



UNIVERSITÀ DEL PIEMONTE ORIENTALE

Dipartimento di Scienze e Innovazione Tecnologica

Corso di Laurea magistrale in Biologia - Nutrizione e Ambiente

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Monitoraggio biologico di corpi idrici nel bacino del fiume Po e dei suoi affluenti nella provincia di Torino: applicazione dell'indice macrofitico IBMR e valutazione della presenza della specie esotica invasiva *Elodea nuttallii* (Planch.) H. St. John

Candidata: Sabrina Carra

Relatore: Prof. Valeria Todeschini

Correlatore: Prof. Flavio Anastasia

Stage svolto presso l'Ente ARPA Piemonte

Tutor esterno: Arianna Nicola

Responsabile Ente: Alberto Maffiotti

Anno accademico 2024/2025

A mia nonna Angela,
che ha lottato per studiare e realizzare il suo sogno di diventare maestra.
La sua forza e il suo amore per la conoscenza resteranno sempre un esempio per me.

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
1.1 Il contesto globale dell'inquinamento delle acque	5
1.2 Il quadro normativo e ambientale europeo.....	5
1.3 Il quadro normativo italiano per la tutela delle acque	6
1.4 Il monitoraggio ambientale come strumento di tutela	6
1.4.1 L'importanza del monitoraggio biologico nella valutazione della qualità delle acque.	7
1.4.2 Le macrofite come indicatori biologici della qualità delle acque	8
1.4.3 Le macrofite come indicatori biologici nei corsi d'acqua	8
1.5 La nascita delle ARPA e il loro ruolo nel monitoraggio ambientale in Italia	10
1.6 La Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE: principi, obiettivi e strumenti di attuazione	11
1.6.1 I piani di gestione dei bacini idrografici	12
1.7 Il monitoraggio dei corsi d'acqua.....	14
1.7.1 Stato chimico	14
1.7.2 Stato ecologico	14
1.8 Macrofite	16
1.9 Piante esotiche invasive	17
1.9.1 <i>Elodea nuttallii</i> ed il suo impatto ecologico-funzionale	18
1.9.2 Comparsa di <i>E. nuttallii</i> nel fiume Po e strategie di eradicazione	19
1.10 <i>E. nuttallii</i> (Planch) St. John.....	21
1.10.1 Habitat e periodo di fioritura	22
1.10.2 Aspetti morfologici.....	22
1.10.3 Biologia ed ecologia	23
1.10.4 Misure di prevenzione/gestione/lotta/contenimento	24
1.10.5 Differenze principali con le specie simili.....	25
1.11 Il fiume Po e i suoi affluenti in Piemonte e nel territorio torinese	26
2. SCOPO DELLO STAGE	27
3. MATERIALI E METODI	28

3.1	Protocollo di campionamento delle macrofite	28
3.3	Procedura di campionamento.....	29
3.3.1	Periodo di campionamento	29
3.3.2	Scelta della stazione	29
3.3.3	Procedura di campionamento	30
3.3.4	Attribuzione delle percentuali di copertura.....	32
3.3.5	Trattamento e conservazione dei campioni durante il campionamento	33
3.4	Procedure analitiche	34
3.4.1	Trattamento e conservazione dei campioni in laboratorio	34
3.4.2	Identificazione dei campioni	35
3.5	Indice IBMR	36
3.5.1	Calcolo dell'indice IBMR	37
3.5.2	Calcolo del Rapporto di Qualità Ecologica RQE	38
4.	RISULTATI E DISCUSSIONE.....	40
4.1	Po, Villafranca.....	41
4.2	Po, Carignano.....	43
4.5	Dora Riparia, Torino.....	50
4.8	Bealera Nuova, Brandizzo	55
4.9	Elaborazione dei dati ottenuti dal campionamento	58
7.	BIBLIOGRAFIA	67
8.	ALLEGATI.....	72
9.	RINGRAZIAMENTI.....	76

1. INTRODUZIONE

1.1 Il contesto globale dell'inquinamento delle acque

L'acqua è una risorsa indispensabile per la vita sulla Terra e per il mantenimento degli ecosistemi e delle attività umane. Tuttavia, negli ultimi decenni, l'inquinamento delle acque è diventato una delle principali emergenze ambientali a livello mondiale.

Secondo il *World Water Development Report* delle Nazioni Unite (WWAP, 2024), circa l'80% delle acque reflue globali viene scaricato nell'ambiente senza trattamenti adeguati, con conseguenze gravi sulla salute pubblica, sull'approvvigionamento idrico e sulla biodiversità acquatica.

Le principali fonti di contaminazione includono gli scarichi industriali, i reflui urbani, l'uso eccessivo di fertilizzanti e pesticidi in agricoltura e la diffusione di contaminanti emergenti come microplastiche e residui farmaceutici (WHO, 2017; FAO, 2021). Tali sostanze provocano fenomeni di eutrofizzazione, accumulo di tossine e degrado della qualità ecosistemica, limitando la disponibilità di acqua pulita per consumo umano e usi produttivi.

A livello globale, la gestione sostenibile delle risorse idriche è una priorità definita anche dall'Obiettivo di Sviluppo Sostenibile n. 6 dell'Agenda 2030 delle Nazioni Unite, che mira a “garantire la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e dei servizi igienico-sanitari per tutte le persone” (UNESCO WWAP, 2023).

1.2 Il quadro normativo e ambientale europeo

A livello europeo, la gestione e la tutela delle acque è definita da un sistema normativo integrato che trova il suo pilastro nella Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE), la quale ha introdotto un nuovo approccio integrato alla gestione delle acque, basato non più su confini amministrativi o settori specifici (come acque reflue o potabili), ma sull'unità idrografica naturale del bacino fluviale.

L'obiettivo generale della direttiva è raggiungere il “buono stato ecologico e chimico” di tutte le acque superficiali e sotterranee attraverso un insieme di misure di prevenzione, risanamento e monitoraggio ambientale.

La Direttiva Quadro è affiancata da altri strumenti normativi, come la Direttiva 91/271/CEE sul trattamento delle acque reflue urbane e la Direttiva 2008/105/CE sugli standard di qualità ambientale per le sostanze prioritarie.

Le politiche europee prevedono una sorveglianza continua dei corpi idrici e un'integrazione tra dati chimici, biologici e idromorfologici, al fine di valutare in modo olistico lo stato ecologico complessivo.

Queste direttive, recepite nelle legislazioni nazionali, hanno creato un quadro di tutele e contribuito al miglioramento dello stato complessivo delle acque superficiali e sotterranee nell'Unione Europea. Nonostante i progressi, la *European Environment Agency* (EEA, 2023) segnala che solo una parte dei corpi idrici europei ha raggiunto gli obiettivi di "buono stato", a causa delle pressioni derivanti da agricoltura intensiva, urbanizzazione diffusa e presenza di contaminanti emergenti non ancora completamente regolamentati.

1.3 Il quadro normativo italiano per la tutela delle acque

In Italia, l'inquinamento delle acque rappresenta una sfida persistente, dovuta alla complessità territoriale del Paese, alla densità abitativa e alla varietà di attività produttive e agricole. Il principale riferimento normativo nazionale è il Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, denominato "Testo Unico Ambientale", che recepisce la Direttiva 2000/60/CE e stabilisce i principi fondamentali per la tutela delle acque, la prevenzione dell'inquinamento e il controllo degli scarichi. La normativa definisce le modalità di classificazione dei corpi idrici in base allo stato ecologico e chimico e istituisce un sistema di monitoraggio che integra vari parametri fisico-chimici e biologici.

La Legge n. 132/2016 ha istituito il Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), che coordina le attività dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA) e delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA), garantendo omogeneità e coordinamento sul territorio nazionale. Le ARPA svolgono un ruolo cruciale nel controllo e nel monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee, raccogliendo dati, supportando le amministrazioni regionali e producendo rapporti annuali sullo stato dell'ambiente. Tali istituzioni costituiscono il nucleo operativo del sistema di valutazione della qualità ambientale, in linea con gli standard europei.

1.4 Il monitoraggio ambientale come strumento di tutela

Il monitoraggio ambientale risulta necessario per la valutazione dello stato di salute dei corpi idrici e nella pianificazione di strategie di gestione sostenibile. Attraverso la rilevazione periodica di parametri fisico-chimici (ossigeno disciolto, nutrienti, contaminanti organici, metalli pesanti) e biologici (fitoplancton, macroinvertebrati, fauna ittica, macrofite), è possibile valutare in maniera integrata la qualità dell'ambiente acquatico (Chappie & Burton, 2000; Barceló & Petrovic, 2019).

L'approccio basato sulla rilevazione di indicatori fisico-chimici mira a valutare lo stato di qualità dei corpi idrici basandosi su parametri fisici (es. temperatura, pH) e chimici (es. sostanze inquinanti e sostanze organiche).

L'approccio basato su indicatori biologici valuta la qualità dei corpi idrici attraverso l'analisi delle comunità di organismi presenti, come macroinvertebrati, alghe o pesci. Risulta particolarmente efficace, poiché gli organismi acquatici rispondono in modo cumulativo alle pressioni ambientali nel tempo, offrendo così una valutazione più rappresentativa dello stato complessivo dell'ecosistema rispetto a campagne di monitoraggio esclusivamente chimico.

Diversamente dall'analisi chimico-fisica, che restituisce una fotografia istantanea delle condizioni dell'acqua, il monitoraggio biologico consente una valutazione integrata e diacronica delle alterazioni ambientali, incorporando l'effetto cumulativo di molteplici fattori di stress (Hellawell, 1986; Rosenberg & Resh, 1993).

1.4.1 L'importanza del monitoraggio biologico nella valutazione della qualità delle acque

Il monitoraggio biologico è uno strumento fondamentale per la valutazione integrata dello stato ecologico dei corpi idrici, poiché consente di misurare in modo diretto gli effetti delle pressioni antropiche sugli ecosistemi acquatici.

Gli organismi acquatici (tra cui fitoplancton, macroinvertebrati bentonici, ittiofauna e macrofite) reagiscono in modo sensibile e prevedibile alle modifiche dei parametri ambientali, come concentrazione di nutrienti, ossigeno disciolto, temperatura, torbidità o presenza di contaminanti tossici. Le variazioni nella loro composizione, abbondanza e diversità fungono quindi da bioindicatori dello stato ecologico complessivo del sistema (Karr, 1981; Bonada et al., 2006).

La Direttiva Quadro Europea 2000/60/CE definisce la valutazione dello "stato ecologico" come risultante della combinazione di elementi biologici, chimico-fisici e idromorfologici. Tale approccio multidimensionale ha sostituito i vecchi modelli basati esclusivamente sull'analisi chimica dell'acqua, portando a una visione ecologica più completa e dinamica delle relazioni tra habitat e comunità biologiche (Hering et al., 2006).

Il vantaggio principale del biomonitoraggio consiste nella capacità di rilevare anche effetti subletali e cronici che potrebbero sfuggire alle analisi chimiche tradizionali. Alcuni organismi, infatti, mostrano una sensibilità a sostanze tossiche a concentrazioni estremamente basse o sono in grado di accumulare contaminanti nei tessuti, segnalando così alterazioni invisibili ai metodi standard (Cairns & Pratt, 1993).

In questo contesto, le macrofite acquatiche si sono affermate come una componente chiave dei protocolli di biomonitoraggio, in quanto rispecchiano fedelmente le variazioni della qualità ambientale e offrono preziose informazioni sul grado di eutrofizzazione, sulla trasparenza dell'acqua e sulla presenza di contaminanti.

1.4.2 Le macrofite come indicatori biologici della qualità delle acque

Poiché la composizione delle comunità macrofite è influenzata dalle variabili fisiche (profondità, velocità della corrente), chimiche (nutrienti, torbidità) e biologiche, le macrofite sono considerate ottimi indicatori biologici di qualità ecologica (Baattrup-Pedersen & Riis, 1999; Stenger-Kovács et al., 2013).

In Italia, l'ISPRA (2017) ha reso operativo l'Indice Biologico Macrofite in Fiumi e Torrenti (IBMR), uno strumento che consente la classificazione ecologica dei corpi idrici in base alle specie presenti e alla loro sensibilità ai nutrienti e all'inquinamento organico. Vari studi hanno confermato l'efficacia dell'IBMR nel rappresentare in modo affidabile lo stato ecologico dei corsi d'acqua italiani (Abati et al., 2010).

Il vantaggio principale delle macrofite nel biomonitoraggio è legato alla loro capacità di integrare le condizioni ambientali nel tempo: sono facilmente osservabili, persistenti e rispondono a modificazioni progressive della qualità dell'acqua (Melzer, 1999). Per questo motivo, esse sono oggi uno degli elementi biologici obbligatori nella classificazione dello stato ecologico secondo la Direttiva Quadro del 2000.

1.4.3 Le macrofite come indicatori biologici nei corsi d'acqua

Questi organismi si sviluppano nei corsi d'acqua in modo stabile e riconoscibile, colonizzando substrati sommersi, sponde e letti fluviali, dove formano comunità in equilibrio con le caratteristiche fisico-chimiche del sistema. La loro presenza, abbondanza e composizione floristica dipendono da un insieme di fattori ambientali: concentrazione di nutrienti, torbidità, velocità della corrente, profondità, illuminazione e grado di alterazione idromorfologica (Baattrup-Pedersen & Riis, 1999; Stenger-Kovács et al., 2013).

Dal punto di vista ecologico, le macrofite svolgono ruoli fondamentali nei corsi d'acqua: stabilizzano i sedimenti, producono ossigeno, modulano il flusso idrico e offrono habitat e rifugio alla macrofauna bentonica. In virtù della loro sensibilità alle condizioni ambientali e alla qualità dell'acqua, esse sono considerate indicatori biologici affidabili dello stato ecologico dei corsi d'acqua. (Melzer, 1999).

Le alghe pluricellulari, ad esempio *Cladophora glomerata* e *Vaucheria dichotoma*, tendono a proliferare in presenza di elevati livelli di nutrienti, in particolare fosforo e azoto; la loro fioritura costituisce un segnale tipico di eutrofizzazione (Dodds, 2003).

Le briofite acquatiche, come il genere *Fontinalis* o *Scapania*, sono invece particolarmente rappresentative dei tratti fluviali con acque fredde, ben ossigenate e poverissime di nutrienti. La loro scomparsa è spesso associata a inquinamento organico o alterazione idromorfologica (Scheffer et al., 2003).

Le piante vascolari (angiosperme acquatiche), che comprendono specie come *Ranunculus fluitans*, *Myriophyllum spicatum*, *Potamogeton crispus*, *Elodea canadensis* e *Lemna minor*, mostrano un ampio spettro di tolleranza ambientale, risultando ottime specie “di riferimento” nello sviluppo di indici di qualità ecologica (Riis & Biggs, 2003).

In Europa (e in particolare in Italia), le comunità macrofite sono utilizzate per la classificazione dello stato ecologico dei corpi idrici fluviali secondo la Direttiva Quadro sulle Acque (2000/60/CE).

L'IBMR (*Indice Biologico Macrofite per i Corsi d'Acqua*), elaborato dall'ISPRA (2017), rappresenta oggi uno strumento normativo ufficiale per la valutazione della qualità ecologica attraverso la composizione delle specie macrofite. Questo indice attribuisce un punteggio differente alle specie a seconda della loro sensibilità ai nutrienti e alla qualità dell'acqua: ad esempio, specie come *Potamogeton polygonifolius* e *Ranunculus fluitans* indicano acque oligotrofiche, mentre *Lemna minor* e *Ceratophyllum demersum* si rinvencono tipicamente in acque eutrofiche e ricche di sostanza organica (Holmes, et al., 1999).

Le indagini dell'ISPRA e delle ARPA regionali confermano come la valutazione macrofita, integrata ai parametri chimici e fisici, fornisca una misura robusta dello stato ecologico complessivo dei fiumi italiani (ISPRA, 2014). La diversità, la struttura e la composizione delle comunità di alghe, briofite e fanerogame acquatiche costituiscono indicatori sensibili e scientificamente consolidati della qualità delle acque correnti, permettendo di rilevare con precisione i gradienti di degrado e di orientare le strategie di gestione e risanamento.

In Italia, secondo le linee guida dell'ISPRA e delle ARPA regionali (Ibidem), il monitoraggio biologico è attuato attraverso l'utilizzo coordinato di indici multimetrico-biotici (come l'Indice STAR-ICMi per i macroinvertebrati o l'IBMR per le macrofite), i quali consentono di classificare lo stato ecologico dei corsi d'acqua in base ad una scala di qualità da “elevato” a “scarso” (SNPA,

2014; ARPA Piemonte, 2022). Questi strumenti traducono le informazioni biologiche in metriche quantitative e confrontabili, permettendo di individuare con precisione i tratti fluviali da riqualificare o proteggere.

1.5 La nascita delle ARPA e il loro ruolo nel monitoraggio ambientale in Italia

Il sistema italiano di controllo e tutela dell'ambiente ha subito una profonda evoluzione a partire dagli anni Novanta, con la progressiva istituzione di una rete di enti territoriali dedicati al monitoraggio e alla prevenzione dell'inquinamento ambientale.

La nascita delle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) rappresenta il punto di svolta di tale processo e risponde alla necessità di disporre di un apparato tecnico-scientifico capace di supportare le Regioni e lo Stato nelle politiche di protezione ambientale. La legge quadro n. 61 del 21 gennaio 1994, successivamente integrata nel Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (Testo Unico Ambientale), ha istituito le ARPA come enti pubblici dotati di autonomia tecnico-operativa, con il compito di realizzare attività di monitoraggio, analisi e controllo ambientale sul territorio regionale.

In seguito, con la Legge 28 giugno 2016, n. 132, è stato istituito il Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), che ha definitivamente integrato le ARPA e l'ISPRA in un'unica struttura coordinata a livello nazionale (Legge 132/2016). Le ARPA sono oggi responsabili di un vasto insieme di attività tecnico-scientifiche: monitoraggio della qualità dell'aria, dell'acqua e del suolo; controllo delle emissioni industriali e degli scarichi idrici; analisi dei fenomeni di contaminazione e gestione delle emergenze ambientali; supporto alle amministrazioni regionali nell'attuazione delle politiche ambientali.

Le attività delle agenzie si basano su reti di monitoraggio capillari, metodologie standardizzate e sistemi informativi condivisi, garantendo la qualità e la confrontabilità dei dati prodotti su scala nazionale. Le ARPA forniscono inoltre supporto tecnico alle autorità competenti in materia di valutazione d'impatto ambientale (VIA), controllo delle discariche, bonifiche dei siti contaminati, gestione del rumore e tutela della biodiversità.

Le ARPA costituiscono un presidio fondamentale per l'attuazione di politiche di prevenzione, trasparenza e conoscenza ambientale, poiché traducono i risultati del monitoraggio in indicatori ambientali accessibili e aggiornati, contribuendo così alla pianificazione e alla sostenibilità territoriale (ARPA Lombardia, 2023).

Attraverso la sinergia con l'ISPRA e con il Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica, la rete ARPA garantisce un modello di governance ambientale decentrato ma coordinato, in grado di coniugare autonomia tecnica e coerenza nazionale, in linea con le strategie europee per la protezione e il ripristino degli ecosistemi.

1.6 La Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE: principi, obiettivi e strumenti di attuazione

La Direttiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio, nota come Direttiva Quadro sulle Acque (DQA), rappresenta la normativa cardine della politica europea in materia di tutela e gestione delle risorse idriche. Adottata il 23 ottobre 2000, essa ha introdotto un nuovo approccio integrato alla gestione delle acque, basato non più su confini amministrativi o settori specifici (come acque reflue o potabili), ma sull'unità idrografica naturale del bacino fluviale.

L'obiettivo generale della direttiva è “prevenire e ridurre l'inquinamento, promuovere un uso sostenibile dell'acqua, proteggere l'ambiente acquatico, migliorare lo stato degli ecosistemi idrici e mitigare gli effetti delle inondazioni e della siccità” (art. 1, DQA).

In particolare, la direttiva stabilisce una serie di obiettivi ambientali specifici (EEA, 2023):

- il raggiungimento del “buono stato ecologico e chimico” per tutte le acque superficiali e sotterranee;
- la prevenzione del deterioramento ulteriore dei corpi idrici già in buono stato;
- la protezione, il ripristino e il miglioramento degli ecosistemi acquatici e terrestri dipendenti dall'acqua;
- la riduzione progressiva delle emissioni, degli scarichi e delle perdite di sostanze pericolose prioritarie;
- la promozione dell'uso sostenibile dell'acqua basato sulla protezione delle risorse a lungo termine.

La Direttiva stabilisce anche una scala temporale precisa per il raggiungimento degli obiettivi: il “buono stato” doveva essere conseguito entro il 2015, con possibilità di proroghe motivate fino al 2027, in funzione della complessità del bacino e della fattibilità tecnica ed economica delle misure da attuare.

Infine, un pilastro innovativo della Direttiva è la partecipazione pubblica: i cittadini, le imprese, le autorità locali e le associazioni sono chiamati a partecipare attivamente alla redazione, revisione e

aggiornamento dei piani di gestione. Questo principio mira a favorire la trasparenza nella governance delle acque e a promuovere una gestione condivisa e sostenibile delle risorse idriche.

1.6.1 I piani di gestione dei bacini idrografici

Il fulcro operativo della Direttiva Quadro è costituito dai Piani di Gestione dei Distretti Idrografici (*River Basin Management Plans – RBMP*), previsti all’art. 13 della Direttiva. Ogni Stato membro dell’Unione Europea deve suddividere il proprio territorio in distretti idrografici, ovvero unità geografiche e idrologiche omogenee, e redigere per ciascuno un piano di gestione aggiornato ogni sei anni.

In Italia, i distretti idrografici sono dodici, secondo la riorganizzazione introdotta dal D.Lgs. 152/2006 e successivamente modificata dal D.Lgs. 219/2010 e sono gestiti dalle rispettive Autorità di bacino distrettuali in collaborazione con Regioni e agenzie ambientali.

L’unità base di gestione prevista dalla normativa è il "corpo idrico", un tratto fluviale o una porzione di lago appartenente ad una sola tipologia o un volume d'acqua in seno ad un acquifero omogeneo al suo interno dal punto di vista qualitativo, quantitativo e delle pressioni insistenti (Unione Europea, 2000).

Le ARPA, coordinate dall’ISPRA attraverso il SNPA, svolgono un ruolo tecnico-scientifico essenziale nella raccolta e nell’elaborazione dei dati ambientali che alimentano i piani di gestione (Legge 132/2016).

I piani di gestione rappresentano strumenti di pianificazione strategica e integrata che hanno lo scopo di:

1. analizzare le caratteristiche del distretto idrografico (geologia, idrologia, pressioni antropiche, usi idrici);
2. individuare e classificare tutti i corpi idrici (fiumi, laghi, acque di transizione, acque costiere e sotterranee);
3. valutare lo stato ecologico e chimico di ciascun corpo idrico, sulla base degli elementi biologici, idromorfologici e chimico-fisici;
4. identificare le pressioni significative (scarichi civili e industriali, agricoltura, alterazioni idromorfologiche, infrastrutture idriche);
5. definire un programma di misure per il raggiungimento o mantenimento del “buono stato”;
6. stabilire un monitoraggio coordinato per verificare l’efficacia delle azioni intraprese.

