

comporta un andamento stagionale. L'emersione di insetti acquatici, soprattutto in primavera, fornisce un'importante integrazione ai predatori in un momento in cui le risorse terrestri sono poco abbondanti. Diversi studi hanno dimostrato che i predatori, come i ragni e gli uccelli, dipendono stagionalmente dagli apporti di risorse acquatiche (Iwata *et al.* 2003; Paetzold *et al.* 2005; Burdon e Harding 2008).

Oltre a rappresentare una fonte di cibo supplementare, le risorse di origine acquatica contengono anche un importante nutriente poco presente negli ecosistemi terrestri, il noto acido grasso omega-3 EPA (tab. 2). Troviamo alte concentrazioni di EPA nei pesci, il che li rende una fonte alimentare benefica anche per l'uomo, e in altri organismi acquatici come gli insetti. Gli ecosistemi acquatici sono infatti considerati

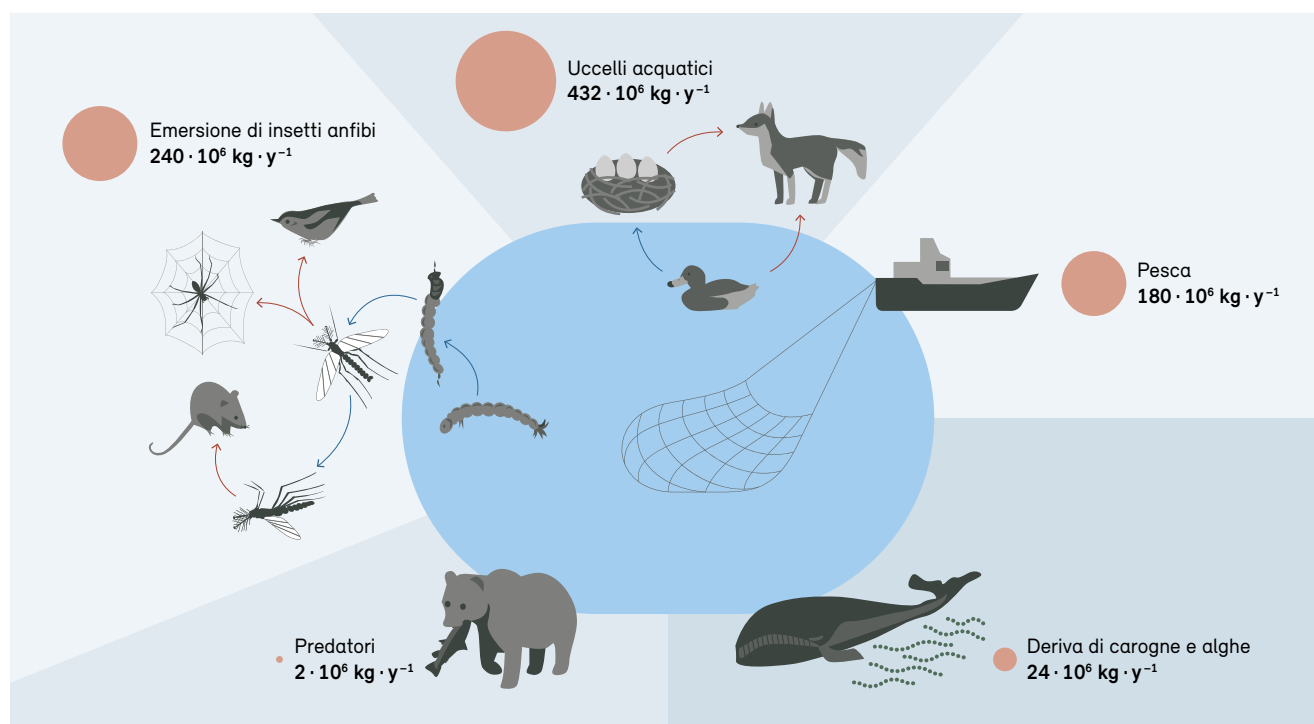
Tabella 2

Principali acidi grassi polinsaturi omega-3 (PUFA).

