

6. PROGETTO PILOTA PER UNO STUDIO MULTIDISCIPLINARE ED INTEGRATO SU UN SOTTOBACINO DEL LAGO MAGGIORE

Gli studi svolti sino ad oggi dalla Commissione Internazionale per la Protezione della Acque Italo Svizzere (CIPAIS) hanno contribuito alla conoscenza ed al recupero delle acque del Lago Maggiore. Nel 2008 è parso necessario ampliare questi studi e approfondirli per quanto riguarda il bacino afferente, per comprendere l'impatto che esso ha sull'equilibrio dell'ecosistema lacustre, in rapporto sia ai cambiamenti climatici in atto, che alle trasformazioni subite dal territorio negli ultimi decenni, partendo dall'organizzazione in un unico documento di tutte le informazioni, vegetazionali, geologiche, climatiche, idrologiche e chimiche presenti ad oggi. Per tale approfondimento sono partite delle ricerche sul Fiume Tresa, di comune interesse per Italia e Svizzera in quanto tale fiume funge da confine fra i due Stati per i primi 7 km dall'uscita del L. di Lugano, mentre appartiene totalmente all'Italia nella seconda parte del suo percorso fino al L. Maggiore.

La presente relazione comprende, quindi:

- una parte descrittiva sul F. Tresa e sul suo bacino, volta ad inquadrarne gli aspetti geografici, morfologici e vegetazionali, basata su informazioni bibliografiche o raccolte mediante contatti con Enti che operano sul territorio (Paragrafi 6.1-6.3);
- una parte metodologica, con particolare riferimento al rilevamento idromorfologico degli habitat fluviali ed all'utilizzo dei macroinvertebrati come indicatori di qualità ecologica (Paragrafi 6.4-6.6);
- i risultati sperimentali del progetto pilota, riguardanti gli aspetti chimici, idromorfologici e biologici (macroinvertebrati; Paragrafo 6.7).

6.1. Inquadramento geografico

Il bacino del Fiume Tresa, qui considerato dallo sbocco del Lago di Lugano, occupa una valle piuttosto stretta e allungata in senso longitudinale, nella parte settentrionale del territorio della Provincia di Varese. Il fiume è inserito nell'ampio bacino idrografico del L. Maggiore, e convoglia le acque di drenaggio provenienti dal L. di Lugano, di cui è l'unico emissario, verso il L. Maggiore, confinando a nord con il bacino del T. Colmegnino e a sud con quello del T. Margorabbia.

Il fiume nasce a Lavena Ponte Tresa in Italia e Ponte Tresa in Svizzera, a 271 m s.l.m.; il punto di origine costituisce zona di confine fra Italia e Svizzera. Il ponte che separa i due comuni venne ricostruito alla metà del 1400 e fu utilizzato fino al 1828. Qualche anno più tardi fu innalzato un altro ponte, in muratura che venne abbattuto nel 1962 per essere sostituito da uno in cemento armato, che corrisponde al ponte tuttora visibile.

Il fiume, nel tratto compreso tra il L. di Lugano e la località Madonnone (ca. 1,4 km), è completamente artificiale sia come origine che come morfologia. L'alveo infatti in questo tratto fu fatto costruire dai milanesi attorno al 1300, per favorire la comunicazione con il L. Maggiore. Il fiume scende poi verso il L. Maggiore secondo una direzione Sud-Est Nord-Ovest, mentre il suo imbocco naturale avrebbe dovuto essere situato più a sud lungo la sponda del L. di Lugano, a Porto Ceresio o Capolago, secondo quanto avviene nei grandi laghi marginali sub-alpini (Barbanti & Ambrosetti, 1978). Nel tratto finale, tra Luino e Germignaga, scorre in quello che un tempo era l'alveo del Torrente Margorabbia, che si immetteva direttamente nel L. Maggiore nei

pressi del Comune di Germignaga, nella pianura alluvionale su cui sorge la città di Luino, a 193 m s.l.m. Nel '300 infatti, la sezione dell'alveo venne allargata per accogliere le acque del F. Tresa, più abbondanti di quelle del T. Margorabbia, che oggi è considerato un affluente.

La superficie del bacino imbrifero del fiume è pari a 754,20 km², ed il fiume stesso è lungo 13 km, di cui i primi 7 km fungono da confine tra Svizzera ed Italia, separando il Canton Ticino dalla Provincia di Varese. Il suo percorso divide le montagne svizzere, sul versante destro, quali il Motto Croce (1183 m s.l.m.), il Monte Rogoria (926 m s.l.m.), il Motto di Galbirona (910 m s.l.m.), il Monte Mondini (814 m s.l.m.), da quelle italiane che sono il Monte Clivio (739 m s.l.m.), il Monte Bedea (667 m s.l.m.), il Monte Marzio (880 m s.l.m.), il Monte La Nave (988 m s.l.m.), il Monte Mezzano (932 m s.l.m.) ed il Monte Sette Termini o Bedeloni (972 m s.l.m.; Grossi, 1984). Numerosi sono gli affluenti soprattutto dalla parte sinistra, che sono brevi e piuttosto impetuosi, contrapponendosi agli immissari di destra, che hanno invece un percorso più lungo alle spalle. Tra tutti il maggiore è sicuramente il Margorabbia.

Poche centinaia di metri (350 m) dopo la sua origine, sul fiume è stato costruito nel 1953 uno sbarramento a paratie mobili con possibilità di elevazione della soglia (Fig. 6.1.a). Tale sbarramento aveva più scopi:

- contenere le acque del L. di Lugano nei periodi di maggior afflusso d'acqua dal bacino imbrifero, in primavera al disgelo e durante intensi periodi di pioggia, abbassando i livelli di piena nell'interesse di tutti i comuni rivieraschi;
- regolare i livelli lacuali durante le diverse stagioni, tenendo conto, per quanto possibile, dei bisogni dell'agricoltura, della pesca, della navigazione e dell'igiene;
- limitare le portate massime del fiume e ridurre in questo modo il pericolo di inondazioni;
- incrementare la portata del fiume in tempi di magra, a favore della produzione idroelettrica della centrale di Creva.

L'abbassamento dell'alveo (circa 1 m nel suo punto di origine nei pressi dell'attuale sbarramento, poi a decrescere fino in località Madonnone) e la costruzione delle paratie mobili hanno così consentito di incrementare le portate erogabili in uscita dal lago e di ottenere, perciò, una riduzione delle piene rispetto al regime naturale.

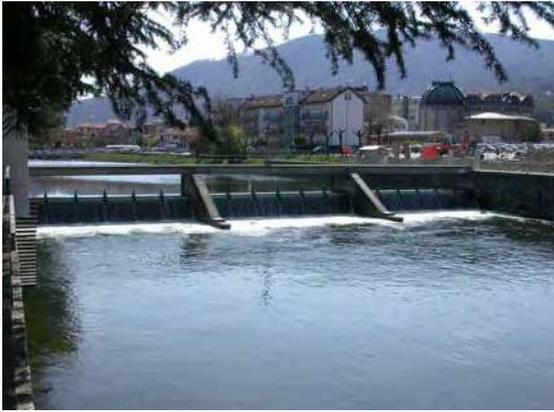
Più a valle, a poco meno di 4 km dalla foce, il flusso delle acque alimenta la centrale idroelettrica di Creva situata in zona italiana (Comune di Luino), nota come diga di Creva (Fig. 6.1.b-d), che sfrutta il salto altimetrico tra i laghi Maggiore e di Lugano. Tale bacino artificiale, ottenuto con la costruzione di una diga a gravità di 26 metri di altezza e 50 di larghezza, è lungo circa 2 km e trattiene un volume di 990.000 m³ d'acqua, ed è stato ultimato nel 1929 dopo lo spostamento e la sopraelevazione dell'assetto stradale di circa 2 m e la deviazione della ferrovia Luino-Ponte Tresa (Fig. 6.1.e-f). La diga è stata costruita per produrre energia utile anche per il nuovo esercizio elettrico della ferrovia e per regolare la portata del fiume, controllando o limitando le alluvioni, soprattutto in occasione delle piene del L. di Lugano. Situato infatti in territorio montuoso nelle Alpi Centrali, il fiume è caratterizzato da pronunciate pendenze dei versanti e del letto: è quindi sovente soggetto a piogge intense e concentrate in tempi brevi. Questi elementi creano le condizioni per frequenti fenomeni di piena con conseguenti alterazioni della morfologia fluviale e, a volte, notevoli variazioni delle sezioni di misura delle portate.

La pendenza media del corso d'acqua è dello 0,6 % e la larghezza media dell'alveo bagnato è di 30 m. La sua origine dal L. di Lugano determina un regime idrologico di

tipo sub-lacuale, con portate medie annue intorno ai $23 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (1978-2008). Il regime idrologico è caratterizzato da due massimi, uno primaverile (Maggio) e l'altro, di minor entità, ad Ottobre, e due minimi, uno in inverno, tra Dicembre e Febbraio, e l'altro in estate, ad Agosto (Ciampittiello & Rolla, 2009).

Lo sbarramento a paratie mobili e la diga di Creva sono due opere che costituiscono un'interruzione della continuità fluviale e della libera percorribilità delle acque da parte delle popolazioni ittiche impedendo gli spostamenti longitudinali delle diverse specie, pregiudicandone in qualche caso la sopravvivenza. Nel 2007 si è iniziata una prima azione di mitigazione sul fiume che ha visto il ripristino dei corridoi biologici con la realizzazione di un passaggio per pesci, a bacini successivi, abbinato allo sbarramento a paratie mobili. Il corridoio delle paratie mobili è dotato di un sistema di monitoraggio impiantato nella camera di compensazione che si trova al termine del corridoio stesso, dove è stato installato un vetro che permette di vedere e registrare, tramite telecamera, quanti e quali pesci riescono a passare, permettendo di monitorare l'effettiva funzionalità dell'opera e gli aggiustamenti che serviranno qualora ve ne fosse bisogno.

Al fine di caratterizzare la qualità ecologica del F. Tresa, secondo quanto proposto dalla ricerca, sono stati utilizzati diversi metodi di analisi, sia di tipo chimico-fisico, sia idromorfologico, che di tipo biologico tramite lo studio della fauna a macroinvertebrati. L'utilizzo di un approccio di questo genere permette di comprendere meglio gli aspetti legati all'integrità ed alla funzionalità ecologica del corso d'acqua. Solo con il supporto di adeguati dati chimico-fisici e idromorfologici è possibile procedere ad una corretta interpretazione delle dinamiche della fauna bentonica ed alla valutazione esaustiva della qualità del fiume.



a. Sbarramento a paratie mobili a P.te Tresa



b. Diga di Creva - invaso



c. Diga di Creva - muraglione



d. Diga di Creva - scarico



e-f. Diga di Creva - precedente assetto stradale e ferroviario



Fig. 6.1.a-f. Principali alterazioni dell'alveo del F. Tresa.

6.2. Caratteristiche geo-morfologiche

Il primo aspetto da considerare nella zona di studio è la suddivisione svizzera fra Sopraceneri e Sottoceneri, di fondamentale importanza geologica. Questa suddivisione è delimitata dal largo e profondo solco costituito dal L. Maggiore, dalla Piana di Magadino e dall'imbocco della Val Mesolcina e corrisponde all'importante confine strutturale creato dalla Linea Insubrica. A Sud di esso è situato lo zoccolo cristallino antico, appartenente alla zolla continentale africana e ricoperto nella sua parte più meridionale da sedimenti mesozoici; a nord si estendono invece le rocce metamorfiche più recenti, derivanti dalla geosinclinale alpina. In particolare, le rocce della Valle della Tresa appartengono allo zoccolo prevarisico delle Alpi meridionali. Il territorio è infatti costituito da un basamento cristallino composto prevalentemente da quarzo, feldspato, miche e minerali scuri. Durante gli eventi orogenetici si sono formate delle fessure che hanno consentito la risalita di fluidi ricchi di minerali come argento, oro e ferro. In passato queste risorse erano sfruttate in modo intenso (Cotti et al., 1990): sul territorio operavano infatti numerose cave di pietre da taglio, cave di porfido, fabbriche di calce e di gesso, fornaci di laterizi e miniere che sfruttavano i minerali metalliferi. Su tale zoccolo si è poi verificata una copertura sedimentaria, modellatasi durante l'era Quaternaria ad opera di quattro eventi glaciali (Gunz, Mindel, Riss, Würm), che crearono il susseguirsi di paesaggi differenti. La Valle del Tresa si è formata infatti dopo il ritiro dei ghiacciai che occupavano le attuali conche del L. Maggiore (Ghiacciaio del Ticino) e del L. di Lugano (Ghiacciaio dell'Adda). La morfologia del territorio è quindi il risultato dell'azione erosiva combinata del ghiacciaio e del fiume, caratterizzata dalla presenza di valli aperte e rilievi dolci, accompagnati da dossi, gole e anfratti, queste ultime ancora visibili nel tratto subito a valle della diga di Creva e a monte dell'abitato di Cremenaga.

