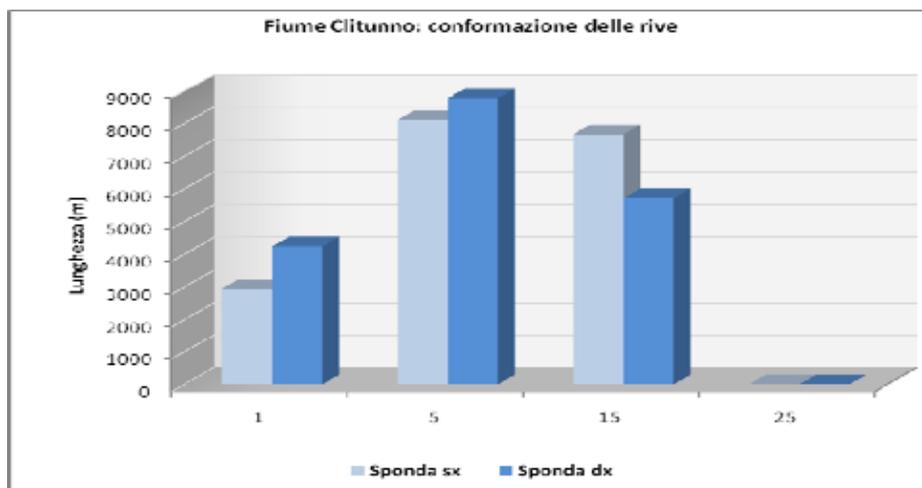


Fig. 2.4.3.3.22 - Fiume Clitunno, conformazioni delle rive nelle due sponde.

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 2.4.3.3.23). 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.

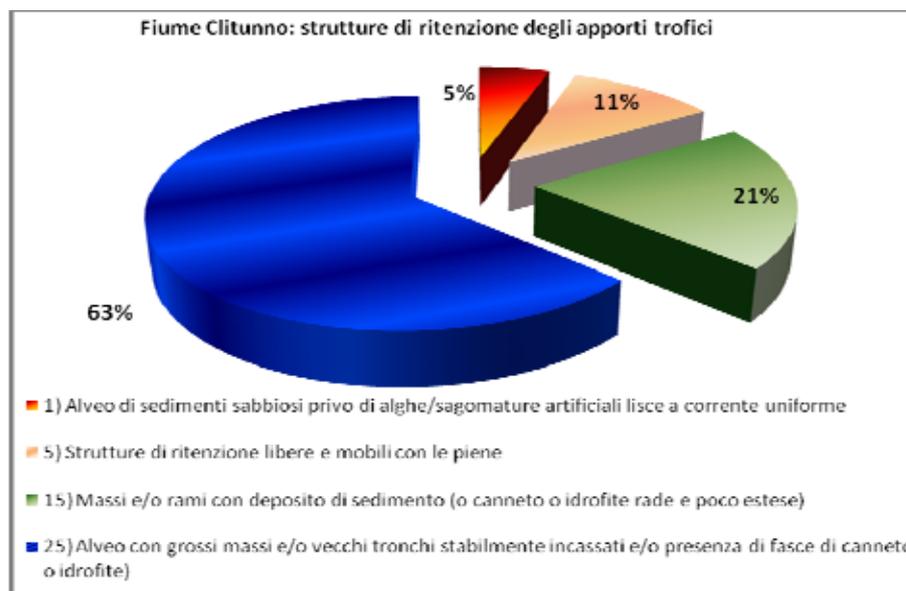


Fig. 2.4.3.3.23 - Fiume Clitunno, strutture di ritenzione degli apporti trofici.



Fig. 2.4.3.3.24 -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 2.4.3.3.25, 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.