Ogni piano di gestione si accompagna ad un programma di monitoraggio articolato in tre tipologie principali, distinte per finalità e frequenza di campionamento:

- monitoraggio di sorveglianza, che descrive lo stato generale delle acque, svolto con cadenza triennale o sessennale;
- monitoraggio operativo, finalizzato ai corpi idrici a rischio di non raggiungere gli obiettivi ambientali, svolto con cadenza annuale;
- monitoraggio investigativo, attuato quando emergono anomalie o sorgono dubbi sull'origine dell'inquinamento.

Sulla base dei risultati dell'analisi di rischio e delle indicazioni previste dalla direttiva vengono pianificate le varie attività di monitoraggio, che prevedono cicli pluriennali al termine dei quali viene effettuata la classificazione complessiva dello Stato di Qualità.

Questo approccio consente una gestione flessibile e sito-specifica. Tuttavia, non tutti i corpi idrici vengono monitorati con la stessa frequenza o con l'analisi di identiche componenti. Le modalità e l'intensità dei controlli dipendono infatti dai risultati dell'analisi di rischio, dalle informazioni pregresse, dal livello di pressione antropica e dalle risorse operative disponibili a livello regionale (EEA, 2023).

Il primo ciclo di monitoraggio nazionale è stato avviato nel triennio 2009–2011, in attuazione delle disposizioni della Direttiva 2000/60/CE. Le attività realizzate in quel periodo hanno consentito di sperimentare l'applicazione del nuovo impianto metodologico, armonizzando le reti di monitoraggio regionali per acque superficiali (corsi d'acqua e laghi) e sotterranee. Tale sperimentazione ha permesso di individuare gli elementi di forza e le criticità operative e logistiche del sistema, gettando le basi per l'attuale assetto del monitoraggio ambientale italiano coordinato dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA) (Legge 132/2016).

Oggi i dati raccolti all'interno dei programmi pluriennali di monitoraggio sono integrati nel Portale Acque gestito dal Ministero dell'Ambiente e dall'ISPRA, e rappresentano la principale fonte scientifica e istituzionale disponibile per la classificazione dello stato ecologico e chimico dei corpi idrici italiani. Questi dati costituiscono la base conoscitiva per l'elaborazione e l'aggiornamento dei Piani di Gestione dei Distretti Idrografici, strumenti fondamentali per la tutela, il risanamento e l'uso sostenibile delle risorse idriche nel contesto nazionale.

1.7 Il monitoraggio dei corsi d'acqua

I fiumi, all'interno della classificazione dei corpi idrici superficiali stabilita dalla Direttiva 2000/60/CE, costituiscono un elemento centrale per la gestione e il monitoraggio delle risorse idriche. Essi rappresentano, non solo un vettore idrologico fondamentale per il deflusso delle acque e dei sedimenti, ma anche veri e propri ecosistemi lineari, fortemente influenzati dalle attività antropiche dei bacini che attraversano (UE, 2000).

La valutazione dello stato complessivo dei fiumi si basa sull'analisi integrata dello Stato Ecologico e dello Stato Chimico. Questa integrazione consente la definizione dello stato complessivo del corpo idrico secondo le cinque classi di qualità ecologica previste dalla normativa: elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo (EEA, 2023).

1.7.1 Stato chimico

Lo Stato chimico descrive la qualità dei corsi d'acqua in relazione alla presenza di una lista di 33+8 sostanze pericolose prioritarie e altri inquinanti, confrontando le concentrazioni misurate con i valori di riferimento stabiliti dagli Standard di Qualità Ambientali (SQA) fissati dalla Direttiva 2008/105/CE recepiti dal D.Lgs 219/10. Lo Stato Chimico esprime il dato peggiore di un triennio per il monitoraggio Operativo e di un anno per il monitoraggio di Sorveglianza. Il giudizio è espresso in "Buono" e "Non Buono". La classificazione "Non Buono" viene assegnata quando almeno una sostanza supera i limiti previsti per la media annua o per il valore massimo ammissibile. Le campagne di monitoraggio condotte da ARPA Piemonte mostrano come il superamento dei limiti per alcuni contaminanti prioritari (ad esempio mercurio, nichel o IPA) costituisca spesso la causa principale della non conformità dello stato chimico, nonostante parametri ecologici soddisfacenti (ARPA Piemonte, 2020).

1.7.2 Stato ecologico

Lo Stato ecologico dei corpi idrici rappresenta la qualità della struttura e del funzionamento dell'ecosistema acquatico e misura il grado di alterazione rispetto alle condizioni naturali di riferimento. La classificazione si articola in cinque classi di qualità ambientale (elevato, buono, sufficiente, scarso e cattivo), con l'obiettivo gestionale di mantenere o raggiungere il livello "Buono" entro i cicli di pianificazione del distretto idrografico (D.Lgs. 152/2006, art. 76). Gli elementi biologici vengono valutati mediante indici standardizzati a livello nazionale come l'IBMR (macrofite), lo STAR_ICMi (macroinvertebrati), l'ICMi (diatomee), l'ISECI (fauna ittica) e il LIMeco per la componente fisico-chimica di base (ARPA Piemonte, 2020).

Le macrofite acquatiche [Figura 1] sono le specie vegetali macroscopiche che crescono in ambienti acquatici o umidi (laghi, fiumi) (Chambers et al, 2008). L'Indice calcolato è l'IBMR (Indice Biologique Macrophytique en Rivière) che è un indice per la valutazione dello stato trofico dei corsi d'acqua. Ogni specie è associata ad un valore ecologico e ad un valore di sensibilità all'eutrofizzazione (Haury J. et al, 2006).



A



B

Figura 1. Esempi di macrofite acquatiche presenti nei corpi idrici superficiali. (A) Macrofite emergenti lungo il margine di un corso d'acqua; (B) Copertura di macrofite sommerse nel letto del corso d'acqua (ARPA Piemonte).

Le diatomee [Figura 2] sono microalghe unicellulari con una parete di silice (frustulo) che vivono in acque dolci e marine, aderendo a substrati o in sospensione. La loro comunità cambia rapidamente in risposta a variazioni di nutrienti, salinità o temperatura; perciò, sono eccellenti indicatori della qualità chimico-fisica dell'acqua (Coste & Ayphassorho, 1991).



Figura 2. *Melosira* sp., diatomea a cellule cilindriche, osservata al microscopio ottico (ARPA Piemonte).

Il macrobenthos [Figura 3] comprende organismi animali visibili a occhio nudo (insetti acquatici, molluschi, crostacei, anellidi) che vivono sul fondo o nei sedimenti di acque dolci e marine (Rosenberg & Resh, 1993). Questi organismi partecipano al riciclo della materia organica e sono fortemente influenzati dalle condizioni ambientali, come ossigeno e qualità del substrato. La composizione delle loro comunità li rende ottimi indicatori biologici della qualità ecologica dei corpi idrici (Bonada et al., 2006).



Figura 3. Esempio di macroinvertebrato bentonico acquatico utilizzato come indicatore biologico nella valutazione della qualità ecologica dei corsi d'acqua (ARPA Piemonte).

1.8 Macrofite

Le macrofite acquatiche comprendono tutti i vegetali macroscopicamente visibili presenti in ambienti acquatici, palustri e di greto. Questo raggruppamento è composto da angiosperme erbacee (piante superiori), pteridofite (felci ed equiseti), briofite acquatiche (muschi ed epatiche) e da alghe bentoniche pluricellulari (Chambers et al., 2008).

Le macrofite acquatiche svolgono funzioni essenziali negli ecosistemi acquatici: partecipano ai cicli biogeochimici, stabilizzano i sedimenti, producono ossigeno e forniscono habitat a micro e macrofauna (Hellowell, 1996). La composizione e la struttura della comunità macrofitica sono determinate dall'interazione di numerosi fattori ambientali che agiscono in un corso d'acqua: morfologia, granulometria, portata, velocità della corrente, luminosità, temperatura e concentrazione di nutrienti.

Le macrofite acquatiche sono componenti fondamentali della biodiversità degli ecosistemi d'acqua dolce, contribuendo all'equilibrio ecologico e offrendo habitat a numerose specie.

Una delle principali cause, riconosciute a livello internazionale, della riduzione del livello di biodiversità, è rappresentata dalla presenza e dallo sviluppo di specie esotiche (anche dette specie aliene o alloctone).

1.9 Piante esotiche invasive

Nel contesto vegetale, una specie esotica (o alloctona) viene definita come una specie introdotta intenzionalmente o accidentalmente al di fuori del suo areale naturale di distribuzione per effetto diretto o indiretto dell'attività umana, (Convention on Biological Diversity, 2002). In ambienti favorevoli, tali specie possono insediarsi stabilmente e, se capaci di riprodursi rapidamente e alterare gli ecosistemi locali, assumere carattere invasivo (Pyšek et al., 2020).

Le specie vegetali esotiche invasive (IAS) rappresentano una delle principali minacce alla biodiversità, alla salute pubblica e all'economia (European Commission, 2014).

- Sul piano ambientale, esse possono determinare alterazioni strutturali e funzionali degli ecosistemi, competendo con le specie autoctone sino alla loro scomparsa, con conseguente riduzione della biodiversità (Vilà et al., 2011).
- Dal punto di vista economico, alcune specie invasive provocano danni alle infrastrutture, riducono la produttività agricola e aumentano i costi di gestione del territorio (Pimentel et al., 2005).

In Piemonte, per coordinare le attività di prevenzione e gestione delle specie vegetali esotiche è stato istituito il Gruppo di Lavoro sulle specie vegetali esotiche, riconosciuto con Determinazione Regionale DB0701 n. 448 del 25 maggio 2012 e coordinato dalla Direzione Ambiente, Governo e Tutela del Territorio. Tra le prime azioni, il Gruppo ha redatto le “Black List regionali”, strumenti operativi che classificano le specie esotiche in base al livello di diffusione e al rischio ecologico associato:

1. Management List (Lista Gestione): include specie ampiamente diffuse per le quali non è più possibile l'eradicazione totale, ma sono attuabili misure di contenimento e gestione locale;
2. Action List (Lista Eradicazione): comprende specie con distribuzione ancora limitata, per cui l'eradicazione completa è possibile e raccomandata;
3. Warning List (Lista Allerta): elenca specie non ancora presenti in Piemonte, ma invasive in regioni limitrofe e potenzialmente pericolose per ambiente, agricoltura o salute (Regione Piemonte, 2024).

1.9.1 *Elodea nuttallii* ed il suo impatto ecologico-funzionale

Elodea nuttallii (Planch) St. John si è distinta per la rapida espansione geografica, in particolare nel Po in Piemonte. Per tale ragione è stata recentemente inserita nelle sopracitate “liste nere”, nello specifico in quella di gestione [Figura 4].

Management List (gestione)						
Entità	Livello di Priorità	Impatti				
		Biodiversità	Agricoltura	Salute	Manufatti	Fruizione ambienti acquatici
<i>Acer negundo</i>	x	x			x	
<i>Ailanthus altissima</i>	x	x		x	x	
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	x	x	x	x		
<i>Amorpha fruticosa</i>	x	x				
<i>Artemisia annua</i>		(x)		x		
<i>Artemisia verlotiorum</i>	x	x		x		
<i>Arundo donax*</i>	x	x			x	x
<i>Azolla spp.</i>		x				x
<i>Bambuseae (tutte le specie)</i>		x				
<i>Bidens frondosa</i>	x	x	(x)			
<i>Broussonetia papyrifera</i>		x				
<i>Buddleja davidii</i>	x	x			x	
<i>Campylopus introflexus</i>		x				
<i>Commelina communis</i>		x	x			
<i>Cyperus spp. (solo specie alloctone)</i>	x	x	x			
<i>Diplachne fascicularis</i>			x			
<i>Eleocharis obtusa</i>		x				
<i>Elodea canadensis</i>		x				
<i>Elodea nuttallii</i>	x	x				x
<i>Erigeron annuus</i>		x				x
<i>Erigeron sumatrensis</i>		x				
<i>Erigeron canadensis</i>		x				
<i>Fallopia (Reynoutria) spp.</i>	x	x	(x)		x	
<i>Helianthus tuberosus</i>		x				
<i>Heteranthera reniformis</i>	x	x	x			
<i>Humulus japonicus</i>		x				
<i>Impatiens balfourii</i>		x				
<i>Impatiens glandulifera</i>	x	x				
<i>Impatiens parviflora</i>	x	x				
<i>Ligustrum sinense</i>		x				
<i>Lonicera japonica</i>		x				
<i>Murdannia keisak</i>		x	x			
<i>Oenothera spp.</i>		x				

Figura 4. Estratto della Management List delle specie vegetali esotiche invasive. La tabella riporta le specie considerate, il relativo livello di priorità gestionale e i principali ambiti di impatto, tra cui biodiversità, agricoltura, salute, manufatti e fruizione degli ambienti acquatici (ARPA Piemonte).

Dal punto di vista ecologico, l'espansione di *E. nuttallii* produce effetti rilevanti sugli ecosistemi acquatici, influenzando negativamente sia i parametri fisico-chimici delle acque sia la struttura biologica delle comunità che li abitano. La specie tende a costituire popolamenti molto densi nei tratti fluviali a corrente lenta o nei canali irrigui che, combinati con la competizione per la luce e i nutrienti, determina un forte impoverimento della comunità macrofita autoctona (con possibile estinzione di alcune specie) e una marcata semplificazione strutturale della vegetazione acquatica (Kelly et al., 2015). Tale dominanza vegetale altera profondamente la dinamica ecologica del sistema acquatico, riducendo la penetrazione della luce e, di conseguenza, la produttività primaria delle macrofite autoctone come *Potamogeton perfoliatus*, *Ceratophyllum demersum* e *Myriophyllum spicatum* (Ibidem).

La fotosintesi di popolamenti particolarmente densi di *E. nuttallii* determina forti iperossigenazioni dell'acqua, con concentrazioni di ossigeno disciolto che possono superare il 150% di saturazione; al contrario, nelle ore notturne la respirazione e la decomposizione della biomassa portano a condizioni di anossia. L'assorbimento e il rilascio di CO₂ durante fotosintesi e respirazione modificano il pH, alterando l'equilibrio tra CO₂ libera, HCO₃⁻ e CO₃²⁻ (Jones et al, 2000). *E. nuttallii* contribuisce inoltre alla mobilizzazione dei nutrienti assorbendoli dai sedimenti e rilasciandoli durante la decomposizione: ciò può favorire l'aumento della trofia del corpo idrico, associato a deficit di ossigeno e, in alcuni casi, a massicce fioriture algali che aggravano i processi di eutrofizzazione (Montagnani et al, 2024)

Inoltre, la sua rapida crescita stagionale (con picchi di biomassa in estate) può generare forti variazioni nella decomposizione organica, favorendo fenomeni di anossia nei tratti stagnanti del fiume, compromettendo la biodiversità bentonica e modificando le reti trofiche ittiche (Kelly et al., 2015).

1.9.2 Comparsa di *E. nuttallii* nel fiume Po e strategie di eradicazione

Nel bacino del fiume Po, gli effetti negativi associati alla presenza di *E. nuttallii* sono diventati particolarmente evidenti negli ultimi anni, soprattutto in termini di alterazione degli habitat acquatici, ostacolo al deflusso e impatto sulle comunità biologiche. In particolare, nella primavera/estate 2022 si è registrata un'elevata proliferazione di questa macrofita invasiva in diversi tratti a corrente lenta e in numerosi canali irrigui collegati all'asta principale, con la formazione di densi tappeti sommersi che hanno reso necessari interventi straordinari di

monitoraggio e gestione da parte degli enti competenti (GdL Specie Esotiche della Regione Piemonte, 2023).

Nel 2025 la specie è ricomparsa, seppur in maniera non significativa, negli stessi ambiti fluviali, confermando però la sua capacità di persistenza e ricolonizzazione.

La probabile causa della sua presenza nel 2025 può essere la siccità primaverile ed estiva; infatti, *E. nuttalli* cresce in condizioni caratterizzate da un clima caldo e presenza di acqua stagnante. Le primavere dei due anni precedenti sono state abbastanza piovose e potrebbero aver creato un ambiente sfavorevole alla crescita della pianta.

Tale situazione ha spinto il Comune di Torino insieme ad enti come l'Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA), l'Ente di gestione delle Aree protette del Po piemontese, ARPA Piemonte e l'Università di Torino ad organizzare delle operazioni di eradicazione e di contenimento [Figura 5]. Le attività sono state realizzate mediante attrezzature specialistiche montate su imbarcazioni fornite da Protezione civile e Polizia locale. I mezzi e le attrezzature utilizzate hanno permesso la raccolta delle piante dall'acqua ed il conferimento a riva per il successivo smaltimento, evitando il rilascio in acqua di materiale vegetativo tramite frammenti.

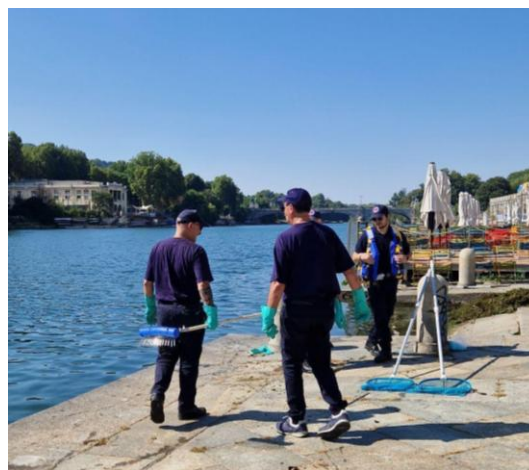


Figura 5. Operazione di eradicazione della macrofita acquatica invasiva *E. nuttalli* ai Murazzi lungo il fiume Po (Torino). Il personale addetto effettua la rimozione manuale della vegetazione acquatica accumulata lungo le sponde del fiume.

1.10 *E. nuttallii* (Planch) St. John

E. nuttallii (Planch) St. John è una pianta acquatica perenne appartenente alla famiglia delle Hydrocharitaceae, originaria del Nord America, dove colonizza acque dolci a corrente lenta come laghi, canali e fiumi (Cook & Urmi-König, 1984). L'introduzione in Europa risale alla prima metà del XIX secolo, quando la specie venne importata come pianta ornamentale per acquari e stagni; la prima segnalazione naturalizzata è documentata in Belgio nel 1939 (Simpson, 1984).

In Italia, la presenza di *E. nuttallii* è stata segnalata per la prima volta nel 1989 nel Lago d'Idro (Lombardia), da cui si è progressivamente diffusa in altri corpi idrici settentrionali. In Piemonte [Figura 6], la specie è stata rinvenuta nel 2012 lungo la sponda piemontese del Lago Maggiore e successivamente confermata nel 2016, con ulteriori segnalazioni nel Lago d'Orta (GdL Specie Esotiche della Regione Piemonte, 2023). Dalla primavera-estate del 2022, un'abbondante proliferazione è stata osservata anche nel fiume Po, dove la pianta tende ad accumularsi in corrispondenza di traverse fluviali e tratti a corrente ridotta, favorendo così la formazione di densi tappeti sommersi (Ibidem).

La sua diffusione è dovuta principalmente ad attività antropiche dirette o indirette, come lo scarico di acque provenienti dalla pulizia di acquari, il trasporto accidentale con imbarcazioni o attrezzature di sfalcio, e la dispersione passiva tramite uccelli acquatici o correnti fluviali, che trasportano frammenti vegetativi in grado di radicare e colonizzare nuovi ambienti (Thiébaud, 2007).

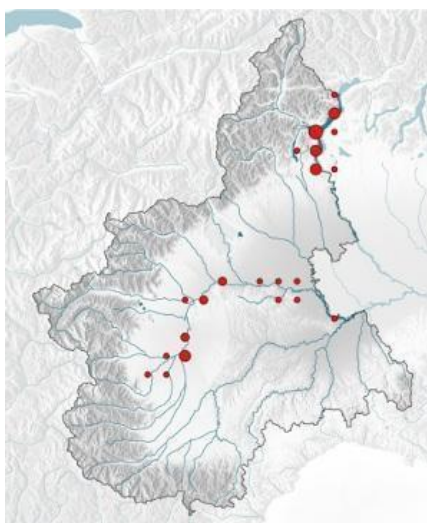


Figura 6. Distribuzione *E. nuttallii* in Piemonte nel 2024. I punti indicano i siti di presenza della specie nei corpi idrici (GdL Specie Esotiche della Regione Piemonte, 2023).

1.10.1 Habitat e periodo di fioritura

E. nuttallii [Figura 7] è una specie tipica di acque ferme o lentamente fluenti, come laghi, canali e tratti di fiumi a bassa corrente, spesso caratterizzati da condizioni eutrofiche (Cook & Urmi-König, 1984). Si tratta di una specie altamente plastica, capace di resistere a variazioni di velocità della corrente, di profondità e torbidità dell'acqua e concentrazione dei nutrienti, mostrando una notevole capacità di adattamento ecologico (Thiébaud & Di Nino, 2009).

Predilige siti caratterizzati da un'elevata insolazione, dove la fotosintesi e la produzione di biomassa sono massime, ma tollera anche condizioni di bassa intensità luminosa, oltre che di schermatura da parte di altre piante acquatiche (Barrat-Segretain & Elger, 2004)

Il periodo di fioritura di *E. nuttallii* si estende generalmente da maggio a ottobre (Cook & Urmi-König, 1984).



Figura 7. Immagine esemplificativa di *E. nuttallii* (Romani, 2010).

1.10.2 Aspetti morfologici

E. nuttallii è una pianta erbacea acquatica perenne dal portamento sommerso che mostra le seguenti caratteristiche:

- Fusto: a sezione circolare o debolmente ovale di circa 1-3 mm di diametro. I fusti sono completamente sommersi e comunque non sufficientemente turgidi da emergere e hanno dimensioni che variano da 30 cm a oltre 5 m.
- Foglie: [Figura 8] nella parte superiore del fusto riunite in verticilli di 3-(4,) lunghe circa 1 cm, larghe meno di 2.4 mm, lanceolate, ricurve e ritorte, con apici fogliari appuntiti, color verde scuro e lievemente più chiare nella pagina inferiore.

- Fiori: specie dioica (in Europa sono conosciuti solo esemplari femminili), fiori piccoli (circa 5 mm e comunque inferiori a 8 mm), bianchi, con 3 petali e 3 sepal pressoché identici. Frutti: non può fruttificare per la presenza di soli fiori femminili, che non possono essere fecondati (Pignatti, 2017).



A

B

Figura 8. Foglie di *Elodea nuttallii*. Nelle immagini si possono osservare foglie strette e lanceolate disposte in verticilli lungo il fusto, caratteristica morfologica tipica della specie. Fonte: Romani, 2010 (A); Arrigoni, 2011 (B).