La storia geologica recente è rappresentata dalla sedimentazione nelle aree a bassa energia del corso d'acqua e nelle zone di esondazione (alluvioni antiche, recenti ed attuali). Questa valle si è quindi andata colmando di depositi fluvio-lacustri provenienti dal L. di Lugano che ne hanno addolcito la conformazione a "V" nella parte alta, anche in seguito alla costruzione della diga.

La porzione montana risulta caratterizzata da vulcaniti formatesi durante i processi orogenetici alpini e da formazioni calcaree di scogliera. In particolare, all'interno di questa porzione, i solchi della Valle del Tresa, della Valcuvia e della Val Ceresio delimitano quattro zone diverse sotto il profilo geologico (Harlof, 1927):

- una zona micascistosa dell'Alto Luinese, situata tra Pino Lago Maggiore e la Valle del Tresa;
- una zona cristallino-calcareo-dolomitica in Valtravaglia, affacciata sul L. Maggiore, delimitata a sud dal T. Boesio e a nord dal T. Margorabbia;
- una zona cristallino-porfirico-calcareo-dolomitica, compresa tra la Valcuvia, la Valle del Tresa, il L. di Lugano, la Valle di Arcisate ed il L. di Varese;
- una zona porfirico-calcareo-dolomitica tipica dell'Orsa di Pravello, nella parte orientale.

Dal punto di vista morfologico, la parte più settentrionale della zona montana è rappresentata dal gruppo dei monti Paglione e Cadrigna; il solco della Val Veddasca, sul cui fondo scorre il Torrente Giona, separa questo gruppo montuoso dal Monte Lema (1622 m s.l.m.), che costituisce la cima più elevata della provincia di Varese. A sud del

gruppo del Monte Lema scorre il F. Tresa, che divide la zolla cristallina dalle porfiriti e dai calcari che compongono i restanti gruppi montuosi. La Valtravaglia e la Val Marchirolo, con la Valle del Tresa, isolano il gruppo montuoso dei Sette Termini (972 m s.l.m.), Monte Mezzano (922 m s.l.m.) e Monte La Nave (988 m s.l.m.).

6.3. Caratteristiche vegetazionali

La morfologia del territorio è il risultato dell'erosione fluvio-glaciale, con un'abbondanza di dossi, gole e anfratti. L'area presenta un'importante varietà naturalistica grazie alla varietà dei suoi paesaggi. Si passa infatti da un paesaggio tipicamente lacustre (L. di Lugano), alle zone collinari, fino a raggiungere le zone montane, che raggiungono i 1619 m s.l.m. del Monte Lema e i 1935 m s.l.m. dei Gradiccioli. Complessivamente la risorsa più importante è rappresentata dal bosco, che ricopre una superficie importante del territorio (Grossi, 1984).

L'area montana

Il settore montano occupa la maggior parte del bacino, ed è caratterizzato da rilievi di una certa elevazione e da rocce affioranti in posto. La morfologia è stata in gran parte influenzata dai fronti dei grandi ghiacciai quaternari, per cui il rilievo è costituito da montagne separate tra loro da bassi valichi. Dalle testimonianze lasciate dagli abbondanti depositi morenici si può dedurre che le grandi lingue glaciali si unissero tra loro, lasciando emergere solo poche cime (Antonietti, 1971; Ufficio della selvicoltura, 2001).

Il bacino del F. Tresa presenta una grande varietà di specie grazie alle differenti condizioni climatiche, pedologiche, topografiche. L'area montana comprende Faggete (*Fagus sylvatica*) e pascoli, con una presenza estesa di Betulle (*Betula pendula*) ai bordi delle aree aperte e del Farinaccio (*Sorbus aria*). Nei pascoli poco utilizzati prevale la Felce aquilina (*Pteridium aquilinum*) e la Ginestra (*Cytisus scoparius*). Frequente anche il nardeto, prateria tipica dei suoli acidi e magri dove predomina il Cervino (*Nardus stricta*).

Possiamo distinguere due associazioni vegetazionali predominanti per lo stadio subalpino (da 1700 a 1400 m s.l.m.) e quello montano (da 1400 a 800 m s.l.m.):

- rocce vulcaniche effusive (rioliti, andesiti, porfiriti, granofiri, ecc.) affiorano, frammiste alle rocce sedimentarie dando origine a condizioni di vita per le piante relativamente simili, contraddistinte da suoli acidi e sostanze nutritive limitate. Le porzioni inferiori dei rilievi sono caratterizzate da Querceti a rovere, mista a roverella nelle stazioni più assolate e acclivi. Alle quote superiori dominano le formazioni di Faggio (*Fagus sylvatica*);
- sui suoli meno acidi in esposizioni ombreggiate, nello strato arboreo compaiono l'Acero di monte (*Acer pseudoplatanus*) e le macroforbie esigenti in quello erbaceo: Lauro alessandrino (*Streptopus amplexifolius*), il Sigillo di Salomone verticillato (*Polygonatum verticillatum*), l'Uva di volpe (*Paris quadrifolia*), l'Imperatoria vera (*Peucedanum ostruthium*).

L'area pedemontana e sub-montana

Indicativamente compresa tra gli 800 ed i 300 metri di altitudine, l'area pedemontana è caratterizzata dai boschi cedui di Castagno (*Castanea sativa*), dove accanto alla specie dominante s'incontrano nello strato arboreo la Quercia rovere (*Quercus petraea*), la Betulla (*Betula pendula*), il Frassino (*Fraxinus excelsior*), la Robinia (*Robinia pseudoacacia*) e il Cerro (*Quercus cerris*). Nello stadio arbustivo troviamo spesso il Nocciolo (*Corylus avellana*) o la Frangola (*Frangula alnus*). Le associazioni principali per questo stadio sono:

- sui suoli poveri compare in abbondanza la Festuca dei montoni (*Festuca ovina*), la Brughiera (*Calluna vulgaris*), la Ginestra (*Cytisus scoparius*), il Camedrio scorodonia (*Teucrium scorodonia*);
- sui suoli a tenore di sostanze nutritive limitate, compaiono specie più esigenti quali il Sigillo di Salomone maggiore (*Polygonatum multiflorum*), l'Anemone di bosco (*Anemone nemorosa*), la Viola silvestre (*Viola reichenbachiana*) e la Salvia vischiosa (*Salvia glutinosa*);
- sui suoli eutrofici, meno acidi e sempre freschi troviamo il Frassino e l'Ontano nero (*Alnus glutinosa*). Lo strato erbaceo è composto da felci ed alte erbe.

Ambiente dei fondovalle alluvionali

I depositi alluvionali presenti nel bacino sono dovuti ai corsi d'acqua che hanno inciso e terrazzato il preglaciale ed i terreni successivi durante le glaciazioni ripetute e gli interglaciali. Nella valle del Tresa si riscontrano depositi interglaciali contenenti parti fluvio-glaciali, specialmente sabbie micacee.

I fondovalle del settore montano presentano una vegetazione potenziale costituita da Querceti con Frassino maggiore abbondante, Saliceti, lembi di Canneti. Tuttavia, gli ambienti umidi dei fondovalle montani possono ospitare anche vegetazioni delle torbiere oligotrofiche.

Le siepi ed i boschetti che si susseguono lungo il corso del fiume sono costituiti da una vegetazione densa di cespugli, accompagnati da singoli alberi e da fasce di piante erbacee. Le specie arbustivo-arboree che si possono incontrare sono principalmente il Rovo (*Rubus* sp.), il Sambuco (*Sambucus nigra*), il Biancospino (*Crataegus* sp.), la Fusaggine o cappel da prete (*Evonymus europaeus*), il Nocciolo (*Corylus avellana*), il Caprifoglio (*Lonicera xilostemum*), il Sanguinello (*Cornus sanguinea*; Antonietti, 1976).

I prati umidi, gli stagni ed i boschi golenali sono ambienti nei quali l'acqua riveste un ruolo fondamentale. Le golene in particolare sono porzioni di territorio regolarmente sommerse dalle acque del fiume che le percorre. Complessivamente questi ambienti hanno subito negli ultimi decenni una forte riduzione. Il corso del F. Tresa offre degli spazi naturalistici interessanti per la vegetazione golenale, tanto da essere stata posta nell'inventario delle zone alluvionali d'importanza nazionale svizzera.

In questo ultimo secolo il paesaggio della Valle del Tresa ha vissuto numerosi processi che ne hanno determinato un cambiamento radicale. Fino al primo dopoguerra, la situazione era caratterizzata dalla presenza di vigneti che si estendevano su quasi la totalità dei crinali propizi. Gli insediamenti erano numerosi e prendevano la forma di piccole frazioni. Oggi questi stessi villaggi hanno assunto delle funzioni prevalentemente residenziali, mentre un numero considerevole di coltivi sono stati persi a causa dell'imboschimento dei versanti o dell'estensione degli insediamenti umani.

6.4. Il rilevamento idromorfologico degli habitat fluviali

La Direttiva Quadro sulle Acque, già approvata a livello comunitario (EC, 2000/60), è stata recepita anche in Italia. Essa definisce le linee guida per la valutazione della qualità ecologica degli ambienti acquatici, tra cui i fiumi. Un punto cruciale evidenziato dalla Direttiva riguarda la centralità degli organismi biologici (e.g. fauna macrobentonica, pesci, macrofite) nella definizione della qualità ecologica delle acque. La Direttiva richiede inoltre la valutazione della qualità idromorfologica dei corpi idrici come supporto all'interpretazione dei dati biologici e la scelta dei "siti di riferimento", da individuare per ognuno dei tipi fluviali riconosciuti sul territorio nazionale.

Il metodo sviluppato *ad hoc* per rispondere alle richieste della Direttiva ed applicabile alle diverse tipologie dei fiumi italiani è il CARAVAGGIO (Core Assessment of River hAbitat VAlue and hydromorpholoGICAL cOndition) che, tra l'altro, consente di caratterizzare in modo dettagliato gli habitat presenti nei tratti fluviali analizzati, offrendo così le necessarie informazioni di supporto per l'interpretazione dei dati biologici, ossia quelli ottenuti per il monitoraggio ai sensi della Direttiva (Buffagni et al., 2005).

La scelta di procedere secondo quanto previsto dalla Direttiva Europea sulle Acque in un territorio che copre due Stati, all'interno dei quali si utilizzano due approcci differenti di studio, raccolta e analisi dei dati, offre un punto di partenza importante per un reciproco confronto e per una crescita conoscitiva e scientifica sulle metodiche in uso nei due Paesi, sulle informazioni utili raccolte e sulle indicazioni gestionali che possono venire da entrambi gli approcci.

Il protocollo di rilevamento prevede che vengano registrate specifiche caratteristiche degli habitat fluviali e ripari. La lunghezza dell'unità di campionamento è pari a 500 metri (*sweep-up*) lungo l'asse longitudinale del fiume. Le caratteristiche delle rive e dell'alveo sono rilevate in corrispondenza di 10 transetti (*spotchecks*), distanziati di 50 m. Vengono registrate, ad esempio, per ciascuno dei transetti analizzati, caratteristiche quali il tipo di flusso, il tipo di substrato, le modificazioni dell'alveo e delle rive, l'uso del territorio, il tipo di vegetazione in alveo. Alcune caratteristiche osservate lungo il tratto fluviale oggetto del rilievo vengono registrate nella sezione di rilevazione complessiva (*sweep-up*), tra le quali l'uso del territorio entro 50 m dalla riva, il profilo delle rive, la copertura arborea, la presenza di raschi (*riffle*), pozze (*pool*), meandri, zone di deposito, ecc. Per meglio caratterizzare gli habitat fluviali, il protocollo dà la possibilità di rilevare due tipi di flusso e/o di substrato lungo ogni transetto. Rispetto al metodo originale, la struttura del protocollo di rilevamento è stata riorganizzata in modo da consentire una migliore comprensione dei fenomeni in atto nel fiume stesso e di limitare gli errori di rilevamento.

Un aspetto centrale del metodo CARAVAGGIO risiede nella separazione tra la fase di giudizio, come la classificazione del sito, dalle fasi di acquisizione e archiviazione del dato. Tale aspetto, associato a definizioni chiare delle caratteristiche rilevate, contribuisce a garantire l'oggettività del metodo.