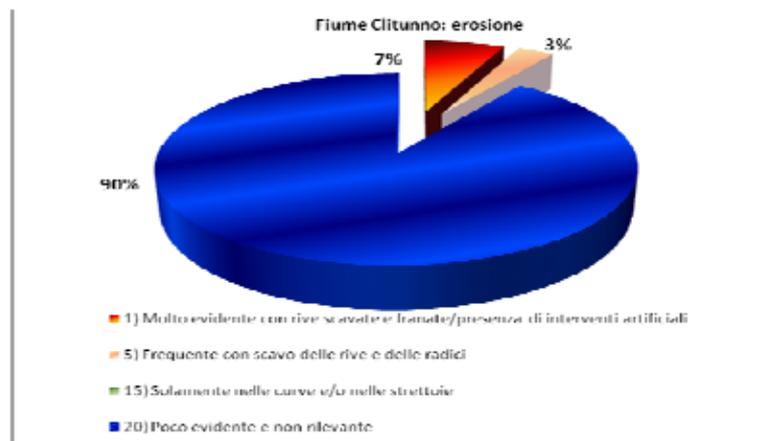


Fig. 2.4.3.3.25 - Fiume Clitunno, erosione.

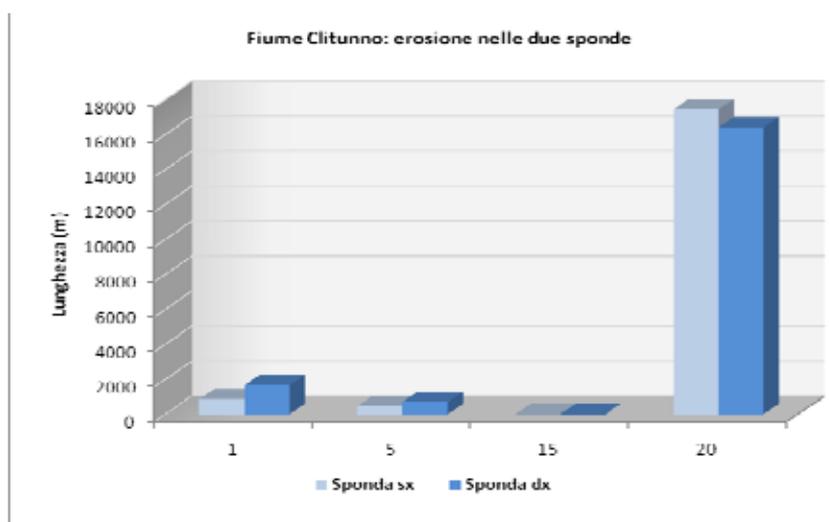


Fig. 2.4.3.3.26 - Fiume Clitunno, erosione delle due sponde.

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 2.4.3.3.27, 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.

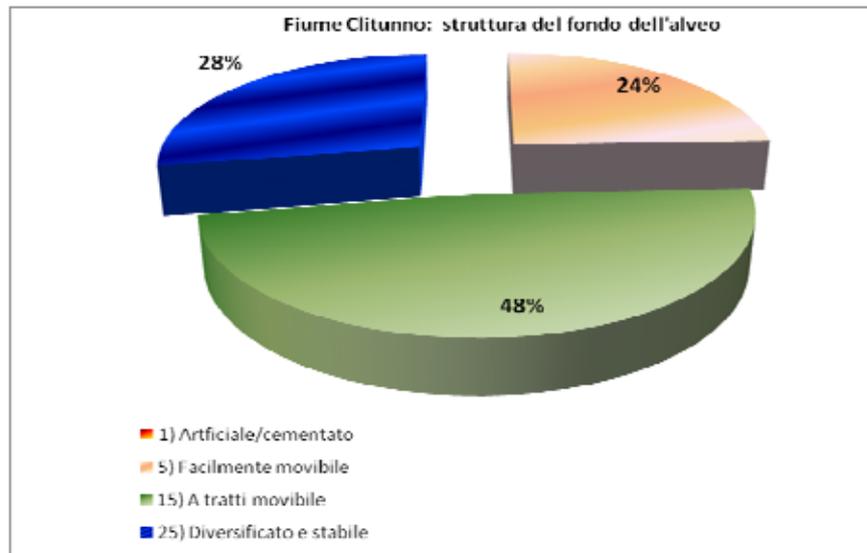


Fig. 2.4.3.3.27 - Fiume Clitunno, struttura del fondo dell'alveo.

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 2.4.3.3.28, 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.