1.10.3 Biologia ed ecologia

E. nuttallii cresce completamente sommersa, ad eccezione dei fiori, ma tollera brevi periodi di esposizione fuori dall'acqua. Predilige acque ferme o lentamente fluenti per insediarsi e proliferare ma tollera anche ambienti relativamente reofili, ed eventualmente, si frammenta favorendo il processo di riproduzione vegetativa (Barrat-Segretain, 2001). Ha capacità di adattarsi a condizioni ambientali differenti sopravvivendo anche nei mesi invernali. È contraddistinta da elevata capacità di crescita e di diffusione, sopravvivendo anche nei mesi invernali (Thiébaud, 2007).

Riproduzione e dispersione: nelle aree di origine i fiori fecondati si staccano dallo stelo e sono in grado di galleggiare lontano dalla pianta madre. In condizioni di turbolenza o disturbo, la pianta tende a frammentarsi; ciascun frammento può rigenerare un nuovo individuo, favorendo così la riproduzione vegetativa e la rapida colonizzazione dell'ambiente. La probabilità che i frammenti mettano radici aumenta significativamente con l'aumentare della dimensione del frammento, ma l'emissione delle radici può avvenire anche per frammenti piccoli con dimensioni inferiori ai 5 cm. Inoltre, in inverno le piante producono strutture galleggianti dette ibernacoli, che si generano da

gemme specializzate e sono formate da un pacchetto di foglie libere che dopo l'inverno germogliano, dando vita a nuove piante (Hussner, 2010).

1.10.4 Misure di prevenzione/gestione/lotta/contenimento

Ai sensi del Decreto Legislativo n. 230/2017, che recepisce il Regolamento (UE) 1143/2014, è vietata la detenzione, il trasporto, la coltivazione, la commercializzazione, l'utilizzo e il rilascio nell'ambiente della specie *E. nuttallii* (Gazzetta Ufficiale, 2017).

Durante la progettazione e l'esecuzione di attività di cantiere in corpi idrici potenzialmente colonizzati dalla specie, è fondamentale verificare accuratamente la sua eventuale presenza e, in caso positivo, evitare qualsiasi attività meccanica che possa favorire il taglio e la dispersione di frammenti vegetali. È inoltre raccomandato predisporre aree di lavaggio dedicate ai macchinari impiegati in acque infestate, per prevenire la diffusione accidentale di frammenti (Montagnani et al., 2024).

Le misure di gestione e contenimento si basano principalmente su interventi di tipo meccanico e fisico, poiché non risultano disponibili né consigliabili trattamenti chimici per questa specie acquatica. Le operazioni meccaniche devono essere eseguite preferibilmente in estate, poiché durante l'inverno gli ibernacoli (gemme dure o turioni) risultano difficili da rimuovere (Hussner, 2010).

Quando l'infestazione è circoscritta, lo sfalcio meccanizzato deve essere evitato per prevenire la frammentazione dei fusti e la conseguente riproduzione vegetativa. In tali casi, sono consigliati interventi manuali di asportazione, avendo cura di eliminare completamente anche gli apparati radicali e i frammenti residui.

Nei canali artificiali e nei corsi d'acqua, per evitare la dispersione dei frammenti è utile installare cordoli o barriere galleggianti immediatamente a valle dei tratti infestati.

In presenza di infestazioni estese, si può procedere con asportazione meccanica mediante apparecchiature che consentano lo sradicamento delle piante. Ove possibile, si può intervenire mediante messa in secca temporanea del corpo idrico (con paratoie, savanelle o drenaggi), al fine di facilitare la rimozione (Montagnani et al., 2024).

Tutto il materiale vegetale rimosso deve essere completamente estratto e smaltito in modo appropriato, impedendone il ritorno in acqua, poiché frammenti vitali potrebbero rigenerarsi (Barrat-Segretain, 2001).

1.10.5 Differenze principali con le specie simili

È possibile confondere *E. nuttallii* [Figura 9] con *Elodea canadensis* [Figura 10] e *Lagarosiphon major* [Figura 11], specie anch'esse appartenenti alla famiglia delle Hydrocharitaceae.

E. canadensis è una pianta perenne sommersa, con fusti robusti e foglie disposte in verticilli di (3)-4, a lamina più larga (oltre 2,5 mm), di forma ovato-lanceolata e con apice ottuso. Le foglie, generalmente più rigide e dense, conferiscono alla pianta un aspetto più compatto rispetto a *E. nuttallii*, che mostra fusti più sottili e foglie strette, lineari e con apice più acuto.

Lagarosiphon major è una pianta completamente sommersa, con foglie disposte a spirale attorno al fusto (formando dei pseudoverticilli). Le foglie sono strettamente lanceolate, con apice acuminato, fortemente ricurve verso il basso, ma non ritorte. Si distingue facilmente da specie del genere *Elodea* per questa disposizione spiralata e per il diverso portamento del fusto.

Al di là delle differenze morfologiche, *E. nuttallii* e *E. canadensis* presentano esigenze ecologiche piuttosto simili, prediligendo acque dolci ferme o debolmente correnti, ricche in nutrienti. Tuttavia, in Italia settentrionale (in particolare in Piemonte) si osserva che *E. nuttallii* tende ad essere più termofila e sia più favorita da condizioni in ambienti meso-eutrofici, cioè una maggior disponibilità trofica rispetto a *E. canadensis* (Pignatti, 2017).



Figura 9. *E. nuttallii* (Montagnani et al, 2024).



Figura 10. *Elodea canadensis*. Si osservano foglie più larghe, ovato-lanceolate e con apice ottuso, disposte in verticilli lungo il fusto, che conferiscono alla pianta un aspetto più robusto rispetto a *E. nuttallii*. (Arrigoni, 2012).



Figura 11. *Lagarosiphon major*. Si osservano foglie strette e ricurve disposte a spirale attorno al fusto (pseudoverticilli), caratteristica che la distingue dalle specie del genere *Elodea* (Giordana, 2008).

1.11 Il fiume Po e i suoi affluenti in Piemonte e nel territorio torinese

Nel contesto italiano, il fiume Po, con i suoi 652 km di lunghezza è il più lungo fiume italiano e rappresenta il principale asse idrografico nazionale e la spina dorsale del più vasto bacino fluviale dell'Italia e dell'Europa meridionale, esteso su oltre 74 000 km². Il distretto idrografico del fiume Po comprende le principali regioni settentrionali e ricopre un ruolo strategico per l'approvvigionamento idrico per uso agricolo, industriale e civile di queste regioni (Autorità di Bacino Distrettuale del Po, 2021).

Il fiume Po nasce dal Monviso (Pian del Re, 2022 m s.l.m.) e prosegue il suo percorso attraversando la provincia di Torino. In quest'area, il fiume riceve numerosi affluenti significativi, tra cui il Pellice, il Chisone, la Stura di Lanzo, il Sangone e l'Orco, che contribuiscono in modo sostanziale al bilancio idrologico ma anche alla somma delle pressioni ambientali sull'asta principale (Sapere, Enciclopedia De Agostini). Questo tratto rappresenta una delle zone fluviali più studiate a livello nazionale per la valutazione delle pressioni antropiche e dello stato di qualità delle acque.

La rete di monitoraggio, gestita da ARPA Piemonte in collaborazione con l'Autorità di Bacino del Po, prevede stazioni di campionamento distribuite lungo il corso del Po e dei suoi affluenti

principali. Le indagini si concentrano su indicatori biologici (indice STAR_ICMi per macroinvertebrati, IBMR per macrofite), su parametri chimico-fisici di base e su contaminanti specifici (metalli pesanti, pesticidi, nutrienti). I cicli di monitoraggio pluriennali hanno evidenziato una qualità delle acque generalmente buona o sufficiente nei tratti montani e pedemontani, con un progressivo peggioramento verso valle, in correlazione con l'aumento della densità abitativa, della pressione industriale e agricola e della presenza di scarichi civili (Ibidem).

Dal punto di vista ecologico, il tratto torinese del Po e i suoi affluenti presentano una diversità biologica significativa, favorita dalla varietà morfologica e ambientale. Tuttavia, in alcune aree, sono stati riscontrati fenomeni ricorrenti di eutrofizzazione e accumulo di sedimenti inquinati, derivanti da nutrienti e sostanze organiche provenienti da scarichi agricoli e urbani. Le attività di monitoraggio hanno permesso di correlare la composizione delle comunità vegetali e macrofite con gradienti di qualità ecologica, rilevando ad esempio un'elevata presenza di specie nitrofile (*Lemna minor*, *Ceratophyllum demersum*) nei tratti più antropizzati e una maggiore abbondanza di specie sensibili (*Ranunculus fluitans*, *Potamogeton polygonifolius*) nelle aree di maggiore naturalità fluviale (Ibidem). Questi risultati sottolineano l'importanza del biomonitoraggio come strumento diagnostico, grazie al quale è possibile pianificare strategie mirate di riqualificazione fluviale e gestire in modo sostenibile le risorse idriche nei territori a elevata pressione antropica come la pianura piemontese.

2. SCOPO DELLO STAGE

La presente tesi si propone di valutare lo stato ecologico di alcuni tratti del fiume Po e dei suoi affluenti nel territorio della provincia di Torino, attraverso l'applicazione del monitoraggio biologico basato sulle macrofite acquatiche, in conformità con quanto previsto dalla Direttiva 2000/60/CE e dalla normativa nazionale di recepimento. In particolare, mediante il calcolo dell'Indice Biologico Macrofite nei corsi d'acqua (IBMR), il lavoro intende analizzare la qualità ecologica dei corpi idrici indagati e caratterizzare la struttura delle comunità vegetali presenti, con un approfondimento sulla distribuzione della specie esotica invasiva *E. nuttallii*, al fine di valutarne l'eventuale rilevanza ecologica nei tratti monitorati.

3. MATERIALI E METODI

Il presente studio è stato condotto sul fiume Po e su alcuni dei suoi principali affluenti situati nella provincia di Torino, con l'obiettivo di analizzare le caratteristiche ambientali e le dinamiche idrologiche che interessano questo territorio fluviale.

3.1 Protocollo di campionamento delle macrofite

Come descritto nel capitolo 1, le macrofite acquatiche rappresentano una componente chiave dei protocolli di biomonitoraggio per la loro capacità di fornire informazioni sulla qualità ambientale e sul grado di eutrofizzazione e sulla presenza di contaminanti.

In questo studio i campionamenti e le analisi delle macrofite acquatiche nei corsi d'acqua sono stati condotti seguendo le linee guida nazionali "Protocollo di campionamento e analisi per le macrofite delle acque correnti", elaborato dall'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (APAT) in collaborazione con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) e con il contributo di ISS, ENEA, ARPA regionali e istituzioni universitarie. Tale metodologia è coerente con le indicazioni della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE ed è finalizzata alla determinazione dello stato ecologico dei corsi d'acqua utilizzando le macrofite come elementi di qualità biologica.

Lo scopo del protocollo è definire in maniera standardizzata le modalità di rilevamento delle macrofite nelle acque correnti, con l'obiettivo specifico di caratterizzare lo stato ecologico di un tratto di fiume utilizzando questi organismi come elementi di qualità biologica. Il rilievo prevede la valutazione congiunta della composizione floristica e dell'abbondanza della flora macrofita, al fine di descrivere la struttura della comunità in relazione alle condizioni ambientali del corpo idrico indagato. I campionamenti effettuati secondo tale protocollo costituiscono inoltre la base per la costruzione di liste floristico-ecologiche di stazione, che diventano parte integrante della metodica e rappresentano un riferimento essenziale per le successive fasi di classificazione e monitoraggio.

Le macrofite vengono qui intese in senso ecologico-funzionale come l'insieme dei vegetali macroscopicamente visibili presenti negli ambienti acquatici, palustri e di greto, tipici degli ambiti fluviali, comprendendo fanerogame, pteridofite, briofite e alghe filamentose. L'uso di queste comunità come bioindicatori si basa sulla sensibilità di specie e gruppi funzionali alle alterazioni dei corpi idrici e alle diverse pressioni antropiche, nonché sulla loro capacità di

integrare nel tempo le condizioni chimico-fisiche e idromorfologiche del sistema (APAT, 2007).

3.3 Procedura di campionamento

3.3.1 Periodo di campionamento

Il campionamento, seguendo le indicazioni del protocollo, è avvenuto nel periodo di massimo sviluppo della vegetazione acquatica, compreso tra la tarda primavera e l'inizio dell'autunno, indicativamente da marzo a ottobre, tenendo conto delle specifiche condizioni climatiche locali e del regime idrologico dei corsi d'acqua indagati. Poiché le comunità macrofite possono variare sensibilmente nel corso della stagione vegetativa, sono state effettuate due distinte campagne di monitoraggio, ciascuna con un relativo campionamento: la prima tra aprile e giugno e la seconda tra luglio e settembre, al fine di cogliere le principali fasi fenologiche delle specie. Il campionamento è stato inoltre programmato a distanza di diversi giorni da eventuali piene o morbide (aumenti gradualmente e moderati della portata del corso d'acqua), in modo da garantire, da un lato, l'integrità strutturale della comunità e dall'altro, un livello di acqua e una torbidità tali da consentire una buona visibilità sul substrato e sulla vegetazione acquatica.

3.3.2 Scelta della stazione

La stazione di campionamento, in linea con il protocollo, è stata scelta in modo da risultare rappresentativa del tratto omogeneo del corso d'acqua oggetto di indagine e inclusiva, per quanto possibile, di tutte le principali condizioni idrologiche e biologiche presenti.

La lunghezza del tratto di stazione è stata definita tra 50 e 100 m, in funzione della larghezza dell'alveo e dei livelli di copertura macrofita. La presenza effettiva della comunità macrofita è stata verificata dall'interno del corso d'acqua, poiché una valutazione condotta esclusivamente dalle sponde avrebbe potuto risultare parziale o fuorviante. Una volta definita la stazione, sono stati registrati, tramite GPS, i limiti a monte e a valle. Contestualmente, mediante l'apposita scheda di rilevamento, sono stati misurati l'ampiezza media dell'alveo bagnato al momento del rilievo, l'ampiezza dell'alveo di morbida (larghezza dell'alveo occupata dall'acqua durante condizioni di portata moderatamente elevata, superiori al livello ordinario ma inferiori a quelle di piena) e la lunghezza esatta del tratto considerato, annotando ogni informazione rilevante sulle condizioni idromorfologiche e sulle pressioni locali.

3.3.3 Procedura di campionamento

Il campionamento è stato quindi condotto direttamente all'interno del corso d'acqua [Figura 12]: il primo passaggio consiste nella stima della copertura complessiva della comunità macrofittica rispetto alla superficie dell'alveo. Questa valutazione, effettuata visivamente, fornisce una misura sintetica dell'estensione della vegetazione acquatica nel tratto considerato, costituendo il riferimento per le successive stime di copertura dei singoli taxa (unità tassonomiche).




Figura 12. *Operatori durante le attività di campionamento in alveo, equipaggiati con dispositivi di protezione individuale (waders, giubbotto di galleggiamento e casco) e con le attrezzature utilizzate per il prelievo dei campioni.*

Successivamente gli operatori percorrono il tratto di stazione in direzione controcorrente, muovendosi preferibilmente a zig zag (da una sponda all'altra), in modo da esplorare le diverse porzioni del canale (margini, velocità della corrente, granulometria). Durante questa fase vengono individuati tutti i taxa macrofittici presenti in alveo, e ne viene effettuata la raccolta, la quale deve essere il più possibile completa, includendo apparato radicale, fusti, foglie e, se presenti, fiori, frutti o altre strutture riproduttive. Riguardo il trattamento e la conservazione dei campioni vegetali raccolti si rimanda al paragrafo 3.3.5 Trattamento e conservazione dei campioni durante il campionamento.

Per non alterare in modo significativo la struttura della comunità e il suo sviluppo, è importante che il volume di biomassa prelevata sia ridotta al minimo. Una volta completata la prima percorrenza, il protocollo prevede una seconda ispezione della stazione, generalmente in

direzione opposta, finalizzata a verificare la completezza della lista floristica e ad attribuire le percentuali di copertura ai singoli taxa.

Nei corsi d'acqua profondi o non percorribili in sicurezza, il campionamento delle macrofite viene svolto mediante procedure alternative che prevedono, a seconda delle condizioni locali l'impiego di una barca, l'osservazione subacquea e/o l'osservazione dalla riva, integrati dall'utilizzo di rastrelli dotati di manico estensibile per il prelievo del materiale vegetale. Tutti i taxa osservati vengono registrati sull'apposita "Scheda di Campionamento" [Figura 13], insieme ai parametri ambientali: morfologia dell'alveo (ampiezza media in periodo di magra, di morbida, di piena), trasparenza dell'acqua, portata (rispetto al campionamento precedente), velocità della corrente (lenta, media, elevata, molto elevata, con relative percentuali), ombreggiamento, granulometria (la distribuzione delle dimensioni dei sedimenti che costituiscono il fondo di un corso d'acqua, come sabbia, ghiaia o ciottoli, e riflette le caratteristiche del trasporto e della deposizione dei materiali lungo il fiume).

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto :
Fiume :	Località :	Cod. C.I. :
Data campionamento:	Operatori :	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	
Ampiezza media alveo di magra (m)	
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	
Ampiezza media alveo di morbida (m)	
Ampiezza media alveo di piena (m)	
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

*rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione speditiva dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale %
Elevata	
Molto elevata	totale

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	
megalithal pie, 0tre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

In seguito, si procede alla stima dei valori di copertura dei singoli taxa che compongono la comunità. In questa fase l'insieme della comunità macrofittica rinvenuta viene assunto come riferimento pari a 100, rispetto al quale vengono espresse le coperture relative delle diverse specie (o unità tassonomiche considerate). Per ogni taxon viene attribuita quindi una percentuale di copertura rapportata a questo totale convenzionale (100), che rappresenta la copertura complessiva della comunità nella stazione [Figura 14]. Anche per i singoli taxa l'assegnazione dei valori avviene utilizzando una scala compresa tra 5 e 100, adottando esclusivamente numeri interi e multipli di cinque, in modo da garantire uniformità e confrontabilità delle stime.

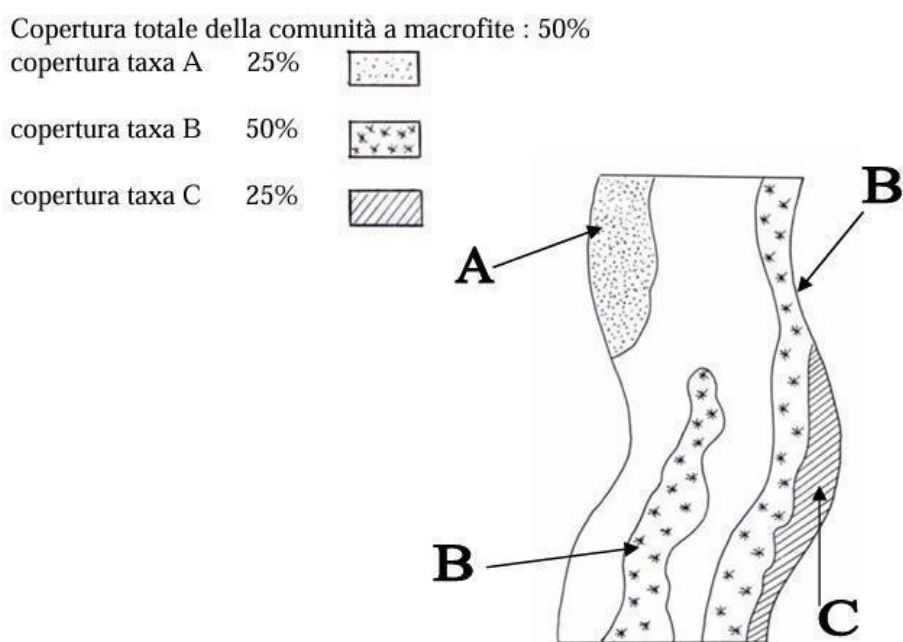


Figura 14. Schema di valutazione visiva della copertura delle macrofite mediante modelli di stima quantitativa. L'esempio mostra la copertura percentuale dei diversi taxa presenti nel tratto fluviale (A, B, C) utilizzata per il calcolo della copertura totale della comunità (APAT, 2007).

3.3.5 Trattamento e conservazione dei campioni durante il campionamento

La conservazione delle fanerogame avviene all'interno di un sacchetto di plastica, in cui viene posta una targhetta con l'indicazione della stazione di rilevamento, della data e di eventuali annotazioni.

I campioni di alghe invece, vengono trasferiti in barattoli di plastica chiusi con tappo e riempiti con acqua di raccolta; la stessa modalità di raccolta è raccomandata anche per le piccole fanerogame (ad es. *Lemna*) e alcuni piccoli muschi ed epatiche. I barattoli devono essere

contrassegnati o muniti anch'essi di etichetta, sulla quale sono riportati i dati relativi alla stazione di raccolta, la data e le caratteristiche del campione, in modo da facilitare il riconoscimento dei campioni in fase di determinazione in laboratorio.

Terminata la fase di campionamento, il materiale raccolto nei sacchetti e nei barattoli, viene riposto in una borsa frigo affinché si conservi al meglio durante il trasporto in laboratorio.

3.4 Procedure analitiche

3.4.1 Trattamento e conservazione dei campioni in laboratorio

Nel caso in cui l'identificazione del materiale in laboratorio non venga effettuata immediatamente sarà necessario ricorrere ad una corretta conservazione dei campioni, per mantenerli in buone condizioni.

Le fanerogame, le felci ed i muschi di grandi dimensioni devono essere fatti seccare tra strati di spugna e fogli di giornali, disponendole in modo tale da conservare tutti gli organi della pianta nelle migliori condizioni possibili; i campioni vanno impilati e messi a seccare sotto una pressa. Per favorire l'essiccazione ed evitare la formazione di muffe è consigliabile disporre i campioni tra due graticci di legno per mantenere l'aerazione [Figura 15 e 16].



Figura 15. Pressa utilizzata per l'essiccazione dei campioni di fanerogame acquatiche raccolti durante il campionamento.



Figura 16. Campioni di piante acquatiche essiccate disposti su fogli di carta durante la fase di preparazione per la conservazione e l'identificazione delle specie (APAT, 2007).

Le alghe e i muschi, qualora non vengano determinate immediatamente a seguito del campionamento, devono essere conservate in frigo dentro i barattoli con l'acqua di raccolta per essere osservate nel più breve tempo possibile.

3.4.2 Identificazione dei campioni

Per l'identificazione di angiosperme, pteridofite e briofite è necessaria la determinazione a livello di specie; per quanto riguarda le alghe, invece, la determinazione si ferma quasi sempre a livello di genere. Per la corretta identificazione dei campioni è indispensabile l'utilizzo di chiavi dicotomiche per il riconoscimento dei vari gruppi tassonomici, affiancate all'uso dello stereoscopio e del microscopio ottico, che consentono l'osservazione dei caratteri morfologici e anatomici richiesti per la corretta identificazione delle specie.