Il metodo CARAVAGGIO è dotato di uno strumento per l'archiviazione dell'informazione raccolta. Il *software* è una base dati relazionale che archivia i dati e può produrre *output* di dati grezzi ed elaborati, fornendo ad esempio frequenze di occorrenza delle caratteristiche riscontrate nei siti. Caratteristica peculiare del *software*

è la semplificazione e la velocizzazione del processo di inserimento dati tramite interfaccia grafica identica alla scheda utilizzata in campo.

In generale, l'informazione ottenuta mediante l'applicazione del CARAVAGGIO può essere di supporto nell'interpretazione dei dati biologici consentendo di effettuare confronti tra i dati relativi all'analisi delle comunità di macroinvertebrati, macrofite, pesci e la qualità e diversità degli habitat. Inoltre, il metodo permette di effettuare delle correlazioni dirette tra la presenza di determinate caratteristiche idromorfologiche e le comunità biologiche e di calcolare indici sintetici di qualità, tra cui:

- l'Habitat Modification Score (HMS), consente una quantificazione del grado di alterazione morfologica, in linea con alcune delle richieste della Direttiva Quadro;
- l'Habitat Quality Assessment score (HQA), è in grado, sulla base dell'estensione e diversificazione delle caratteristiche naturali registrate (es. numero di tipi diversi di flusso, di substrato e naturalità dell'uso del territorio), di stimare la diversificazione e qualità degli habitat fluviali, a loro volta legati alla qualità globale del sito;
- il Land Use Index (LUI), fornisce indicazioni sull'uso del territorio circostante assegnando dei punteggi alle varie caratteristiche di uso del suolo: maggiore è il grado di antropizzazione del territorio maggiore è il valore dell'indice;
 - il Lentic Lotic River Descriptor (LRD), fornisce indicazioni sulle caratteristiche del flusso. Lentic, tipico di zone a bassa velocità di corrente, e lotico, tipico di zone ad elevata velocità. Le caratteristiche lentiche sono rappresentate da valori positivi, anche molto elevati dell'LRD, e quelle lotiche, da valori negativi a volte molto bassi (Buffagni et al., 2004).

Le informazioni raccolte con il metodo CARAVAGGIO e la loro elaborazione successiva risultano di fondamentale importanza per definire il grado di alterazione di un ambiente fluviale, la sua capacità di riequilibrarsi, dopo cambiamenti naturali o antropici, il momento evolutivo in cui si trova, di quali modificazioni sarà ancora capace il corso d'acqua nel tempo e lungo il suo corso, da monte a valle, nonché la struttura biotica del sistema. È ben noto infatti che quest'ultima dipende strettamente dalle condizioni idro-morfologiche dell'habitat in cui vive. Tutto quanto detto per garantire una buona/ottima qualità dell'ecosistema, e per migliorare la sicurezza e la qualità della vita e delle attività umane che si sviluppano all'interno dei territori circostanti.

6.5. Importanza dei macroinvertebrati come indicatori di qualità ecologica

L'uso delle comunità bentoniche per valutare l'integrità ecologica di un fiume costituisce senz'altro una tecnica di biomonitoraggio che ha una lunga tradizione in Italia ed in Europa. L'analisi delle comunità di macroinvertebrati risulta, infatti, uno strumento particolarmente utile per la valutazione biologica della qualità degli ambienti di acque correnti, dal momento che le informazioni legate agli invertebrati bentonici sono in grado di rispondere a diverse esigenze concettuali. Tra queste vi è quella di fornire un giudizio sintetico sulla qualità complessiva dell'ambiente considerando l'impatto che le alterazioni presenti hanno indotto sulle comunità che abitano il fiume.

Le caratteristiche climatiche della nostra zona sono contraddistinte da inverni secchi e poco piovosi, da primavere e autunni molto piovosi, tanto che spesso si assiste ad eventi di piena anche di portata centenaria in queste due stagioni, e da estati di natura variabile. In particolare, in questi ultimi anni sono aumentate le piogge estive sotto forma di eventi brevi ed intensi, con presenza di innalzamenti di temperatura e piccole trombe d'aria.

In tale contesto un fiume può essere soggetto a regimi di morbida alternati a regimi di piena e inondazioni, che possono influenzare fortemente la struttura della comunità macrobentonica. La maggior portata e le elevate velocità di corrente durante un evento di piena ampliano la connettività fluviale lungo i tre assi: longitudinale, trasversale e verticale. Tali aumenti possono disturbare o comunque influenzare la comunità biotica lungo un gradiente diretto da monte a valle, un gradiente di connessione fra sedimenti superficiali e ambiente iporreico e un gradiente centro-laterale che connette l'alveo con le sponde (Fig. 6.2).

L'eccessivo incremento della velocità di corrente associato alle piene può dar luogo al trascinarsi a valle dei macroinvertebrati e modificare l'assetto stesso dell'ambiente fluviale. In effetti, le perturbazioni fisiche causate dalle piene portano ad una diversa composizione del substrato di un fiume, così come possono deteriorarne o modificare la qualità degli habitat, causando una diminuzione di macrofite acquatiche e la relativa riduzione delle specie animali ad esse legate.

Importanti per la ricostituzione della comunità macrobentonica dopo il manifestarsi di questo tipo di perturbazione sono sia la migrazione dalle zone di rifugio utilizzate (iporreico o habitat "rifugio" dallo *stress* idrico) verso le zone centrali del fiume, sia ricolonizzazioni da monte, sia la schiusa o la deposizione di uova da parte degli adulti sopravvissuti.

L'elevata variabilità del regime idrologico che caratterizza i fiumi italiani ha anche effetti indiretti sulle comunità biotiche attraverso le variazioni nel trasporto di sedimento e la mobilitazione di sostanze inquinanti. Infatti, le variazioni di portata in un fiume hanno grande influenza sulla concentrazione degli elementi chimici in generale: la concentrazione totale tende a diminuire per aumenti delle portate nel campo delle magre, mentre al di sopra di certi livelli assumono un ruolo dominante i processi di *runoff* che si ripercuotono positivamente sui livelli di concentrazione totale. Accanto, quindi, a processi ovvi di diluizione che portano ad una diminuzione delle concentrazioni possono riscontrarsi processi significativi di dilavamento che costituiscono una fonte di elementi, inquinanti e non, molto significativa.

Parallelamente ad un'influenza significativa sulle concentrazioni degli inquinanti si ha anche un effetto importante sul trasporto di materiale in sospensione. Questo tende in

particolare ad aumentare quando le portate passano da condizioni di morbida a condizioni di piena per il peso significativo che assumono in questo caso i processi di *runoff*, in particolare nei primi periodi della piena. Un aumento significativo del trasporto solido si ha anche quando le portate pur rimanendo nel campo delle magre registrano una brusca variazione, dopo un lungo periodo di secca, durante il quale si sono accumulati nel letto del fiume sedimenti fini. Questi infatti vengono immediatamente rimobilizzati anche in seguito a piccoli, ma repentini aumenti della portata che seguono periodi di secca.

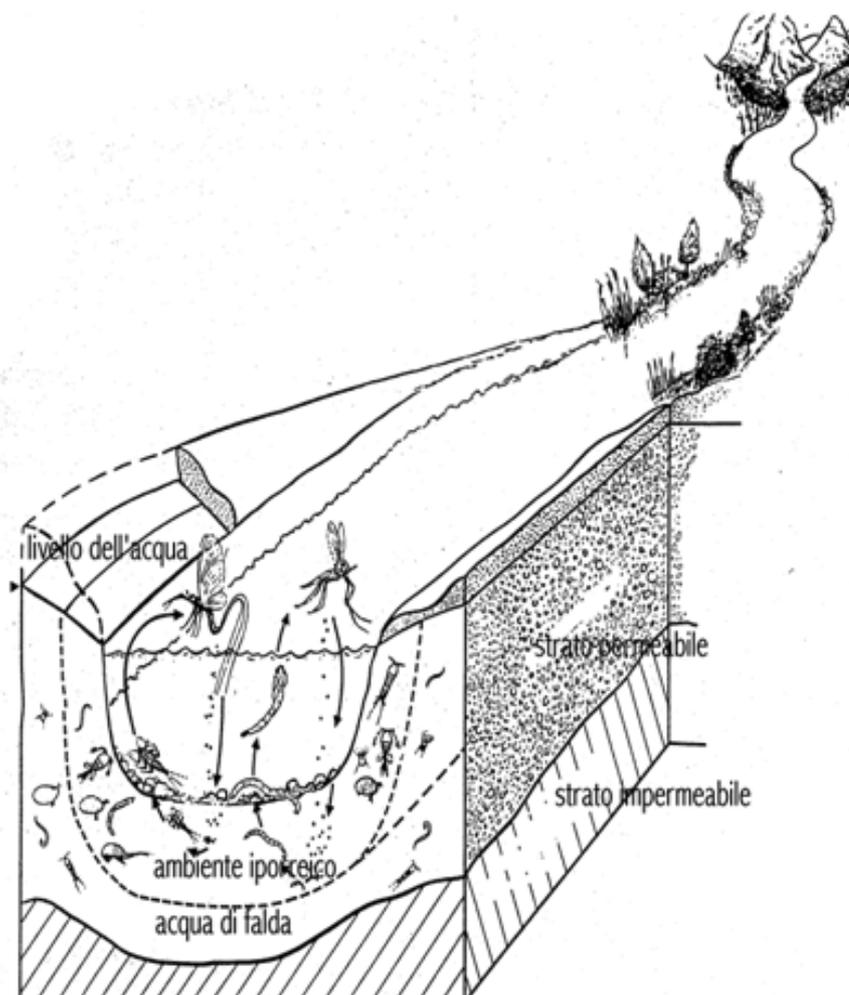


Fig. 6.2. Schema di distribuzione della fauna a macroinvertebrati in una sezione fluviale e delle interconnessioni esistenti nelle acque correnti fra i diversi habitat, che risultano intimamente correlati fra loro.

6.6. Metodiche

6.6.1. Analisi idromorfologica

Il monitoraggio degli effetti dovuti a diversi impatti sulle comunità biologiche risulta alquanto complesso. Per porre in relazione lo stato idromorfologico dei siti studiati e le caratteristiche della comunità biologica, è stata effettuata la caratterizzazione e la valutazione degli elementi determinanti la struttura in habitat e della qualità idromorfologica mediante l'applicazione del metodo CARAVAGGIO lungo tutto il F. Tresa, dalla sua origine alla sua immissione nel L. Maggiore. Sono state definite sulla carta regionale in scala 1:10000 della Regione Lombardia 26 possibili applicazioni del metodo sui 13 km totali di lunghezza del corso d'acqua.

In termini generali, la valutazione delle caratteristiche idromorfologiche è stata effettuata con le seguenti principali finalità:

- acquisire informazioni utili a caratterizzare gli habitat acquatici, in particolare in termini di caratteristiche idrologiche locali;
- quantificare l'alterazione morfologica dei siti di campionamento, sia che questa costituisca il principale tipo di impatto, sia che rappresenti una causa secondaria di alterazione della comunità biologica;
- ottenere informazioni utili all'interpretazione dei gradienti di variazione delle comunità biologiche, nel range di condizioni idrologiche osservate.

La reale fattibilità di tutte le applicazioni è stata verificata in fase di uscita in campo: infatti delle 26 possibili applicazioni ne sono state realizzate 19 (Fig. 6.3), per un totale di 9,5 km. Le rimanenti applicazioni non hanno potuto essere effettuate in quanto la morfologia fluviale, caratterizzata da pronunciate pendenze dei versanti e gole, la presenza di fondi privati nei pressi di Germignaga, o la folta vegetazione ne hanno impedito la visibilità, od ostacolato il raggiungimento e/o l'ingresso in alveo.

Per ciascun sito e ciascuna stagione, in cui si è svolto il campionamento chimico-biologico, è stata eseguita anche una stima della portata, espressa come il prodotto della velocità dell'acqua per l'area della sezione trasversale, grazie anche ai dati forniti dagli Enti gestori dello sbarramento a paratie mobili (Ufficio dei Corsi d'Acqua del Canton Ticino) e della diga di Creva (ENEL).

6.6.2. Analisi chimico-fisica delle acque

Per caratterizzare i siti di campionamento dal punto di vista chimico-fisico, in particolare in relazione ai nutrienti (composti del fosforo e dell'azoto), sono stati prelevati dei campioni in ogni stazione prevista per lo studio della comunità a macroinvertebrati, di seguito numerate da 1 a 4 partendo dal L. di Lugano. I campioni sono poi stati analizzati in laboratorio per temperatura, ossigeno disciolto, pH, conducibilità, alcalinità, ammonio, azoto totale, fosforo reattivo e totale, silicati, carbonio organico totale (TOC), principali anioni (nitrati, solfati, cloruri) e cationi (calcio, magnesio, sodio, potassio). Le metodiche utilizzate sono quelle in uso presso il laboratorio di chimica del CNR ISE (Tartari & Mosello, 1997).