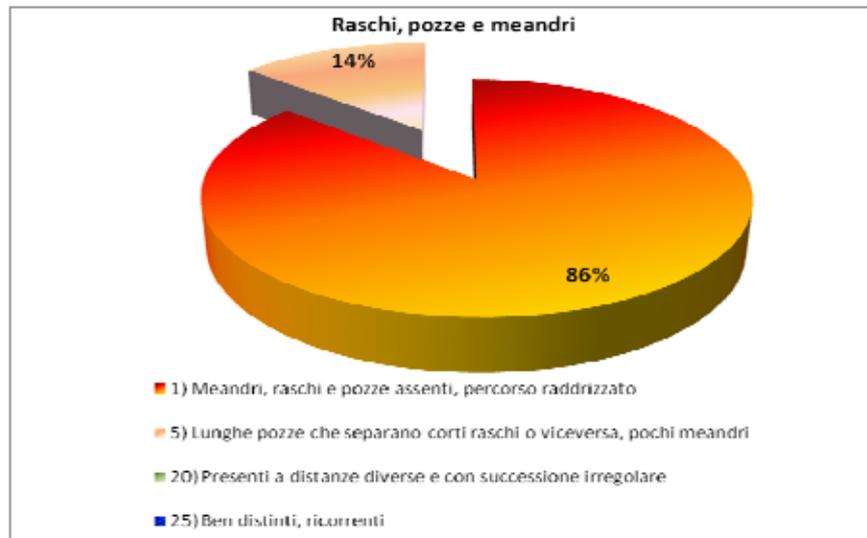


Fig. 2.4.3.3.28 - Fiume Clitunno, raschi, pozze e meandri.

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 2.4.3.3.29).

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).

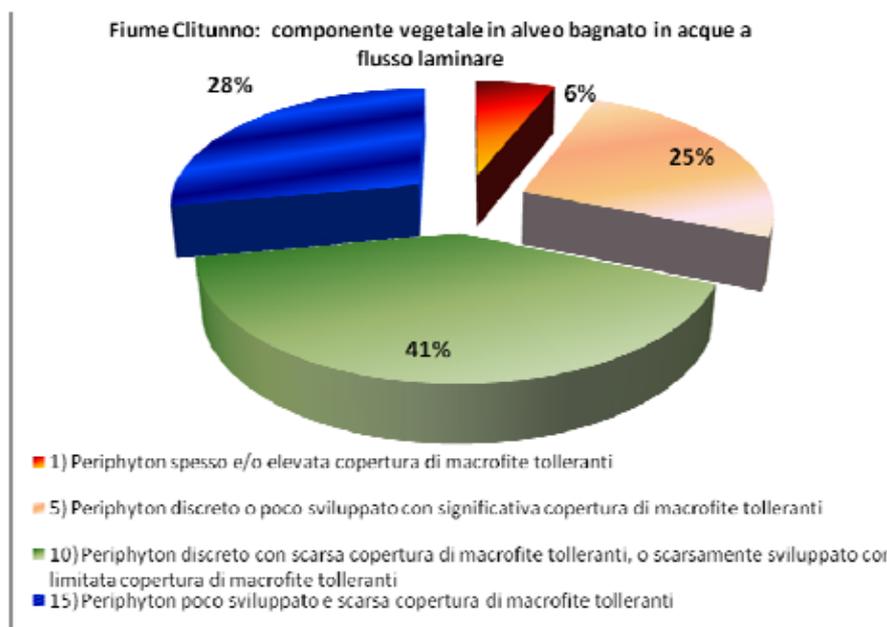


Fig. 2.4.3.3.29 - Fiume Clitunno, componente vegetale in alveo bagnato in acque a flusso laminare.

