

LIFE GESTIRE 2020

Nature Integrated Management to 2020

Azione A 19 – Redazione di linee guida per la definizione e l'applicazione di un fattore correttivo N al DMV

Determinazione del fattore correttivo N per corsi d'acqua non confinati

A cura di:

Paolo Vezza (coordinatore), Giovanni Negro, Claudio Comoglio



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento di Ingegneria
dell'Ambiente, del Territorio
e delle Infrastrutture

31 Marzo 2020

Sommario

Premessa	3
1) Selezione dei tratti fluviali non confinati secondo la caratterizzazione idro-morfologica	4
Caratterizzazione idrologica e morfologica degli alvei non confinati	5
Localizzazione dei tratti fluviali non confinati all'interno delle eco-regioni	9
2) Selezione delle stazioni di misura della portata defluente giornaliera	10
3) Definizione delle curve regionali superficie bagnata – portata defluente	12
4) Linee guida per la definizione del fattore correttivo N negli alvei non confinati	17
5) Localizzazione dei siti utili ad eventuali indagini conoscitive e validazioni sul campo	23
Bibliografia	24

Premessa

Il seguente elaborato ha come principale finalità **la definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione di un fattore correttivo N** ai corsi d'acqua **non confinati** localizzati all'interno della Regione Lombardia. Lo studio è stato condotto a integrazione di quanto già prodotto per i corsi d'acqua confinati e semi-confinati basandosi sull'adozione parziale dei principi guida della metodologia MesoHABSIM e sulle **quattro relazioni tecniche seguenti (Prodotti P0-P6)**, che riportano nel dettaglio la metodologia seguita nello studio pregresso:

- ✓ Prodotto P0: Inquadramento Normativo e Stato dell'Arte in Letteratura;
- ✓ Prodotto P1-P2: Caratterizzazione idrologica e morfologica dei corsi d'acqua ricadenti all'interno di aree naturali protette e siti afferenti alla Rete Natura 2000 della Regione Lombardia;
- ✓ Prodotto P3-P4: Definizione delle eco-regioni e curve regionali habitat disponibile – portata defluente per specie target di riferimento.
- ✓ Prodotto P5-P6: Definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione di un fattore correttivo N al Deflusso Minimo Vitale (DMV)

La presente relazione tecnica, presentata come integrazione di quanto sopra riportato, comprende:

- ✓ La selezione dei tratti fluviali non confinati secondo la caratterizzazione idro-morfologica precedentemente eseguita;
- ✓ La selezione dei tratti fluviali di analisi secondo la disponibilità di serie temporali di portata giornaliera;
- ✓ la costruzione, tramite telerilevamento, della relazione che lega la superficie bagnata dell'alveo con la portata defluente;
- ✓ la definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione del fattore correttivo N nei corsi d'acqua non confinati;
- ✓ la localizzazione dei siti utili ad eventuali indagini conoscitive e validazioni sul campo.

1) Selezione dei tratti fluviali non confinati secondo la caratterizzazione idro-morfologica

Per la definizione dei corsi d'acqua non confinati, afferenti alle aree protette e Rete Natura 2000 della Regione Lombardia, sono state utilizzate le informazioni spaziali derivanti dalla classificazione morfologica realizzata nell'ambito della relazione "Caratterizzazione idrologica e morfologica dei corsi d'acqua ricadenti all'interno di aree naturali protette e siti afferenti alla Rete Natura 2000 della Regione Lombardia" (Prodotto P1-P2). In particolare, dai 291 tratti fluviali complessivamente considerati sono stati estratti unicamente quelli classificati dal punto di vista morfologico come non confinati. Il campione di interesse, per la seguente relazione integrativa, si costituisce pertanto di **86 tratti fluviali non confinati appartenenti a 50 corpi idrici (Figura 1)**.

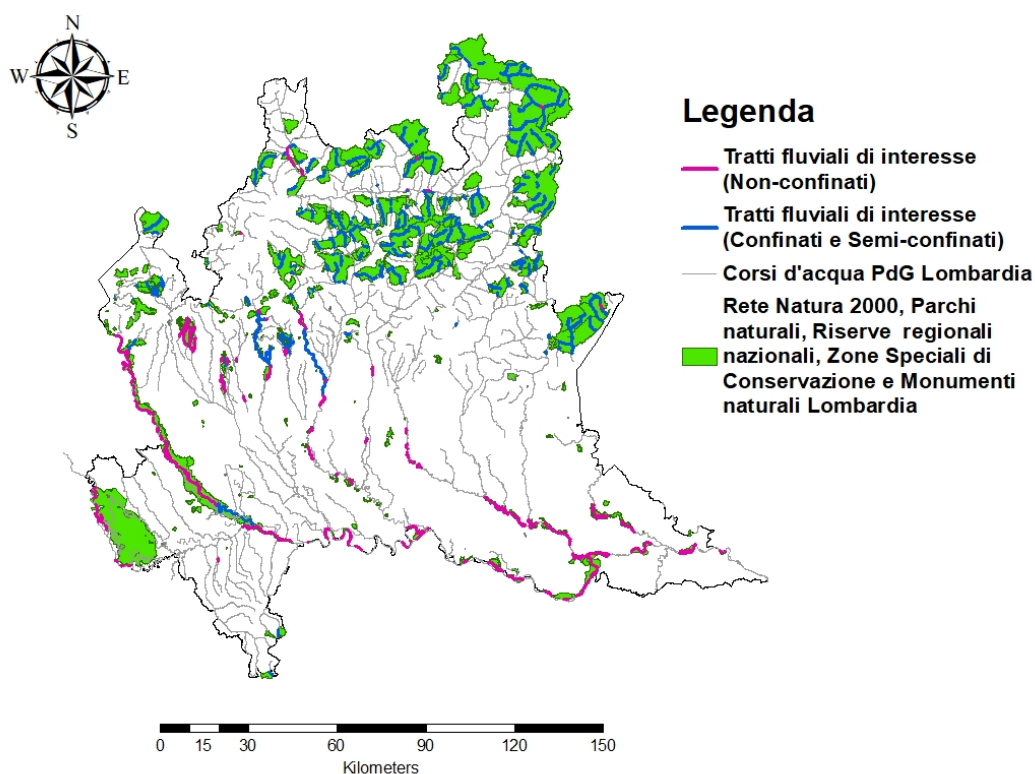


Figura 1. Rappresentazione grafica della localizzazione spaziale dei tratti non confinati di interesse, riportati in colore viola. In azzurro sono riportati gli ulteriori tratti considerati nell'ambito del presente studio classificati come confinati e semi-confinati. I tratti si riferiscono alla porzione di reticolo idrografico del Piano di Gestione delle Acque 2016 appartenente all'insieme della Rete Natura 2000, dei Parchi naturali, delle Riserve regionali nazionali, delle Zone Speciali di Conservazione (ZSC) e dei Monumenti Naturali in Lombardia, riportate in colore verde.

Caratterizzazione idrologica e morfologica degli alvei non confinati

Seguendo la caratterizzazione dei regimi idrologici riportata nella relazione “Caratterizzazione idrologica e morfologica dei corsi d’acqua ricadenti all’interno di aree naturali protette e siti afferenti alla Rete Natura 2000 della Regione Lombardia”, i corsi d’acqua non confinati ricadono in tutte le 5 tipologie precedentemente individuate:

- ✓ **Regime idrologico Nivo-Glaciale** (Tipo 1);
- ✓ **Regime idrologico Nivo-Pluviale** (Tipo 2);
- ✓ **Regime idrologico Pluviale** (Tipo 3);
- ✓ **Regime idrologico Pluvio-Nivale** (Tipo 4);
- ✓ **Regime idrologico Pluvio-Nivale** (Tipo 5).

Per ulteriori dettagli sulla classificazione idrologica dei corpi idrici si veda la relazione “Caratterizzazione idrologica e morfologica dei corsi d’acqua ricadenti all’interno di aree naturali protette e siti afferenti alla Rete Natura 2000 della Regione Lombardia”.

Per quanto riguarda i tratti fluviali non confinati, la tipologia idrologica con numerosità più elevata è risultata essere quella relativa al **Tipo 2**, regime idrologico **Nivo-Pluviale** (38% dei casi). Gli ulteriori regimi idrologici caratterizzano il campione nelle seguenti percentuali: **Tipo 5** (28 % dei casi), **Tipo 4** (24 % dei casi), **Tipo 3** (6 % dei casi) e **Tipo 1** (4% dei casi). In **Figura 2** è possibile apprezzare la composizione del campione d’interesse espressa in termini di frequenza assoluta per ciascuna tipologia idrologica.