Le chiavi dicotomiche sono strumenti botanici fondamentali basati su una dicotomia ovvero due affermazioni contrapposte (sì/no) che permettono ad ogni scelta di procedere in due direzioni diverse, fino ad arrivare all'identificazione prima della famiglia, poi del genere e quando possibile della specie dell'organismo preso in esame. Le guide utilizzate a questo scopo durante lo studio sono state:

Per le alghe:

- Bourelly P. - 1966 - Les algues d'eau douce. - Éditions N. Boubée & Cie. Tome I-II-III.
- John D. M., Whitton B.A., Brook A.J. - 2005 - The Freshwater Algal Flora of the British Isles - Cambridge University Press.

Per i muschi:

- Cortini Pedrotti C. - 2001 - Flora dei muschi d'Italia - Ed. Antonio Delfino, Vol I - II.
- Smith A.J.E. - 2004 - The Moss Flora of Britain & Ireland - Cambridge University Press.

Per le pteridofite e fanerogame:

- Pignatti S. - 1982 - Flora d'Italia. - Edagricole, Vol I - II - III.

Una volta avvenuta la determinazione dei campioni, le fanerogame, le felci e le briofite essiccate vengono archiviate tra fogli di giornale corredati da indicazioni relative al nome della specie, data e luogo di raccolta, al fine di costituire un "erbario". Per quanto riguarda le alghe, invece, una volta identificate possono essere smaltite.

Successivamente, a partire dall'elenco delle specie e dalle relative abbondanze, si procede quindi al calcolo dell'indice IBMR per la valutazione dello stato ecologico del corso d'acqua.

3.5 Indice IBMR

L'Indice Biologico delle Macrofitte nei corsi d'acqua (IBMR) è uno strumento di bioindicazione sviluppato per valutare e classificare lo stato ecologico dei corsi d'acqua sulla base della comunità delle macrofitte acquatiche, in coerenza con gli obiettivi della Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (European Parliament and Council, 2000).

Tale indice si fonda sull'assunto che la composizione floristica e l'abbondanza relativa delle macrofitte rispondano in modo prevedibile a pressioni antropiche, in particolare a carichi trofici e alterazioni idromorfologiche, integrando l'effetto delle condizioni ambientali in un arco temporale più ampio rispetto ai tradizionali parametri chimico-fisici. In ambito europeo, l'indice è stato originariamente sviluppato e standardizzato in Francia (Haury et al., 2002; AFNOR, 2003) e successivamente adattato in diversi Paesi, con l'obiettivo di disporre di una metrica biologica basata sui valori indicatore assegnati ai singoli taxa, che riflettano la loro preferenza rispetto al grado di trofia e alle condizioni di qualità dell'acqua (Haury et al., 2002).

ARPA applica il metodo per il calcolo dell'IBMR mediante rilievi in campo su tratti fluviali rappresentativi, in cui viene effettuata la determinazione tassonomica delle specie di macrofitte presenti e la stima della loro copertura per segmenti omogenei di alveo; a ciascun taxon è attribuito un valore indicatore e un punteggio di abbondanza/copertura, e il calcolo dell'indice avviene combinando tali informazioni secondo l'algoritmo definito nel metodo nazionale (Minciardi et al., 2009; Ministero dell'Ambiente, 2010).

Il valore sintetico ottenuto è poi normalizzato e confrontato con le condizioni di riferimento per assegnare il corpo idrico a una delle classi di qualità (elevato, buono, sufficiente, scarso, cattivo), in linea con la classificazione ecologica prevista dalla Direttiva 2000/60/CE e dai protocolli di implementazione comunitari. In questo modo l'IBMR consente alle Agenzie Regionali per la Protezione dell'Ambiente di disporre di una metrica standardizzata, ripetibile e confrontabile a scala nazionale ed europea, utile sia per la classificazione ufficiale dello stato ecologico dei fiumi, sia per la valutazione dell'efficacia delle misure di gestione e risanamento dei corpi idrici (Minciardi et al., 2009).

3.5.1 Calcolo dell'indice IBMR

Il calcolo dell'IBMR per la stazione di rilevamento si effettua attraverso la formula:

$$IBMR = \frac{\sum_i^n [E_i K_i C_i]}{\sum_i^n [E_i K_i]}$$

dove:

E_i= coefficiente di stenoecia (indice della ristretta ampiezza ecologica della specie rispetto ai fattori ambientali)

K_i= coefficiente di copertura

C_i= coefficiente di sensibilità

n= numero dei taxa indicatori

L'elenco dei taxa indicatori è costituito da 210 taxa e comprende alghe (44), licheni (2), briofite (37 specie di muschi e 15 di epatiche), pteridofite (3) e angiosperme (107) e ad ogni taxon è correlato un coefficiente di sensibilità C_i e un coefficiente di stenoecia E_i.

Il coefficiente di copertura K_i è attribuito a ciascun taxon mediante la conversione dei valori di copertura reale ai corrispondenti coefficienti di copertura stabiliti dalla metodologia IBMR [Tabella 1].

Tabella 1. Tabella per l'attribuzione dei coefficienti di copertura partendo dai valori di copertura reali (Minciardi et al, 2009).

Copertura reale	Coefficienti di copertura	Significato secondo IBMR
<0.1	1	Solo presenza
0,1 ≤ cop < 1	2	Copertura scarsa
1 ≤ cop < 10	3	Copertura discreta
10 ≤ cop < 50	4	Copertura buona
≥ 50	5	Copertura alta

Il metodo prevede che la stazione venga classificata in base al livello trofico in funzione del valore numerico assunto dall'IBMR, attraverso la suddivisione del campo di valori dell'indice (0–20) in intervalli prestabiliti [Tabella 2] (Minciardi et al, 2009).

Tabella 2. *Tabella rappresentativa dei livelli trofici dell'IBMR (Minciardi et al, 2009).*

Valore	Livello trofico	
$IBMR \geq 14$	Trofia MOLTO LIEVE	Blu
$12 \leq IBMR \leq 14$	Trofia LIEVE	Verde
$10 \leq IBMR \leq 12$	Trofia MEDIA	Giallo
$8 \leq IBMR \leq 10$	Trofia ELEVATA	Arancio
$IBMR \leq 8$	Trofia MOLTO ELEVATA	Rosso

3.5.2 Calcolo del Rapporto di Qualità Ecologica RQE

Per ciascuna tipologia fluviale (o gruppo di tipologie) individuata è possibile determinare un valore di IBMR atteso sulla base dei dati rilevati nei siti di riferimento.

Il calcolo dell'indice RQE_IBMR per ciascun sito di monitoraggio prevede il rapporto tra il valore di IBMR osservato e il valore medio di IBMR calcolato sui siti di riferimento individuati per la medesima tipologia fluviale.

L'analisi dei dati disponibili, derivanti dall'applicazione dell'IBMR in diverse regioni italiane e riferiti a un numero significativo di tipologie fluviali, ha consentito di individuare due macro-ambiti territoriali: uno alpino, riferibile alle aree montane delle HER (Hydro Eco Regions) 1, 2, 3 e 4, e uno centrale-mediterraneo, comprendente gli ambiti pedemontani e di pianura delle HER 1, 2, 3 e 4, nonché tutte le altre idroecoregioni [Figura 17].



Figura 17. *Suddivisione del territorio italiano in idroecoregioni (HER), unità geografiche definite sulla base di caratteristiche geomorfologiche, climatiche e idrologiche utilizzate per la classificazione e la valutazione ecologica dei corsi d'acqua. Fonte: Minciardi et al. (2009).*

Sulla base dell'esame dei dati è stato possibile definire i valori limite di RQE_IBMR per le differenti classi di qualità (Elevata, Buona, Sufficiente e Scarsa) differenziati in funzione delle due aree geografiche considerate [Tabella 3] (Minciardi et al, 2009).

Tabella 3. *Valori dell'indice RQE_IBMR corrispondenti ai limiti di classe per gli stati "Elevato" e "Buono" (E/B) e "Buono" e "Sufficiente" (B/S), per i diversi macrotipi fluviali (Minciardi et al, 2009).*

Area geografica	Idroecoregioni	E/B	B/S
Alpina	1, 2, 3, 4 (aree montane)	0.85	0.70
Centrale	1, 2, 3, 4, 5, 7 (aree collinari e di pianura) 6 (pianura padana a nord del fiume Po)	0.90	0.80
Mediterranea	8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21 6 (pianura padana a sud del fiume Po)	0.90	0.80

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel corso di questo studio sono state effettuate due campagne di campionamenti delle macrofite, in otto stazioni sul fiume Po [Figura 18] e su alcuni dei suoi principali affluenti situati nella provincia di Torino. L'obiettivo era quello di analizzare in modo approfondito il contesto ecologico e valutare lo stato di qualità del corpo idrico, al fine di comprenderne il funzionamento e le interazioni tra gli elementi fisici, biologici e antropici che lo definiscono.

I campionamenti sono stati effettuati in condizioni di magra/morbida del corso d'acqua, ovvero in un periodo in cui la portata dei vari corpi idrici risultava inferiore ai valori tipici di piena, con livelli idrici relativamente bassi ma ancora sufficienti a garantire una continuità di flusso; in questi regimi idrologici il fiume presenta generalmente minore energia di corrente e una maggiore stabilità delle condizioni al fondo, fattori che influenzano in modo diretto la distribuzione e la struttura delle comunità macrofittiche.

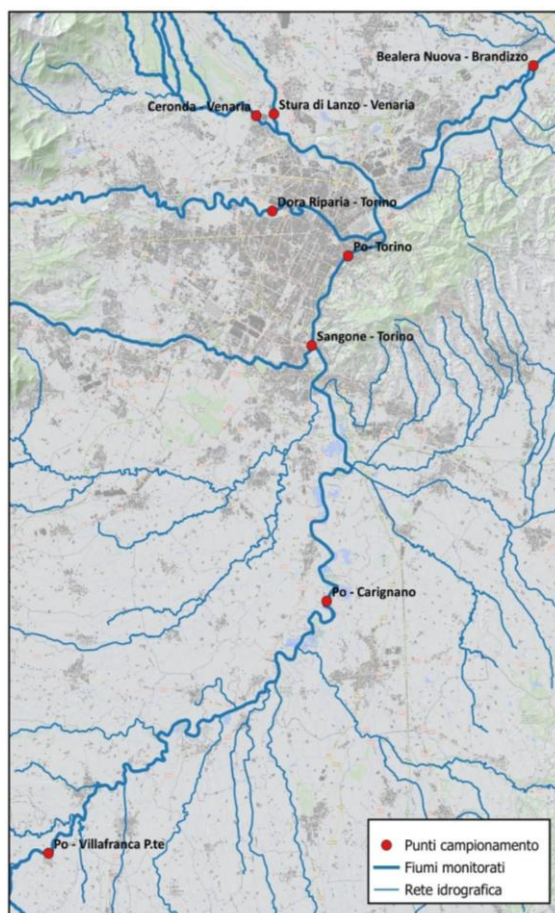


Figura 18. Rappresentazione cartografica dei tratti fluviali indagati nell'area metropolitana di Torino e dei relativi punti di campionamento. Fonte: ARPA Piemonte (2026).

Sulla base degli eventi occorsi nel 2022 relativi a *E. nuttallii*, caratterizzati da una sua marcata proliferazione nel tratto torinese del fiume Po e dalla conseguente necessità di attuazione di interventi di eradicazione seguiti da specifiche attività di controllo, anche nell'estate 2025, in concomitanza con i campionamenti di routine, sono state condotte operazioni mirate di monitoraggio finalizzate alla valutazione della presenza e della diffusione di *E. nuttallii*.

4.1 Po, Villafranca

Nel sito di Villafranca, la stazione di campionamento lungo il fiume Po si colloca in un tratto a corrente moderata, con alveo caratterizzato da un fondale eterogeneo, costituito prevalentemente da sabbia con frazioni pietrose e ciottolose. L'ombreggiatura risulta limitata, con buona esposizione alla luce, in associazione ad una discreta trasparenza dell'acqua garantisce condizioni potenzialmente favorevoli allo sviluppo delle macrofite sommerse, tuttavia, la copertura rilevata è risultata piuttosto contenuta, con una comunità vegetale presente ma poco abbondante, suggerendo che, nonostante il substrato misto e le buone condizioni luminose, altri fattori locali possano limitare l'espansione delle macrofite in questo tratto del Po [Allegato A].



Figura 19. Punto di campionamento sul fiume Po Villafranca Piemonte. Fonte: elaborazione propria.

A Villafranca è stato effettuato un primo campionamento nel mese di agosto e un secondo a fine settembre. Durante la prima campagna la copertura della comunità macrofita totale è risultata pari al 20%, mentre nella seconda ha raggiunto il 40%. Nella prima campagna [Figura 20A] il 95% della comunità macrofita è rappresentata dalle fanerogame, il 5% dalle alghe ed è stata rilevata

una presenza di briofite; nella seconda campagna [Figura 20B], invece, l'80% è rappresentato dalle fanerogame, il 20% dalla comunità algale e, anche in questo caso, è stata rilevata una presenza di briofite.

Nella legenda del primo grafico è riportata la voce “briofite”, poiché durante la prima campagna sono state rinvenute sia varie specie di muschi (*Fontinalis antipyretica*, *Leptodictyum riparium* e *Fissidens rivularis*) sia una specie di epatica (*Gymnocolea*) e quindi diverse specie appartenenti al gruppo tassonomico delle briofite, mentre nella legenda del secondo grafico compare la voce più specifica “muschi”, perché nella seconda campagna è stata rilevata unicamente una specie di muschio (*Fontinalis antipyretica*).

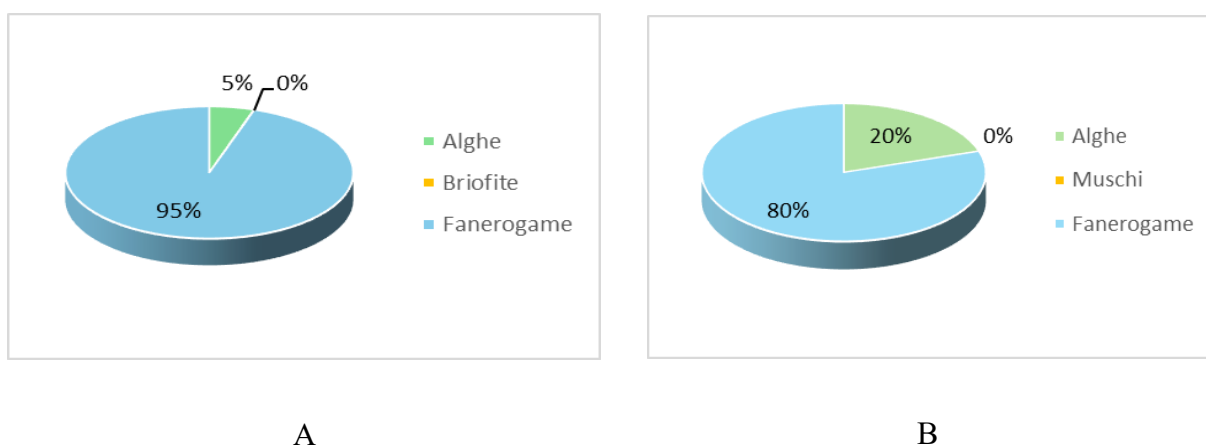


Figura 20. Copertura vegetale (fanerogame, briofite, alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sul Po a Villafranca.

Come mostrato nel grafico in Figura 21, la fanerogama maggiormente rappresentata è *Callitriche brutia*, che raggiunge una copertura del 12% nella prima campagna e del 20% nella seconda. A seguire si colloca *Ranunculus trichophyllus*, con una copertura pari al 6% del totale della comunità macrofittica sia nella prima sia nella seconda campagna; non è stata rilevata la presenza di *Elodea nuttallii*.

Per quanto concerne la componente algale, *Vaucheria* risulta essere il taxon più abbondante, sebbene con percentuali contenute pari all'1% nella prima campagna e al 6% nella seconda. Un'ulteriore alga rilevata in quantità non trascurabili, seppur esclusivamente nella seconda campagna, è il genere *Cladophora*, che rappresenta il 2% della copertura macrofittica totale.

Il resto delle specie macrofitiche è stato comunque rilevato e campionato, risultando pertanto riportato in legenda; tuttavia, le relative percentuali di copertura sono inferiori alla soglia di rappresentazione grafica e, di conseguenza, non risultano visibili nel grafico.

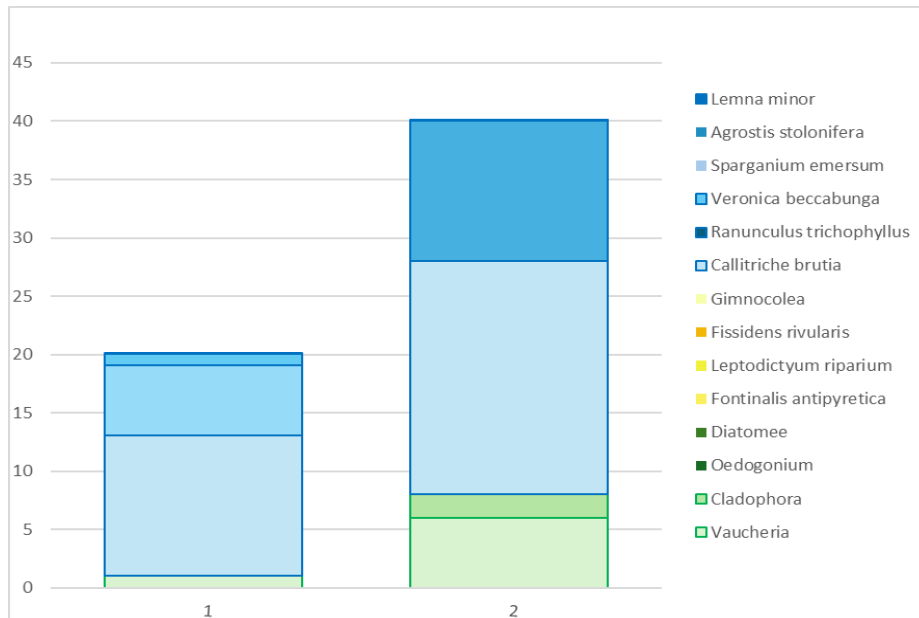


Figura 21. *Composizione specifica e abbondanza percentuale delle fanerogame, alghe e briofite rilevate nelle due campagne di campionamento (1 e 2) nel fiume Po a Villafranca.*

4.2 Po, Carignano

A Carignano, la stazione di campionamento lungo il fiume Po si colloca in un tratto a corrente media-elevata, caratterizzato da un alveo ampio con fondale caratterizzato prevalentemente da pietre. L'ombreggiatura risulta essere nulla, con una totale esposizione alla luce del sole. La trasparenza dell'acqua è discreta e, unita alla moderata profondità, permette la penetrazione della luce fino al fondo in ampie porzioni dell'alveo. Nel complesso, il tratto indagato si presenta come un habitat morfologicamente piuttosto omogeneo e, in linea teorica, favorevole all'insediamento di comunità macrofitiche. Tuttavia, la copertura macrofitica osservata è risultata limitata, verosimilmente a causa della velocità di corrente relativamente elevata, che rappresenta un fattore determinante nel contrastare il raggiungimento di percentuali di copertura più elevate [Allegato B].



Figura 22. Punto di campionamento sul fiume Po a Carignano.

Anche presso la stazione di Carignano sono stati effettuati due campionamenti, il primo nel mese di agosto e il secondo a fine settembre. La copertura totale della comunità macrofittica è risultata, nella prima campagna pari al 10%, mentre nella seconda è aumentata fino al 30%. Come illustrato nel grafico in Figura 23A nella prima campagna il 95% della comunità macrofittica è rappresentata da alghe, il 5% da fanerogame; nella seconda campagna [Figura 23B] la componente algale era pari all'80%, con il restante 20% composto da fanerogame. In questo sito di campionamento non è stata rilevata la presenza di muschi.

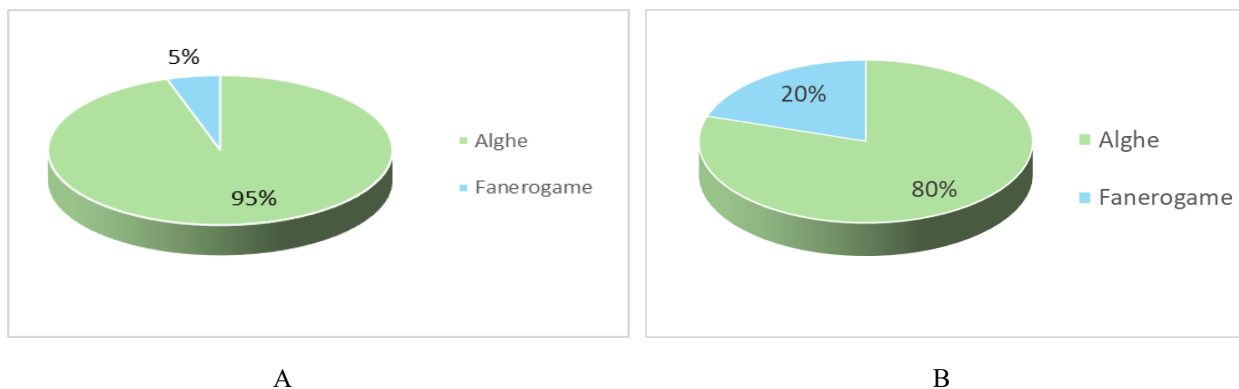


Figura 23. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sul Po a Carignano.

Nella prima campagna la fanerogama più presente seppur in quantità esigue è *Callitriche brutia*, mentre nella seconda campagna le fanerogame maggiormente presenti sono *Ranunculus fluitans*, *Veronica beccabunga* e *Veronica Anagallis-aquatica* presenti tutte e tre all'1,5 %. Non è stata rilevata la presenza di *E. nuttallii*.

L'alga più abbondante è *Cladophora*, con percentuali di copertura pari al 6% nella prima campagna e al 18% nella seconda, seguita da *Vaucheria*, che raggiunge il 2,5% nel primo rilievo e il 6% nel secondo.

Le restanti specie macrofite sono state comunque rilevate e campionate e sono pertanto riportate in legenda; tuttavia, le loro percentuali di copertura risultano inferiori alla soglia minima di rappresentazione adottata e, di conseguenza, non sono visibili nel grafico in Figura 24.

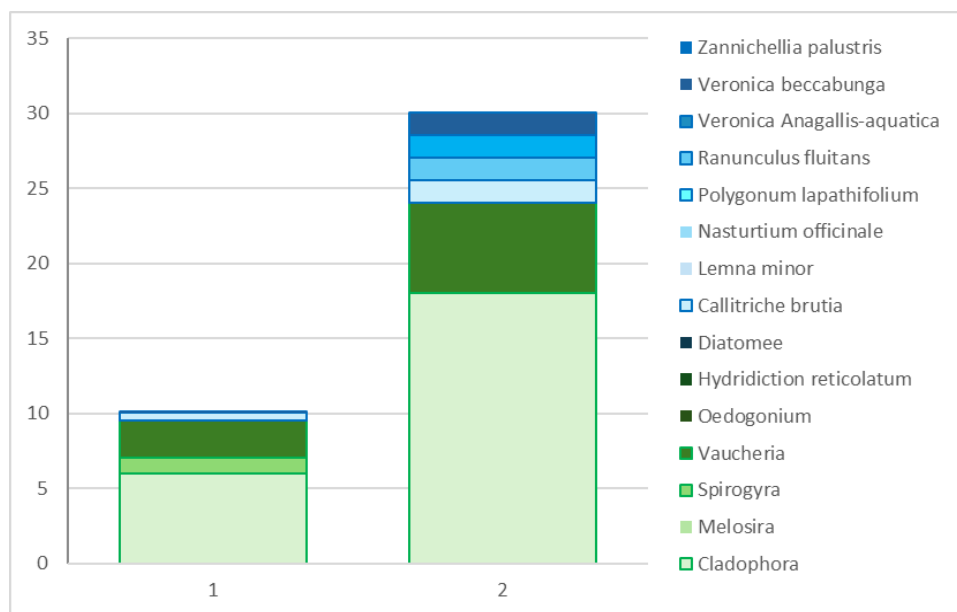


Figura 24. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sul Po a Carignano.