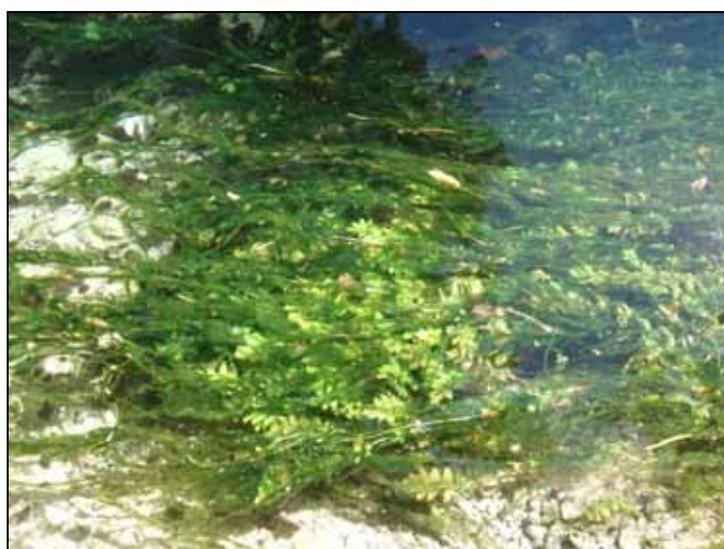


Fig. 2.4.3.3.30 - Presenza di alghe filamentose nell'alveo fluviale.

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 2.4.3.3.31), 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.

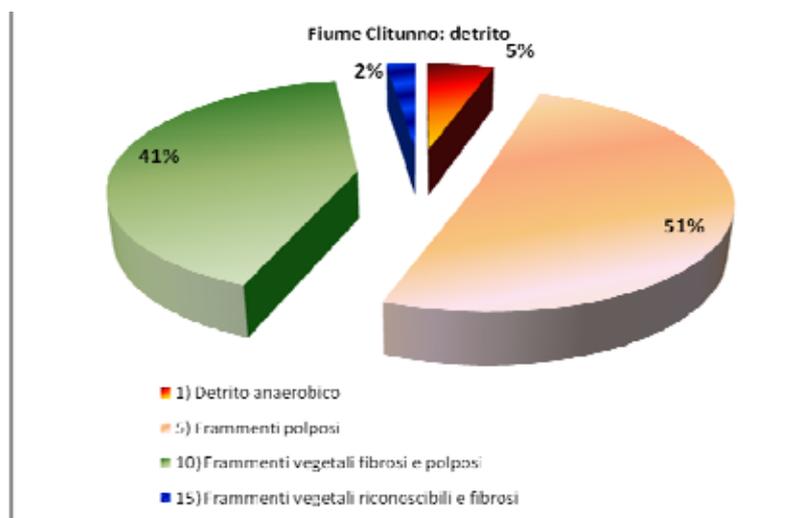


Fig. 2.4.3.3.31 - Fiume Clitunno, detrito.



Fig. 2.4.3.3.32 - 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 2.4.3.3.33), 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.

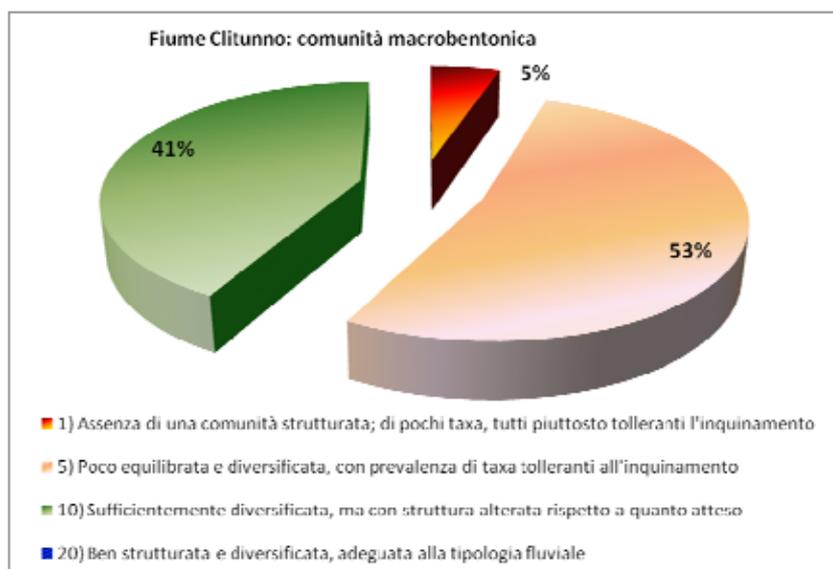


Fig. 2.4.3.3.33 - Fiume Clitunno, comunità macrobentonica.

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 2.4.3.3.1 sono 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	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-I	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 2.4.3.3.1 - Sintesi dei risultati I.F.F.