Abbreviazione	Formula chimica	Nome	Produttori primari
ALA	C18:3n3	Acido alfa linolenico	La maggior parte delle alghe e alcune piante terrestri, con concentrazioni particolarmente alte in alcuni semi e frutti secchi (p. es. colza, semi di lino, noci)
SDA	C18:4n3	Acido stearidonico	Molte alghe (p. es. molte criptofite e alcune alghe verdi), ma solo poche piante vascolari (p. es. ribes nero ed echio)
EPA	C20:5n3	Acido eicosapentaenoico	Molte alghe (p. es. diatomee e criptofite), ma non le piante vascolari (salvo alcuni muschi); la fonte principale sono gli ecosistemi acquatici
DHA	C22:6n3	Acido docosaesaenoico	Soprattutto le alghe marine (p. es. criptofite marine)

Figura 13

Stima dell'esportazione annuale (y) di EPA e DHA (cfr. tab. 2) attraverso diverse vie, che illustra l'entità e l'importanza di questo servizio ecosistemico fornito dai sistemi acquatici.



una delle principali fonti di EPA (Hixson *et al.* 2015). L'EPA appartiene al gruppo degli acidi grassi polinsaturi (PUFA; tab. 2) che contengono doppi legami multipli, che solo specifici gruppi di organismi possono produrre. Diversi gruppi di alghe, ad esempio le diatomee, producono grandi quantità di EPA, che si accumulano nelle catene alimentari acquatiche. Le piante terrestri, ad eccezione di alcuni muschi, mancano completamente di questa capacità (Harwood 1996; Uttaro 2006; Hixson *et al.* 2015). Ciò rende gli organismi ricchi di EPA (insetti acquatici) una risorsa molto richiesta negli ecosistemi terrestri. Stime preliminari indicano che la quantità di PUFA esportata dai sistemi acquatici può essere notevole (fig. 13), fornendo un importante servizio ecosistemico anche al di fuori del sistema acquatico stesso (Gladyshev *et al.* 2013).

Ma perché i PUFA sono così importanti? Negli animali, compreso l'uomo, i PUFA sono coinvolti in molti processi fisiologici. Sono ad esempio parti essenziali delle nostre membrane cellulari, hanno importanti funzioni nel nostro sistema immunitario e svolgono un ruolo nella trasduzione dei segnali nel corpo (Stillwell e Wassall 2003; Stanley 2014; Schlotz *et al.* 2016). I PUFA sono insomma essenziali per la sopravvivenza e devono essere assunti con la dieta. Sebbene alcuni organismi possano convertire altri PUFA in EPA, questo processo è generalmente inefficiente e l'assunzione di EPA attraverso la dieta è quindi molto importante. Studi sui predatori presenti nelle zone ripuali hanno ad esempio dimostrato un effetto positivo dei flussi di EPA di origine acquatica sullo sviluppo e il successo riproduttivo degli uccelli, come le rondini arboricole (Twining *et al.* 2016, 2018), e sul sistema immunitario dei ragni (Fritz *et al.* 2017).

L'uomo ha alterato la maggior parte degli ecosistemi acquatici, in particolare i fiumi e i torrenti, sia nella morfologia sia nella chimica dell'acqua, dando origine al «lato oscuro» dell'apporto di risorse dagli ecosistemi acquatici a quelli terrestri, rappresentato dal trasferimento di microrganismi e metalli pesanti (Kraus 2019). Le acque dolci sane favoriscono chiaramente il lato positivo dei flussi di risorse di origine acquatica verso gli ecosistemi terrestri adiacenti come servizio ecosistemico. L'impatto delle attività umane sugli apporti di risorse acquatiche, in termini sia di quantità sia di qualità, rimane sconosciuto. Il 25 per cento circa dei corsi d'acqua svizzeri è in cattivo stato eco-morfologico,

soprattutto a causa delle oltre 100 000 barriere artificiali che bloccano il movimento dei sedimenti, degradando in modo critico le condizioni degli alvei per la biota (UFAM 2018), e della sostanziale riduzione della lunghezza delle sponde in seguito al raddrizzamento dell'alveo dei fiumi e alla costruzione di argini. L'abbondanza di insetti acquatici emergenti e di uccelli insettivori è direttamente proporzionale alla lunghezza delle sponde (Iwata *et al.* 2003), il che significa che reti fluviali meno naturali con una lunghezza inferiore delle sponde possono essere associate a un ridotto trasferimento di PUFA. Modificando sia i corsi d'acqua sia le zone ripuali adiacenti, le attività e le infrastrutture umane influenzano chiaramente la distribuzione e la quantità degli scambi e dei flussi di risorse tra gli ecosistemi acquatici e terrestri (Laeser *et al.* 2005; Paetzold *et al.* 2011).