4.3 Sangone, Torino

Il fiume Sangone è un affluente di sinistra del fiume Po e si immette nelle sue acque nei pressi del confine tra Moncalieri e Torino. La stazione di campionamento si colloca in un tratto a corrente lenta, con alveo dalle piccole dimensioni con un fondale prevalentemente sabbioso, L'ombreggiatura risulta discreta e la sezione è esposta alla luce; la trasparenza dell'acqua è ottima. [Allegato C].

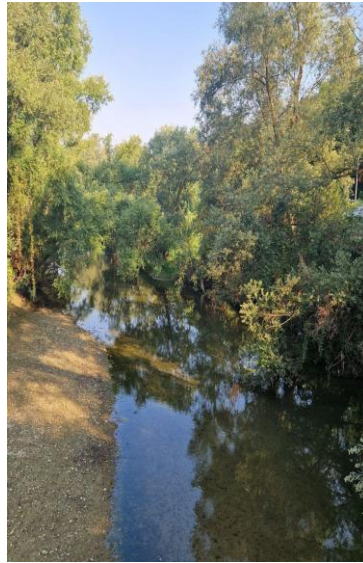


Figura 25. Punto di campionamento sul fiume Sangone a Torino.

In questa stazione sono state realizzate due campagne di campionamento, effettuate nel mese di agosto e a ottobre. Tra le due campagne è stata rilevata una marcata differenza nella copertura complessiva (circa 90% nella prima e 10% nella seconda), la quale può essere ricondotta ad una combinazione di fattori idrologici e stagionali. In particolare, durante la prima campagna il corso d'acqua è stato interessato da un incremento della portata ovvero episodi di piena, con un conseguente aumento dell'energia di corrente ed una maggiore mobilità del substrato. Tali condizioni tendono a ridurre significativamente la biomassa algale ed a limitare la presenza di macrofite, rimuovendo fisicamente parte del materiale vegetale. Come evidenziato nel grafico in Figura 26, in entrambe le campagne la comunità algale costituisce la quasi totalità delle macrofite presenti, fatta eccezione per una modesta ma comunque rilevabile presenza di muschi.

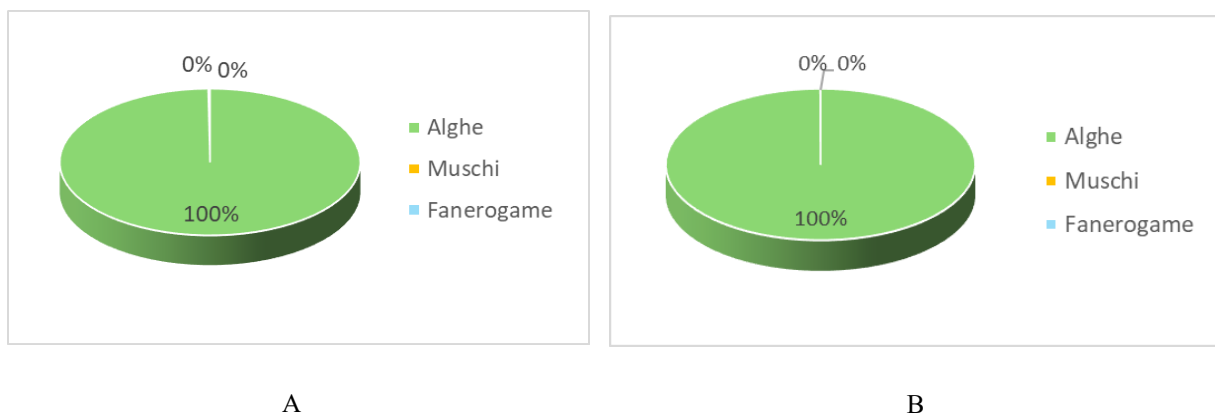


Figura 26. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame, muschi e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sul Sangone a Torino.

Come è evidenziato dal grafico in Figura 27 nel corso della prima campagna di campionamento sul Sangone a Torino la componente algale risulta nettamente predominante, in particolare, *Melosira* nella prima campagna e *Oscillatoria* nella seconda, costituiscono la quasi totalità della copertura totale.

Le ulteriori specie macrofittiche riportate nella legenda del grafico nella Figura 27, sono state comunque rilevate e campionate; tuttavia, le loro percentuali di copertura risultano inferiori alla soglia minima di rappresentazione adottata e, di conseguenza, non sono visibili nel grafico.

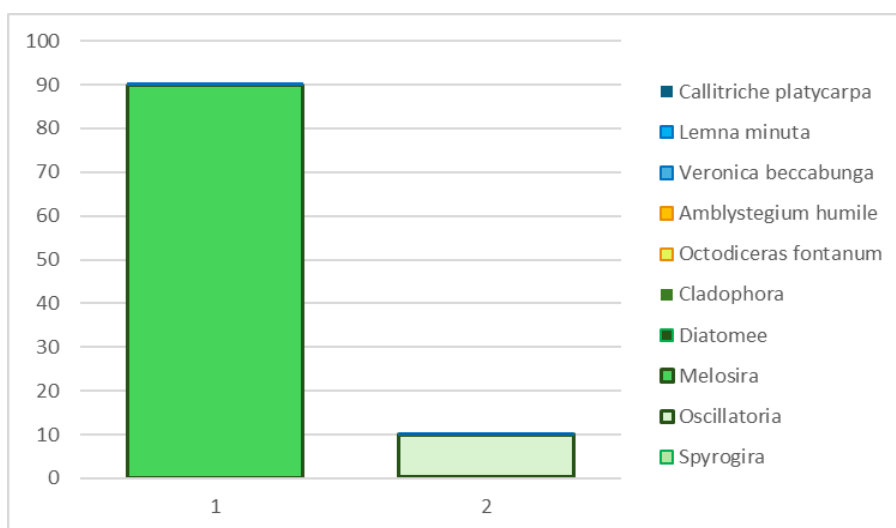


Figura 27. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame, muschi e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sul Sangone a Torino.

4.4 Po, Torino

Nel sito di Torino corrispondente alla zona dei “Murazzi”, il tratto del Po indagato è caratterizzato da un alveo ampio e da un substrato composto esclusivamente da pietre di varie dimensioni. L’ombreggiatura lungo la sezione bagnata è pressoché assente, con un’esposizione alla luce molto elevata che, in combinazione con una ottima trasparenza delle acque e con profondità relativamente modeste, consente un’efficace illuminazione del fondo. In questo contesto fisico-ambientale, la copertura macrofittica e algale risulta estesa, con una comunità vegetale sommersa ben sviluppata, a indicare condizioni complessivamente favorevoli all’insediamento e alla proliferazione delle macrofite in questo tratto urbano del Po [Allegato D].

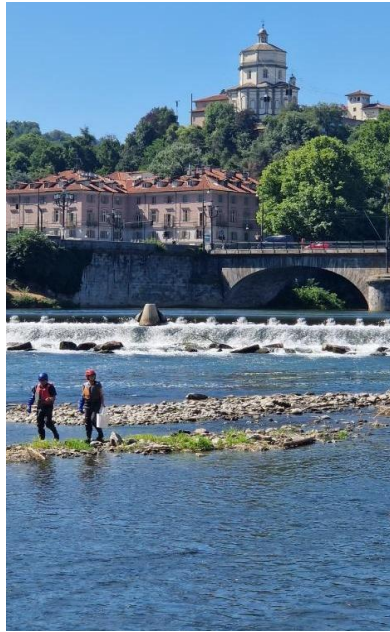


Figura 28 Punto di campionamento sul fiume Po a Torino (Murazzi).

Presso il punto di campionamento del Po a Torino sono state svolte due campagne di campionamento, la prima nel mese di agosto e la seconda a fine settembre. Nella prima campagna la copertura totale della comunità macrofittica è risultata pari al 90%; con fanerogame al 15%, alghe all'85% e una presenza di muschi [Figura 29A]. Nella seconda campagna la copertura totale delle macrofite è stata pari all'80%; con fanerogame all'80% e componente algale e muschi ciascuno al 10% [Figura 29B].

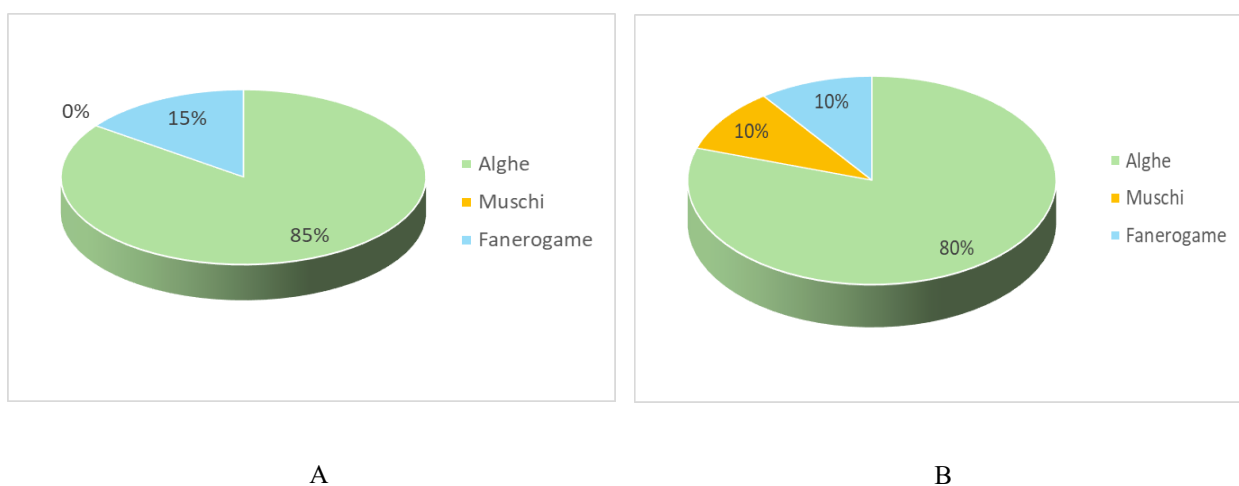


Figura 29. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame, muschi e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sul Po a Torino (Murazzi).

In questa stazione la comunità macrofitica è risultata particolarmente ricca. Nel corso della prima campagna si è osservata una marcata dominanza della componente algale, con *Vaucheria* che raggiunge una copertura pari al 72%, seguita da *Cladophora* con il 3,6%. Tra le fanerogame, le specie più abbondanti sono *Ranunculus trichophyllus* (9%) e *Myriophyllum spicatum* (4,5%). *E. nuttallii* è stata rilevata, sebbene la sua abbondanza sia risultata estremamente esigua.

Nel corso della seconda campagna l'alga più rappresentata è *Oedogonium*, con una copertura del 47%, seguita da *Cladophora*, che raggiunge il 17%. Le fanerogame più frequenti rimangono *Ranunculus trichophyllus* e *Myriophyllum spicatum*, entrambe con una copertura pari al 4%. In questa seconda campagna sono inoltre state rilevate due taxa di muschi, tra i quali risulta prevalente *Fontinalis antipyretica*, che raggiunge l'8% della copertura.

Le altre specie di macrofite sono state comunque rilevate e campionate e pertanto riportate in legenda; tuttavia, le relative percentuali di copertura sono inferiori alla soglia di rappresentazione grafica e, di conseguenza, non risultano visibili nel grafico in Figura 30.

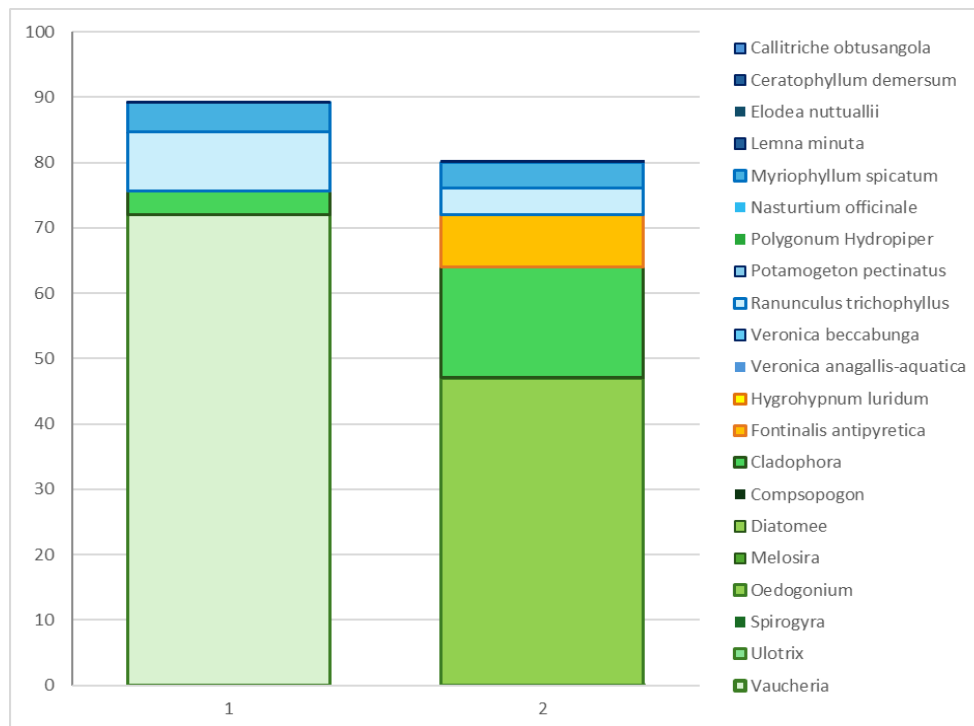


Figura 30. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame, muschi e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sul Po a Torino (Murazzi).

4.5 Dora Riparia, Torino

La Dora Riparia è un affluente di sinistra del fiume Po e confluisce con le sue acque all'interno del territorio comunale di Torino, in corrispondenza del quartiere Vanchiglietta. Nel tratto campionato l'alveo si presenta poco profondo e relativamente stretto, con un substrato con una composizione costituita quasi esclusivamente da pietre. La sezione bagnata è solo debolmente ombreggiata e risulta in gran parte esposta alla radiazione solare, mentre l'acqua è risultata molto torbida impedendo una sufficiente penetrazione della luce fino al fondo. In questo contesto fisico-ambientale, la vegetazione macrofitica è scarsamente rappresentata e la copertura è prevalentemente riconducibile a comunità algali [Allegato E].



Figura 31. *Punto di campionamento sul fiume Dora Riparia a Torino*

In questa stazione sono state realizzate due campagne di campionamento, effettuate rispettivamente a fine luglio e a ottobre. Durante la prima campagna è stata registrata una copertura totale della comunità macrofitica pari al 5%; nella seconda campagna la copertura macrofitica complessiva aumenta raggiungendo il 30%. Come evidenziato nei grafici in Figura 32, in entrambe le campagne la comunità algale costituisce la quasi totalità delle macrofite presenti, fatta eccezione per una modesta ma comunque rilevabile presenza di muschi.

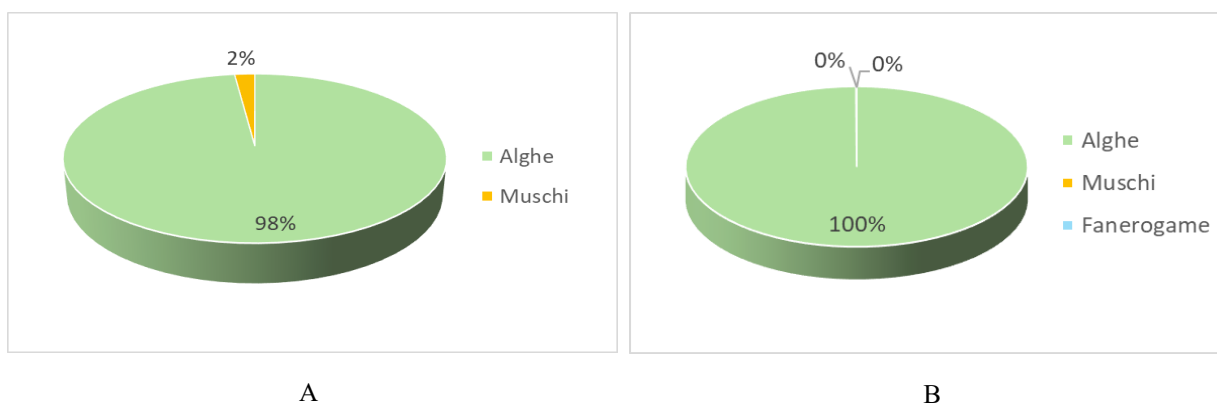


Figura 32. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame, muschi e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sulla Dora Riparia a Torino.

In entrambe le campagne di campionamento la comunità algale risulta nettamente predominante, nello specifico, *Cladophora* che rappresenta una copertura pari al 98% nella prima campagna e pari a quasi il 100% nella seconda.

Le restanti taxa di fanerogame, muschi e alghe riportate nella legenda del grafico in Figura 33, sono state comunque rilevate e campionate; tuttavia, le loro percentuali di copertura risultano inferiori alla soglia minima di rappresentazione adottata e, di conseguenza, non sono visibili nel grafico in Figura 33.

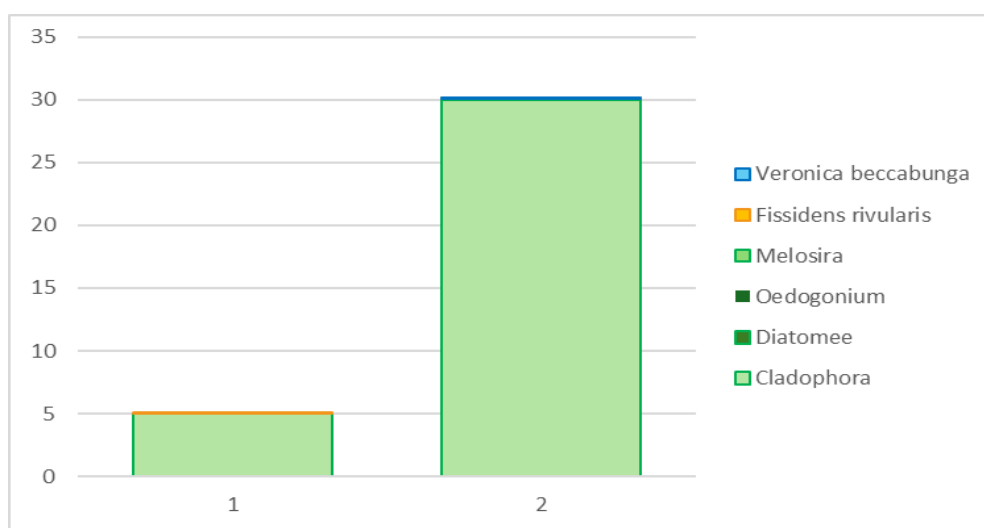


Figura 33. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame, muschi e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sulla Dora Riparia a Torino.

4.6 Stura di Lanzo, Venaria

La Stura di Lanzo è un affluente di sinistra del fiume Po e confluisce con le sue acque nel territorio comunale di Venaria. Nel sito campionato il corso d'acqua presenta un alveo relativamente contenuto nelle dimensioni, con profondità generalmente basse e un substrato pietroso e velocità della corrente moderata. La sezione non presenta ombreggiatura, rimanendo ampiamente esposta alla radiazione solare, mentre la buona trasparenza dell'acqua consente la penetrazione della luce fino al fondo. La componente macrofitica è risultata poco sviluppata: la copertura vegetale è bassa e la struttura della comunità è caratterizzata per la maggior parte da alghe, con poche fanerogame distribuite in modo sporadico [Allegato F].



Figura 34. *Punto di campionamento sul fiume Stura di Lanzo a Venaria.*

Le due campagne di campionamento sono state condotte nei mesi di agosto e ottobre. Nella prima campagna la copertura macrofitica totale è pari al 25%; per poi scendere al 10% nella seconda. Le alghe rappresentano la quasi totalità sia nella prima sia nella seconda campagna; le fanerogame sono state osservate nella prima campagna in quantità molto contenute, mentre nella seconda raggiungono il 10% della copertura complessiva [Figura 35].

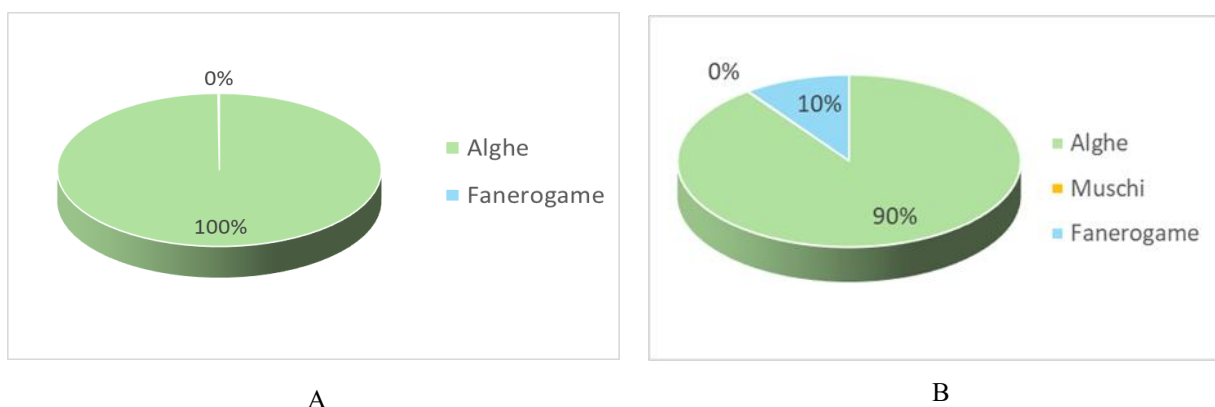


Figura 35. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame, muschi e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sulla Stura di Lanzo a Venaria.

Nel corso della prima campagna l'alga più abbondante risulta essere *Rhizoclonium*, con una copertura di circa 6%, seguita da *Oedogonium* presente all'1%. Durante la seconda campagna le alghe più rappresentate sono *Cladophora* con il 5% circa e *Spirogyra* con il 3%, è stata nuovamente rilevata *Oedogonium*, sebbene con una copertura inferiore all'1%. Per quanto riguarda le fanerogame, la specie più frequente è risultata *Veronica beccabunga*, con una copertura pari all'1% e non è stata rilevata traccia di *E. nuttallii*.