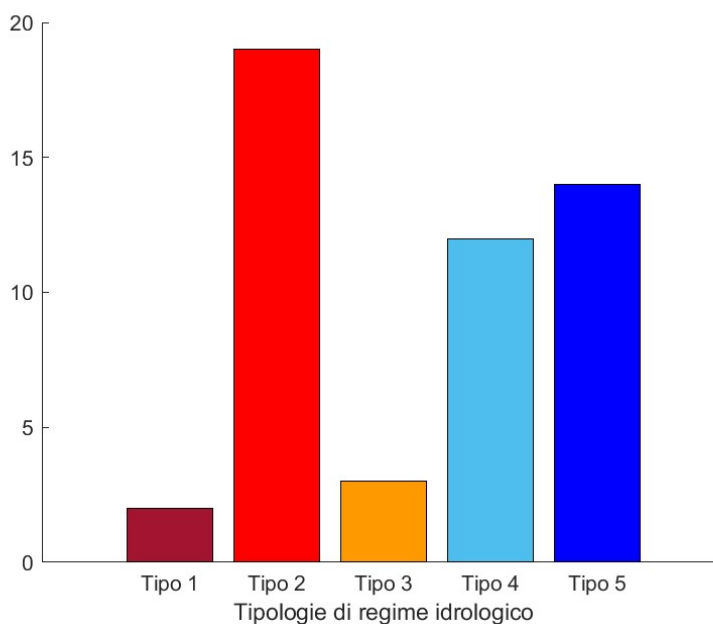


Figura 2. Rappresentazione grafica della numerosità campionaria (asse delle ordinate) dei corpi idrici classificati come non-confinati e suddivisi per tipologia di regime idrologico (asse delle ascisse).

La frequenza assoluta che descrive le tipologie morfologiche individuate nei tratti fluviali non confinati viene rappresentata mediante l'istogramma di **Figura 3**.

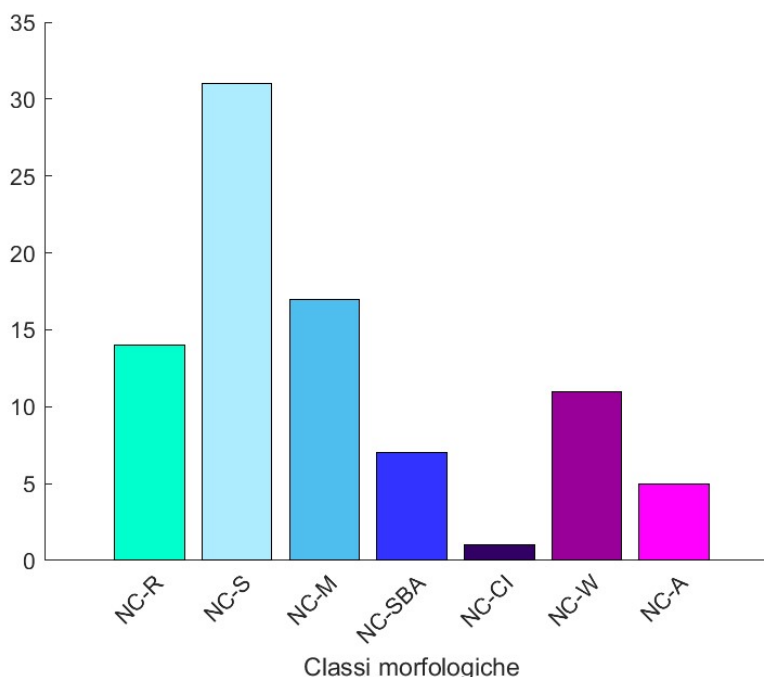
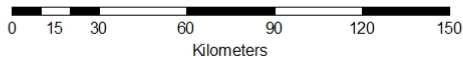
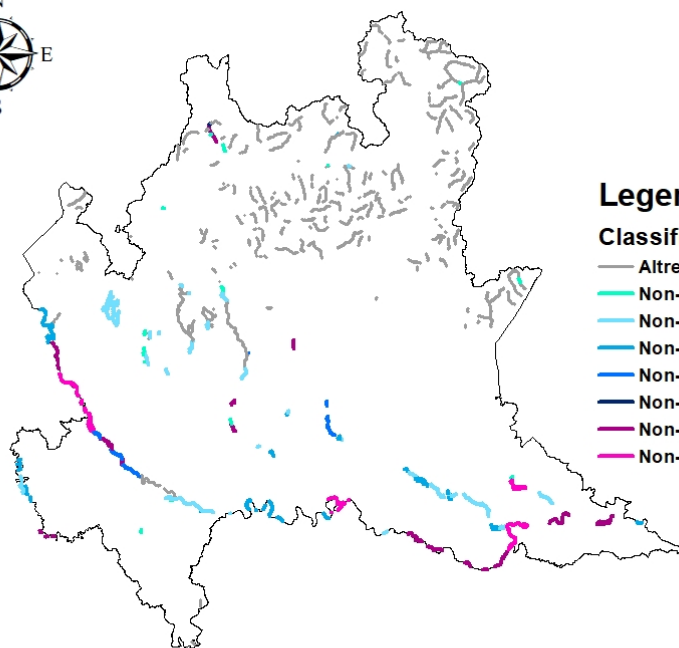


Figura 3. Rappresentazione grafica della numerosità campionaria (asse delle ordinate) dei tratti fluviali classificati come non confinati esuddivisi per classe morfologica (asse delle ascisse). Sigle utilizzate: NC (Non Confinato); Canali Intrecciati (CI); Anabranching (A); Wandering (W); Sinuoso a Barre Alternate (SBA); Rettilineo (R); Sinuoso (S); Meandriforme (M).

A continuazione sono riportate le morfologie in termini percentuali sul totale dei tratti non confinati analizzati:

- ✓ Non-Confinati – Rettilinei (NC-R) = 16% del totale;
- ✓ Non-Confinati – Sinuosi (NC-S) = 36% del totale;
- ✓ Non-Confinati – Meandriforme (NC-M) = 20% del totale;
- ✓ Non-Confinati – Sinuosi a Barre Alternate (NC-SBA) = 8 % del totale;
- ✓ Non-Confinati – Canali Intrecciati (NC-CI) = 1 % del totale;
- ✓ Non-Confinati – Wandering (NC-W) = 13% del totale;
- ✓ Non-Confinati – Anabranching (NC-A) = 6 % del totale;

Come è possibile evincere dal grafico di **Figura 3** la classe morfologica che maggiormente caratterizza i tratti non confinati è rappresentata dai corsi d'acqua che presentano una forma planimetrica di tipo sinuoso (31 tratti, 36% del totale). La distribuzione spaziale delle classi morfologiche che definiscono i corsi d'acqua non confinati è riportata in **Figura 4**.



Legenda

Classificazione morfologica IDRAIM

- Altre tipologie morfologiche
- Non-Confinato, Rettilineo
- Non-Confinato, Sinuoso
- Non-Confinato, Meandriforme
- Non-Confinato, Sinuoso a Barre Alternate
- Non-Confinato, Canali Intrecciati
- Non-Confinato, Wandering
- Non-Confinato, Anabranching

Figura 4. Rappresentazione grafica della distribuzione spaziale delle tipologie morfologiche che caratterizzano i corsi d'acqua di interesse. In particolare, vengono evidenziate le tipologie morfologiche che contraddistinguono i tratti non confinati mentre tutte le restanti tipologie (tratti confinati e semi-confinati) sono rappresentate in colore grigio nella categoria "Altre tipologie morfologiche".

Per ottenere una valutazione complessiva sulla **tipologia idro-morfologica** dei corpi idrici classificati come non confinati, che caratterizzano il campione oggetto di studio, le informazioni ottenute dalle due precedenti classificazioni sono state combinate tra loro ottenendo la rappresentazione grafica di **Figura 5**.

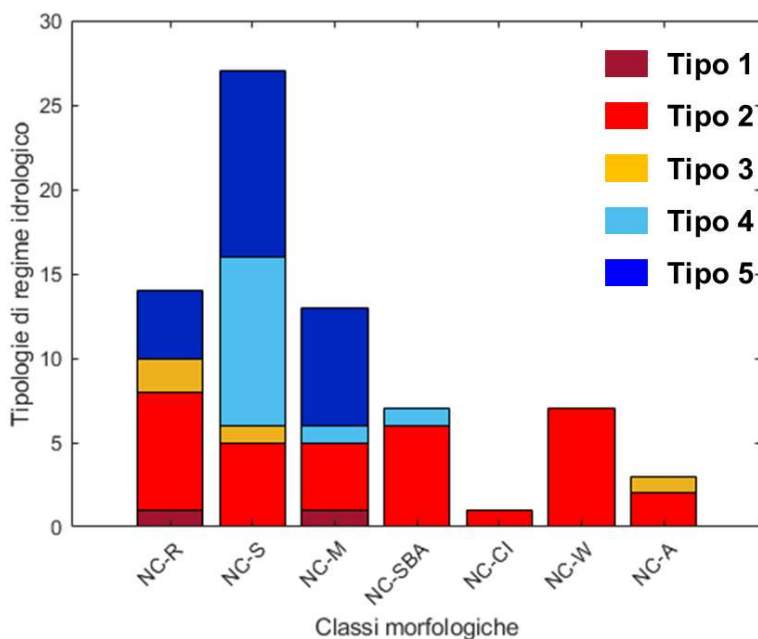


Figura 5. Rappresentazione grafica della numerosità campionaria (asse delle ordinate) dei tratti fluviali classificati come non confinati e suddivisi per classe morfologica (asse delle ascisse) e per tipologia di regime idrologico (Tipo 1-5 presente in legenda). Sigle utilizzate: Non Confinato (NC); Canali Intrecciati (CI); Anabranching (A); Wandering (W); Sinuoso a Barre Alternate (SBA); Rettilineo (R); Sinuoso (S); Meandriforme (M).