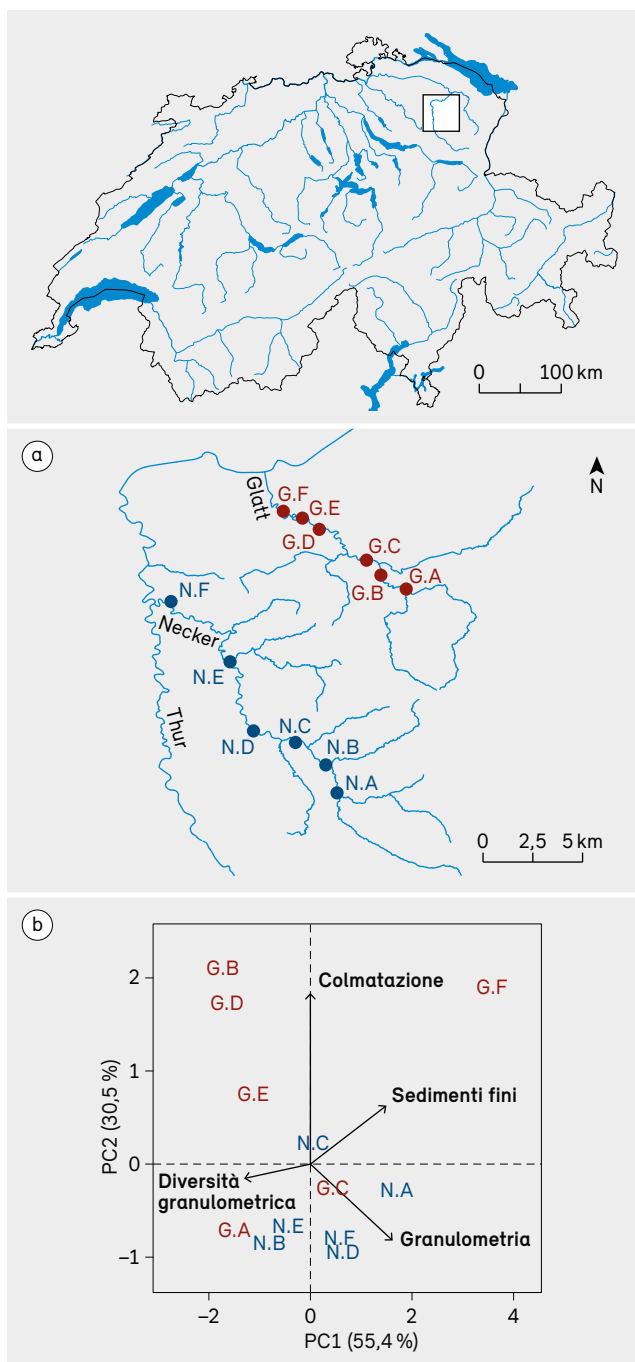
Nonostante il loro importante ruolo ecologico nel contesto di paesaggi fluviali multidimensionali, gli apporti e scambi di risorse tra gli ecosistemi acquatici e terrestri sono stati ampiamente trascurati nella gestione pratica. Nei progetti futuri, le misure di rivitalizzazione dovrebbero quindi tenere conto della connettività laterale lungo i corsi d'acqua, includendo tali flussi di risorse.

3.2 Dati sugli apporti di risorse acquatiche e terrestri in Svizzera

Qui di seguito sono presentati i risultati relativi agli apporti di risorse dai sistemi acquatici a quelli terrestri lungo due fiumi differenti del Cantone di San Gallo (fig. 14a). Il fiume Necker (N) è un fiume perlopiù non corretto con un regime naturale di deflusso e sedimenti, mentre il vicino fiume Glatt (G) è stato soggetto a molte correzioni e presenta molteplici barriere, che alterano il regime di flusso e sedimenti. Anche l'uso del suolo differisce tra i due bacini: il Glatt ha una qualità dell'acqua più scadente (livelli più elevati di azoto e fosforo) rispetto al Necker. Abbiamo selezionato sei siti lungo ciascun fiume per valutare gli apporti di risorse acquatiche agli ecosistemi terrestri adiacenti, concentrandoci sugli insetti acquatici emergenti e sull'esportazione di PUFA di origine acquatica a due predatori presenti nelle zone ripuali (ragni terricoli e tessitori). I ragni terricoli sono predatori mobili, mentre i ragni tessitori sono predatori stazionari, che catturano le prede nelle loro ragnatele. Il presente capitolo si occupa di vari aspetti degli apporti di risorse lungo i due fiumi.

Figura 14

(a) Carta dei siti di campionamento lungo i fiumi Glatt (G) e Necker (N).
 (b) Grafico dell'analisi delle componenti principali, che mostra la differenza nelle caratteristiche degli habitat tra i due fiumi. Gli assi rappresentano la prima e seconda dimensione dell'analisi ed è indicata la percentuale di varianza spiegata da ciascuna dimensione. Le variabili colmatazione, diversità granulometrica, sedimenti fini (quantità) e granulometria sono rappresentate da frecce.