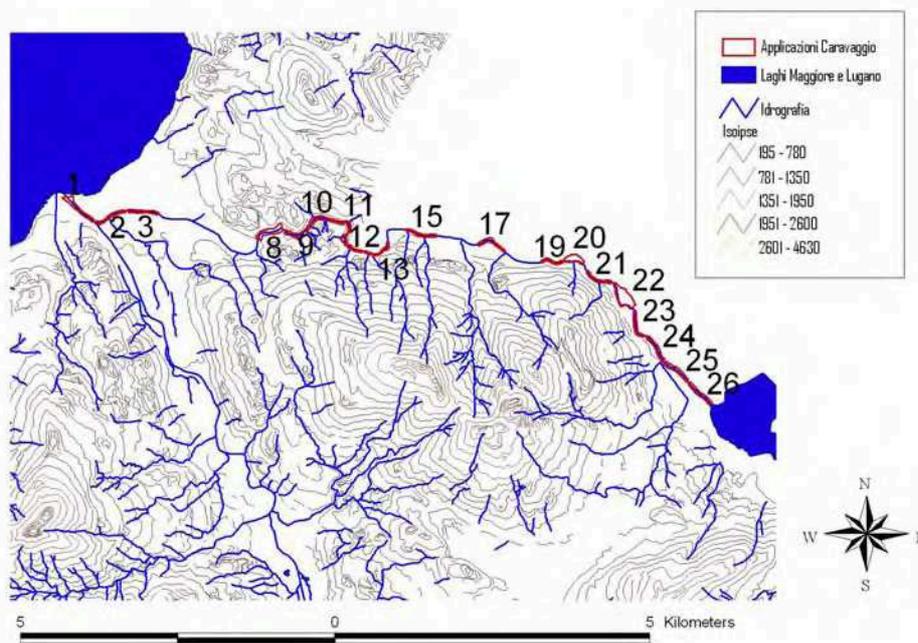


Fig. 6.3. Applicazioni del metodo CARAVAGGIO lungo il F. Tresa. Le aree evidenziate in rosso rappresentano le zone indagate.

6.6.3. Analisi granulometrica del sedimento alla foce

Le analisi granulometriche sono state effettuate unicamente su campioni raccolti in corrispondenza della foce del F. Tresa, in quanto nelle altre stazioni lungo il corso d'acqua, la parte fine e medio fine era molto scarsa e tale da inficiare i risultati ottenuti.

I campioni alla foce sono stati prelevati tramite draga di Ponar (area utile = 420 cm²) per un totale di 9 campioni, 3 per ogni fascia batimetrica considerata, a profondità comprese nelle fasce 5-10 m, 12-15 m, e 22-25 m, e corrispondenti rispettivamente alle fasce litorale, sublitorale e profonda. Per il dettaglio delle relative metodiche di laboratorio si veda il rapporto C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania (2009).

I tre campioni finali ottenuti dopo miscelamento delle repliche sono stati sottoposti ad una prima setacciatura manuale tramite setacci con maglie da 200 μ per eliminare la porzione di materia organica piú grossolana. Successivamente e per eliminare la componente organica, i campioni sono stati sottoposti a digestione tramite perossido di idrogeno 30 % stabilizzato, ad essiccamento in stufa a 50 °C e se ne è valutato il peso secco. I campioni sono poi stati sottoposti a setacciatura meccanica a secco, utilizzando setacci con maglie di dimensioni variabili (4000 μ , 900 μ , 500 μ , 250 μ , 125 μ , 63 μ , 45 μ e 38 μ) ed un raccoglitore dal fondo chiuso per il sedimento fine (<38 μ). Successivamente è stata calcolata la frazione trattenuta da ogni setaccio ed infine si è definita la frequenza cumulata percentuale. Sono state così ricavate le curve granulometriche relative a ciascun campione.

6.6.4. Campionamento dei macroinvertebrati e scelta delle stazioni di prelievo

Come noto, il recepimento della Direttiva 2000/60/CE ha richiesto per il monitoraggio delle acque superficiali, ed in particolare per le acque correnti,

l'adeguamento dei metodi di indagine alle esigenze di conformità dettate dalla normativa. Una delle richieste della Direttiva è quella di standardizzare il più possibile i metodi di indagine, al fine di rendere confrontabili i risultati ottenuti dai diversi operatori. Inoltre la Direttiva richiede che il protocollo adottato sia di tipo quantitativo, ovvero che nella definizione dello stato ecologico si tenga conto delle abbondanze della comunità.

In Aprile 2009 è stato eseguito un primo campionamento della fauna bentonica alla foce del F. Tresa, mentre i campionamenti lungo l'asta fluviale sono partiti nell'autunno 2009, in seguito alle avverse condizioni meteorologiche che si sono susseguite nel corso dell'anno e a causa di lavori che hanno interessato la diga di Creva fino alla fine di Giugno.

Il campionamento lungo il corso d'acqua è stato effettuato in due stagioni separate: autunno e primavera, per meglio rappresentare la comunità presente. La scelta dei siti si è basata su precedenti campionamenti effettuati da personale svizzero (St. 1 corrispondente ad un sito situato dopo lo sbarramento a paratie mobili e St. 2 nei pressi di una grossa isola all'interno dell'alveo) e nel sito situato sotto il muraglione della diga di Creva (St. 3), da personale di una cooperativa intervenuta con sopralluoghi al momento dello svuotamento dell'invaso nel 1997. La stazione 4, l'unica mai valutata precedentemente, corrisponde ad un'area antecedente la confluenza con la Margorabbia.

La metodologia di campionamento adottata lungo l'asta fluviale ha considerato un tratto di fiume rappresentativo della lunghezza di 10-15 m. In un fiume come il Tresa, con portata costante ed elevata profondità (sempre superiore al metro), il campionamento è stato effettuato in siti raggiungibili facilmente e senza pericolo dagli operatori.

Non è mai stato possibile effettuare il campionamento seguendo un transetto che congiungeva le due sponde, il fiume presenta infatti sempre in tutte le stazioni aree con velocità di corrente elevata, a forte erosione e quindi molto più profonde. Si è allora deciso di campionare lungo il transetto prescelto fino a dove la profondità ne permetteva la percorrenza, risalendo poi per una decina di metri il letto e ritornando infine a riva, descrivendo così un rettangolo. In questo modo si sono ricoperti un buon numero di microhabitat.

Il campionamento è stato condotto secondo la metodica multihabitat proporzionale, basandosi sulla stima della composizione in microhabitat. Dieci repliche sarebbero dovute essere posizionate nel tratto di *riffle* e 10 nel tratto di *pool*, poiché le due aree in genere presentano estensioni simili e comunità differenti (Buffagni et al., 2004). Nel nostro caso si è deciso di prelevare un massimo di 10 repliche per sito utilizzando un retino immanicato. Tale retino è costituito da un telaio a mezzaluna in acciaio di circa 24,5 L x 19,0 H cm a cui è stata apposta una seconda intelaiatura collegata alla bocca di ingresso di circa 21,8 x 21,8 cm, ottenendo così un'area di riferimento per la stima delle abbondanze. Il retino è dotato di manico, sempre in acciaio, lungo circa 150 cm e di una rete tetraedrica in nylon a maglie di 210 μm fissata al telaio da una parte ed al bicchiere di raccolta dall'altra. Il retino è stato posto in acqua con il lato inferiore del telaio ben aderente al fondale. Con le mani e con i piedi si sono sollevate le pietre o si è smosso il fondale ghiaioso o limoso a ridosso dell'imboccatura, in modo che gli organismi distaccati venissero raccolti nella rete. Le repliche raccolte sono state tenute separate, ogni sito risulta quindi rappresentato da più campioni.

Per migliorare la confrontabilità fra applicazioni del metodo CARAVAGGIO ed i dati della componente biologica, si è fatto coincidere il campionamento biologico con

uno degli *spot-checks* previsti dal rilevamento delle caratteristiche idromorfologiche. In particolare si è scelto il penultimo *spot-check* (partendo da monte), così come consigliato dal metodo.

I campioni prelevati alla foce sono stati condotti in periodo corrispondente alla circolazione primaverile del lago ed in fase successiva alla stratificazione estiva (autunno). La scelta dei punti di campionamento è stata eseguita tenendo conto della zonazione verticale del lago (litorale, sublitorale e profonda) e del tipo di sedimento. In questo studio è stata adottata la seguente suddivisione del sedimento lacustre in base al profilo della profondità:

- Zona Litorale: corrisponde alla zona eufotica (bene illuminata), compresa tra la linea di costa ed alcuni metri di profondità, che in genere coincide con il limite di sviluppo delle macrofite sommerse;
- Zona Sublitorale: corrisponde ad una zona più scarsamente illuminata e al metalimnio (= termoclinio estivo, quando il lago si trova nella condizione di massima stratificazione) o, nei laghi con buona trasparenza delle acque, si estende dopo il limite inferiore della fascia colonizzata da macrofite sommerse; spesso è una zona di deposito di conchiglie di molluschi (*shell zone*);
- Zona Profonda: corrisponde alla zona ipolimnica del lago, poco o nulla illuminata, ed è costituita in genere da sedimento fine.

Ai fini della nostra ricerca si è infine deciso di presentare i dati relativi alla sola fascia litorale, in quanto maggiormente confrontabile con le altre situate lungo il corso del fiume e con l'applicazione CARAVAGGIO per la valutazione idromorfologica.

I campioni alla foce sono stati prelevati tramite la stessa draga utilizzata per la raccolta dei campioni per l'analisi granulometrica. La fauna bentonica è stata quindi prelevata in 3 stazioni, in triplo, raccogliendo uno strato di sedimento spesso circa 10-15 cm. I 9 campioni di sedimento raccolti sono stati sciacquati in campo, utilizzando un retino a bocca quadrata (apertura maglie 250 µm) per liberare il campione dal detrito più fine. Le frazioni raccolte sono state collocate in barattoli in PVC a bocca larga di volumetria diversa a seconda delle dimensioni dei campioni: 2 litri, 1 litro, 800 ml oppure 400 ml.

In entrambe le tipologie di campioni raccolti si è aggiunta formalina al 8 % per poter essere conservati anche per lunghi periodi. Una volta fissati i campioni sono stati trasportati in laboratorio dove sono stati smistati sotto uno microscopio stereoscopico (Zeiss Stemi 2000) nei principali gruppi tassonomici, passati in alcool 50 %, ed infine identificati.

Il livello di determinazione degli organismi, differente per i diversi gruppi bentonici, è stato di norma quello di famiglia, genere o specie a seconda dei gruppi considerati e dello stato di conservazione. Gli Oligocheti sono stati solamente conteggiati senza tenere conto della suddivisione nelle diverse famiglie, mentre i Ditteri Chironomidi sono stati suddivisi nelle principali sottofamiglie e contati. In questo modo è stato possibile assegnare ciascuna sottofamiglia ad un determinato gruppo funzionale (vedi paragrafo 6.7. Risultati) per l'elaborazione successiva.

6.6.5. Determinazione del contenuto in acqua, sostanza organica e carbonati

Sugli stessi campioni prelevati alla foce per lo studio della fauna bentonica, sono stati determinati il contenuto in acqua, la sostanza organica ed il carbonio presente.

Anche in questo caso, per il dettaglio delle relative metodiche di laboratorio si veda il rapporto C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania (2009).

Circa 30 g del contenuto della draga, preventivamente omogeneizzato, è stato riposto in piccoli contenitori cilindrici (volume ~30 ml), siglati e preventivamente tarati.

Al rientro in laboratorio il materiale umido prelevato è stato pesato con bilancia analitica e messo a seccare in stufa a 60 °C per 48 ore per l'analisi del contenuto in acqua. Successivamente dal peso umido è stato sottratto quello secco e sui dati ottenuti è stata eseguita la media. In seguito, ogni campione è stato omogeneizzato con il pestello e da ciascuno sono state prelevate tre aliquote e messe in crogioli in nichel. Sulle tre aliquote sono state stimate la concentrazione di sostanza organica e carbonati, espressi come percentuale di peso secco. I valori di carbonato sono stati poi corretti per un fattore di 1,36, impiegato quando si intende valutare la perdita di CO₂ legata ai carbonati in generale.

Sui valori ottenuti da ciascuna aliquota è stata effettuata la media, per avere un dato univoco per ogni replica dei campioni.