Dall'analisi dei risultati è possibile osservare come il regime idrologico Nivo-Pluviale (Tipo 2) si verifichi in una porzione importante di ogni tipologia morfologica. Contrariamente alla ampia distribuzione areale del regime idrologico di Tipo 2, il regime idrologico di Tipo 1 (regime idrologico nivo-glaciale) e Tipo 3 vengono riscontrati, in minima parte, rispettivamente nei tratti non confinati rettilinei e meandriformi e nei tratti non confinati rettilinei, sinuosi e anabranching (sigle NC-R, NC-M e NC-A).

Inoltre, è importante far notare come i tratti NC, seppur maggiormente concentrati nell'area pianeggiante della regione Lombardia, siano caratterizzati da tutte e 5 le tipologie di regime idrologico individuate, segno del fatto che le caratteristiche morfologiche dell'alveo sono frutto di processi di trasporto che non dipendono solo della componente liquida, ma sono influenzati dalla quantità di materiale solido (sedimenti e legno) disponibile nel bacino e movimentato dalla corrente durante gli eventi di piena.

Localizzazione dei tratti fluviali non confinati all'interno delle eco-regioni

Seguendo la suddivisione dei corsi d'acqua di interesse in areali di distribuzione della fauna ittica autoctona riportata nella relazione "Definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione di un fattore correttivo N al Deflusso Minimo Vitale (DMV)", i corsi d'acqua non confinati ricadono in 3 delle 4 zonazioni in comunità ittiche individuate:

- ✓ **Ciprinidi fitofili;**
- ✓ **Ciprinidi litofili;**
- ✓ **Salmonidi.**

In particolare, le comunità ittiche che contraddistinguono maggiormente i corpi idrici di interesse sono risultate essere quella dei **ciprinidi litofili** e quella di **ciprinidi fitofili** (48 % e 30 %, rispettivamente), mentre la comunità ittica dei **salmonidi** è presente solo nel 10 % del campione. In **Figura 6** è possibile apprezzare la distribuzione spaziale dei corpi idrici di interesse in funzione della tipologia di comunità ittica.

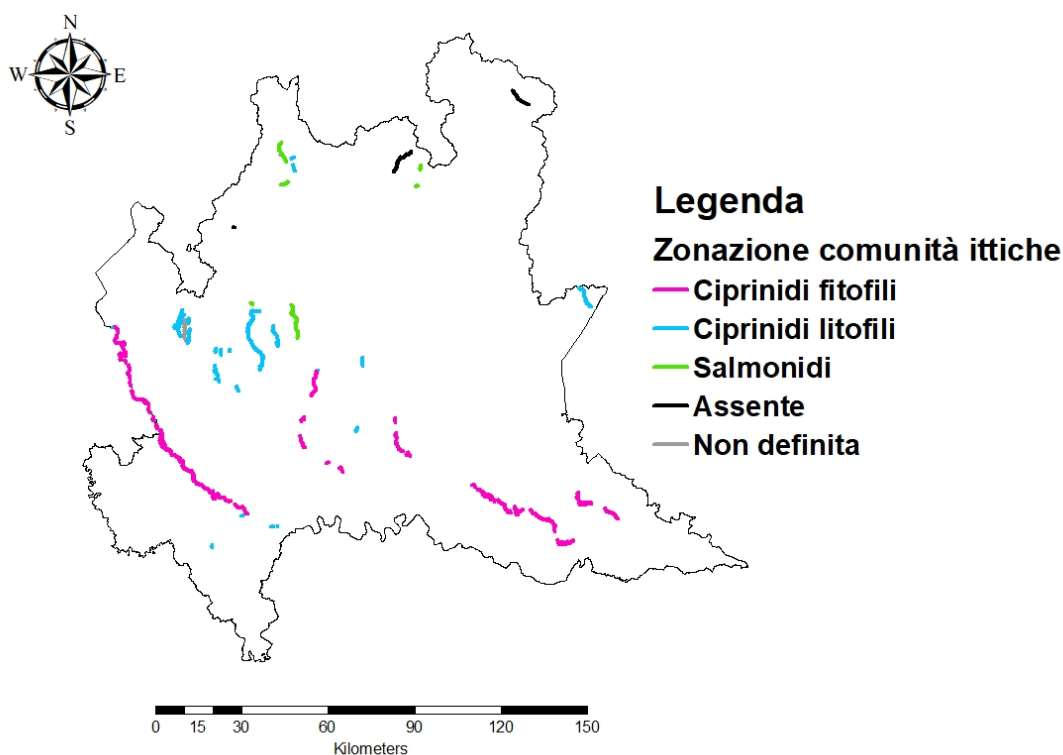


Figura 6. Rappresentazione grafica della zonazione dei soli tratti non confinati in funzione delle comunità ittiche presenti.

2) Selezione delle stazioni di misura della portata defluente giornaliera

La selezione delle stazioni di misura dalla portata giornaliera è stata eseguita utilizzando l'insieme di serie temporali di portata composte da:

- ✓ serie storiche registrate dagli idrometri della rete di ARPA Lombardia,
- ✓ valori di portata misurata nel corso delle sperimentazioni regionali per la definizione delle portate medie mensili e annuali nei principali bacini idrografici della Lombardia,

Da tale campione è stato estratto un numero totale di serie di portata pari a **10 stazioni di misura** rappresentative dell'andamento temporale della portata in **12 tratti fluviali** non confinati in accordo ai seguenti criteri:

- ✓ prossimità della stazione di misura rispetto alla rete idrografica delle aree protette e Rete Natura 2000;
- ✓ localizzazione geografica della stazione di misura all'interno della tipologia morfologica "alveo non confinato";
- ✓ estensione temporale delle serie di portata media giornaliera non inferiore a 2 anni;
- ✓ possibilità di eseguire un bilancio idrico tra portata in arrivo da monte all'opera di presa, portata derivata o derivabile e portata rilasciata a valle come Deflusso Minimo Vitale (DMV).

Attraverso un'analisi spaziale realizzata mediante strumenti GIS, sono state estratte tutte quelle serie temporali con le caratteristiche sopra descritte, ed è stato possibile ottenere serie di portata giornaliera misurata in continuo per tratti fluviali classificati dal punto di vista morfologico come:

- ✓ non confinati sinuosi/meandriiformi senza barre (NC-S/NC-M senza barre)
- ✓ non confinati sinuosi/meandriiformi con barre (NC-SBA e NC-S/NC-M con barre)
- ✓ non confinati, wandering (NC-W)

E' importante sottolineare come **nella prima categoria** (sinuosi/meandriiformi senza barre) ricadono quei tratti fluviali non confinati a canale singolo dove **non vengono riscontrate barre laterali o barre puntuali data la forte presenza della componente limo-argillosa del sedimento. La presenza di barre laterali e puntuali generate dalla deposizione di ghiaia e sabbia viene invece riscontrata nella seconda categoria** (sinuosi/meandriiformi con barre). La terza categoria comprende invece i tratti fluviali transazionali (o *wandering*) con indice di intrecciamento e di anabranching > di 1 e ≤1.5. Le tipologie idrologiche dei corpi idrici in cui ricadono **le 10 stazioni di misura della portata defluente** sono il Tipo 2 (**Regime idrologico Nivo-Pluviale**) e il Tipo 5 (**Regime idrologico Pluvio-Nivale, con portate massime autunnali**) e vengono elencate in **Tabella 1**.

In **Figura 7** è possibile apprezzare la localizzazione all'interno del territorio regionale delle **10 stazioni di misura della portata giornaliera selezionate all'interno dei tratti fluviali non confinati**. Sia per i tratti fluviali non confinati con regime idrologico di Tipo 3 (**Regime idrologico Pluviale**) e di Tipo 4 (**Regime idrologico Pluvio-Nivale, con portate massime primaverili**), sia per morfologie di tipo non confinato rettilineo (NC-R), non confinato a canali intrecciati (NC-CI) e non confinato anabranching (NC-A), non sono ad oggi disponibili stazioni di misura della portata defluente giornaliera. Per questo motivo **la presente relazione tecnica non include le suddette tipologie idrologiche e morfologiche**, le quali dovranno essere oggetto di una analisi successiva, a seguito della disponibilità di dati idrologici di portata. Si fa presente tuttavia, che le tipologie idrologiche e morfologiche considerate nella presente relazione costituiscono il **56% del campione dei tratti non confinati di interesse**. I risultati derivanti dall'analisi degli stessi possono essere quindi ritenuti rappresentativi della maggioranza del campione.

Tabella 1 – Serie temporali di portate utilizzate nella stima del fattore correttivo *N* per i tratti fluviali non confinati.