Fonte: Eawag

3.2.1 In che modo la correzione influenza i gradienti ambientali lungo le reti fluviali?

Sono state valutate diverse caratteristiche dei sedimenti, come la distribuzione granulometrica e la colmatazione interna (cfr. cap. 7; Dubuis *et al.* 2023), osservando un aumento dei sedimenti fini e della colmatazione nei siti a valle delle strutture (barriere) che bloccano il movimento dell'alveo. Lungo il fiume Glatt, il sito più a monte (G.A) presentava ancora caratteristiche sedimentarie naturali, che però cambiavano rapidamente a valle della prima struttura (G.B). Questo cambiamento nelle caratteristiche dell'habitat è mostrato in un grafico dell'analisi delle componenti principali (PCA) (fig. 14b), dove i siti raffigurati vicini hanno caratteristiche dell'alveo simili e le frecce rappresentano i diversi motivi della separazione. G.A è affine ai siti più naturali del fiume Necker perché ha meno materiale fine, mentre G.B e gli altri siti lungo il Glatt sono più lontani perché hanno un grado di colmatazione più elevato.

3.2.2 In che modo il degrado dei corsi d'acqua influenza gli apporti acquatici?

Nei corsi d'acqua, la correzione della portata causa spesso il degrado dell'habitat, il che si traduce tipicamente in cambiamenti nelle biocenosi e nella quantità di macroinvertebrati nelle acque corrette rispetto ai corsi d'acqua non corretti. Di conseguenza differiscono anche la qualità e la quantità di risorse di origine aquatica trasferite alle zone ripuali adiacenti. È stata confrontata l'esportazione di biomassa di insetti lungo un gradiente di degrado dell'alveo nei fiumi Glatt e Necker, utilizzando la colmatazione come variabile indicativa del degrado dell'alveo (cfr. fig. 15 per i metodi e fig. 16 per i risultati). Non è stata osservata una diminuzione generale dell'esportazione di biomassa con l'aumento della colmatazione, ma si è verificato un cambiamento nella composizione della comunità, con un minor numero di plecoteri emergenti nel fiume Glatt rispetto al fiume Necker. Mentre un picco di plecoteri emergenti in autunno, costituito da specie di plecoteri piuttosto comuni (*Leuctra* spp.), era visibile in qualche misura nella maggior parte dei siti lungo il fiume Glatt, l'importante picco di plecoteri emergenti all'inizio della primavera era essenzialmente assente lungo il fiume Glatt, con un basso livello di emersione solo nei siti G.A e G.C (fig. 16a). Il picco di inizio primavera era costituito da famiglie di plecoteri più sensibili alle perturbazioni ambientali, come l'aumento del carico di sedimenti fini (Extence *et al.* 2013).

L'assenza di plecoteri può avere un grande impatto, poiché esprimono un comportamento di emersione diverso da quello di altri insetti acquatici, come gli efemerotteri e i tricoteri, che emergono in volo direttamente dalla colonna

d'acqua (fig. 16b). Al contrario, i plecoteri strisciano verso la riva prima di emergere (fig. 16c), rappresentando così un'importante risorsa per i predatori terricoli, assente nei corsi d'acqua privi di plecoteri (fig. 17).

Figura 15

Metodo per stimare l'esportazione di biomassa sotto forma di insetti acquatici emergenti. Per ogni tratto fluviale sono state utilizzate tre trappole galleggianti (superficie di 0,25 m²) per coprire diversi tipi di habitat: rapide (1), bordo (2) e pozza (3). (4) Trappole per gli insetti emergenti, costituite da bottiglia per la raccolta degli insetti (5), rete di copertura (maglia da 100 µm) (6), galleggianti in polistirolo (7), area di raccolta degli insetti emergenti (8). Insetti raccolti: tricoteri (9), ditteri (10), plecoteri (11) ed efemerotteri (12).