6.7. Risultati

6.7.1. Caratteristiche idromorfologiche

I dati raccolti in campo attraverso la compilazione delle schede così come previste nel metodo CARAVAGGIO sono stati poi riversati in un database dedicato attraverso il quale sono stati elaborati i tre indici sintetici (HMS, HQA, LRD), i più rappresentativi per le indagini in atto, e che danno maggiori informazioni per la definizione ecologica globale del F. Tresa.

Nella figura 6.4. sono riportati gli indici di Alterazione morfologica (HMS) e di Qualità degli habitat (HQA) per ciascuna delle 19 applicazioni del metodo.

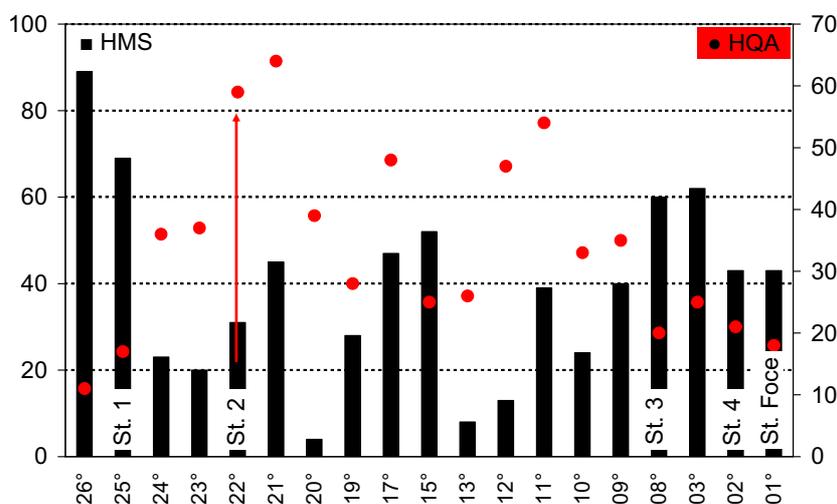


Fig. 6.4. Indici HMS (Alterazione morfologica) e HQA (Qualità ambientale) applicati sul F. Tresa.

L'Indice HMS (Fig. 6.4) varia da un minimo di 4, nell'applicazione 20 nei pressi di una vecchia peschiera di anguille ormai in disuso, dove si trova un'isola che divide il corso d'acqua in due rami e dove si ha un'elevata naturalità del fiume, ad un massimo di 89, all'uscita dal L. di Lugano. Tra questi due valori se ne trovano altri caratteristici di zone particolarmente naturali, quindi con un HMS basso, come ad esempio a 1,5 km a monte della diga di Creva in prossimità della galleria, dove il corso d'acqua scorre in regime tipicamente torrentizio su substrato roccioso, creando curve e salti. Per contro si hanno poi 10 aree indagate (corrispondenti a 5 km di fiume) con un HMS superiore a 40, caratteristico di situazioni di elevata alterazione idromorfologica. In particolare da segnalare, la fascia a valle della dogana di Ponte Cremenaga, all'interno della quale si situa la St. 1, la zona a cavallo della diga di Creva, a valle della quale è situata la St. 3, e la zona corrispondente alle ultime tre applicazioni prima dello sbocco nel L. Maggiore, comprendente la St. 4.

Per quanto riguarda l'Indice di Qualità degli habitat (Fig. 6.4), esso varia tra un minimo di 11, all'uscita dal L. di Lugano ed un massimo di 64, nei 500 m successivi alla St. 2. Da segnalare 10 aree indagate con HQA superiore a 30, comprensive della St. 2, e più in generale di quelle zone caratterizzate da una bassa alterazione.

In figura 6.5 si riportano la distribuzione spaziale dell'indice sintetico di alterazione (HMS/HQA).

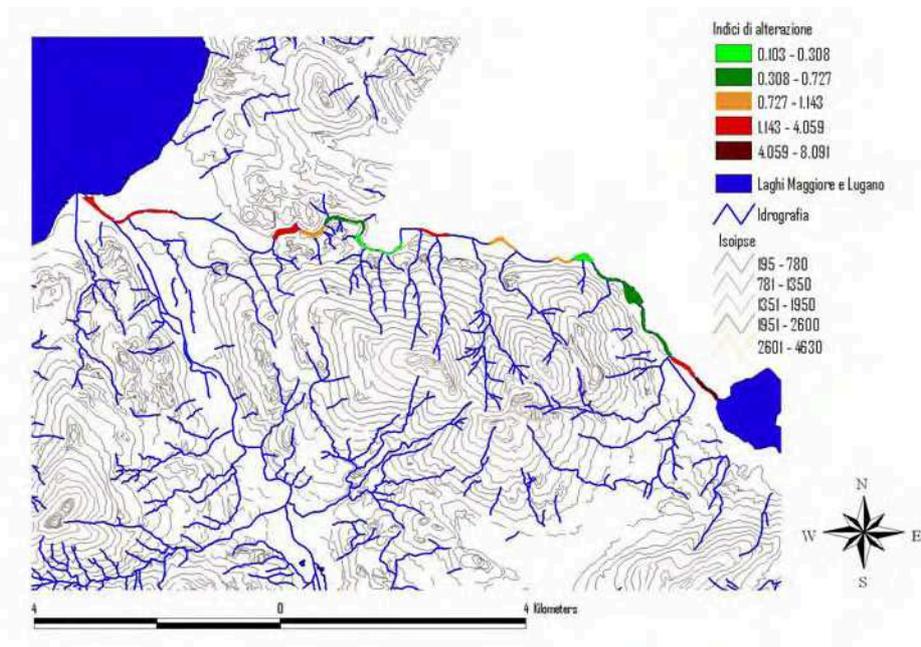


Fig. 6.5. Elaborazione cartografica dell'indice sintetico di alterazione (HMS /HQA) sul F. Tresa.

Secondo quanto richiesto da Direttiva per la classificazione idromorfologica del sito in esame si deve procedere infine, al calcolo del Rapporto di Qualità Ecologia (EQR) per i due indici HMS e HQA. Dalla media dei due EQR si valuta la classe di appartenenza del sito, sapendo che 0,85 è il limite inferiore per la classe di qualità elevata, e 0,63 è il limite inferiore per la classe di qualità buona. L'EQR medio del sito è pari a 0,57, quindi risulta inferiore al limite più basso della classe di qualità buona, ad indicare la sua appartenenza ad una classe di qualità moderata.

Per quanto riguarda le indicazioni relative all'indice LRD (Descrittore lentic/lotico; Fig. 6.6) esso separa i tratti caratterizzati da un regime palesemente torrentizio, da quelli caratterizzati da velocità di corrente inferiori, a volte dovuti ad alterazioni del regime idrologico naturale, come per esempio nel caso della diga di Creva.

I tratti più naturali sono definiti da un indice negativo, nel nostro caso, con valori minimi compresi fra -58, nei 500 m a valle di un'isola più piccola situata in alveo, e -5, in prossimità della foce, così com'è naturale aspettarsi all'ingresso di un grande lago. In generale, i valori positivi indicano invece un'alterazione del regime torrentizio e quindi della naturalità idrologica del fiume. Sul F. Tresa variano da 2,4 nei pressi della St. 2 ad un massimo di 40,5 a valle della diga di Creva (St. 3). Complessivamente solo 4 aree (2 km) di fiume sono particolarmente alterate da un punto di vista idrologico.

Nella figura 6.7 è riportato l'andamento dell'indice LRD lungo il corso del fiume. Si nota molto chiaramente come i valori si mantengono al di sotto del valore zero fino alla presenza di zone e manufatti che ne alterano l'idrologia (e.g. lo sbarramento a paratie mobili e la diga di Creva, rispettivamente rappresentati da valori pari a 4 e 41). Anche in corrispondenza dell'isola (applicazione 22) si è calcolato un valore di LRD positivo, pari a 2, pur non essendoci manufatti artificiali; tale valore rientra in una condizione di naturalità dovuta proprio alla presenza dell'isola stessa, che rappresenta un ostacolo al

normale flusso di corrente; infatti, appena superata, si ritrovano valori tipici di un ambiente torrentizio

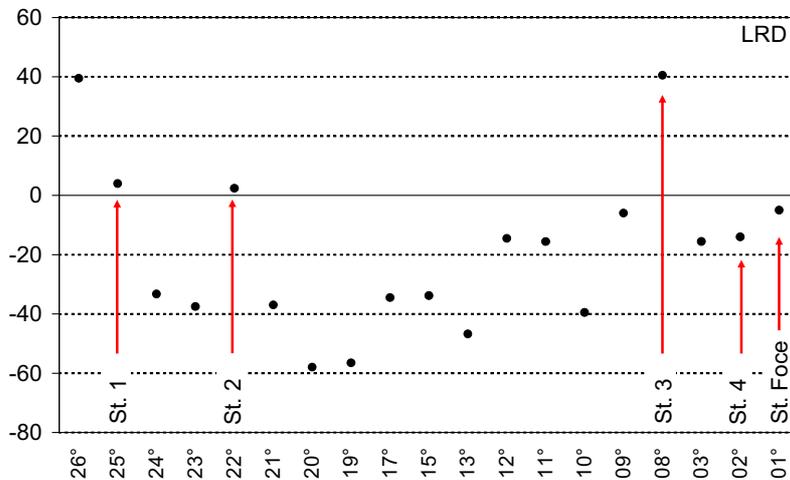


Fig. 6.6. Indice LRD (Descrittore Lentico/Lotico) applicato sul F. Tresa.

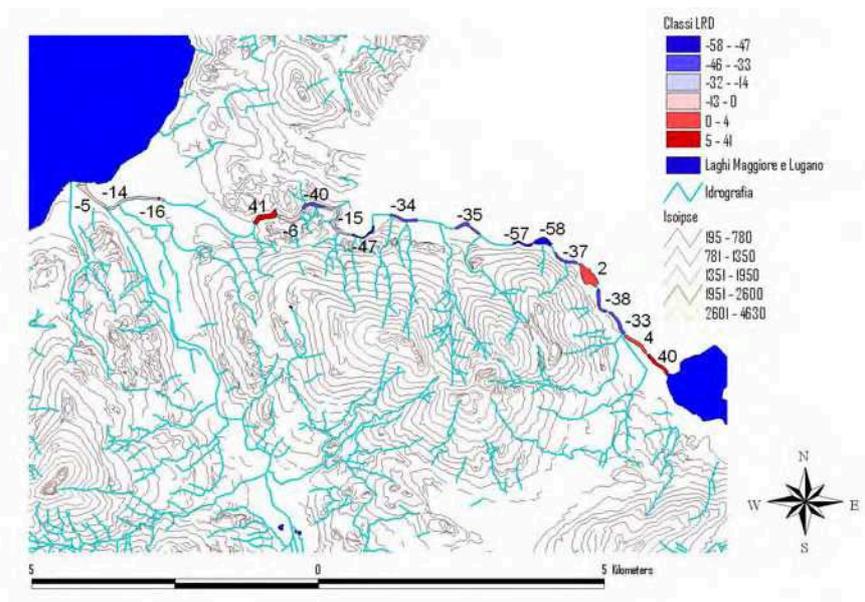


Fig. 6.7. Indice LRD (Descrittore Lentico/Lotico) applicato sul F. Tresa.

6.7.2. Caratteristiche chimico-fisiche delle acque

Le acque del F. Tresa, nel punto di immissione a lago, sono oggetto di indagine dal punto di vista chimico dall'inizio degli anni '70, nell'ambito delle ricerche finanziate dalla Commissione Internazionale per la Protezione delle Acque Italo-Svizzere. Questa serie di dati, raccolti con frequenza mensile, permette di seguire l'evoluzione delle caratteristiche chimiche del corso d'acqua nel tempo, in particolare il trend dei composti del fosforo e dell'azoto, maggiormente indicativi dello stato qualitativo delle acque.

L'idrochimica è quella tipica di un corso d'acqua impostato in un bacino prevalentemente a base di rocce ignee, ma contenente anche rocce sedimentarie più solubili; infatti, rispetto alla maggior parte dei tributari del L. Maggiore, si caratterizza per valori leggermente più elevati di pH, conducibilità e alcalinità (rispettivamente 8,1 unità di pH, $110 \mu\text{S cm}^{-1}$ a 20°C e $1,8 \text{ meq l}^{-1}$). Calcio e bicarbonati rappresentano gli ioni principali, contribuendo rispettivamente al 30 e 40 % circa del contenuto ionico totale, seguiti dal magnesio (13 % circa), mentre i restanti ioni contribuiscono in misura inferiore al 6 %. Trattandosi dell'emissario di un lago, il Lugano, alcune variabili chimiche nelle acque del F. Tresa presentano un andamento stagionale che risente, oltre che dell'idrologia, anche dei processi a lago; ne sono un esempio i massimi estivi ed i minimi invernali dei valori di pH, legati all'attività biologica nelle acque lacustri.