Località - Codice Stazione	Fiume	Tipologia idrologica	Tipologia morfologica
Spiagge di Boffalora-ADS6	Adda sublacuale	Tipo 2	Non confinato - Wandering
Lodi	Adda sublacuale	Tipo 2	Non confinato - Sinuoso
Marcaria	Oglio	Tipo 5	Non confinato - Sinuoso
Ostiano	Oglio	Tipo 5	Non confinato - Meandriforme
Soncino	Oglio	Tipo 2	Non confinato - Sinuoso a Barre Alternate
Pavia - Pte Ticino	Ticino	Tipo 2	Non confinato - Wandering
Madalena - TIC 1	Ticino	Tipo 2	Non confinato - Sinuoso a Barre Alternate
Ponte SS527 -TIC 3	Ticino	Tipo 2	Non confinato - Sinuoso a Barre Alternate
Ponte SS341 - TIC 5	Ticino	Tipo 2	Non confinato - Sinuoso a Barre Alternate
Vigevano	Ticino	Tipo 2	Non confinato - Wandering

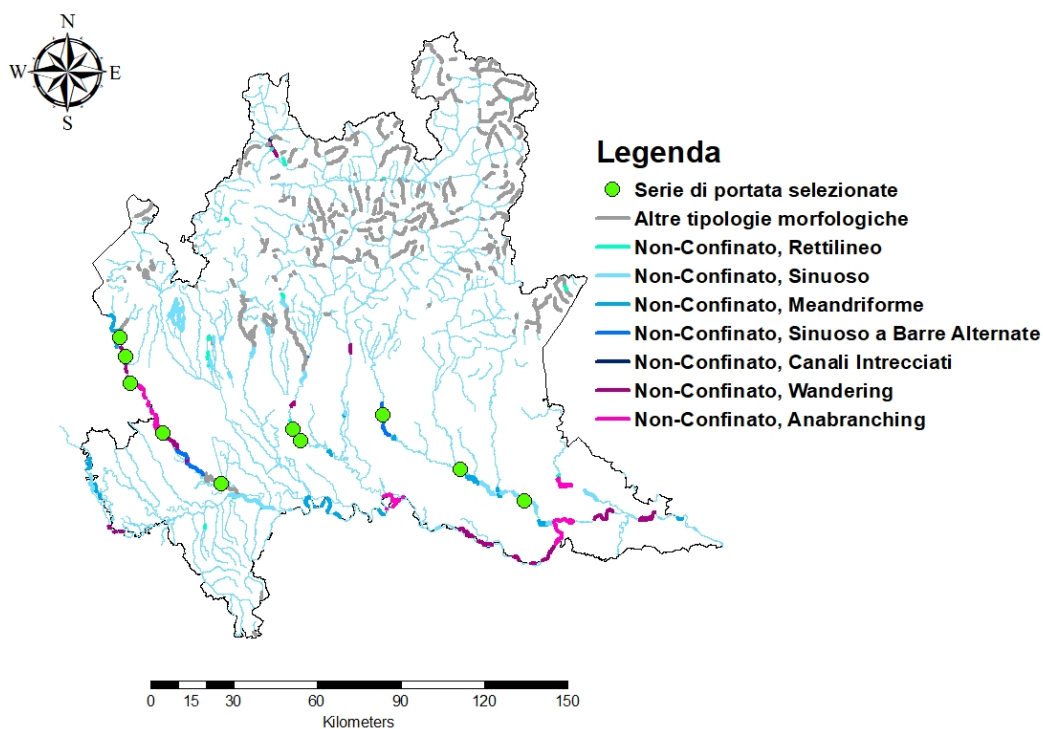


Figura 7. Rappresentazione grafica della distribuzione spaziale delle 10 serie di portate selezionate in funzione della morfologia dei corsi d'acqua d'interesse.

3) Definizione delle curve regionali superficie bagnata – portata defluente

In accordo con la metodologia **MesoHABSIM** (Meso-Habitat Simulation Model, Parasiewicz et al.2013), la relazione tra l'habitat disponibile e la portata defluente in alveo è espressa mediante la **curva habitat-portata** che **quantifica la superficie bagnata utilizzabile dalla fauna a scala di tratto**. Oltre alla relazione habitat-portata viene costruita, per ogni sottotratto analizzato, la relazione che lega l'intera superficie bagnata dell'alveo con la portata defluente ("wetted area" in Figura 8, vedasi anche MLG ISPRA 154/2017).

Habitat-flow rating curves - Olen

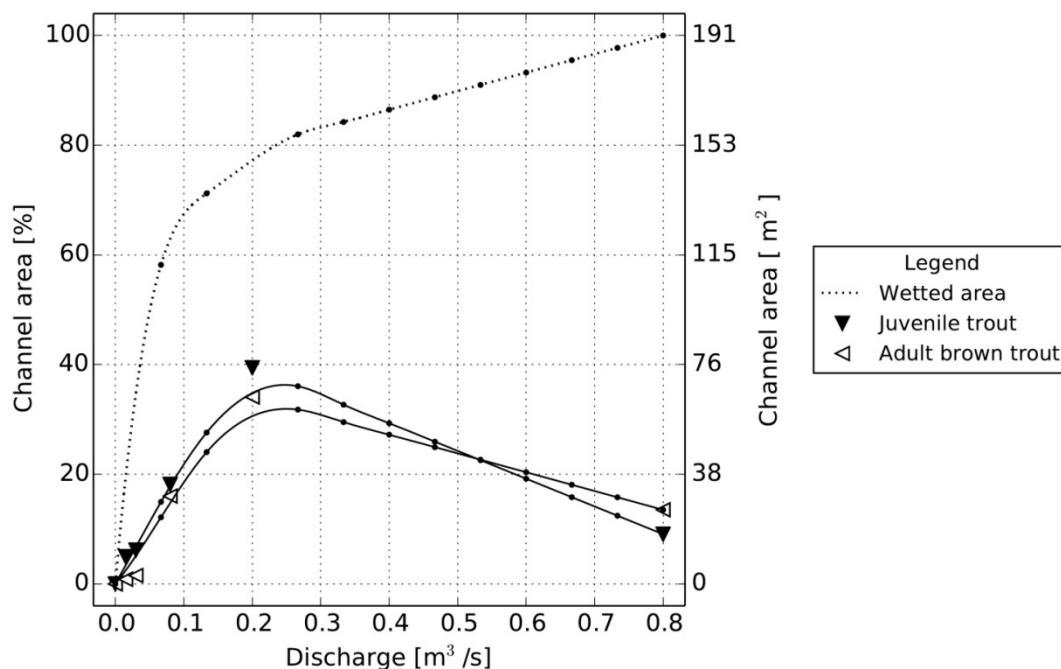


Figura 8. Curve habitat-portata e superficie bagnata-portata per il Torrente Olen (Alagna Valsesia, Vercelli, MLG ISPRA 154/2017). Le curve di habitat riportate sono relative allo stadio vitale adulto (adult brown trout) e giovane (juvenile trout) della specie trota fario (*Salmo trutta*). La superficie bagnata dell'alveo complessiva (wetted area) viene inoltre riportata nelle stesse condizioni di deflusso (curva punteggiata). Le percentuali riportate sull'asse di sinistra delle ordinate sono da considerarsi rispetto al totale dell'area bagnata relativa al valore massimo di portata defluente misurato durante i rilievi (condizione di deflusso: $Q=800$ l/s).

Non avendo a disposizione un numero sufficiente di casi studio pregressi che forniscano le relazioni tra l'habitat della fauna ittica e la portata defluente nel caso dei corsi d'acqua non confinati e per l'eco-regione rappresentata dai ciprinidi litofili e fitofili, si farà riferimento nel presente studio alla relazione tra superficie bagnata-portata, come proxy dell'habitat aquatico disponibile per la fauna ittica. Questa scelta tuttavia non è da considerarsi come una quantificazione completamente adeguata dell'habitat aquatico in quanto non tiene conto di importanti variabili ambientali per la fauna ittica quali la profondità e la velocità della corrente, la distribuzione del substrato o delle zone di rifugio da stress fisici o possibili predatori.

La relazione superficie bagnata-portata è possibile ottenerla da remoto mediante telerilevamento, utilizzando le immagini ad alta risoluzione disponibili, per esempio, attraverso il software Google Earth che unisce basi di dati provenienti dai satelliti GEE-1, WorldView 2, 3, e 4 e immagini aeree ad alta risoluzione. Attraverso l'uso del software Google Earth sono state quindi raccolte, per diverse date, immagini satellitari e aeree rappresentative di diverse condizioni di deflusso.

Ogni immagine satellitare fornita da Google Earth è relativa ad una specifica data, la quale corrisponde a sua volta ad un valore di portata media giornaliera registrato dalle stazioni di misura selezionate. Sono quindi state collezionate le informazioni geospaziali relative alla superficie bagnata di alveo in ogni immagine disponibile, facendo riferimento ai sottotratti non confinati di interesse prossimi alle stazioni di misura. Per ogni data disponibile in termini di immagine satellitare è quindi stato estratto il valore di portata defluente giornaliera registrato dalle stazioni, permettendo di ricostruire l'andamento della relazione superficie bagnata-portata per i 12 sottotratti non confinati oggetto di studio.

In Tabella 2 vengono riportate, per ogni sottotratto, le date delle immagini satellitari ad alta risoluzione disponibili su Google Earth, e per ognuna di esse il relativo valore di portata registrato dalla stazione di misura.

Tabella 2–Sottotratti non confinati considerati per la definizione della relazione superficie bagnata-portata. Per ciascun sottotratto considerato vengono riportate le seguenti informazioni: larghezza media dell'alveo attivo, data relativa alle immagini satellitari utilizzate per la quantificazione della superficie bagnata e corrispondente portata misurata presso le 10 stazioni di misura considerate.