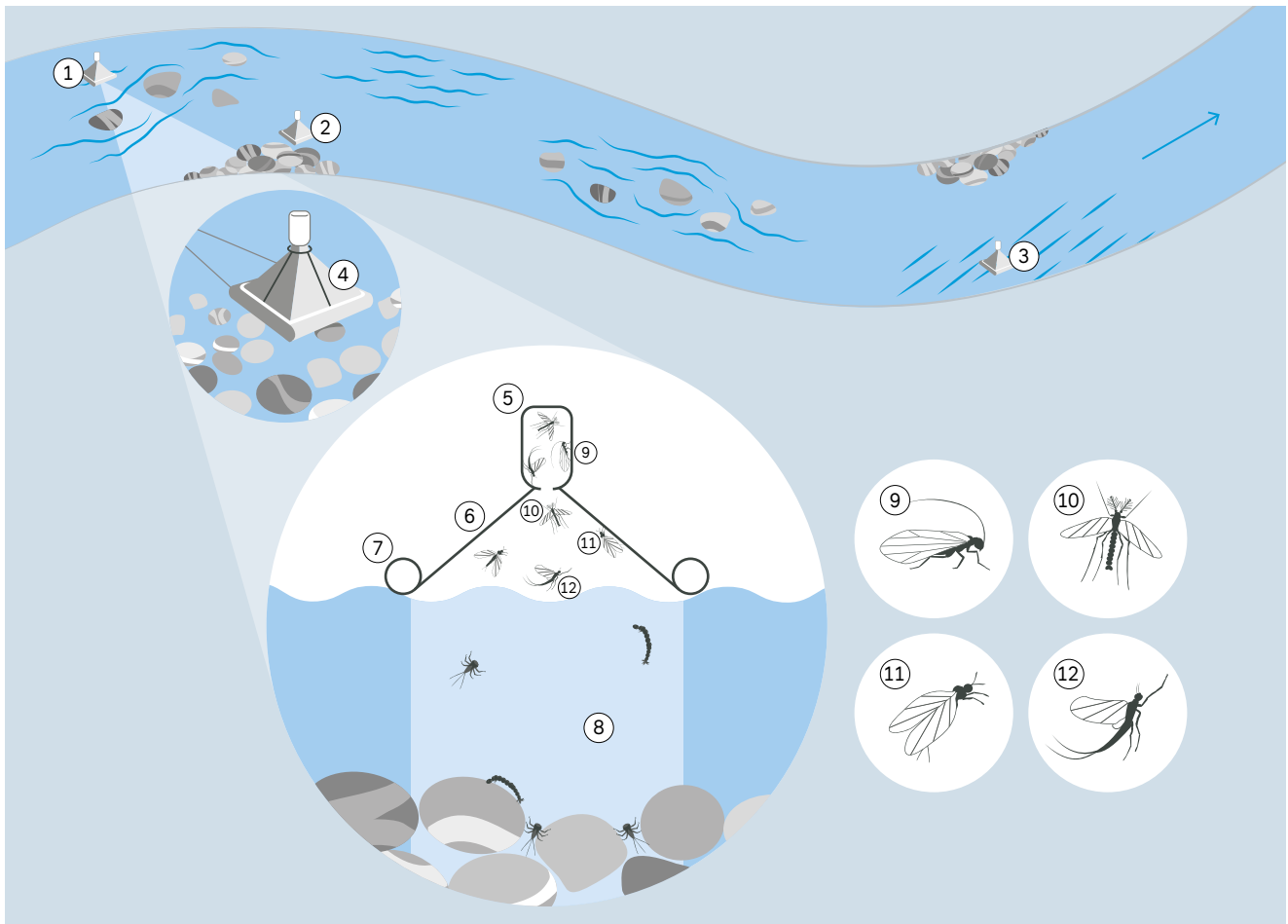
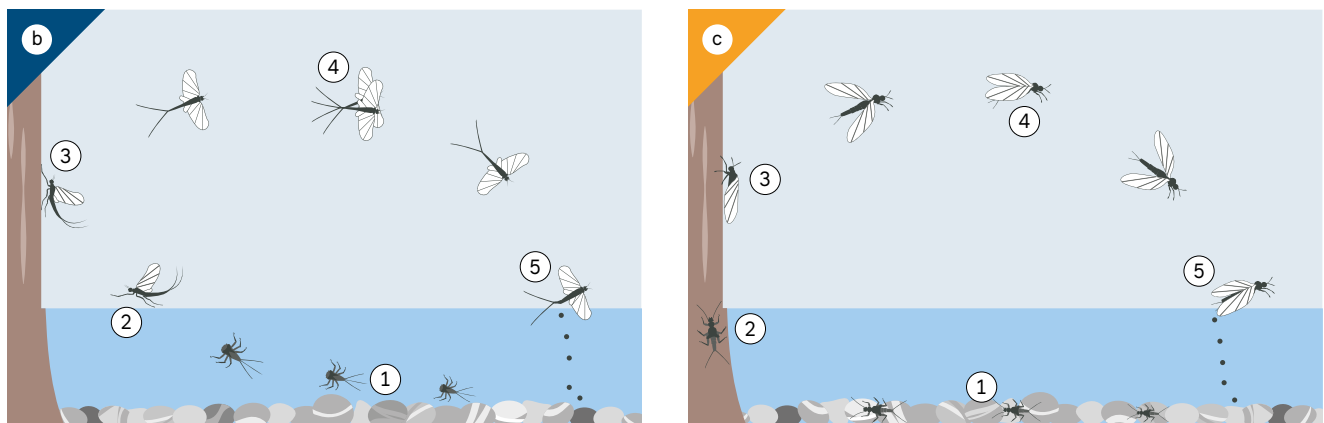