Altre specie di macrofite sono state rilevate e campionate e pertanto sono riportate in legenda del grafico in Figura 36; tuttavia, le relative percentuali di copertura sono inferiori alla soglia di rappresentazione grafica e, di conseguenza, non risultano visibili nel grafico.

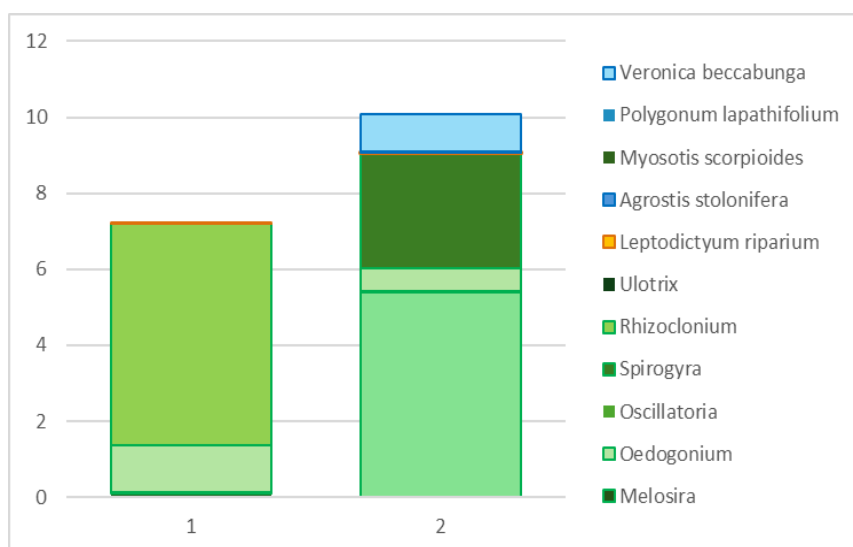


Figura 36. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame, muschi e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sulla Stura di Lanzo a Venaria.

4.7 Ceronda, Venaria

Il Ceronda è un torrente affluente di sinistra del fiume Stura di Lanzo, il quale confluisce a sua volta nel Po. A Venaria Reale, la stazione lungo il Ceronda ricade in un alveo relativamente stretto, con profondità generalmente basse e substrato a granulometria mista, costituito da sabbie associate a ghiaie e piccoli ciottoli, che conferiscono al fondale una moderata eterogeneità. L'ombreggiatura è discreta e il corso d'acqua risulta moderatamente esposto alla radiazione solare; la trasparenza dell'acqua è parziale e consente una buona illuminazione del fondo. Nel complesso, il tratto indagato presenta una copertura macrofittica risultata ridotta in entrambe le campagne [Allegato G]



Figura 37. *Punto di campionamento sul fiume Ceronda a Venaria*

Sono state realizzate due campagne di campionamento, la prima nel mese di agosto e la seconda nel mese di ottobre. In entrambe le campagne è stata registrata una copertura totale della comunità macrofittica molto bassa pari, cioè, al 5%, in entrambi i casi la quasi totalità è rappresentata dalle alghe [grafico in Figura 38], in particolare da *Spirogyra* [grafico in Figura 39].

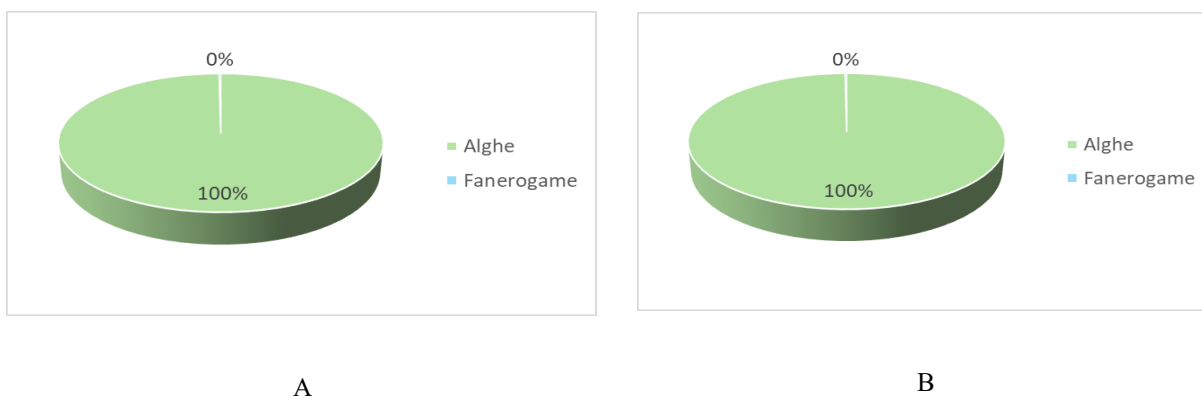


Figura 38. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame, muschi e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sul Ceronda a Venaria

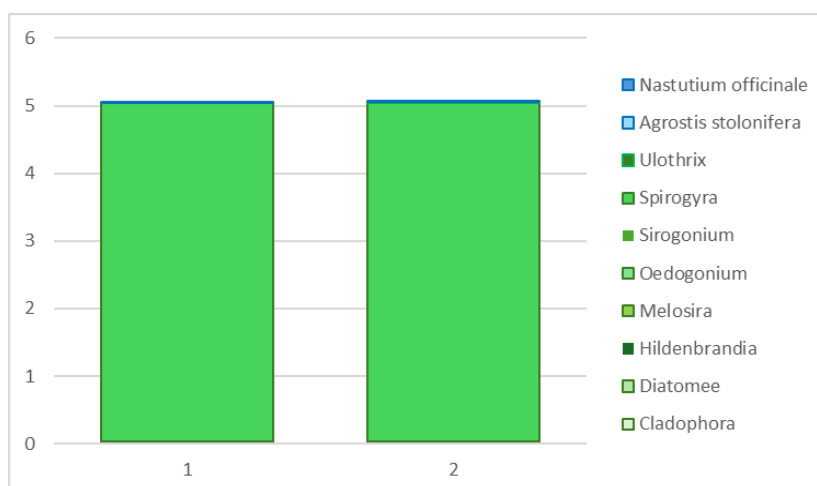


Figura 39. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sul Ceronda a Venaria.

4.8 Bealera Nuova, Brandizzo

La Bealera Nuova è un piccolo corso d'acqua che confluisce nel fiume Po in corrispondenza del territorio comunale di Brandizzo. L'alveo presenta profondità contenute, con substrato prevalentemente fine, costituito in larga parte da sabbia e limo, associato a localizzate frazioni più grossolane, che determinano un fondale complessivamente poco strutturato. L'ombreggiatura è discreta, e l'acqua è leggermente opalescente. In questo contesto la copertura macrofitica è risultata elevata (circa 80%), con una comunità ben sviluppata di fanerogame, accompagnata da una

discreta presenza algale e da muschi acquatici, a indicare condizioni favorevoli all'insediamento e alla proliferazione delle macrofite in questo corso d'acqua artificiale [Allegato H].



Figura 40. Punto di campionamento sul fiume Bealera Nuova a Brandizzo

Presso questa stazione le due campagne di campionamento sono state condotte a luglio e a metà settembre e, in entrambe, la copertura macrofita totale è risultata pari all'80%, con una netta predominanza delle fanerogame (rispettivamente 90% e 85%). Per quanto concerne la comunità dei muschi, essa rappresenta il 10% in entrambe le campagne, mentre le alghe sono state rilevate in una quantità significativa (5%) esclusivamente nel corso della seconda campagna [grafico in Figura 41].

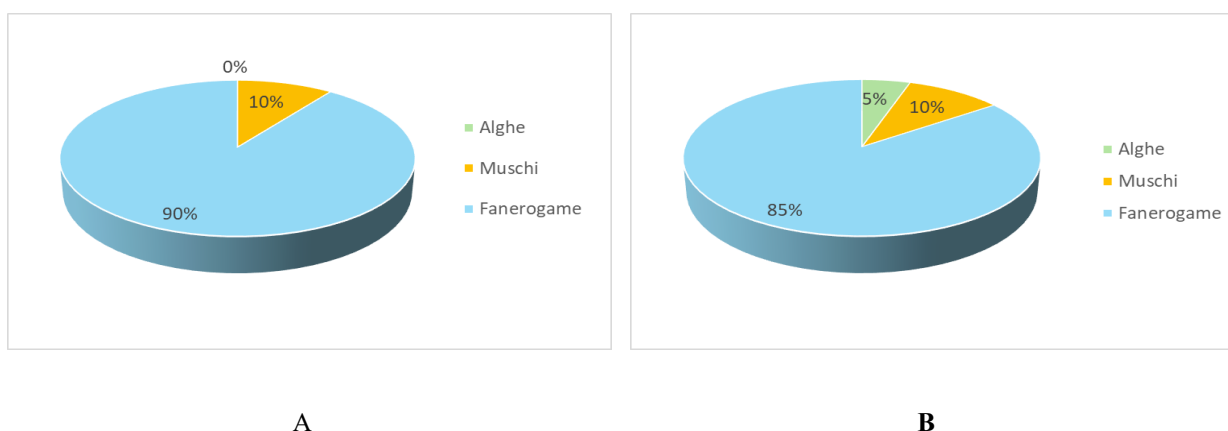


Figura 41. Distribuzione percentuale della copertura vegetale (fanerogame, muschi e alghe) nella prima (A) e nella seconda (B) campagna di campionamento sulla Bealera Nuova a Brandizzo

Nel corso della prima campagna si osserva una marcata dominanza delle fanerogame: *Callitriche obtusangula* che raggiunge una copertura pari al 32%, seguita da *Potamogeton polygonifolius* con il 16%, *Ranunculus trichophyllus* con il 12%, *Myriophyllum spicatum* con l'8% e *Lemna minuta* con il 4%.

Nel corso della seconda campagna le fanerogame più abbondanti risultano essere *Potamogeton polygonifolius* che raggiunge il 24% di copertura, seguita da *Myriophyllum spicatum* e *Callitriche obtusangula* entrambe con una copertura pari al 16%, mentre *Ranunculus trichophyllus* mantiene una copertura del 12%, analoga a quella rilevata nella prima campagna. Non è stata rilevata la presenza di *E. nuttallii*. In questo secondo rilievo sono stati inoltre osservati due taxa algali, seppur con coperture modeste ma comunque rappresentate nel grafico in Figura 43: *Cladophora* (2%) e *Oedogonium* (1,6%).

In entrambe le campagne è stata infine rilevata la presenza di una specie di muschio, *Fontinalis antipyretica*, che contribuisce per l'8% alla copertura totale. Ulteriori specie di macrofite sono state comunque rilevate e campionate, risultando pertanto riportate in legenda; tuttavia, le relative percentuali di copertura sono inferiori alla soglia di rappresentazione grafica e, di conseguenza, non risultano visibili nel grafico in Figura 42.

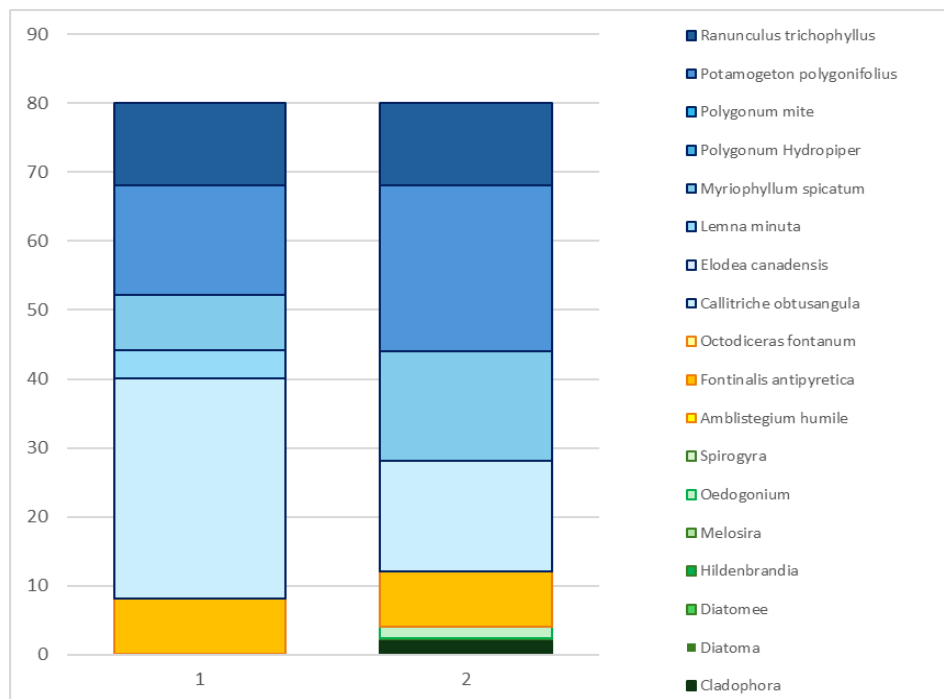


Figura 42. Composizione specifica e abbondanza percentuale delle singole specie di fanerogame, muschi e alghe evidenziate nelle due campagne (1 e 2) di campionamento sulla Bealera Nuova a Brandizzo.

4.9 Elaborazione dei dati ottenuti dal campionamento

A valle delle attività di campionamento e di determinazione tassonomica della comunità macrofittica nei diversi siti indagati, a ciascun taxon individuato sono stati attribuiti i valori previsti dalle linee guida dell'indice IBMR, in termini di sensibilità alle pressioni trofiche e di preferenza per specifiche condizioni ambientali. Sulla base di tali attribuzioni sono stati dapprima calcolati, per ciascuna stazione e per ciascuna campagna di campionamento, i valori dell'indice di trofia, ottenuti combinando la composizione floristica con le relative abbondanze e successivamente l'indice di qualità ecologica espresso come Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) tra i valori osservati e i valori di riferimento definite per la tipologia fluviale considerata.

Nella Tabella 3 sono riportati i valori dell'indice macrofittico IBMR e del corrispondente Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) ottenuti per ciascuna stazione di monitoraggio durante la prima campagna di campionamento. Per ogni sito sono inoltre indicate la classe di qualità ecologica, assegnata sulla base delle soglie previste dalla normativa vigente e le principali informazioni di sintesi relative allo stato trofico del corpo idrico.

Dall'analisi congiunta dei valori di IBMR e RQE emerge un quadro eterogeneo tra le diverse stazioni indagate, con siti che si collocano nelle classi di qualità più elevate e altri che evidenziano condizioni di maggiore alterazione trofica. In particolare, i corsi d'acqua con valori di IBMR più elevati mostrano un assetto macrofittico coerente con condizioni di moderata o bassa pressione trofica, riflettendosi in RQE prossimi o superiori alla soglia della "buona" qualità ecologica. Al contrario, le stazioni caratterizzate da valori di IBMR più bassi presentano comunità macrofittiche indicative di arricchimento trofico, con conseguente riduzione del RQE e attribuzione a classi di qualità inferiori.

La tabella consente pertanto una lettura sintetica ma completa dei risultati della prima campagna, mettendo in relazione, per ciascun sito, la composizione macrofittica, lo stato trofico ottenuto dall'IBMR e la collocazione nella scala di qualità ecologica espressa tramite RQE.

Tabella 4. Rappresentazione dei valori degli indici IBMR e RQE relativi alla prima campagna di campionamento.

Fiume	Stazione	IBMR di riferimento	IBMR1	Trofia	IQR	Giudizio
Po	Villafranca	10,5	9	Elevata	0,85	Buono
Po	Carignano	10,5	8,3	Elevata	0,79	Sufficiente
Sangone	Torino	11,5	9,3	Elevata	0,81	Buono
Po	Torino	10,5	8	Elevata	0,76	Sufficiente
Dora riparia	Torino	10,5	6	Molto Elevata	0,57	Scarso
Stura di Lanzo	Venaria reale	11,5	6,5	Molto Elevata	0,57	Scarso
Ceronda	Venaria reale	12,5	10,3	Media	0,82	Buono
Bealera Nuova	Brandizzo	12,5	10,3	Media	0,92	Elevato

In associazione alla Tabella 4, la relativa rappresentazione cartografica [Figura 43], consente una lettura sintetica, ma completa dei risultati della prima campagna.

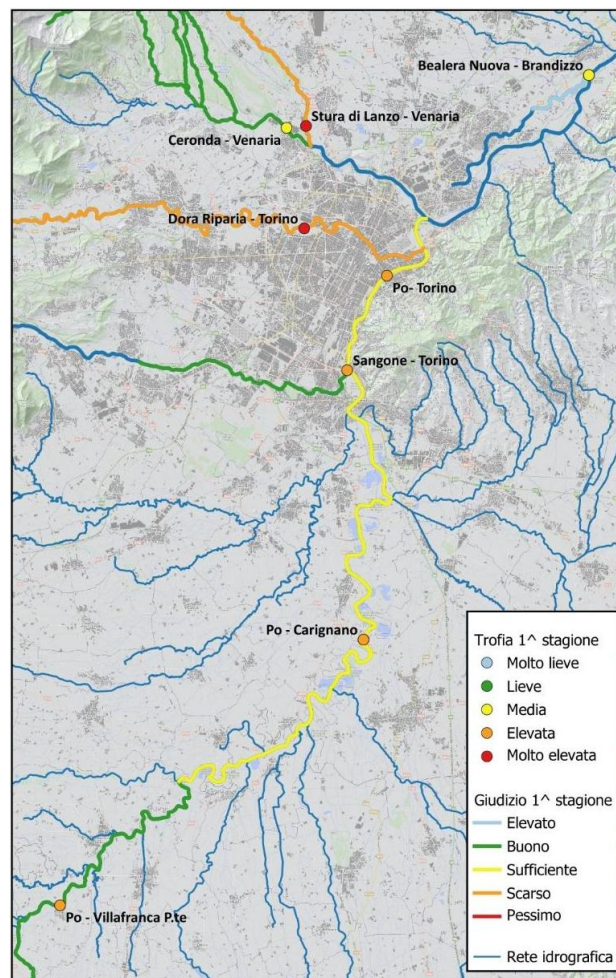


Figura 43. Rappresentazione cartografica dei tratti fluviali indagati nell'area metropolitana di Torino e dei relativi punti di campionamento. La mappa mostra il livello di trofia rilevato durante la prima campagna di monitoraggio (cerchi colorati) e il giudizio di qualità ecologica associato ai corpi idrici (linee colorate) secondo la classificazione prevista dalla normativa vigente.

Nella Tabella 4 sono riportati i valori dell'indice macrofitico IBMR e del corrispondente Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) relativi alla seconda campagna di campionamento, per ciascuna delle stazioni di monitoraggio considerate. Per ogni sito sono indicati i valori di IBMR, il RQE derivato dal confronto con le condizioni di riferimento e la classe di qualità ecologica assegnata secondo le soglie previste dalla normativa vigente.

L'analisi dei dati riportati in Tabella 4 consente di confrontare il quadro emerso nel secondo rilievo con quello osservato nella prima campagna, mettendo in evidenza eventuali variazioni nello stato trofico e nella qualità ecologica dei diversi corpi idrici. In alcune stazioni si osserva una sostanziale stabilità dei valori di IBMR e RQE (Po- Carignano, Ceronda- Venaria), indicativa di condizioni relativamente costanti nel periodo considerato, mentre in altre si registrano scostamenti più marcati, interpretabili come risposta della comunità macrofitica a modificazioni stagionali o a variazioni nelle pressioni antropiche (Bealera Nuova- Brandizzo, Po-Torino).

Tabella 5. Rappresentazione dei valori degli indici IBMR e RQE relativi alla seconda campagna di campionamento.

Fiume	Stazione	IBMR di riferimento	IBMR2	Trofia	IQR	Giudizio
Po	Villafranca	10,5	9,7	Elevata	0,92	Elevato
Po	Carignano	10,5	8,5	Elevata	0,81	Buono
Sangone	Torino	11,5	9,4	Elevata	0,82	Buono
Po	Torino	10,5	5,1	Molto Elevata	0,49	Cattivo
Dora riparia	Torino	10,5	7	Molto Elevata	0,67	Sufficiente
Stura di Lanzo	Venaria reale	11,5	8,5	Elevata	0,74	Sufficiente
Ceronda	Venaria reale	12,5	10,2	Media	0,82	Buono
Bealera Nuova	Brandizzo	12,5	8,5	Elevata	0,68	Sufficiente

In associazione alla Tabella 5, la relativa rappresentazione cartografica [Figura 44], che consente una lettura sintetica, ma completa dei risultati della seconda campagna.

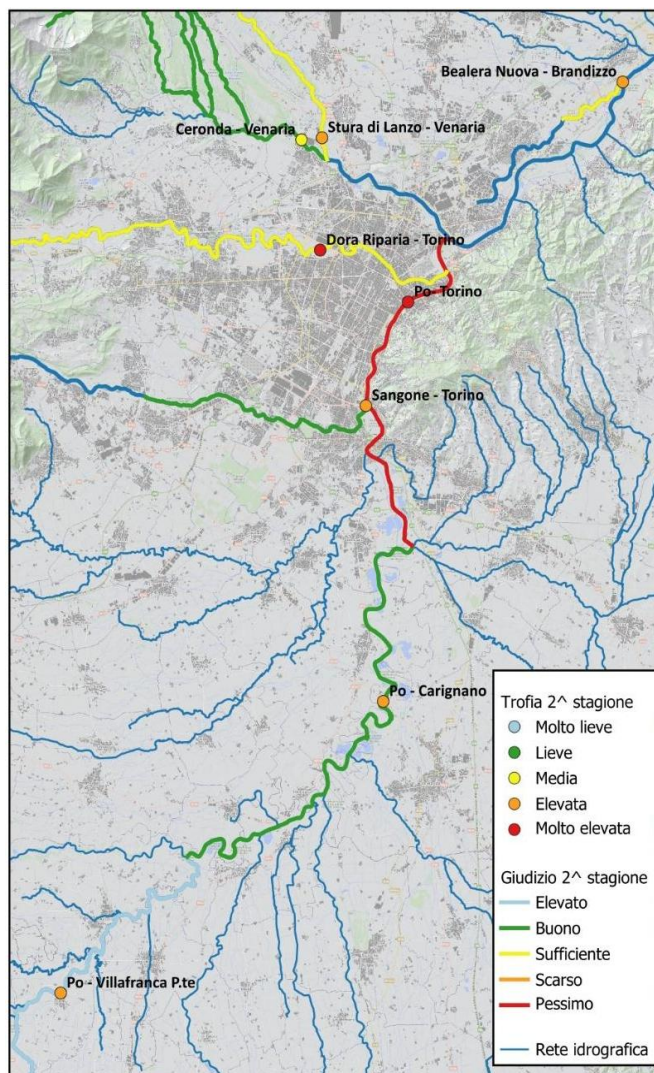


Figura 44. Rappresentazione cartografica dei tratti fluviali indagati nell'area metropolitana di Torino e dei relativi punti di campionamento. La mappa mostra il livello di trofia rilevato durante la seconda campagna di monitoraggio (cerchi colorati) e il giudizio di qualità ecologica associato ai corpi idrici (linee colorate) secondo la classificazione prevista dalla normativa vigente.