Località – Codice stazione	Fiume	Larghezza media sottotratto [m]	Date immagini satellitari	Portata media giornaliera [m ³ /s]
Spagge di Boffalora-ADS6	Adda sublacuale	200	30/03/2012; 21/04/2012; 12/03/2015; 17/04/2014	24.3; 63.4; 102.8; 187.5
Lodi	Adda sublacuale	75	04/08/2014; 13/04/2017; 26/03/2016; 17/04/2014	44.3; 71.7; 108.6; 214.4
Marcaria	Oglio	90	22/04/2017; 11/06/2014; 11/04/2015; 22/03/2018	46.9; 57.9; 94.9; 175.8
Ostiano	Oglio	80	07/07/2017; 28/08/2015; 06/09/2016; 25/04/2018	19.5; 41.3; 56.8; 121.8
Torre Pallavicina-Soncino 38	Oglio	70	23/06/2017; 28/08/2015; 12/03/2014; 25/04/2018	4.2; 13.9; 63.0; 101.6
Orzinuovi-Soncino 39	Oglio	150	23/06/2017; 28/08/2015; 12/03/2014; 25/04/2018	4.2; 13.9; 63.0; 101.6
Genivolta-Soncino 40	Oglio	75	23/06/2017; 28/08/2015; 12/03/2014; 25/04/2018	4.2; 13.9; 63.0; 101.6
Pavia-Pte Ticino	Ticino	190	10/03/2017; 23/03/2018; 12/03/2015; 10/04/2014	146.9; 227.8; 258.2; 358.8
Madalena-TIC 1	Ticino	120	29/03/2012; 27/08/2014; 23/10/2015	18.0; 31.0; 78.0
Ponte SS527-TIC 3	Ticino	170	09/08/2012; 25/10/2012; 02/09/2014; 23/10/2015	16.6; 27.0; 35.2; 82.7
Ponte SS341-TIC 5	Ticino	150	09/08/2012; 02/09/2014; 25/10/2012; 23/10/2015	48.0; 79.7; 95.8; 159.9
Vigevano	Ticino	250	10/03/2016; 28/06/2010; 23/05/2010	147.3; 212.2; 523.1

Le curve superficie bagnata – portata defluente presentate nel seguito sono da considerarsi valide per i corsi d'acqua della stessa tipologia morfologica riportata e il cui alveo attivo è caratterizzato da larghezze medie simili a quelle dei tratti utilizzati per l'analisi regionale. In particolare le curve si possono considerare valide per tratti fluviali non confinati sinuosi/meandriiformi senza barre di larghezza media dell'alveo attivo tra 70 e 100 m, per tratti non confinati sinuosi a barre alternate e non confinati sinuosi/meandriiformi con barre di larghezza media dell'alveo attivo tra 70 e 200 m e per tratti non confinati wandering di larghezza media dell'alveo attivo tra 150 e 250 m.

In analogia alla metodologia descritta nella relazione “Definizione delle eco-regioni e curve regionali habitat disponibile – portata defluente per specie target di riferimento”, si è scelto di rappresentare la relazione che lega la superficie bagnata con la portata defluente attraverso la seguente espressione matematica:

$$W = \alpha - \alpha \cdot e^{\beta \cdot q} + \gamma \cdot q,$$

dove W rappresenta la superficie bagnata di alveo (espressa in m^2 o % di alveo bagnato) relativa a una condizione di deflusso, q è la portata specifica defluente in alveo (espressa in $l/s \cdot km^2$), mentre α , β e γ sono tre parametri dell'equazione.

In particolare i campi di esistenza dei parametri α , β e γ sono i seguenti:

$$\alpha > 0;$$

$$\beta < 0;$$

$$-\infty < \gamma < +\infty.$$

Si noti come la funzione matematica e i campi di esistenza dei parametri sopra riportati definiscano una **funzione passante per l'origine degli assi** e che può avere tre principali forme:

- ✓ funzione con un asintoto orizzontale pari ad α , nel caso in cui γ venga posto pari a zero;
- ✓ funzione monotona crescente, nel caso in cui sia $\gamma > 0$;
- ✓ funzione con un valore massimo, nel caso in cui sia $\gamma < 0$.

Per la regionalizzazione della relazione superficie bagnata – portata, viene esclusa la forma della funzione con un valore massimo ($\gamma < 0$), in quanto la superficie bagnata può solamente crescere, o mantenersi costante, all'aumentare della portata defluente. Ulteriori dettagli sulla costruzione delle curve regionali habitat–portata defluente sono riportati nella relazione tecnica “Definizione delle eco-regioni e curve regionali habitat disponibile – portata defluente per specie target di riferimento”.

Raggruppando per tipologia morfologica i sottotratti selezionati è stato quindi possibile definire attraverso una regressione le curve regionali superficie bagnata–portata defluente riportate nelle **Figure 9-11**. Per fare questo i valori di superficie bagnata ottenuti per una specifica condizione di deflusso sono stati **normalizzati tra 0 e 100% utilizzando la superficie del canale attivo per il medesimo sottotratto analizzato**.

In Figura 9 viene riportata la curva regionale per tratti fluviali non confinati sinuosi/meandriiformi senza barre, in Figura 10 viene riportata la curva regionale per tratti non confinati sinuosi a barre alternate e non confinati sinuosi/meandriiformi con barre, e in Figura 11 viene riportata la curva regionale per tratti non confinati wandering.

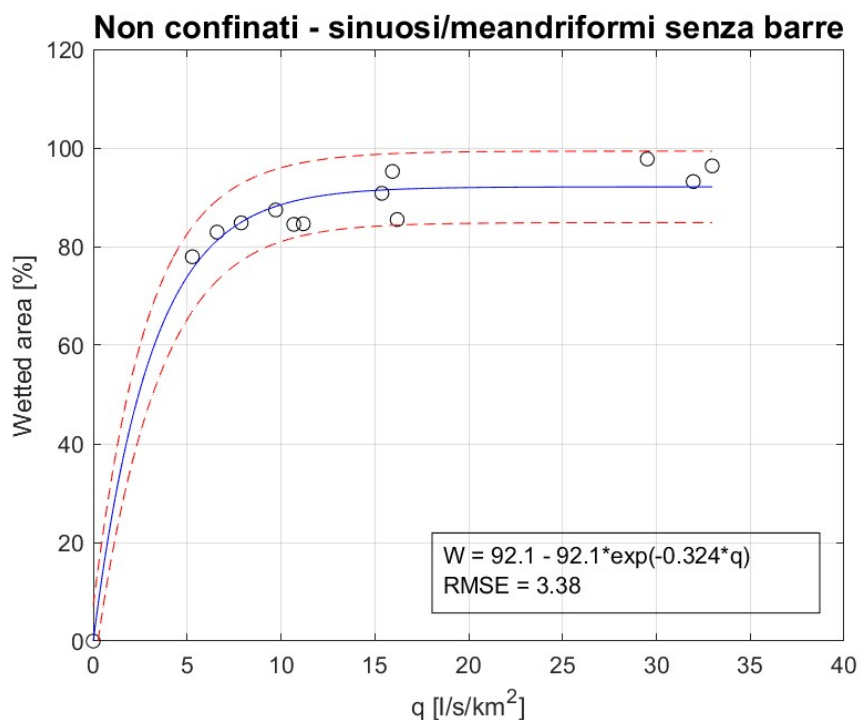


Figura 9. Curva regionale superficie bagnata-portata defluente per corsi d'acqua non confinati – sinuosi/meandriiformi senza barre.

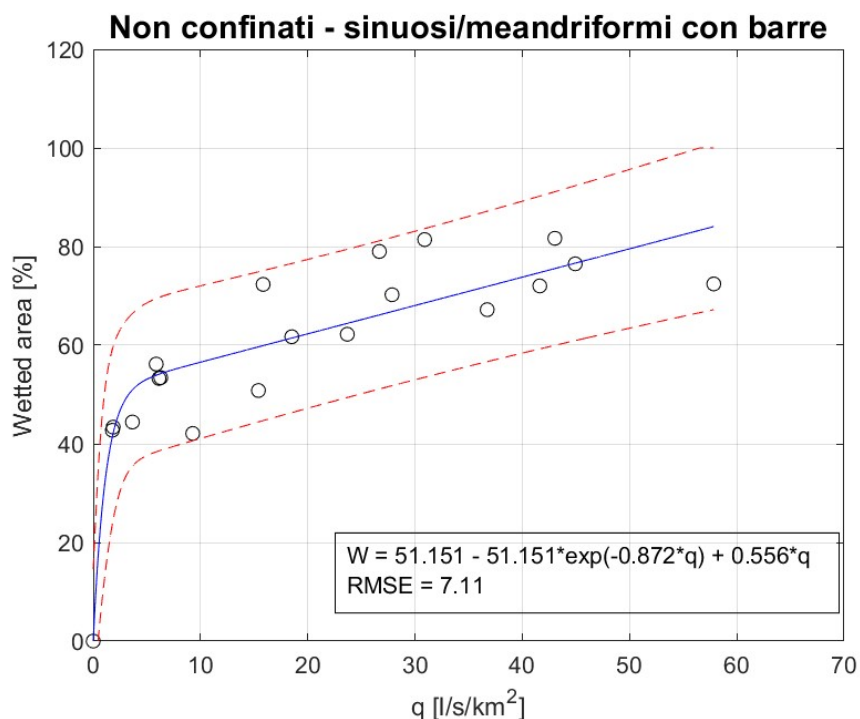


Figura 10. Curva regionale superficie bagnata-portata defluente per corsi d'acqua non confinati – sinuosi/meandriiformi con barre.