Figura 16

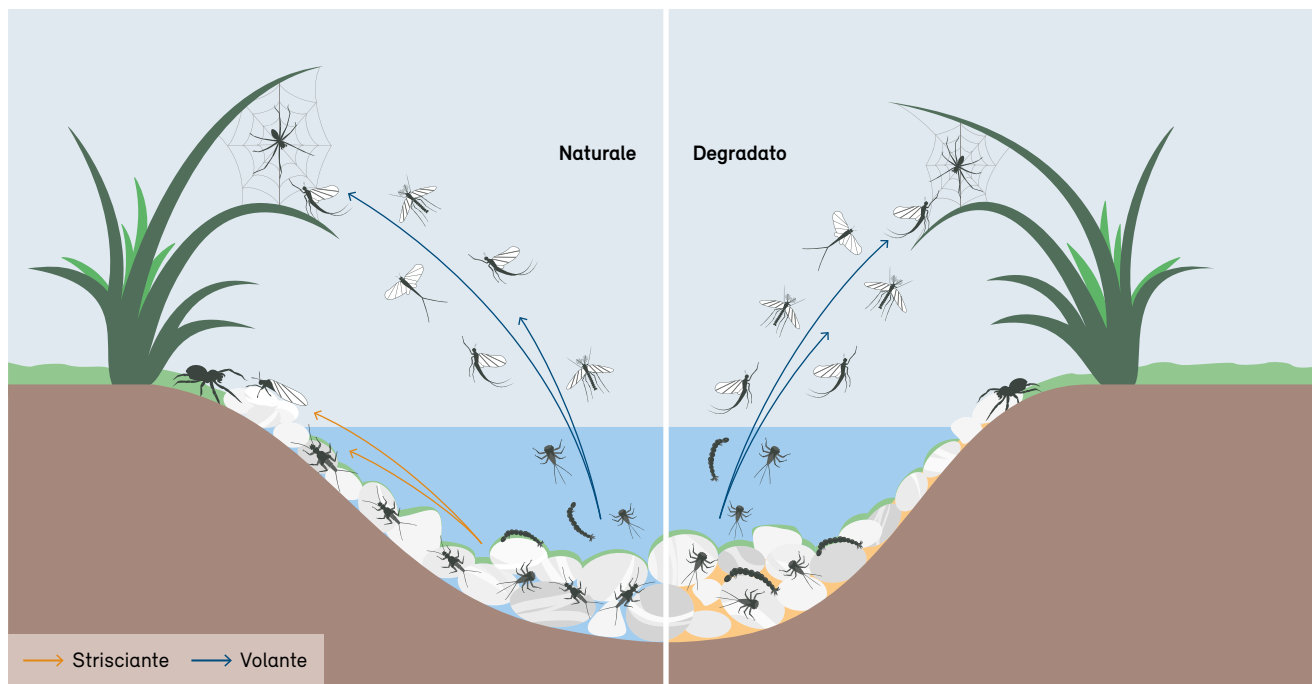
(a) Stima dell'esportazione di biomassa sotto forma di insetti acquatici emergenti striscianti (p. es. plecoteri) e volanti (p. es. tricoteri, efemeroteri) lungo i fiumi Glatt (riga in alto) e Necker (riga in basso). I siti (A–F) corrispondono a quelli indicati nella carta della figura 14. (b e c) Illustrazione delle diverse modalità di emersione: volo (b) e strisciamento (c).



Fonte: (b) adattato da www.delawariverguide.net/insects/mayflycyc.html; (c) adattato da www.delawariverguide.net/insects/stoneflycyc.html

Figura 17

Potenziale conseguenza del degrado dei corsi d'acqua per il trasferimento inter-ecosistemico di risorse dagli ecosistemi acquatici ai paesaggi fluviali. La perdita di plecoteri nei corsi d'acqua degradati comporta la perdita di un flusso di risorse (in giallo) verso gli ecosistemi ripuali adiacenti.



Fonte: Eawag

3.2.3 Gli insetti acquatici emergenti trasferiscono PUFA e vi sono differenze tra gli ecosistemi?

L'EPA e altri PUFA (cioè ALA e SDA), presenti prevalentemente negli ecosistemi acquatici, sono stati rilevati in concentrazioni considerevoli negli insetti emergenti (EPA: 15–25 % degli acidi grassi totali) e nei ragni lungo i fiumi Glatt e Necker (fig. 18). I ragni tessitori e terricoli presentavano una concentrazione di ALA simile (~4 % degli acidi grassi totali) ed entrambi avevano una concentrazione di EPA molto elevata (~15 %) rispetto agli altri organismi terrestri. La concentrazione di SDA era più alta nei ragni tessitori (1,4 %) che in quelli terricoli (0,3 %), il che indica che il tipo di predazione influisce sul trasferimento di risorse.