Nella Tabella 6 sono sintetizzati i risultati complessivi ottenuti dalle due campagne di monitoraggio macrofitico, riportando per ciascuna stazione il valore medio dell'indice IBMR, il corrispondente Rapporto di Qualità Ecologica (RQE) e la classe di qualità ecologica assegnata. La tabella rappresenta dunque una sintesi integrata delle informazioni derivanti dai singoli rilievi stagionali, consentendo di valutare lo stato trofico ed ecologico medio dei corpi idrici indagati nel periodo considerato.

La rappresentazione con valori medi permette di attenuare l'influenza di eventuali fluttuazioni puntuali legate a condizioni idrologiche o stagionali, offrendo un quadro più stabile e rappresentativo delle condizioni macrofite tipiche di ciascun sito. In questo modo, la Tabella 5 costituisce il riferimento principale per il confronto tra le diverse stazioni e per la discussione finale sullo stato di qualità ecologica dei corsi d'acqua esaminati, in coerenza con le indicazioni fornite dalle linee guida per l'applicazione dell'indice IBMR.

Tabella 6. Rappresentazione dei valori complessivi degli indici IBMR e RQE relativi alle due campagne di campionamento.

Fiume	Stazione	Media IBMR	Trofia	IQR media	Giudizio medio	media IQR
Po	Villafranca	9,35	Elevata	0,89	Elevato	0,885
Po	Carignano	8,4	Elevata	0,80	Buono	0,8
Sangone	Torino	9,35	Elevata	0,81	Buono	0,815
Po	Torino	6,55	Molto Elevata	0,62	Scarso	0,625
Dora riparia	Torino	6,5	Molto Elevata	0,62	Scarso	0,57
Stura di Lanzo	Venaria reale	7,5	Molto Elevata	0,65	Sufficiente	0,655
Ceronda	Venaria reale	10,25	Media	0,82	Buono	0,82
Bealera Nuova	Brandizzo	9,4	Elevata	0,75	Buono	0,92

Secondo le definizioni riportate dalla Direttiva Quadro Europea 2000/60/CE, i corpi idrici classificati con uno stato di qualità biologica “Elevata” (Po – Villafranca) presentano comunità di macrofite e fitobentos la cui composizione tassonomica corrisponde completamente, o quasi, a quella riscontrabile in condizioni naturali non alterate.

I corpi idrici che presentano uno stato di qualità biologica “Buono” (Po – Carignano, Sangone – Torino, Ceronda – Venaria, Bealera Nuova – Brandizzo) mostrano invece lievi variazioni nella composizione e nell'abbondanza dei taxa macrofitici e fitobentonici rispetto alle comunità tipiche di riferimento. Tali variazioni non comportano fenomeni di crescita eccessiva di fitobentos o macrofite tali da determinare alterazioni significative dell'equilibrio biologico delle comunità o della qualità fisico-chimica delle acque e dei sedimenti. In questi casi può essere osservata anche la presenza di strati batterici riconducibili ad attività antropiche, che tuttavia non risultano tali da compromettere la comunità fitobentonica.

Infine, nei corpi idrici con stato di qualità biologica “Sufficiente” (Ceronda – Venaria Reale) la composizione dei taxa macrofitici si discosta in modo moderato dalle comunità di riferimento. In tali condizioni si osservano variazioni più evidenti nell'abbondanza media delle macrofite e del

fitobentos. Sono inoltre presenti strati batterici associati ad attività antropiche che, in alcuni casi, interferiscono con la comunità fitobentonica fino a sostituirla parzialmente.

La Figura 45 rappresenta i fiumi oggetto delle campagne di campionamento, riportando, mediante una codifica cromatica, i valori medi dell'indice RQE relativi alle due campagne considerate consentendo pertanto, di descrivere in modo sintetico e immediato lo stato di qualità finale dei fiumi analizzati.

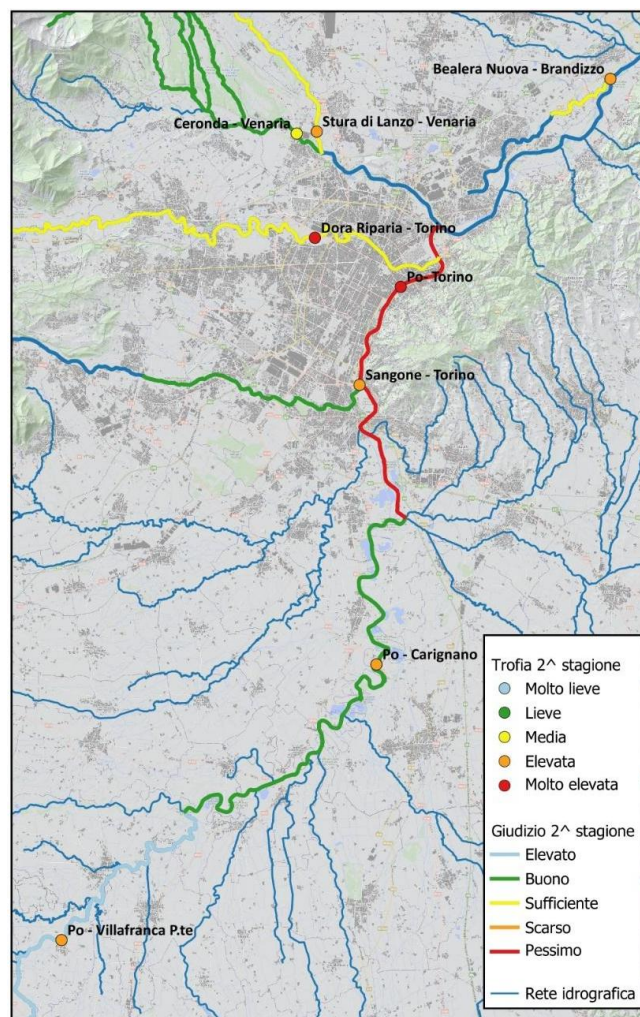


Figura 45. *Rappresentazione cartografica dei tratti fluviali indagati nell'area metropolitana di Torino e dei relativi punti di campionamento. La mappa mostra il livello di trofia rilevato durante l'intera stagione di monitoraggio 2025 (cerchi colorati) e il giudizio di qualità ecologica associato ai corpi idrici (linee colorate) secondo la classificazione prevista dalla normativa vigente.*

I risultati ottenuti evidenziano come la composizione delle comunità macrofite rilevate lungo il tratto di studio rifletta le condizioni ambientali e trofiche del corso d'acqua. La presenza di specie tolleranti a concentrazioni relativamente elevate di nutrienti suggerisce infatti condizioni di

moderata eutrofizzazione, spesso associate a pressioni antropiche presenti nel bacino idrografico. Le macrofite acquatiche si sono dimostrate efficaci indicatori biologici dello stato ecologico dei corsi d'acqua, poiché la loro distribuzione e abbondanza sono strettamente correlate ai gradienti ambientali e alle caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua (Holmes et al., 1999; Baattrup-Pedersen & Riis, 1999). Il calcolo dell'indice IBMR ha consentito di valutare lo stato trofico e il livello di alterazione dei corsi d'acqua sulla base della composizione delle comunità vegetali confermando quanto citato in letteratura (Haury et al., 2006). Inoltre, lo studio ha confermato come le comunità macrofite risultino particolarmente sensibili anche ad alterazioni idromorfologiche e alle pressioni antropiche (Abati et al., 2016).

Il confronto con i dati storici derivanti dal monitoraggio dei corsi d'acqua effettuato da ARPA Piemonte ha confermato inoltre la validità e l'applicabilità del metodo utilizzato, che si dimostra uno strumento efficace per l'analisi temporale dello stato ecologico dei corpi idrici e per l'individuazione di eventuali trend di miglioramento o peggioramento della qualità ambientale (Arpa Piemonte e SNPA, 2020).

Per quanto riguarda la specie invasiva *E. nuttallii*, oggetto di specifico approfondimento nel presente lavoro, i risultati delle campagne di monitoraggio condotte non hanno evidenziato una presenza quantitativamente rilevante tale da configurare, nel periodo indagato, un disturbo significativo per l'ecosistema fluviale.

Nonostante la specie sia inserita nelle liste di gestione regionali e riconosciuta come potenzialmente invasiva per la sua elevata capacità di crescita e frammentazione vegetativa, durante i rilievi, almeno nelle porzioni di fiume indagate nel presente lavoro, essa è risultata sporadica o comunque marginale nella comunità macrofita locale.

Tuttavia, è necessario sottolineare che l'assenza di un impatto significativo nel periodo di studio non esclude una potenziale espansione futura, specialmente in condizioni favorevoli quali basse portate, temperature superiori ai 10°C (Zehnsdorf et al., 2015), rallentamenti del flusso e un'elevata concentrazione di nutrienti, soprattutto fosforo (Melzer, 1999) fattori che, secondo la letteratura e i report tecnici regionali (ARPA Piemonte, 2023), possono favorire la proliferazione della specie. Pertanto, il monitoraggio continuo rappresenta lo strumento fondamentale per intercettare tempestivamente eventuali dinamiche espansive e attivare misure di contenimento mirate.

6. CONCLUSIONI

Il presente studio si è focalizzato sulle attività di monitoraggio biologico dei corsi d'acqua, con specifico riferimento alle macrofite acquatiche, in quanto strumento per la valutazione dello stato ecologico, in coerenza con il quadro normativo europeo e nazionale definito dalla Direttiva 2000/60/CE e recepito dal Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

La Direttiva 2000/60/CE (Direttiva Quadro sulle Acque, DQA) ha fissato un obiettivo ambizioso e innovativo: il raggiungimento del “buono stato ecologico e chimico” per tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei entro il 2015, con possibilità di proroghe motivate fino al 2027. Tale scadenza rappresenta non solo un traguardo tecnico-amministrativo, ma un principio cardine della politica ambientale europea, fondato sulla prevenzione del deterioramento e sul progressivo risanamento degli ecosistemi acquatici.

A oltre vent'anni dall'entrata in vigore della Direttiva, i dati ufficiali elaborati dall'ISPRA e dal Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), nonché i report dell'European Environment Agency, evidenziano come una quota significativa dei corpi idrici italiani non abbia ancora raggiunto lo stato “Buono”. Le cause di tale ritardo sono riconducibili a una molteplicità di pressioni antropiche persistenti, tra cui:

- carichi diffusi di nutrienti di origine agricola (azoto e fosforo), responsabili di fenomeni di eutrofizzazione;
- alterazioni idromorfologiche (arginature, sbarramenti) che modificano il regime idraulico naturale;
- presenza di sostanze prioritarie persistenti (ad esempio mercurio, nichel, IPA) che determinano il mancato raggiungimento dello stato chimico “buono”;
- frammentazione longitudinale dei corsi d'acqua e perdita di continuità ecologica;
- impatti cumulativi legati all'urbanizzazione e agli scarichi civili e industriali.

Secondo i più recenti rapporti ambientali nazionali, la componente chimica risulta spesso determinante nella classificazione “Non Buono”, anche in presenza di elementi biologici relativamente conservati. In altri casi, sono proprio gli indici biologici (macrofite, macroinvertebrati, diatomee, fauna ittica) a evidenziare condizioni di alterazione strutturale dell'ecosistema, a testimonianza del valore integrato del biomonitoraggio previsto dalla Direttiva.

In questo contesto, il monitoraggio delle macrofite mediante l'Indice IBMR si conferma uno strumento particolarmente efficace nel cogliere le alterazioni trofiche e funzionali dei corsi d'acqua. Le macrofite, infatti, integrano nel tempo le pressioni ambientali, riflettendo non soltanto le condizioni chimico-fisiche istantanee, ma l'equilibrio complessivo tra nutrienti, idromorfologia e qualità dell'habitat.

In conclusione, sebbene *E. nuttallii* sia riconosciuta in letteratura e nei documenti di gestione come una specie potenzialmente invasiva, caratterizzata da elevata capacità di crescita e propagazione vegetativa, i risultati delle campagne di monitoraggio condotte nel presente studio non hanno evidenziato una presenza quantitativamente rilevante né un impatto significativo sulla comunità macrofittica e sull'equilibrio dell'ecosistema fluviale nei tratti analizzati. La specie è risultata infatti sporadica o comunque marginale nelle porzioni di fiume indagate. Tuttavia, considerando la sua nota capacità di espansione in condizioni ambientali favorevoli (quali basse portate, rallentamenti del flusso, temperature dell'acqua superiori ai 10 °C e un'elevata disponibilità di nutrienti) risulta opportuno mantenere un monitoraggio continuo nel tempo, al fine di individuare tempestivamente eventuali dinamiche espansive e poter attivare, se necessario, adeguate misure di gestione e contenimento.

In conclusione, il lavoro svolto conferma come il raggiungimento del "buono stato ecologico" entro le scadenze previste dalla normativa europea è stato acquisito per diversi corsi d'acqua tra quelli presi in esame, mentre per altri rappresenta ancora una sfida aperta. Il sistema di monitoraggio coordinato da ISPRA e dalle ARPA fornisce una base tecnico-scientifica solida e coerente con gli indirizzi comunitari, ma il miglioramento effettivo dello stato dei fiumi richiede un approccio integrato che includa:

- riduzione delle pressioni delle attività agricole;
- riqualificazione morfologica dei tratti fluviali alterati;
- miglioramento dei sistemi di depurazione;
- prevenzione e gestione tempestiva delle specie esotiche invasive;
- pianificazione territoriale orientata alla sostenibilità idrica.

Solo attraverso una sinergia tra monitoraggio, pianificazione e interventi strutturali sarà possibile avvicinare concretamente l'obiettivo della Direttiva Quadro sulle Acque e garantire la tutela a lungo termine degli ecosistemi fluviali, patrimonio ambientale e risorsa strategica per le generazioni future.

7. BIBLIOGRAFIA

Abati Silverio, Castorina Mario, Iberite Mauro, Minciardi Maria Rita, Pelliccioni Ilaria & Spada Concita Daniela, *Utilizzo di macrofite come bioindicatori nelle acque interne dell'Agro Pontino (Lazio meridionale)*, 2010

Abati, S., Minciardi, M. R., Ciadamidaro, S., Fattorini, S., & Ceschin, S. (2016). *Response of macrophyte communities to flow regulation in mountain streams. Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 414.

Acta Plantarum, 2007 in avanti - "Galleria della Flora". *E. nuttallii*
https://www.actaplantarum.org/galleria_flora/galleria1.php?id=3756

APAT – Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i servizi Tecnici. (2007). *Protocollo di campionamento e analisi per le macrofite delle acque correnti*. Manuali e linee guida 28/2007. Roma: APAT.

ARPA Lombardia (2023). *Acqua*. <https://www.arpalombardia.it/chi-siamo/che-cosa-fa-arpa/acqua/>

ARPA Piemonte e SNPA (2020). *Monitoraggio sessennio 2014-2019 Stato di qualità dei Corpi Idrici superficiali in Piemonte. Parte A - Corsi d'acqua Parte B – Laghi. Attività arpa nella gestione della rete di monitoraggio delle acque superficiali*.
<https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-09/Relazione%20sessennio%202014-2019%20FIUMI-LAGHI.pdf>

ARPA Piemonte (2020), *Attività ARPA nella Gestione della rete di Monitoraggio delle Acque Superficiali. Monitoraggio sessennio 2014-2019 Stato di qualità dei Corpi Idrici superficiali in Piemonte*.
<https://www.arpa.piemonte.it/sites/default/files/media/2024-09/Relazione%20sessennio%202014-2019%20FIUMI-LAGHI.pdf>

ARPA Piemonte (2022). *Stato ecologico delle acque superficiali nei fiumi*.
<https://relazione.ambiente.piemonte.it/2024/stato-ecologico-delle-acque-superficiali-nei-fiumi>

ARPA Piemonte (2023). *Pianta esotica Elodea Nuttallii: una specie aliena nel tratto cittadino torinese del fiume Po*. <https://www.arpa.piemonte.it/notizia/pianta-esotica-elodea-nuttallii-una-specie-aliena-nel-tratto-cittadino-torinese-fiume-po>

Arrigoni P., 2011 in avanti - "Galleria della Flora". Disponibile on line
https://www.actaplantarum.org/galleria_flora/galleria1.php?id=3756

Arrigoni P., 2012 in avanti - Acta Plantarum, 2007 in avanti - "Galleria della Flora". Disponibile on line
https://www.actaplantarum.org/galleria_flora/galleria1.php?id=2232

Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po. (2021). *Piano di Gestione del Distretto Idrografico del Fiume Po – Aggiornamento 2021–2027*. Parma: Autorità di Bacino Distrettuale del Po.

- Baatrup-Pedersen, A., & Riis, T. (1999). *Macrophyte diversity and composition in relation to substratum, stream size and water chemistry in Danish lowland streams*. *Freshwater Biology*, 42(2), 285–295.
- Barceló, D., & Petrovic, M. (2019). *Emerging Contaminants in Wastewater and Sludge Treatment and Reuse*. Amsterdam: Elsevier.
- Barrat-Segretain, M.-H. (2001). *Invasive species in the Rhone River floodplain (France): Invasion patterns in vegetation and environmental changes*. *Hydrobiologia*, 460, 33–44.
- Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). *Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches*. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523.
- Cairns, J., & Pratt, J. R. (1993). A history of biological monitoring using benthic macroinvertebrates. In *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates* (pp. 10–27). New York: Chapman & Hall.
- Chambers P.A. et al. (2008). *Aquatic macrophytes: ecology and management*. *Hydrobiologia*, 595(1), 1–3.
- Chambers, P. A., Lacoul, P., Murphy, K. J., & Thomaz, S. M. (2008). *Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater*. *Hydrobiologia*, 595, 9–26.
- Chappie, D. J., & Burton, G. A. (2000). *Applications of aquatic and sediment toxicity testing in ecological risk assessment*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(1), 3–22.
- Convention on Biological Diversity (2002). *Guiding Principles for the Prevention, Introduction and Mitigation of Impacts of Alien Species*.
- Cook C.D.K. & Urmi-König, K. (1984). *A revision of the genus Elodea (Hydrocharitaceae)*. *Aquatic Botany*, 16(4), 485–502.
- Coste M. & Ayphassorho H. (1991). *Étude de la qualité des eaux du Bassin Artois-Picardie à l'aide des communautés de diatomées benthiques: application des indices diatomiques*. Rapport Cemagref Bordeaux, 227.
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale*. G.U. n. 88, 14 aprile 2006.
- Dodds, W. K. (2003). *The role of periphyton in phosphorus retention in shallow freshwater aquatic systems*. *Journal of Phycology*, 39(5), 840–849.
- European Commission (2014). *Regulation (EU) No 1143/2014 on the prevention and management of the introduction and spread of invasive alien species*.
- European Environment Agency (EEA). (2023). *European Waters: Assessment of Status and Pressures 2023*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

European Parliament and Council (2000). Directive 2000/60/EC establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* L 327, 1–73.

FAO. (2021). *The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture (SOLAW 2021)*. Rome: FAO.

Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana. (2017). *Decreto Legislativo 15 dicembre 2017, n. 230 – Adeguamento della normativa nazionale al Regolamento (UE) 1143/2014 relativo alla prevenzione e gestione delle specie esotiche invasive*. n. 300, 27 dicembre 2017.

Giordana F., 2008 in avanti - Acta Plantarum, 2007 in avanti - "Galleria della Flora". Disponibile on line https://www.actaplantarum.org/galleria_flora/galleria1.php?id=1158

Gruppo di Lavoro Specie Esotiche della Regione Piemonte (a cura del), 2023. Scheda monografica *Elodea nuttallii*. Regione Piemonte, Torino. Ultimo aggiornamento: settembre 2024.

Haury J. et al. (2006). *A new method for assessing the ecological quality of running waters using macrophytes: The Indice Biologique Macrophytisque en Rivière (IBMR)*. *Hydrobiologia*, 570, 153–158.

Hellawell, J. M. (1996). *Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management*. London: Elsevier Applied Science.

Hering, D., Feld, C. K., Moog, O., & Ofenböck, T. (2006). Cook book for the development of a multimetric index for biological condition of aquatic ecosystems: Experiences from the European AQEM and STAR projects. *Hydrobiologia*, 566(1), 311–324

Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., Feld, C. K., ... van de Bund, W. (2010). The European Water Framework Directive at the age of 10: A critical review of the achievements with recommendations for the future. *Science of the Total Environment*, 408(19), 4007–4019.

Holmes, N. T. H., Boon, P. J., & Rowell, T. A. (1999). *Plant communities of British rivers: A revised classification*. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough.

Hussner, A. (2010). *Growth and photosynthesis of four invasive aquatic plant species in Europe*. *Hydrobiologia*, 656, 239–254.

ISPRA (2014), *Metodi biologici per le acque superficiali interne*. Delibera del Consiglio Federale delle Agenzie Ambientali. Seduta del 27 novembre 2013. Doc. n. 38/13CF.

J.Iwan Jones, John W. Eaton, Keith Hardwick, *The effect of changing environmental variables in the surrounding water on the physiology of Elodea nuttallii*, *Aquatic Botany*, Volume 66, Issue 2, 2000, Pages 115-129.

Karr, J. R. (1981). *Assessment of biotic integrity using fish communities*. *Fisheries*, 6(6), 21–27.

- Kelly, R., Harrod, C., Maggs, C. A., & Reid, N. (2015). *Effects of Elodea nuttallii on temperate freshwater plants, microalgae and invertebrates: small differences between invaded and uninvaded areas*. *Biological Invasions*, 17(7), 2123-2138.
- Legge 21 gennaio 1994, n. 61. *Istituzione delle Agenzie Regionali e Provinciali per la Protezione dell'Ambiente*. G.U. n. 27, 3 febbraio 1994.
- Legge 28 giugno 2016, n. 132. *Istituzione del Sistema Nazionale a rete per la Protezione dell'Ambiente (SNPA)*. G.U. n. 166, 18 luglio 2016.
- Melzer, A. (1999). *Aquatic macrophytes as tools for lake management*. *Hydrobiologia*, 396, 181–190.
- Minciardi M.R., Spada C.D., Rossi G.L., Angius R., Orrù G., Mancini L., Pace G., Marcheggiani S., Puccinelli C., 2009, *Metodo per la valutazione e la classificazione dei corsi d'acqua utilizzando la comunità delle macrofite acquatiche*, Rapporto tecnico Enea RT/2009/23/Enea.
- Ministero dell'Ambiente (2010). *Criteri per la caratterizzazione dei corpi idrici e per la classificazione dello stato dei corsi d'acqua*. Documenti tecnici a supporto dell'attuazione del D.Lgs. 152/2006, Roma.
- Montagnani C., Gentili R., Citterio S. (Università di Milano Bicocca), Bisi F., Martinoli A. (Università dell'Insubria), Bolpagni R. (Università di Parma, CNR IREA Milano), Carnevali L. (ISPRA), Dupré E., Valentini M. (MITE – Direzione per il Patrimonio naturalistico), Filippi E. (Sogesid – MITE – Direzione per il Patrimonio naturalistico), *Piano di gestione nazionale della peste d'acqua di Nuttall (Elodea nuttallii)*, 2024.
- Pignatti, S. (2017). *Flora d'Italia*, 2ª edizione. Bologna: Edagricole.
- Pimentel D., Zuniga R., Morrison D. (2005). *Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States*. *Ecological Economics*, 52(3): 273–288.
- Pyšek P. et al. (2020). *Scientists' warning on invasive alien species*. *Biological Reviews*, 95: 1511–1534.
- Regione Piemonte (2024). *D.G.R. n. 14-8 del 2/8/2024*.
- Riis, T., & Biggs, B. J. F. (2003). *Hydrologic and hydraulic control of macrophyte establishment and performance in streams*. *Limnology and Oceanography*, 48(4), 1488–1497.
- Romani E., 2010 in avanti - "*E. nuttallii (Planch.) H.St.John - Peste d'acqua di Nuttall*". In *Acta Plantarum*, Forum. <https://www.actaplantarum.org/forum/viewtopic.php?f=95&t=132239>
- Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall.
- Sapere. (s.d.). Po (fiume). *Enciclopedia De Agostini*. Disponibile su: <https://www.sapere.it/enciclopedia/Po%2B%28fiume%29.html>
- Scheffer, M., Szabó, S., Gragnani, A., Van Nes, E. H., Rinaldi, S., Kautsky, N., ... & Mitra, A. (2003). *Floating plant dominance as a stable state*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(7), 4040–4045

Simpson, D.A. (1984). *A short history of the introduction and spread of Elodea Michx in Europe*. *Watsonia*, 15(1), 1–9.