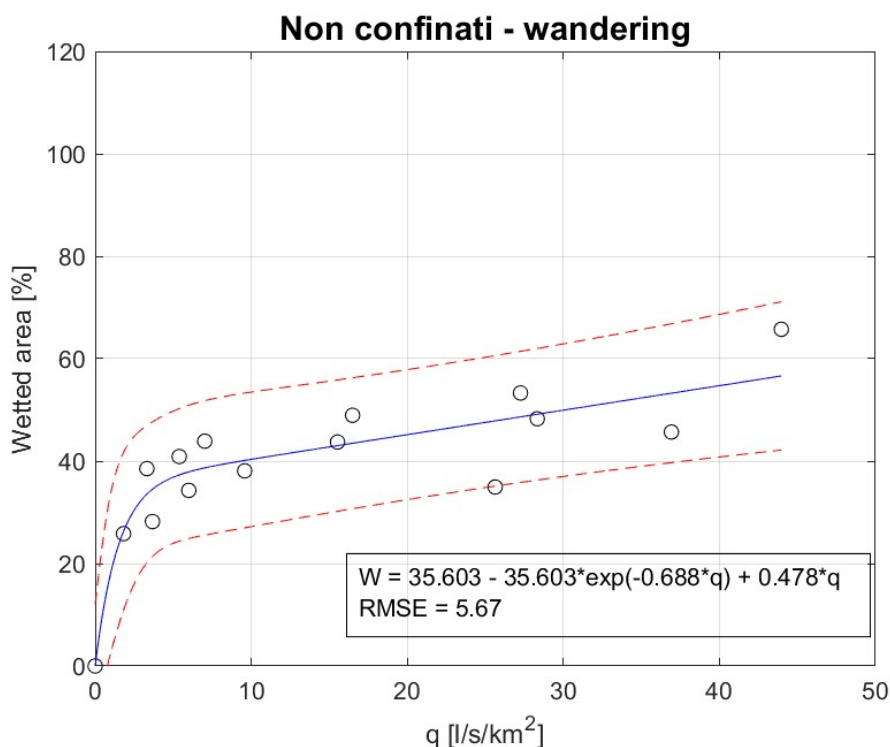


Figura 11. Curva regionale superficie bagnata–portata defluente per corsi d’acqua non confinati – wandering.

E’ interessante notare come la forma della relazione superficie bagnata–portata sia funzione della tipologia morfologica del corso d’acqua. Per il caso dei tratti sinuosi/meandriiformi senza la presenza di barre il valore di superficie bagnata presenta un asintoto orizzontale prossimo al 100% del canale attivo, segno del fatto che l’alveo viene sommerso fino alle sponde rapidamente al crescere della portata per poi non espandersi ulteriormente fino al raggiungimento del livello di *bankfull* (alveo a piene rive). Questo fenomeno avviene in misura decisamente meno rapida negli alvei sinuosi/meandriiformi con presenza di barre, per cui non vi è il raggiungimento di un asintoto orizzontale, almeno nell’intervallo di portate analizzate. Per quanto riguarda i corsi d’acqua non confinati di tipo wandering la crescita della curva è ulteriormente meno accentuata rispetto ai tratti sinuosi/meandriiformi con presenza di barre e il massimo valore di superficie bagnata registrato è pari al 66% dell’alveo attivo.

4) Linee guida per la definizione del fattore correttivo N negli alvei non confinati

Le curve superficie bagnata–portata defluente ottenute sono state quindi unite alle serie temporali di portata giornaliera registrate dalle stazioni di misura al fine di analizzare la **variazione sia spaziale sia temporale della superficie sommersa dalla corrente**. Questa variazione può essere vista come un proxy dell'habitat acquatico sebbene non rappresenti le effettive disponibilità di habitat per la fauna ittica nei sottotratti analizzati. Al fine di poter definire dei valori preliminari del fattore correttivo N anche per i corsi d'acqua non confinati vengono tuttavia presentati i risultati utilizzando la serie temporali di superficie bagnata. E' quindi importante sottolineare che i risultati presentati nel seguito **dovranno essere verificati attraverso indagini conoscitive e validazioni sul campo** prima di poter essere utilizzati a scala regionale.

In analogia a quanto precedentemente riportato nella relazione "Definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione di un fattore correttivo N al Deflusso Minimo Vitale (DMV)", la superficie bagnata al tempo t viene ottenuta tramite la relazione:

$$W_d(t) = W(q(t)),$$

dove W rappresenta la relazione superficie bagnata -portata, $q(t)$ è la portata specifica defluente al tempo t e $W_d(t)$ è la superficie bagnata disponibile per la fauna ittica al tempo t (*sensu*, Milhous et al. 1990).

Le serie di portata in alveo possono quindi essere tradotte in serie temporali di superficie bagnata e analizzate statisticamente al fine di stabilire diverse proprietà di interesse per gli scopi dell'applicazione del metodo MesoHABSIM, quali ad esempio la durata e la frequenza di eventi idrologici cui corrispondono quantità di superficie bagnata al di sotto di determinate soglie ecologicamente rilevanti.

Valutato il campione di serie di portata disponibili per i corsi d'acqua non confinati, la stima del fattore correttivo N è stata eseguita seguendo l'approccio introdotto dalla metodologia MesoHABSIM/IH (MLG ISPRA 154/2017, DD 30/STA 13/02/2017), descritto in maniera concisa nella relazione "Definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione di un fattore correttivo N al Deflusso Minimo Vitale (DMV)". Secondo tale approccio, l'indice IH (Indice di integrità dell'Habitat fluviale) può essere calcolato utilizzando la serie temporale di superficie bagnata al fine di avere come risultato un valore di $IH \geq 0.6$ e quindi assumere una classe di qualità non inferiore allo stato BUONO.

Perché questo avvenga è necessario che i due subindici ITH (Indice di disponibilità Temporale dell'Habitat fluviale) e ISH (Indice di disponibilità Spaziale dell'Habitat fluviale) risultino entrambi maggiori o uguali di 0.6 durante tutti i bioperiodi individuati.

Per sua definizione (vedasi MLG ISPRA 154/2017), il sub-indice ITH ha maggior peso nella definizione dei valori del fattore correttivo N durante i periodi di magra (valori minimi di portata in alveo, bioperiodo di *Overwintering* per tutte le 5 tipologie idrologiche, bioperiodo *Summer low flows* per i corsi d'acqua con regime idrologico Tipo 4 e 5, bioperiodo *Fall spawning* per fiumi con regime idrologico Tipo 3). Il sub-indice ISH ha invece una influenza marcata nella definizione del fattore correttivo N nei bioperiodi in cui la portata in alveo è naturalmente maggiore (bioperiodo *Summer high flows* nei corsi d'acqua con regime idrologico Tipo 1 e Tipo 3; periodo *Spring spawning* e/o *Fall spawning* nei corsi d'acqua con regime idrologico Tipo 2, Tipo 4 e Tipo 5).

A partire quindi delle serie temporali di portata defluente rilevata dalle stazioni di misura selezionate (paragrafo 2), si sono ottenute le relative serie temporali di superficie bagnata (esempi in **Figura 12, 13 e 14**) attraverso l'utilizzo delle curve regionali superficie bagnata-portata defluente descritte nel paragrafo 3 (**Figure 9-11**).

Per ciascuna serie temporale considerata, in funzione della morfologia del tratto non confinato, è stata quindi ottenuta una corrispondente serie temporale di superficie bagnata di "riferimento" (ottenuta facendo l'ipotesi di assenza dell'opera di presa) e una serie di portata "alterata" data dal rilascio della componente idrologica del Deflusso Minimo Vitale definito dal PTUA 2016 (prodotto $k \cdot q_{MEDIA} \cdot S$).

Dall'analisi delle due serie di habitat (condizioni di riferimento e condizioni alterate) è stato possibile, quantificare i seguenti parametri, necessari al calcolo dei due sub-indici ITH e ISH:

- Superficie bagnata disponibile corrispondente al 97° percentile della curva di durata delle portate in condizioni di riferimento (A_{Q97});
- Superficie bagnata disponibile corrispondente al rilascio della sola componente idrologica del DMV, come definito dal PTUA 2016 (prodotto $k \cdot q_{MEDIA} \cdot S$);
- Superficie bagnata media disponibile in condizioni di riferimento ($A_{Hd,r}$);
- Superficie bagnata media disponibile in condizioni alterate (A_{Hd}).

Per quanto riguarda i periodi di magra, in Figura 12 e 13 viene riportato un esempio di aumento del valore di portata dato dalla componente idrologica del DMV (prodotto $k \cdot q_{MEDIA} \cdot S$) al fine di limitare l'alterazione dei periodi di stress, caratterizzati da limitate disponibilità di superficie bagnata inferiore al valore di A_{Q97} . Nell'esempio riportato, un valore del fattore N, pari a 2.4 viene proposto per limitare la durata di eventi di stress per la fauna ittica, caratterizzati dal perdurare nel tempo di limitate condizioni di disponibilità di superficie bagnata inferiori al valore di A_{Q97} .