Il fiume è stato caratterizzato, come altri tributari del L. Maggiore, da un miglioramento della qualità delle acque dalla seconda metà degli anni '80 grazie alla realizzazione di interventi per la riduzione dei tenori di fosforo (diversione e depurazione degli scarichi, riduzione del contenuto di fosforo nei detersivi). Come risultato le concentrazioni di fosforo reattivo e totale sono passate da circa 50 e $100 \mu\text{g P l}^{-1}$ rispettivamente negli anni '70 ed '80, agli attuali valori di 15-20 e $40 \mu\text{g P l}^{-1}$.

Dal 1978 sono disponibili anche i dati annuali dei carichi di fosforo ed azoto veicolati da questo fiume al L. Maggiore, calcolati in base alle concentrazioni misurate mensilmente ed ai dati giornalieri di portata. Analogamente alle concentrazioni, anche i carichi di fosforo totale sono diminuiti progressivamente e si attestano attualmente attorno a 20 t P a^{-1} . Il F. Tresa, con Ticino immissario, Maggia e Toce, rappresenta uno dei tributari principali in termini di afflussi a lago ed i carichi di fosforo e azoto veicolati da questo corso d'acqua rappresentano rispettivamente circa il 20 % e 14 % del totale (C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania, 2009).

Le caratteristiche chimiche del corso d'acqua nelle 4 stazioni di campionamento negli anni 2009 e 2010 sono riportate in tabella 6.1, a confronto con i dati rilevati alla foce negli stessi periodi.

Il confronto tra i due anni di campionamento (2009 e 2010) mostra un contenuto di soluti più elevato nel secondo anno per tutte le stazioni, come evidenziato anche dai valori di conducibilità che risultano superiori di circa $20 \mu\text{S cm}^{-1}$ nel 2010. Il motivo è da ricercare nei diversi momenti stagionali in cui sono stati eseguiti i campionamenti del 2010 (Aprile) e del 2009 (Ottobre): le acque presentano infatti un andamento stagionale con massimi di conducibilità e concentrazioni dei soluti nei mesi invernali e di inizio primavera, seguiti da una brusca diminuzione a partire in genere da maggio. Le concentrazioni si mantengono basse fino a settembre-ottobre, per poi riprendere ad aumentare.

In figura 6.8. è riportato lo spettro ionico delle acque del F. Tresa nelle 4 stazioni di campionamento lungo il corso d'acqua ed alla foce, considerando i valori medi dei due anni di studio (2009-2010).

Tab. 6.1. Caratteristiche chimiche delle acque nei punti di campionamento sul F. Tresa nel 2009 e 2010, a confronto con i dati rilevati alla foce negli stessi periodi.

Stazioni	Data	Temp. °C	pH	Cond. μS cm ⁻¹	Alc. meq L ⁻¹	Cl mg L ⁻¹	SO ₄ mg L ⁻¹	N-NO ₃ μg L ⁻¹	N-NH ₄ μg L ⁻¹	Ca mg L ⁻¹	Mg mg L ⁻¹	Na mg L ⁻¹	K mg L ⁻¹	RP μg L ⁻¹	TP μg L ⁻¹	TN mg L ⁻¹	Si mg L ⁻¹	TOC mg L ⁻¹
St. 1	28/10/09	15,5	8,49	203,3	1,767	7,4	11,8	829	26	27,2	7,8	6,1	1,6	3	13	1,12	0,7	1,61
St. 2	28/10/09	15,5	8,31	207,0	1,768	7,6	12,2	941	25	27,4	8,0	6,3	1,7	4	18	1,15	0,9	1,58
St. 3	06/11/09	13,0	8,12	209,4	1,817	7,7	11,7	981	65	27,0	7,7	6,3	1,7	7	12	1,21	0,9	1,50
St. 4	20/10/09	15,0	8,16	202,2	1,691	7,6	11,9	917	99	25,7	7,8	6,4	1,8	6	21	1,20	0,8	1,59
St. 1	27/04/10	14,5	8,68	225,9	1,997	8,2	13,3	1110	48	32,3	7,9	6,4	1,6	4	14	1,30	0,2	1,42
St. 2	27/04/10	14,0	8,36	228,7	1,984	8,4	13,7	1235	50	32,6	8,2	6,6	1,7	8	23	1,41	0,5	1,37
St. 3	22/04/10	11,0	8,30	222,5	1,983	8,4	13,3	1113	80	32,2	7,9	6,5	1,6	5	17	1,33	0,2	1,50
St. 4	22/04/10	11,5	8,44	221,2	1,974	8,4	13,3	1129	78	32,5	8,0	6,5	1,6	6	14	1,31	0,2	1,39
St. Foce	12/10/09	14,0	7,95	216,1	1,853	8,3	12,2	1154	108	28,2	8,3	6,9	1,9	14	29	1,32	1,0	1,53
St. Foce	02/11/09	11,0	8,02	223,6	1,981	7,9	13,3	1209	99	29,5	8,5	6,7	1,7	18	25	1,35	1,0	1,53
St. Foce	12/04/10	8,5	8,01	226,5	2,107	8,2	12,1	1235	60	33,2	8,1	6,6	1,7	10	34	1,38	0,9	1,40

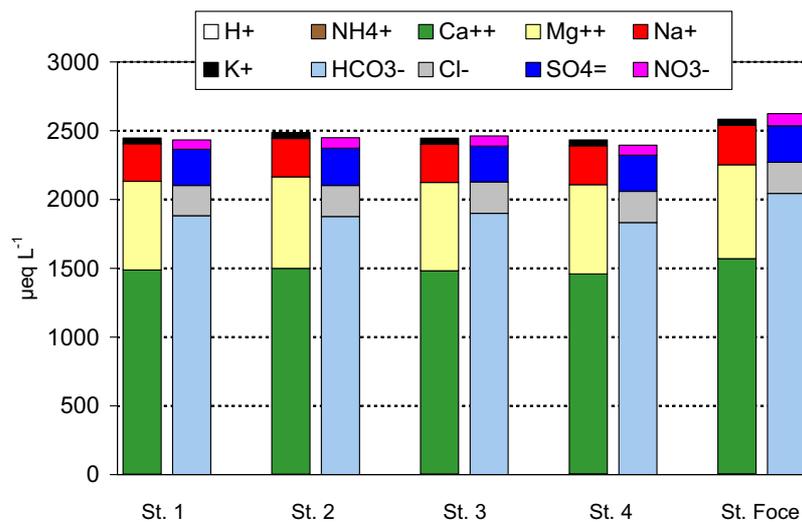


Fig. 6.8. Spettro ionico delle acque del F. Tresa nelle 4 stazioni di campionamento e alla foce (valori medi 2009-2010).

Il confronto non evidenzia differenze significative per quanto riguarda gli ioni principali: il contenuto ionico totale risulta infatti molto simile nelle 4 stazioni ($4800-4900 \mu\text{eq l}^{-1}$) e solo leggermente più elevato alla foce (circa $5200 \mu\text{eq l}^{-1}$; Fig. 6.8). Quest'ultima si discosta dalle stazioni di campionamento lungo il corso del fiume per il contenuto leggermente maggiore di fosforo ($25-30 \mu\text{g P l}^{-1}$ come fosforo totale rispetto a valori compresi tra 12 e $23 \mu\text{g P l}^{-1}$ nelle stazioni 1-4; Tab. 6.1). La stazione più simile alla foce dal punto di vista del chimismo è la stazione 4, situata poco prima della confluenza con la Margorabbia; l'immissione di questo corso d'acqua non determina quindi modificazioni particolarmente accentuate, anche in termini di nutrienti. Valori leggermente più elevati di fosforo (e, nel caso del 2010, anche di azoto totale) caratterizzano la stazione 2, probabilmente a causa della presenza di materiale organico.

Nel complesso i dati non dimostrano quindi un effetto dovuto alla presenza della diga sulla chimica delle acque del fiume, né per quanto riguarda i principali soluti, né i nutrienti.

6.7.3. Caratteristiche tipologiche del sedimento

L'analisi granulometrica del sedimento ci ha permesso di suddividere il sedimento della foce in tre tipologie principali: ciottoli fini, sabbia e silt (Fig. 6.9). In particolare e così come era da aspettarsi, la stazione litorale (St. 1) appare composta da materiali più grossolani rispetto alle altre due situate a maggiori profondità.

Dall'analisi del contenuto in acqua e sostanza organica, si rileva un'elevata concentrazione d'acqua all'interno dei sedimenti ($>60\%$; Fig. 6.10.a), indice di un sedimento soffice, concentrazioni in sostanza organica sempre $<20\%$ ed una scarsa presenza di carbonati. In media, si assiste ad una maggior presenza di sostanza organica nella stazione 2 sublitorale, per tornare a diminuire nella stazione più profonda (Fig. 6.10.b).

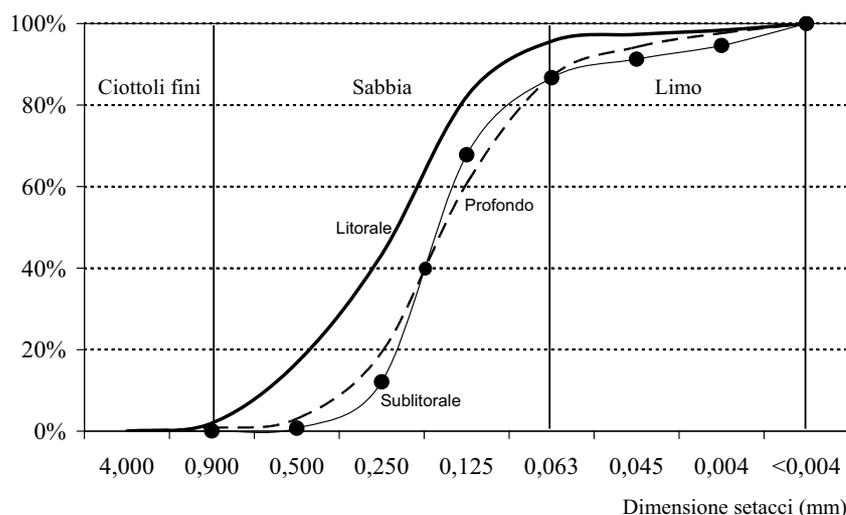


Fig. 6.9. Curve granulometriche relative alle tre stazioni campionate alla foce del F. Tresa. Linea continua: Litorale; linea continua con pallini neri: Sublitorale; linea tratteggiata: Profondo.

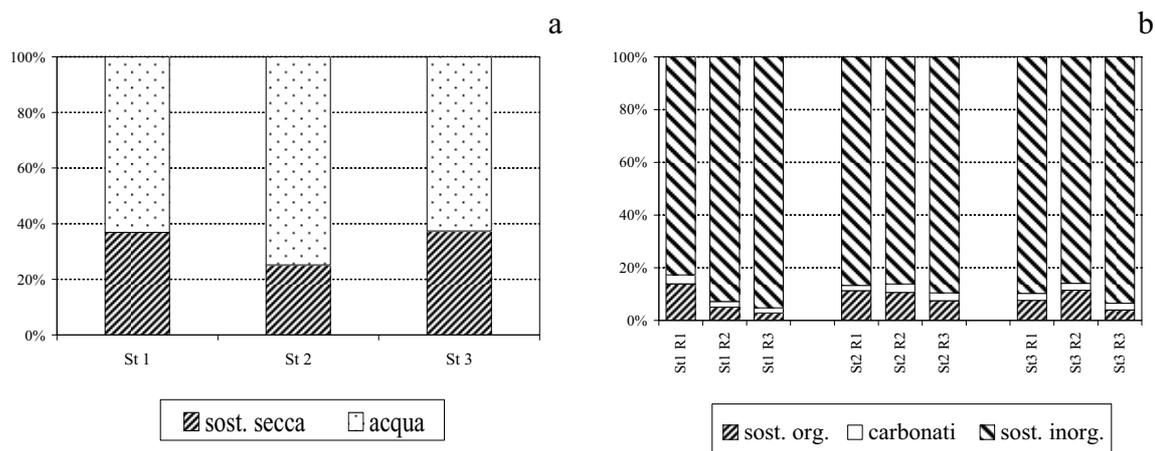


Fig. 6.10. a: contenuto in acqua. b: contenuto in sostanza organica e carbonati all'interno dei sedimenti alla foce del F. Tresa.

6.7.4. Comunità a macroinvertebrati

In tutte le stazioni considerate lungo l'asta fluviale ed alla foce gli Oligocheti costituiscono il gruppo più abbondante (>58 %), mentre gli Insetti rappresentano il 37 % della comunità. Fra gli Insetti, i Ditteri, in particolare i Chironomidi dominano sugli altri gruppi (28 %; Fig. 6.11).