Sono state confrontate le concentrazioni di PUFA nei ragni tra i due ecosistemi in primavera. Nei ragni terricoli non sono state rilevate differenze significative. I ragni tessitori, invece, contenevano più SDA e ALA lungo il fiume Necker che non lungo il fiume Glatt, mentre non vi erano differenze significative nella concentrazione di EPA (fig. 18). Sono state misurate anche le concentrazioni di PUFA negli insetti emergenti

e nel perifiton raschiato dalle superfici rocciose ottenendo risultati analoghi, soprattutto per quanto riguarda la SDA. Sembra che la differenza tra gli ecosistemi si sia verificata già alla base della catena alimentare, potenzialmente a causa delle diverse condizioni ambientali. In particolare la produzione e il trasferimento di SDA sono stati molto limitati lungo il fiume Glatt, mentre l'EPA, importante dal punto di vista nutrizionale, è stato trasferito in quantità comparabili.

Un'analisi più approfondita della concentrazione di EPA nei ragni presenti nelle zone ripuali rivela alcuni schemi interessanti. In primo luogo, la concentrazione di EPA nei ragni dipende dalla distanza dalla riva. Nel sito N.F, dove i ragni sono stati campionati a diverse distanze dalla riva, la concentrazione di EPA è diminuita con l'aumentare della distanza, con valori già più bassi intorno ai 40–50 metri dal canale, soprattutto nei ragni terricoli (fig. 19a). Sebbene le differenze non fossero significative a causa delle dimensioni relativamente ridotte del campione, questo schema è in linea con i risultati precedenti (Chari *et al.* 2020) e dimostra che l'accesso agli insetti acquatici è importante per

Figura 18

Concentrazione media (\pm SD) di acidi grassi polinsaturi (PUFA: ALA, SDA e EPA; cfr. tab. 2), espressa come percentuale della concentrazione totale di acidi grassi (FA) nei ragni terricoli (a) e nei ragni tessitori (b) nei fiumi Glatt e Necker. Gli asterischi rappresentano differenze significative tra i due sistemi fluviali (** $p < 0,01$).