Per quanto riguarda i bioperiodi *Summer High Flows*, *Fall spawning*, in **Figura 14** viene riportato un esempio di aumento del valore di portata dato dalla componente idrologica del DMV (prodotto $k \cdot q_{MEDIA} \cdot S$) al fine di limitare l'alterazione media della superficie bagnata disponibile in condizioni di riferimento (condizioni date dall'assenza dell'opera di presa). Nell'esempio riportato un valore del fattore $N = 3.4$ nel bioperiodo *Spring spawning*, $N = 2$ nel bioperiodo *Summer Low Flows* e $N = 3$ nel bioperiodo *Fall spawning* vengono proposti per limitare l'alterazione media della superficie bagnata disponibile ottenuta in condizioni di riferimento ($A_{Hd,r}$ – linea di colore verde) e passare dal rilascio di una portata costante (Habitat disponibile relativo alla componente idrologica DMV – linea di colore rosso) a un rilascio modulato nel tempo (A_{Hd} – linea di colore blu). Per semplicità di applicazione il rilascio dall'opera di presa è considerato costante per il bioperiodo indicato, tuttavia si auspica che nelle applicazioni pratiche della procedura qui descritta il rilascio possa essere modulato su base mensile o quindicinale al fine di seguire maggiormente l'andamento naturale delle portate in alveo.

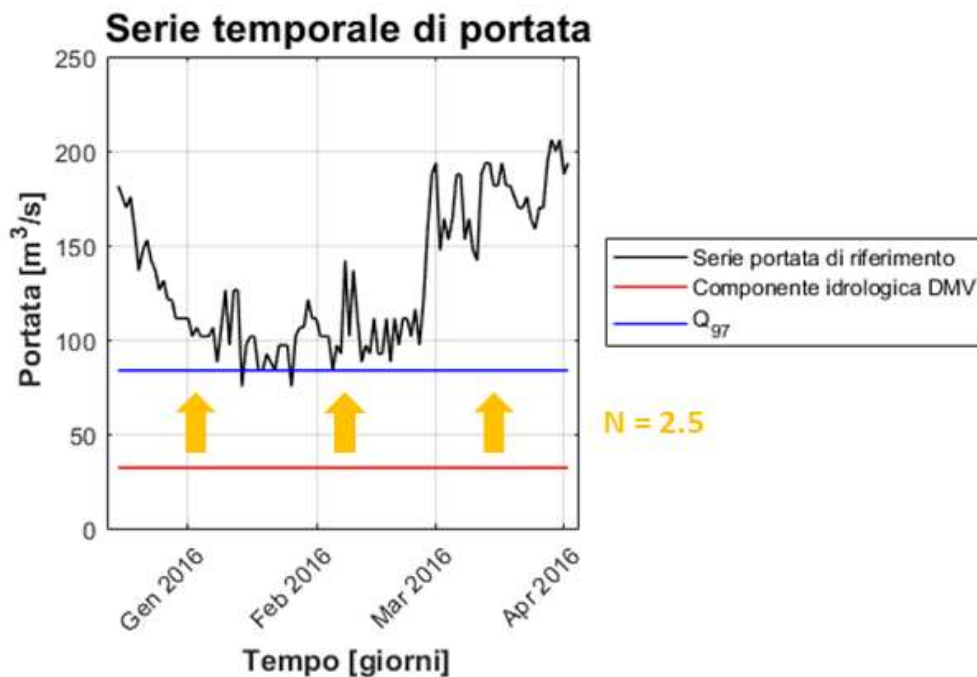


Figura 12. Esempio di serie temporale di portata (linea continua di colore nero) durante il bioperiodo “Overwintering”, periodo idrologico di magra. La serie fa riferimento all’idrometro di Vigevano (fiume Ticino, provincia di Pavia) appartenente alla tipologia idrologica 2 e classificato dal punto di vista morfologico come corso d’acqua Non confinato Wandering (NC-W). È possibile apprezzare come il periodo di magra in condizioni di riferimento si concentrino nei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo, corrispondendo al bioperiodo “Overwintering”. La linea continua di colore rosso rappresenta il valore di portata relativo alla componente idrologica del DMV definito dal PTUA 2016 (prodotto $k \cdot q_{MEDIA} \cdot S$); la linea continua di colore blu rappresenta la portata di magra relativa alla portata Q_{97} , corrispondente al 97° percentile della curva di durata delle portate ottenuta dai dati misurati dalla stazione. Le frecce di colore giallo rappresentano l’aumento del valore di DMV, dato dal fattore N, al fine di ridurre la alterazione della superficie bagnata disponibile per la fauna ittica durante i periodi di magra.

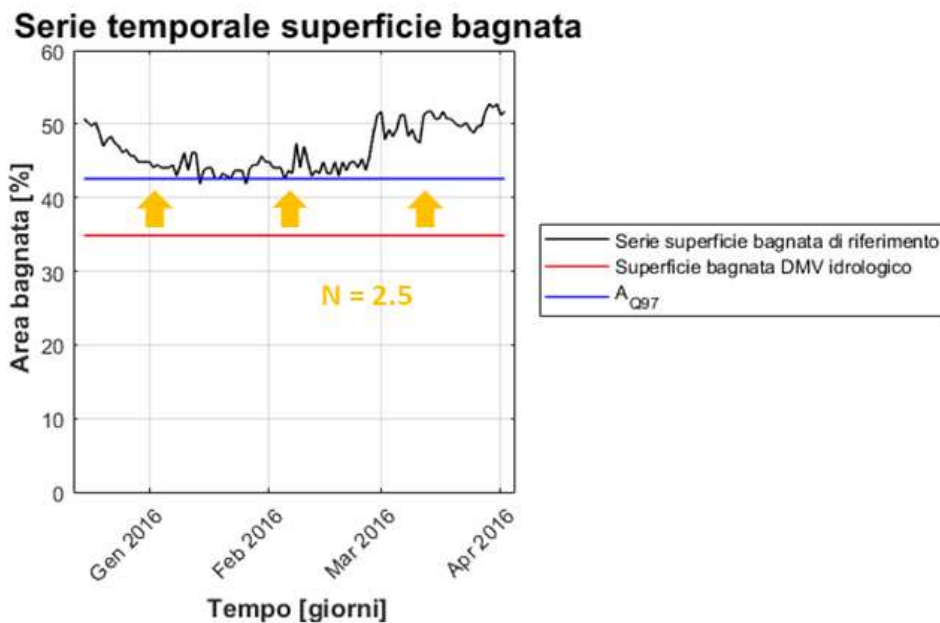


Figura 13. Esempio di serie temporale di superficie bagnata (linea continua di colore nero) durante il bioperiodo “Overwintering”, periodo idrologico di magra. La serie fa riferimento all'idrometro di Vigevano (fiume Ticino, provincia di Pavia) appartenente alla tipologia idrologica 2 e classificato dal punto di vista morfologico come corso d'acqua Non confinato Wandering (NC-W). È possibile apprezzare come il periodo di magra e le relative disponibilità minime di superficie bagnata in condizioni di riferimento si concentrino nei mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo, corrispondendo al bioperiodo “Overwintering”. La linea continua di colore rosso rappresenta il valore di superficie bagnata relativa alla componente idrologica del DMV definito dal PTUA 2016 (prodotto $k \cdot q_{MEDIA} \cdot S$); la linea continua di colore blu rappresenta la superficie bagnata disponibile relativa alla portata Q_{97} , corrispondente al 97° percentile della curva di durata delle portate. Le frecce di colore giallo rappresentano l'aumento del valore di superficie bagnata relativo al rilascio del DMV, conseguente all'applicazione del fattore N , al fine di ridurre l'alterazione della superficie bagnata disponibile per la fauna ittica durante i periodi di magra.