SNPA, *Progettazione di reti e programmi di monitoraggio delle acque ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e relativi decreti attuativi. Delibera del Consiglio Federale delle Agenzie Ambientali. Seduta del 30 giugno 2014. DOC.n.42/14-CF*. Manuali e Linee Guida 116/ 2014.

Thiébaud & Di Nino, *Morphological variations of natural populations of an aquatic macrophyte Elodea nuttallii in their native and in their introduced ranges*, *Aquatic Invasions* (2009) Volume 4, Issue 2: 311-320

Thiébaud, G. (2007), *Non-indigenous aquatic and semiaquatic plant species in France*. In: *Gherardi, F. (eds) Biological invaders in inland waters: Profiles, distribution, and threats*. *Invading Nature - Springer Series In Invasion Ecology*, vol 2. Springer, Dordrecht.

UNESCO WWAP (2023), *Rapporto mondiale delle Nazioni Unite sullo sviluppo delle risorse idriche 2023, Partenariati e cooperazione per l'acqua*.

Unione Europea. (1991). *Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane*. Bruxelles: Parlamento Europeo.

Unione Europea. (2000). *Direttiva 2000/60/CE che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque*. Bruxelles: Parlamento Europeo.


Unione Europea. (2008). *Direttiva 2008/105/CE sugli standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque*. Bruxelles: Parlamento Europeo.


Vilà M. et al. (2011). *Ecological impacts of invasive alien plants: a meta-analysis of their effects on species, communities and ecosystems*. *Ecology Letters*, 14(7): 702–708.

WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-water Quality* (4th ed.). Geneva: World Health Organization.


Zehnsdorf Andreas, Hussner Andreas, Eismann Frank, Rönicke Helmut, Melzer Arnulf (2015). *Management options of invasive Elodea nuttallii and Elodea canadensis*, *Limnologica*, Volume 51. Pages 110-117.


8. ALLEGATI

		Scheda di campionamento Macrofite fluviali F06_2025_00025_008	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione" sede TORINO VIA PIO VII, 9
Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 001065	
Fiume : Po	Località : Villafranca Prnte	Cod. C.I. : 06SS4D382PI	
Data campionamento: 08/08/2025	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		
Tipo di monitoraggio: Operativo 1 Sorveglianza <input checked="" type="checkbox"/> Investigativo 1 Sito di Riferimento 1 Altro 1			
Parametri dimensionali			
Lunghezza della stazione (m)	100		
Ampiezza media alveo di magra (m)	50		
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	60		
Ampiezza media alveo di morbida (m)	70		
Ampiezza media alveo di piena (m)	80		
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	80		
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	70		
Trasparenza dell'acqua		Condizioni idrologiche	
Nulla	Morbida/magra	<input checked="" type="checkbox"/>	
Parziale*	Magra	Stabile	
Totale		In diminuzione	
* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida			
Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)		Ombreggiamento	
Lenta	20	nullo	
Media	30	parziale	% 5
Elevata		totale	
Molto elevata			
Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)		Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi		microfittali ciottoli tra 2 e 6 cm	
megafittali pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)		ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
macrolittali pietre comprese tra 20 e 40 cm		sabbia (tra 6µ e 2 mm)	
mesolittali pietre tra 6 e 20 cm		argilla (minore di 6µ)	
		artificiale	

		Scheda di campionamento Macrofite fluviali F06_2025_00025_008	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione" sede TORINO VIA PIO VII, 9
Risultato atteso : B3.05	Classe : D1.30	Codice punto : 001065	
Fiume : Po	Località : Villafranca Prnte	Cod. C.I. : 06SS4D382PI	
Data campionamento: 29/9/2025	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		
Tipo di monitoraggio: Operativo 1 Sorveglianza <input checked="" type="checkbox"/> Investigativo 1 Sito di Riferimento 1 Altro 1			
Parametri dimensionali			
Lunghezza della stazione (m)	100		
Ampiezza media alveo di magra (m)	70		
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	80		
Ampiezza media alveo di morbida (m)	80		
Ampiezza media alveo di piena (m)	80		
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	70		
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	70		
Trasparenza dell'acqua		Condizioni idrologiche	
Nulla	Morbida/magra	<input checked="" type="checkbox"/>	
Parziale*	Magra	Stabile	
Totale		In diminuzione	
* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida			
Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)		Ombreggiamento	
Lenta	30	nullo	
Media	60	parziale	% 5
Elevata	10	totale	
Molto elevata			
Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)		Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi		microfittali ciottoli tra 2 e 6 cm	
megafittali pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)		ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
macrolittali pietre comprese tra 20 e 40 cm		sabbia (tra 6µ e 2 mm)	
mesolittali pietre tra 6 e 20 cm		argilla (minore di 6µ)	
		artificiale	

Allegato A: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sul Po a Villafranca

		Scheda di campionamento Macrofite fluviali F06_2025_00019_009	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione" sede TORINO VIA PIO VII, 9
Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 001065	
Fiume : Po	Località : Carignano	Cod. C.I. : 06SS4D382PI	
Data campionamento: 19/08/2025	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		
Tipo di monitoraggio: Operativo 1 Sorveglianza <input checked="" type="checkbox"/> Investigativo 1 Sito di Riferimento 1 Altro 1			
Parametri dimensionali			
Lunghezza della stazione (m)	100		
Ampiezza media alveo di magra (m)	50		
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	80		
Ampiezza media alveo di morbida (m)	100		
Ampiezza media alveo di piena (m)	90		
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	80		
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	60		
Trasparenza dell'acqua		Condizioni idrologiche	
Nulla	Morbida/magra	<input checked="" type="checkbox"/>	
Parziale*	Magra	Stabile	
Totale		In diminuzione	
* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida			
Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)		Ombreggiamento	
Lenta	30	nullo	%
Media	60	parziale	%
Elevata	30	totale	
Molto elevata	10		
Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)		Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi		microfittali ciottoli tra 2 e 6 cm	
megafittali pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)		ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
macrolittali pietre comprese tra 20 e 40 cm		sabbia (tra 6µ e 2 mm)	
mesolittali pietre tra 6 e 20 cm		argilla (minore di 6µ)	
		artificiale	

		Scheda di campionamento Macrofite fluviali F06_2025_00019_013	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione" sede TORINO VIA PIO VII, 9
Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 001065	
Fiume : Po	Località : Carignano	Cod. C.I. : 06SS4D382PI	
Data campionamento: 19/9/2025	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		
Tipo di monitoraggio: Operativo 1 Sorveglianza <input checked="" type="checkbox"/> Investigativo 1 Sito di Riferimento 1 Altro 1			
Parametri dimensionali			
Lunghezza della stazione (m)	40		
Ampiezza media alveo di magra (m)	80		
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	80		
Ampiezza media alveo di morbida (m)	100		
Ampiezza media alveo di piena (m)	140		
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	100		
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	60		
Trasparenza dell'acqua		Condizioni idrologiche	
Nulla	Morbida/magra	<input checked="" type="checkbox"/>	
Parziale*	Magra	Stabile	
Totale		In diminuzione	
* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida			
Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)		Ombreggiamento	
Lenta		nullo	%
Media	60	parziale	%
Elevata	40	totale	
Molto elevata			
Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)		Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi		microfittali ciottoli tra 2 e 6 cm	
megafittali pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)		ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
macrolittali pietre comprese tra 20 e 40 cm		sabbia (tra 6µ e 2 mm)	
mesolittali pietre tra 6 e 20 cm		argilla (minore di 6µ)	
		artificiale	

Allegato B: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sul Po a Carignano

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali F06_2025_00028_012	sede TORINO VIA PIO VII, 9

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 032010
Fiume : Sangone	Località : Torino	Cod. C.I. : 06SS3F705PI
Data campionamento: 11/8/25 Operatori : A.Nicola, L. Richiardi		

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	30
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	30
Ampiezza media alveo di morbida (m)	35
Ampiezza media alveo di piena (m)	40
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	80
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	20

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra <input checked="" type="checkbox"/>	In aumento
Parziale*	Magra <input type="checkbox"/>	Stabile
Totale <input checked="" type="checkbox"/>		In diminuzione <input checked="" type="checkbox"/>

* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione speditiva dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale <input type="checkbox"/>
Elevata	totale <input type="checkbox"/>
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali F06_2025_00028_015	sede TORINO VIA PIO VII, 9

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 032010
Fiume : Sangone	Località : Torino	Cod. C.I. : 06SS3F705PI
Data campionamento: 08/10/25 Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	150
Ampiezza media alveo di magra (m)	45
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	45
Ampiezza media alveo di morbida (m)	48
Ampiezza media alveo di piena (m)	20
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	60
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	20

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra <input checked="" type="checkbox"/>	In aumento
Parziale*	Magra <input type="checkbox"/>	Stabile
Totale <input checked="" type="checkbox"/>		In diminuzione <input checked="" type="checkbox"/>

* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione speditiva dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale <input type="checkbox"/>
Elevata	totale <input type="checkbox"/>
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

Allegato C: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sul Sangone a Torino

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali F06_2025_00029_009	sede TORINO VIA PIO VII, 9

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 001095
Fiume : Po	Località : Torino	Cod. C.I. : 06SS4D383PI
Data campionamento: 01/07 Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	60
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	100
Ampiezza media alveo di morbida (m)	110
Ampiezza media alveo di piena (m)	110
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	80
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	60

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra <input checked="" type="checkbox"/>	In aumento
Parziale*	Magra <input type="checkbox"/>	Stabile
Totale <input checked="" type="checkbox"/>		In diminuzione <input checked="" type="checkbox"/>

* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione speditiva dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale <input type="checkbox"/>
Elevata	totale <input type="checkbox"/>
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali F06_2024_00020_013	sede TORINO VIA PIO VII, 9

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 001095
Fiume : Po	Località : Torino	Cod. C.I. : 06SS4D383PI
Data campionamento: 29/9/25 Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre		

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	150
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	200
Ampiezza media alveo di morbida (m)	250
Ampiezza media alveo di piena (m)	280
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	80
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	50

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra <input checked="" type="checkbox"/>	In aumento
Parziale*	Magra <input type="checkbox"/>	Stabile
Totale <input checked="" type="checkbox"/>		In diminuzione <input checked="" type="checkbox"/>

* rispondere: leggermente opalescente, opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione speditiva dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale <input type="checkbox"/>
Elevata	totale <input type="checkbox"/>
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

Allegato D: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sul Po a Torino

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06_2025_00035_008		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 038490
Fiume : Dora Riparia	Località : Torino	Cod. C.I. : 06SS4F173PI
Data campionamento: 31/07/2025	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	20
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	25
Ampiezza media alveo di morbida (m)	25
Ampiezza media alveo di piena (m)	30
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	60
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	25

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale
Elevata	totale
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06_2025_00035_012		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 038490
Fiume : Dora Riparia	Località : Torino	Cod. C.I. : 06SS4F173PI
Data campionamento: 08/10/2025	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	15
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	25
Ampiezza media alveo di morbida (m)	30
Ampiezza media alveo di piena (m)	30
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	30
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	20

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale
Elevata	totale
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

Allegato E: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sulla Dora Riparia a Venaria

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06_2025_00015_013		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 044015
Fiume : Stura di Lanzo	Località : Venaria Reale	Cod. C.I. : 06SS3F760PI
Data campionamento: 04/09/25	Operatori : NICOLA LEFEBVRE	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	10
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	25
Ampiezza media alveo di morbida (m)	20
Ampiezza media alveo di piena (m)	60
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	100
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	25

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale
Elevata	totale
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06_2025_00015_016		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 044015
Fiume : Stura di Lanzo	Località : Venaria Reale	Cod. C.I. : 06SS3F760PI
Data campionamento: 17/10/25	Operatori : A.Nicola, P.Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	60
Ampiezza media alveo di morbida (m)	100
Ampiezza media alveo di piena (m)	120
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	60
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	30

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	Ombreggiamento
Lenta	nullo
Media	parziale
Elevata	totale
Molto elevata	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperta da muschi	microlithal ciottoli tra 2 e 6 cm
megalithal pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio)	ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)
macrolithal pietre comprese tra 20 e 40 cm	sabbia (tra 6µ e 2 mm)
mesolithal pietre tra 6 e 20 cm	argilla (minore di 6µ)
	artificiale

Allegato F: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sulla Stura di Lanzo a Venaria

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06 2025 0002 012		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 060010
Fiume : CERONDA	Località : Venaria Reale	Cod. C.I. : 06SS2T103PI
Data campionamento: 4/8/25	Operatori : Nicolo Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	10
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	18
Ampiezza media alveo di morbida (m)	20
Ampiezza media alveo di piena (m)	20
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	45
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	20

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

* rispondere (leggermente opalescente) opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	
Lenta	35
Media	25
Elevata	
Molto elevata	

Ombreggiamento	
nullo	
parziale	% 20
totale	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperto da muschi	
megalithal (pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio))	20
macrolithal (pietre comprese tra 20 e 40 cm)	30
mesolithal (pietre tra 6 e 20 cm)	50

microlithal (ciottoli tra 2 e 6 cm)	
ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
sabbia (tra 6µ e 2 mm)	10
argilla (minore di 6µ)	10
artificiale	

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06 2025 00012 015		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 040010
Fiume : CERONDA	Località : Venaria Reale	Cod. C.I. : 06SS2T103PI
Data campionamento: 17/10/25	Operatori : A. Nicolo, P. Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	15
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	20
Ampiezza media alveo di morbida (m)	20
Ampiezza media alveo di piena (m)	20
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	80
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	35

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

* rispondere (leggermente opalescente) opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	
Lenta	30
Media	20
Elevata	
Molto elevata	

Ombreggiamento	
nullo	
parziale	%
totale	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperto da muschi	
megalithal (pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio))	
macrolithal (pietre comprese tra 20 e 40 cm)	60
mesolithal (pietre tra 6 e 20 cm)	25

microlithal (ciottoli tra 2 e 6 cm)	
ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
sabbia (tra 6µ e 2 mm)	
argilla (minore di 6µ)	5
artificiale	

Allegato G: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sul Ceronda a Venaria

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06 2025 00045 013		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 722010
Fiume : Bealera Nuova	Località : Brandizzo	Cod. C.I. : 06SS2N992PI
Data campionamento: 9/9/25	Operatori : A. Nicolo, P. Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	45
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	15
Ampiezza media alveo di morbida (m)	15
Ampiezza media alveo di piena (m)	15
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	180
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	40

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

* rispondere (leggermente opalescente) opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	
Lenta	40
Media	60
Elevata	
Molto elevata	

Ombreggiamento	
nullo	
parziale	% 30
totale	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperto da muschi	
megalithal (pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio))	
macrolithal (pietre comprese tra 20 e 40 cm)	
mesolithal (pietre tra 6 e 20 cm)	40

microlithal (ciottoli tra 2 e 6 cm)	
ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
sabbia (tra 6µ e 2 mm)	60
argilla (minore di 6µ)	
artificiale	

	Scheda di campionamento	Dipartimento Territoriale Nord-Ovest "Produzione"
	Macrofite fluviali	sede TORINO VIA PIO VII, 9
F06 2025 00045 017		

Risultato atteso : B3.06	Classe : D1.30	Codice punto : 722010
Fiume : Bealera Nuova	Località : Brandizzo	Cod. C.I. : 06SS2N992PI
Data campionamento: 16/09/2025	Operatori : A. Nicolo, P. Lefebvre	

Tipo di monitoraggio: Operativo Sorveglianza Investigativo Sito di Riferimento Altro

Parametri dimensionali	
Lunghezza della stazione (m)	100
Ampiezza media alveo di magra (m)	10
Ampiezza media alveo bagnato al momento del rilievo (m)	12
Ampiezza media alveo di morbida (m)	13
Ampiezza media alveo di piena (m)	13
Profondità massima alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	110
Profondità media alveo bagnato al momento del rilievo (cm)	20

Trasparenza dell'acqua	Condizioni idrologiche	Andamento della portata (rispetto al periodo antecedente il rilievo)
Nulla	Morbida/magra	In aumento
Parziale*	Magra	Stabile
Totale		In diminuzione

* rispondere (leggermente opalescente) opalescente, leggermente torbida

Velocità della corrente (valutazione specifica dell'estensione % delle tipologie di flusso)	
Lenta	30
Media	30
Elevata	
Molto elevata	

Ombreggiamento	
nullo	
parziale	% 20
totale	

Granulometria (% abbondanza delle classi granulometriche)	
igropetrico strato d'acqua su roccia spesso ricoperto da muschi	
megalithal (pietre e massi che superano i 40 cm (asse intermedio))	
macrolithal (pietre comprese tra 20 e 40 cm)	20
mesolithal (pietre tra 6 e 20 cm)	10

microlithal (ciottoli tra 2 e 6 cm)	
ghiaia (tra 2 mm e 2 cm)	
sabbia (tra 6µ e 2 mm)	
argilla (minore di 6µ)	
artificiale	

Allegato H: Scheda di rilevamento della prima e della seconda campagna di campionamento sulla Bealera Nuova a Brandizzo

9. RINGRAZIAMENTI

Eccomi giunta alla conclusione di questa tesi e, con essa, di questo percorso accademico. Sono stati anni durante i quali ho avuto l'opportunità di crescere sia dal punto di vista personale sia professionale, approfondendo un ambito che mi ha sempre incuriosito e appassionato: la Biologia. Questo percorso universitario mi ha permesso inoltre di avvicinarmi e approfondire due tematiche che per me sono sempre state particolarmente attuali e interessanti, la Nutrizione e l'Ambiente.

Vorrei dedicare queste ultime pagine a ringraziare coloro che mi hanno accompagnata in questo percorso.

Innanzitutto ci tengo a ringraziare la professoressa Valeria Todeschini, relatrice di questa tesi, e il professor Flavio Anastasia, correlatore, per la loro grande disponibilità, professionalità e dedizione nella buona riuscita del progetto.

Vorrei esprimere un sentito ringraziamento ad Arianna Nicola e Pierre Lefebvre per la loro disponibilità e gentilezza durante il tirocinio e nello svolgimento del progetto tesi. Il loro supporto mi ha permesso di affrontare con serenità la fase conclusiva del mio percorso accademico magistrale. Un ringraziamento speciale va anche agli altri collaboratori dell'Ufficio Controllo delle Acque: Marta, Lisa, Ernesto e Mario per la collaborazione e l'accoglienza meravigliosa che mi hanno riservato fin dal primo giorno. Un grazie particolare al direttore Alberto Maffiotti, che mi ha dato l'opportunità di svolgere il tirocinio presso ARPA Piemonte, permettendomi di vivere un'esperienza così formativa e stimolante.

Un grazie di cuore alla mia migliore amica Veronica, alla mia compagna non solo di questi lunghi anni di scuola (dalle medie all'università), ma compagna di vita, di viaggi, di sventure, ma soprattutto di momenti felici e di risate.

Un grazie speciale alla mia famiglia, sono molto fortunata ad avere ognuno di loro nella mia vita, a partire dai miei cugini: Benedetta, Pietro, Umberto, Arianna e Amos, con cui ho condiviso tanti ricordi e momenti che porterò sempre con me.

Ai miei zii: a zia Anto, con cui condivido lo spirito creativo e scherzoso; a zio Edi, che guardo sempre con ammirazione per l'impegno che mette nel combattere per ciò in cui crede; a zia Elena, che con il suo entusiasmo e la sua leggerezza riesce sempre a farci tornare un po' bambini; a zio Nando, con cui condivido sempre belle chiacchierate e divertenti "battibecchi" sulla musica di oggi; a zia Cristina, che ringrazio per le grandi risate che ci regala con i suoi racconti e a zio Gianni, per la sua grande bontà e allegria.

Ad Alessandro, per l'amore e le attenzioni che mi dona ogni giorno e per il supporto che mi ha dato in questo percorso e non solo. Grazie anche per la sua ambizione, la sua determinazione, la sua curiosità e la voglia di scoprire e comprendere il mondo, che sono per me una vera ispirazione.

Ai miei splendidi genitori, mio papà e mia mamma, per l'amore, il sostegno e l'esempio che ogni giorno mi hanno donato non potrò mai ringraziarli abbastanza. Spero con questo traguardo di averli resi fieri di me, vi voglio un bene immenso e vi ringrazio con tutto il mio cuore.

A mia sorella Valeria, la mia compagna di vita, la mia persona, la mia complice, grazie per tutto: per il suo aiuto costante, per ascoltarmi sempre, per supportarmi e sopportarmi in ogni momento. A te che oggi ti trovi dall'altra parte del mondo, ma ti sento più vicina che mai.

Infine un grazie a chi oggi non è più con me, ai miei nonni: Emilia, Sergio, Giuseppe e Angela.

Purtroppo pochi giorni fa mia nonna Angela è venuta a mancare, lasciando un grande vuoto nella nostra famiglia: lei era il nostro pilastro, la nostra casa, la nostra certezza. La sua gentilezza e la sua presenza saggia e rassicurante resteranno sempre un ricordo prezioso. In questi giorni ho avuto modo di pensare a lei in modo ancora più profondo: alla persona straordinaria che è stata, alla sua vita, alla casa che insieme a mio nonno hanno costruito con impegno e amore e al suo lavoro, per il quale ha lottato con determinazione. Infatti, ha combattuto molto per poter studiare in un periodo in cui non era affatto semplice farlo, e questo mi ha fatto riflettere su quanto siamo fortunati oggi a godere di opportunità educative molto più accessibili rispetto a un tempo. Per questo esempio la ringrazio di cuore e per questo sento di volerle dedicare questo lavoro, in memoria della sua determinazione e della sua vita, circondata dall'amore e dalle persone a lei care.