Se si analizzano singolarmente le stazioni dislocate lungo il corso del fiume (Fig. 6.12), numerate in ordine crescente da monte a valle, si può notare come in tutte si abbia il prevalere di Oligocheti e Ditteri, con densità anche elevate soprattutto nelle prime due stazioni in Svizzera, situate a valle della soglia a paratie mobili ed a monte della diga (>35000 ind m² e >15000 ind m²), dove maggiormente si risente dell'effetto causato dalle due interruzioni dell'habitat fluviale che causano un rallentamento di corrente con

maggiori depositi di particellato e sostanza organica. Da rilevare come la stazione italiana subito sotto la diga sia quella che presenta le densità inferiori fra i siti considerati, sempre $<20000 \text{ ind m}^2$ in entrambe le stagioni considerate. La stazione successiva (St. 4) mostra un recupero sulle densità, ma non sulla diversificazione della comunità, mentre la stazione alla foce rappresenta la tipica condizione di un habitat litorale lacustre non vegetato dove nuovamente la struttura di comunità è abbastanza semplificata.

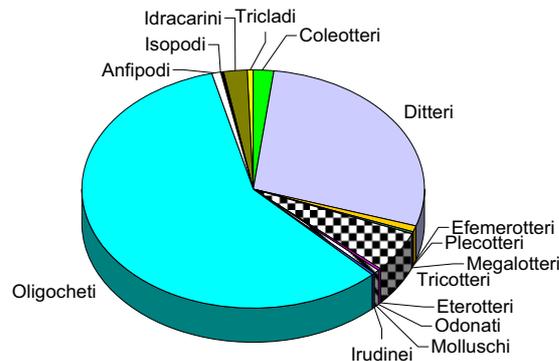


Fig. 6.11. Rappresentazione schematica percentuale della struttura di comunità complessiva del F. Tresa.

Inoltre, le due stazioni svizzere a monte della diga presentano una comunità più complessa e strutturata, rispetto alle rimanenti stazioni, costituita anche da Tricotteri, Coleotteri, Idracarini, Efemerotteri, Plecotteri e Turbellari, in ordine decrescente di importanza. Abbondanze maggiori si sono riscontrate nella stazione 2 situata presso l'area golenale, in condizioni di maggior naturalità. I Molluschi sono più abbondanti in queste stazioni e nella stazione alla foce, dove l'acqua rallenta il suo corso.

Immediatamente al di sotto della diga si assiste, come già osservato, ad un depauperamento della comunità per la scarsa presenza di Coleotteri e Plecotteri e la forte diminuzione di Efemerotteri e Turbellari.

Ai campioni prelevati nel corso del 2009 e del 2010 sono state applicate una serie di metriche per evidenziare o corroborare quanto trovato attraverso l'analisi idromorfologica: diversità di Shannon, EPT (ricchezza in famiglie di Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri), OCH (ricchezza in famiglie di Odonati, Coleotteri ed Eterotteri), GOLD (ricchezza in famiglie di Gasteropodi, Oligocheti e Ditteri).

La figura 6.13 mostra come, sia in primavera, ma in modo più drastico in autunno, la diversità cada spostandosi dal L. di Lugano verso il L. Maggiore. In primavera si nota una significativa diminuzione nella stazione sotto diga (St. 3), mentre nelle stazioni successive tende a stabilizzarsi. In Autunno, dopo sei mesi di mancato funzionamento della diga, la forte portata dell'acqua ($80 \text{ m}^3 \text{ sec}^{-1}$) protratta nel tempo, ha un'influenza negativa sulla fauna, accentuando la dissimilarità fra stazioni sopra (St. 2) e sotto la diga (St. 3), dando luogo ad una scarsa diversità anche nelle stazioni successive alla stazione 3, indice di una scarsa ricolonizzazione in atto nell'alveo. Da notare l'elevata diversità all'uscita dal L. di Lugano perché le forti piogge probabilmente hanno ampliato il processo di drift dal lago, dando luogo al cosiddetto "effetto lago".

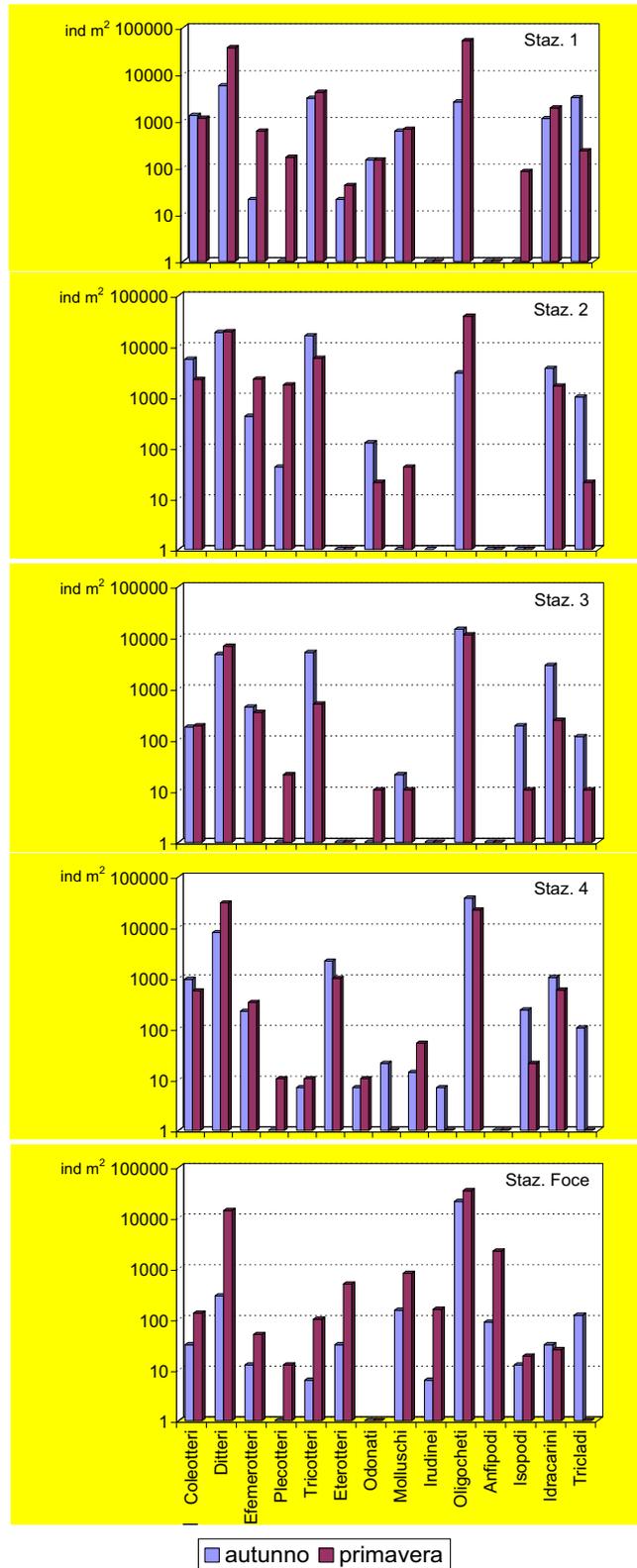


Fig. 6.12. Sviluppo della comunità a macroinvertebrati lungo l'asta fluviale (stazioni da 1 a 4) e alla foce del fiume.

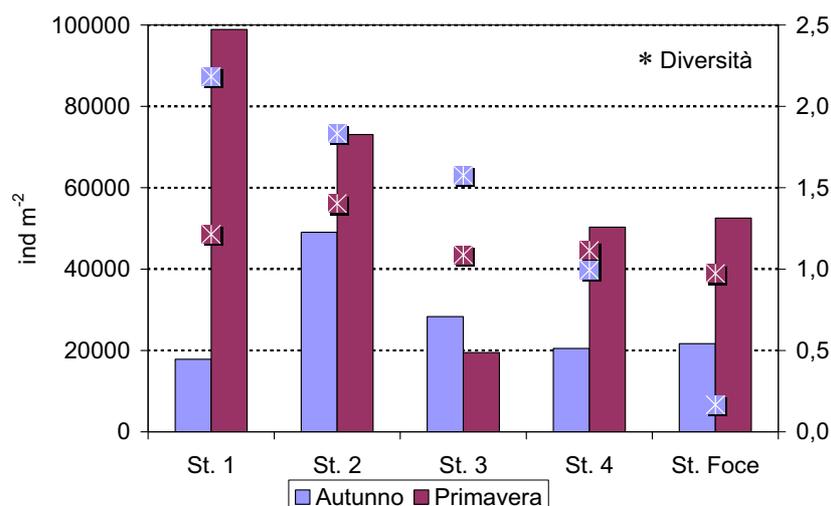


Fig. 6.13. Andamento delle abbondanze e dell'Indice di Diversità di Shannon lungo il F. Tresa.

Per mettere in evidenza l'organizzazione trofico-funzionale della comunità si è creata una classificazione dipendente dal sistema di acquisizione del cibo Merrit & Cummins (1996) e Tachet *et al.* (1996). Si sono quindi individuate cinque categorie:

- **Erbivori sminuzzatori** di materia organica particellata di grosse dimensioni, foglie e microbi associati.
- **Raccoglitori** di materia organica particellata di piccolissime dimensioni e microbi associati, suddivisi in:
 1. *Filtratori*: utilizzano la materia organica particellata presente in sospensione nell'acqua
 2. *Detritivori*: utilizzano la materia organica particellata associata al sedimento.
- **Predatori** di altri organismi, che ingeriscono per intero, o di cui succhiano i fluidi.
- **Raschiatori** di perfiton e delle comunità microbiche incrostanti.
- **Dieta mista**: in questa categoria sono stati inseriti tutti quei macroinvertebrati con alimentazione diversificata.

Nell'insieme (Fig. 6.14) il fiume è rappresentato essenzialmente da raccoglitori (75 %), siano essi filtratori o detritivori, così come ci si aspettava sulla base del Modello del River Continuum nei tratti di fiume più larghi e situati più a bassa quota. Questo anche in relazione alla struttura di comunità trovata e alla presenza costante di particellato e sostanza organica nei sedimenti di fondo. Secondi ad essi risultano gli erbivori (19 %) anch'essi associati all'abbondante presenza di foglie ed altro detrito organico grossolano.

Lungo l'asta fluviale si riconoscono però delle differenze strutturali (Fig. 6.15): nella prima stazione, situata sotto lo sbarramento a paratie mobili, la comunità presenta pochi filtratori in quanto la maggior parte del particellato viene trattenuto dalla soglia stessa. A monte della diga, nella stazione golenale più naturale, la comunità è strutturata in modo più equilibrato fra le varie componenti, mentre sotto la diga si inizia ad osservare uno squilibrio con una preponderanza di raccoglitori, soprattutto detritivori, che va aumentando sino alla foce, dove rispecchia una situazione più tipicamente lacustre. Si assiste inoltre alla graduale riduzione degli erbivori sminuzzatori, in quanto a partire

dalla diga l'alveo fluviale si incunea in gole allontanandosi dalla parte vegetata delle sponde, mentre dopo la confluenza con il T. Margorabbia e sino alla foce, le rive sono rinforzate con cemento, cubi in cemento (*rip-rap*) o gabbioni.

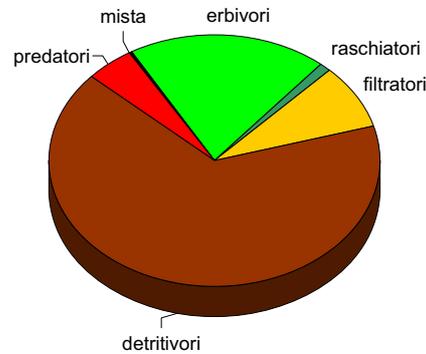


Fig. 6.14. Rappresentazione schematica percentuale della struttura di comunità complessiva del F. Tresa basata sui gruppi funzionali

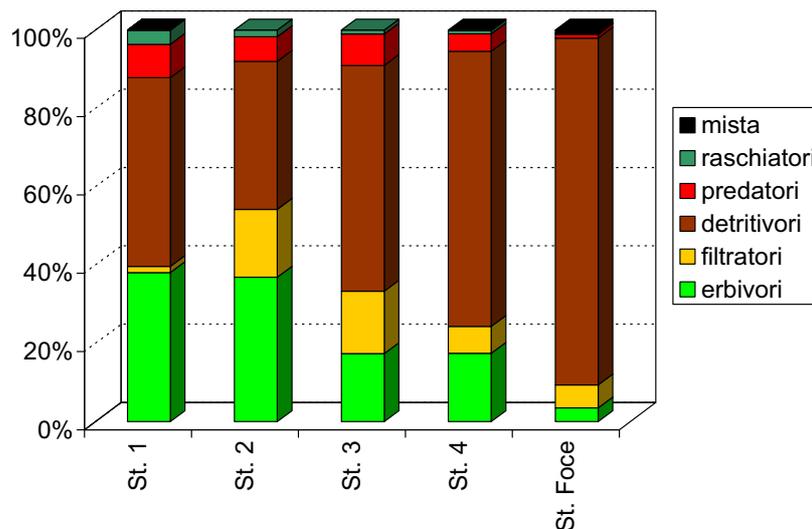


Fig. 6.15. Sviluppo dell'organizzazione trofico-funzionale della comunità a macro-invertebrati del F. Tresa lungo il suo corso e alla foce.