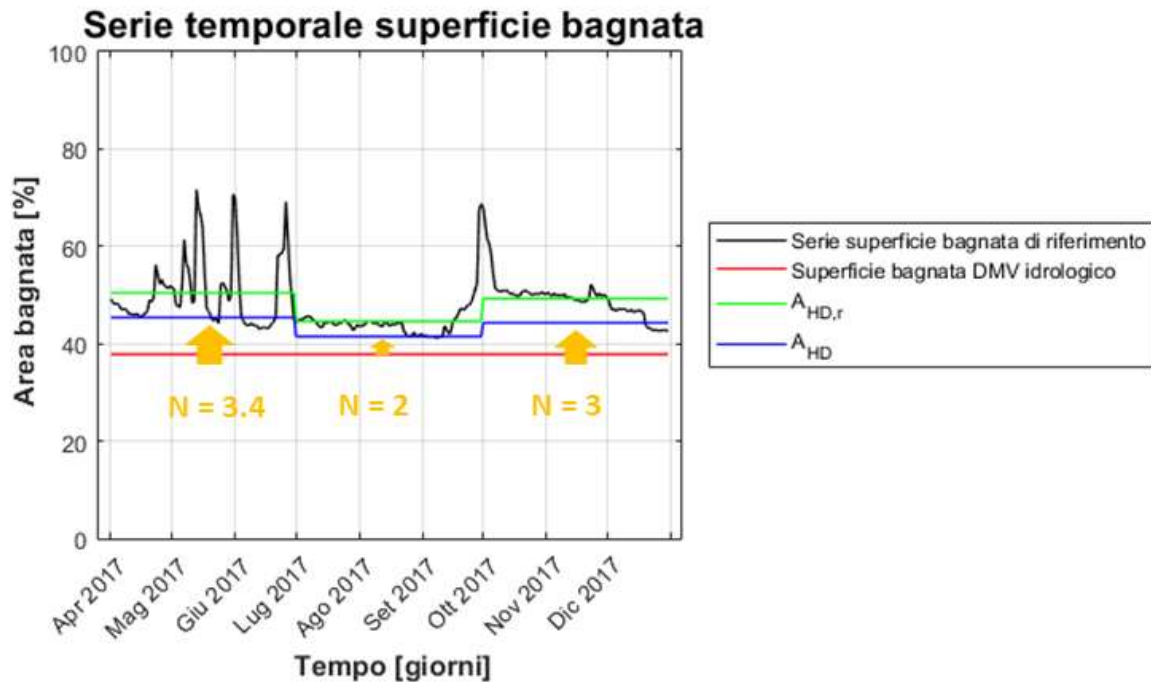


Figura 14. Esempio di serie temporale di superficie bagnata (linea continua di colore nero) durante i bioperiodi “Spring spawning”, “Summer Low Flows” e “Fall spawning”, periodi idrologici di piena ordinaria, di magra estiva e di riproduzione della comunità salmonicola. La serie fa riferimento all’idrometro di Pavia-Pte Ticino (fiume Ticino, provincia di Pavia) appartenente alla tipologia idrologica 2 e classificato dal punto di vista morfologico come corso d’acqua Non confinato Sinuoso a Barre Alternate (NC-SBA). La linea continua di colore rosso rappresenta il valore di superficie bagnata relativa alla componente idrologica del DMV definito dal PTUA 2016 (prodotto $k \cdot q \cdot \text{MEDIA} \cdot S$); la linea continua di colore verde rappresenta la superficie bagnata media disponibile in condizioni di riferimento ($A_{HD,r}$) per i tre bioperiodi considerati; la linea continua di colore blu rappresenta la superficie bagnata media (A_{HD}) che dovrebbe essere garantita a seguito di un prelievo per mantenere il valore dell’indice $IH \geq 0.6$ durante i tre bioperiodi considerati. Le frecce di colore giallo rappresentano l’aumento del valore di superficie bagnata relativa al rilascio del DMV, conseguente all’applicazione del fattore correttivo N , al fine di ridurre la alterazione della superficie bagnata disponibile per la fauna ittica durante i bioperiodi considerati.

A seguito dell’applicazione della procedura di determinazione del fattore correttivo N precedentemente descritta, è stato possibile ottenere i valori riportati nelle **Tabelle 3-5**, suddivisi per (i) tipologia morfologica e (ii) tipologia di regime idrologico.

I valori vengono forniti in tabella in termini di media e scarto quadratico medio per fornire un’indicazione della dispersione dei valori. Nei casi in cui lo scarto quadratico medio non viene fornito (caso dei corsi d’acqua non confinati sinuosi/meandriiformi senza barre e regime idrologico di Tipo 2), la definizione del fattore correttivo N è basata su una sola stazione di misura della portata defluente (Idrometro di Lodi, Fiume Adda).

Tabella 3 – Valori del fattore correttivo *N* per i corsi d'acqua non confinati sinuosi/meandriiformi senza barre, suddivisi per gruppo idrologico e bioperiodo.

Non confinati – sinuosi/meandriiformi con barre

Regime idrologico	Overwintering	Spring spawning	Summer (low/high flows)	Fall spawning
Tipo 2	1.55	2.18	1.62	1.92
Tipo 5	1.27±0.39	2.73±0.42	1.27±0.39	1.59±0.40

Tabella 4 – Valori del fattore correttivo *N* per i corsi d'acqua non confinati sinuosi/meandriiformi con barre, gruppo idrologico Tipo 2.

Non confinati – sinuosi/meandriiformi senza barre

Regime idrologico	Overwintering	Spring spawning	Summer (low/high flows)	Fall spawning
Tipo 2	3.2±1.72	4.04±1.62	3.54±1.76	3.83±1.67

Tabella 5 – Valori del fattore correttivo *N* per i corsi d'acqua non confinati di tipo wandering, gruppo idrologico Tipo 2.

Non confinati – wandering

Regime idrologico	Overwintering	Spring spawning	Summer (low/high flows)	Fall spawning
Tipo 2	2.07±1.53	2.99±1.58	2.45±1.67	2.77±1.61

Dai risultati ottenuti è interessante osservare come per i tratti fluviali non confinati sinuosi/meandriiformi con barre e non confinati di tipo wandering si ottengano i maggiori valori del fattore *N*. Questo risultato è dovuto alla forma e la maggiore estensione spaziale dell'alveo attivo rispetto ai tratti fluviali non confinati sinuosi/meandriiformi senza barre.

E' importante rimarcare infine che i valori del fattore correttivo *N*, riportati nelle **Tablelle 3, 4 e 5**, consentono di ottenere valori di portata che solo in parte soddisfano le esigenze in termini di habitat disponibile e le caratteristiche autoecologiche delle specie considerate, al fine di supportare, nelle diverse tipologie fluviali i diversi stadi vitali delle popolazioni bisognose di maggior tutela. Dall'applicazione del fattore correttivo *N* si ottengono infatti valori di superficie bagnata del corso d'acqua che, per come sono stati calcolati (paragrafo 3) non tengono in considerazione importanti variabili ambientali quali la profondità e la velocità della corrente, la distribuzione del substrato o delle zone di rifugio da stress fisici o possibili predatori.

5) Localizzazione dei siti utili ad eventuali indagini conoscitive e validazioni sul campo

Al fine di verificare l'attendibilità dei valori del fattore correttivo N riportati nella presente relazione e nella relazione "Definizione di linee guida per l'individuazione e l'applicazione di un fattore correttivo N al Deflusso Minimo Vitale (DMV)", è auspicabile prevedere nel corso del progetto LIFE GESTIRE 2020 l'identificazione di possibili siti di indagine conoscitiva e validazione sul campo.

Nella **Tabella 6** vengono riportate alcune alternative possibili in funzione della tipologia idrologica, della tipologia morfologica, e della disponibilità di dati di portata giornaliera registrati da stazioni di misura. Si sottolinea che il regime idrologico Tipo 1 non è stato incluso nella lista dei possibili siti di validazione sul campo in quanto presenta, per una parte preponderante di tratti fluviali, una condizione naturale di assenza dell'ittiofauna e viene considerato meno adatto allo scopo dell'indagine conoscitiva.

Tabella 6 – Possibili siti individuati come utili ad indagini conoscitive e validazioni sul campo. Sigle utilizzate: Confinato (C); Semiconfinato (SC); Non Confinato (NC); Sinuoso (S); Sinuoso a Barre Alternate (SBA); Meandriforme (M); Wandering (W).

Tipo idrologico	Tipo morfologico	Comunità ittica	Possibili corpi idrici individuati
Tipo 2	C	Salmonidi	Torrente Ogha a Valzurio
			Torrente Armisa a Carolo
			Torrente Cervio a Cedrasco
Tipo 2	C - SC	Ciprinidi litofili	Torrente Giona a Curiglia
			Torrente Valle Meria a Mandello del Lario
			Torrente Strona a Vergiate
Tipo 2	NC-S / NC-M	Ciprinidi fitofili	Fiume Ticino a Turbigio
			Fiume Ticino a Vigevano
Tipo 3	C	Salmonidi	Fiume Toscolano a Turano
Tipo 4	C - SC	Ciprinidi litofili	Fiume Curone a Rovagnate
Tipo 5	NC-SBA / NC-W	Ciprinidi fitofili	Fiume Oglio a Soncino

Bibliografia

- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Direzione Generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque. Decreto Direttoriale 30/STA (2017). DD 30/sta del 13/02/2017. Direzione generale per la salvaguardia del territorio e delle acque. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- MLG ISPRA 131/2016. Rinaldi M., N. Surian, F. Comiti, M. Bussetini. 2016. IDRAIM – Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua – Versione aggiornata 2016 – ISPRA – Manuali e Linee Guida 131/2016. Roma, Gennaio 2016, 400 pp.
- MLG ISPRA 154/2017. Veza P., A. Zanin, P. Parasiewicz. 2017. Manuale tecnico-operativo per la modellazione e la valutazione dell'integrità dell'habitat fluviale. ISPRA – Manuali e Linee Guida 154/2017. Roma, Maggio 2017. 116 pp.
- Milhous R., J. Bartholow, M. Updike, and A. Moos. 1990. Reference manual for generation and analysis of habitat time series. U.S. Fish and Wildlife Services.
- Parasiewicz P., J. N. Rogers, P. Veza, J. Gortázar, T. Seager, M. Pegg, W. Wiśniewolski, and C. Comoglio. 2013. Applications of the MesoHABSIM Simulation Model. Pages 109-124 Ecohydraulics: an integrated approach. John Wiley & Sons, Ltd.
- Regione Lombardia (2017). Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA 2016). Delibera n. 6990 del 31 luglio 2017.