Inoltre, se si considerano quelle famiglie che meglio rappresentano il carattere lentico o lotico di un sistema, nella fattispecie Odonati, Coleotteri ed Eterotteri oppure Gasteropodi, Oligocheti e Ditteri nel primo caso, ed Efemerotteri, Plecotteri e Tricotteri nel secondo (Fig. 6.16), si vede come dopo la diga di Creva e all'entrata nel L. Maggiore, si abbia una significativa diminuzione di famiglie reofile, mentre le altre due metriche (OCH e GOLD), che hanno un andamento pressoché simile, indicano un progressivo aumento del carattere lentico degli habitat considerati a partire dalla St. 3 sotto diga. Questo a significare che la diga rappresenta una forte interruzione al flusso naturale della corrente e che quest'ultima non è più in grado di recuperare il suo carattere torrentizio tipico, nel suo ultimo tratto. Per quanto riguarda la stazione 2 si

potrebbe pensare ad un'incongruenza con quanto detto nel paragrafo delle caratteristiche idromorfologiche, parlando di Descrittore Lentico/Lotico, in quel caso già a livello di questa stazione si osservava un rallentamento della corrente perché l'isola rappresentava uno "sbarramento" naturale inserito in alveo. Il campionamento biologico però è stato effettuato solamente nel ramo principale del fiume, non prendendo in considerazione il ramo secondario che separa l'isola dalla terra ferma, alterando quindi, in parte, il reale andamento dei dati ottenuti. Il ramo secondario, infatti, presenta acque quasi ferme, soprattutto nel periodo estivo, in quanto riceve un minor contributo d'acqua rispetto al ramo principale, tendendo quindi ad asciugarsi nei periodi più secchi. Qui si sarebbe trovata una comunità completamente diversa rispetto a quella che caratterizza il ramo principale, che avrebbe quindi attenuato il carattere torrentizio della stazione.

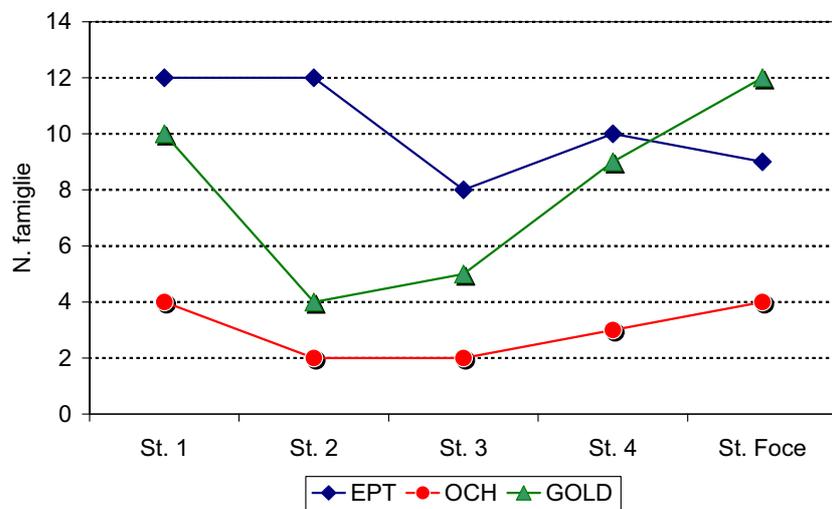


Fig. 6.16. Metriche applicate alla comunità a macroinvertebrati del F. Tresa lungo il suo corso e alla foce.

6.8. Conclusioni

Il F. Tresa nel suo complesso può essere considerato un tipico ambiente iporitrato con discreta pendenza dell'alveo ed un substrato di fondo prevalentemente composto da massi, ciottoli e ghiaia, con depositi di materiale organico grossolano e fine in alcune particolari sezioni (Applicazioni 22, e dalla 11 fino alla 8), oltre alla foce dove chiaramente tende a prevalere il materiale più fine. Dal punto di vista idromorfologico lungo il suo corso si alternano zone a raschi con corrente piuttosto veloce, ad altre dove sono presenti pozze caratterizzate da velocità minori e maggiori altezze idrometriche.

L'ambiente fluviale studiato presenta una notevole variabilità idromorfologica lungo il suo corso, non seguendo però un unico gradiente, come succederebbe in un ambiente completamente naturale, ma rispondendo con nuovi equilibri e nuove dinamiche a monte e a valle dei grossi impatti idromorfologici evidenziati.

Inoltre, tali alterazioni artificiali, tra cui argini rinforzati, ponti, derivazioni e dighe, hanno modificato l'ambiente interrompendone in diversi punti la continuità del percorso fluviale e la connessione con l'ambiente ripariale, influenzandone dunque tanto le caratteristiche idromorfologiche, quanto le capacità auto depurative, con diminuzione della sua qualità ecologica. Il maggiore impatto è costituito dalla diga di Creva, che impedisce la migrazione di qualsiasi pesce verso il L. di Lugano e crea un impoverimento di habitat subito a valle, a discapito dell'abbondanza e della diversità nella comunità a macroinvertebrati. Inoltre determina la trasformazione del fiume a monte dell'invaso in un ambiente lacustre, con notevoli ripercussioni fino all'Applicazione 12, creando un rallentamento della velocità di corrente ed una diminuzione di pendenza, dovuta al materiale che sedimenta in quantità maggiore a causa della presenza della diga.

Nonostante la presenza di zone particolarmente alterate da un punto di vista idromorfologico, evidenziate anche attraverso i risultati delle analisi della componente a macroinvertebrati, sono presenti tratti e habitat particolarmente naturali e indicativi di elevata qualità ecologica, sottolineati da una biodiversità elevata. Uno di essi è rappresentato dalla stazione 2, ambiente particolarmente naturale, che andrebbe preservato ed in parte riqualificato, data l'elevata presenza di specie vegetali infestanti lungo le sue rive e al suo interno.

Complessivamente quindi il F. Tresa ha un valore medio di LRD pari a -19, indice di un regime torrentizio, un valore medio di HMS pari a 39 ed un HQA pari a 34., e l'EQR medio del sito è pari a 0,57. Tutti e tre i valori permettono di classificare il fiume in classe di qualità idromorfologica moderata.

In termini complessivi, nonostante il miglioramento dagli anni '80 ad oggi, le concentrazioni di nutrienti nelle acque del F. Tresa sono ancora indicative di uno stato di moderata alterazione. Anche i carichi veicolati al L. Maggiore da questo tributario si mantengono elevati, rappresentando, per il fosforo totale, il secondo contributo in ordine di importanza dopo quello del F. Toce. In relazione ai possibili impatti sulle acque lacustri risulta quindi importante proseguire il monitoraggio della qualità delle acque del F. Tresa, oltre che delle possibili modificazioni indotte da alterazioni lungo il suo corso. Dalle analisi effettuate con questo studio non viene evidenziato, se e come, le alterazioni artificiali lungo il corso d'acqua possono avere impatti sulla chimica, sia in termini di nutrienti che di altri soluti. Sicuramente una maggior qualità idromorfologica costituita da più e più estese zone naturali, soprattutto ripariali, può portare ad un

miglioramento qualitativo delle acque del fiume, anche da un punto di vista chimico, con positive conseguenze sulla qualità delle acque lacustri.

Da un punto di vista biologico il fiume si divide nettamente in due zone, separate fra loro dalla diga. La prima parte che si origina dal L. di Lugano che, pur presentando un alveo artificializzato, mantiene una certa naturalità, soprattutto dopo la località Madonnone, oltre la quale scompaiono le artificializzazioni di sponde ed alveo. La seconda parte situata al di sotto della diga è incassata in ampie gole e presenta una significativa rottura di pendenza, con modificazioni del substrato a seguito dello scarico d'acqua, elevato soprattutto nei periodi di piena. Inoltre ricompaiono altre artificializzazioni delle sponde nell'abitato di Germignaga, che presenta quindi una riduzione delle tipologie di habitat che divengono più omogenei, causando a loro volta l'impovertimento della fauna, sia come densità che come diversità.

Si conferma quindi che, sia da un punto di vista idromorfologico che biologico, il fiume non può quindi essere classificato in qualità buona.

Chiaramente una moderata qualità idromorfologica, chimica e biologica di uno o più corsi d'acqua tributari del L. Maggiore ha delle ripercussioni sull'ecosistema lago. Anche la qualità ecologica del L. Maggiore infatti, dovrà essere definita secondo le indicazioni della Direttiva Quadro, quindi da un punto di vista idromorfologico, chimico e biologico. In futuro, quindi, il poter analizzare la qualità globale degli altri tributari, alcuni dei quali noti per il loro impatto sulle acque lacustri, potrà essere utile per stabilire possibilità di interventi e gestioni migliorative per il L. Maggiore e per il suo bacino.

BIBLIOGRAFIA

- Antonietti, A. 1971. La vegetazione forestale del Canton Ticino con particolare riguardo al sottoceneri. *Boll. Soc. Ticinese Sci. Nat.*, 62: 67-80.
- Antonietti, A. 1976. Flora e vegetazione del Malcantone. *Nostro Paese*, 28: 173-178.
- Barbanti, L. & W. Ambrosetti. 1978. Inquadramento geografico-geologico del bacino imbrifero. In: *Commissione internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere. Rapporti su studi e ricerche condotti nel bacino del Lago Maggiore. Programma quinquennale 1978-1982 (campagna 1978)*: 12-19.
- Buffagni, A., S. Erba & M. Ciampittiello. 2005. Il rilevamento idromorfologico e degli habitat fluviali nel contesto della direttiva europea sulle acque (WFD): Principi e schede di applicazione del metodo CARAVAGGIO. Istituto di Ricerca Sulle Acque - CNR. *Notiziario dei Metodi Analitici*: 48 pp.
- Buffagni, A., S. Erba, D. Armanini, D. De Martini & S. Somar. 2004. Aspetti idromorfologici e carattere lenticolo-tico dei fiumi mediterranei: River Habitat Survey e descrittore LRD. *Quaderni IRSA*, 122: 41-63.
- Ciampittiello, M. & A. Rolla. 2009. Indagini sul bacino imbrifero. Caratteristiche idrologiche. In: *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2008*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 5-10.
- C.N.R.-I.S.E. Sede di Verbania. 2009. *Ricerche sull'evoluzione del Lago Maggiore. Aspetti limnologici. Programma quinquennale 2008-2012. Campagna 2008*. Commissione Internazionale per la protezione delle acque italo-svizzere (Ed.): 116 pp.

- Cotti, G., M. Felber, A. Fossati, G. Lucchini, E. Steiger & P.L. Zanon. 1990. *Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino*. Vol. 1. *Le componenti naturali*. Dadò Editore, Locarno: 484 pp.
- EC, 2000/60. Official Journal of the European Communities, L 327, 22.12.2000: 1-72.
- Grossi, P. 1984. *Il Malcantone*. Edizione Edelweiss, Lugano.
- Harlof, E.A. 1927. The geology of the porphyry district of Lugano between Ponte Tresa and Luino. *Leid. Geol. Med.*, II.
- Merritt, R.W. & K.W. Cummins (Eds). 1996. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3rd Ed. Kendall/Hunt, Dubuque, IA: 862 pp.
- Tachet, H., M. Bournaud & P. Richoux. 1996. *Introduction à l'étude des macro-invertébrés des eaux douces. Systématique élémentaire et aperçu écologique*. C.R.D.P., Lyon: 155 pp.
- Tartari, G.A. & R. Mosello. 1997. Metodologie analitiche e controlli di qualità nel laboratorio chimico dell'Istituto Italiano di Idrobiologia. *Documenta Ist. ital. Idrobiol.*, 60: 160 pp.
- Ufficio della selvicoltura. 2001. *Carta vegetazione arborea*. Situazione nel VI circondario, rilievi Ceschi I. Scala 1:40'000, Bellinzona.