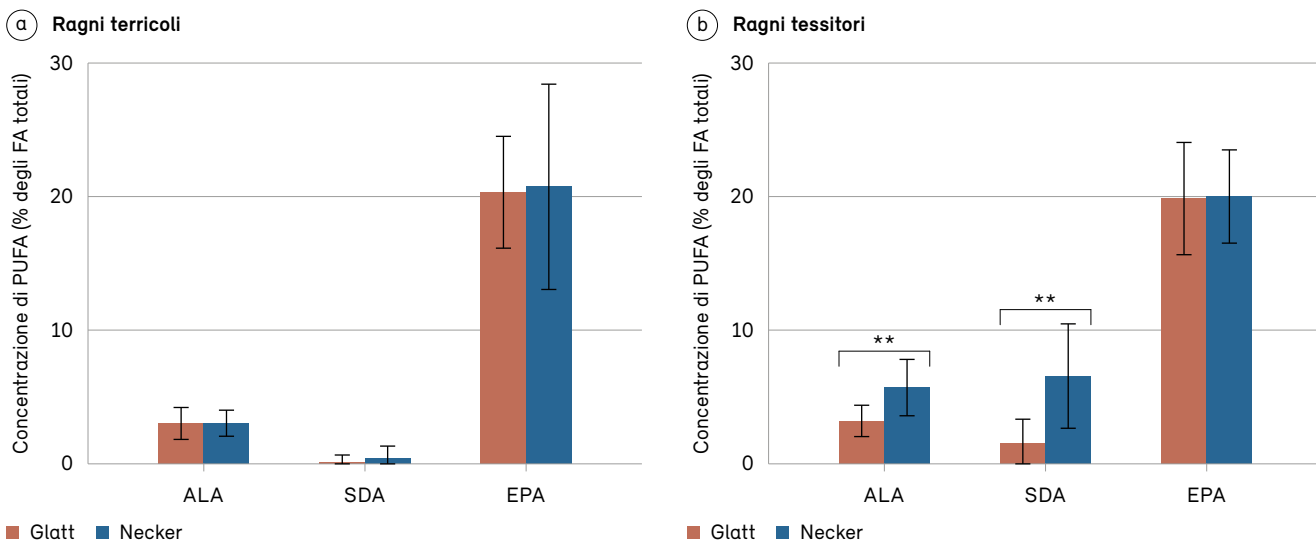
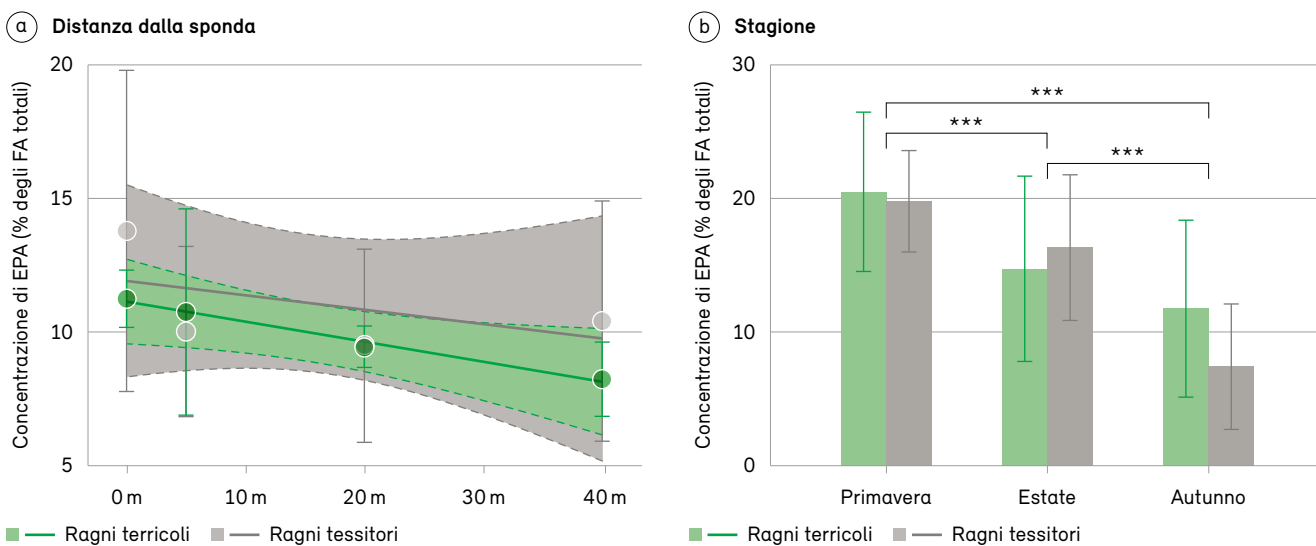


Figura 19

(a) Concentrazione media (\pm SD) di EPA nei ragni terricoli e tessitori (sito N.F) a diverse distanze dalla sponda. Le aree ombreggiate rappresentano gli intervalli di confidenza al 95 per cento. (b) Differenze stagionali nella concentrazione media (\pm SD) di EPA nei due tipi di ragni, che mostrano l'importanza dell'emersione primaverile. Gli asterischi rappresentano differenze significative tra le stagioni (***) $p < 0,001$.



il trasferimento e l'accumulo di EPA. Inoltre, osservando i cambiamenti stagionali, la concentrazione di EPA in entrambi i tipi di ragni è risultata più elevata in primavera (fig. 19b). Questo dato suggerisce che gli insetti acquatici emergenti sono particolarmente importanti per il trasferimento di PUFA nelle zone ripuali in primavera.

Non sono state riscontrate differenze significative nell'esportazione e nel trasferimento totale di EPA tra il fiume naturale Necker e il fiume Glatt, più degradato. Tuttavia, la differenza nella composizione dei macroinvertebrati tra i corsi d'acqua, con meno plecoterri emergenti nel fiume Glatt (cfr. par. 3.2.2), ha alterato la disponibilità di EPA per diversi tipi di predatori. Mentre i ragni tessitori non hanno subito praticamente alcun effetto, la concentrazione di EPA nei ragni terricoli è risultata più bassa nei siti degradati con meno plecoterri emergenti in primavera (fig. 20). Come rilevato sopra, i plecoterri hanno una «modalità di emersione» specifica che prevede lo strisciamento verso la riva. Questo comportamento li rende facili prede per i predatori terricoli, mentre altri insetti che emergono in volo sono molto più difficili da catturare. Siccome la concentrazione di EPA nei ragni terricoli è legata alla funzione

immunitaria (Fritz *et al.* 2017), un minore accesso all'EPA, in questo caso dovuto al minor numero di plecoterri emergenti, può avere conseguenze negative sulla sopravvivenza dei predatori. È importante notare che il declino dei plecoterri è un problema generale nei corsi d'acqua degradati: indebolisce i legami acquatico-terrestri, non solo per i ragni, ma potenzialmente anche per altri predatori terricoli, come le lucertole e i coleotteri.

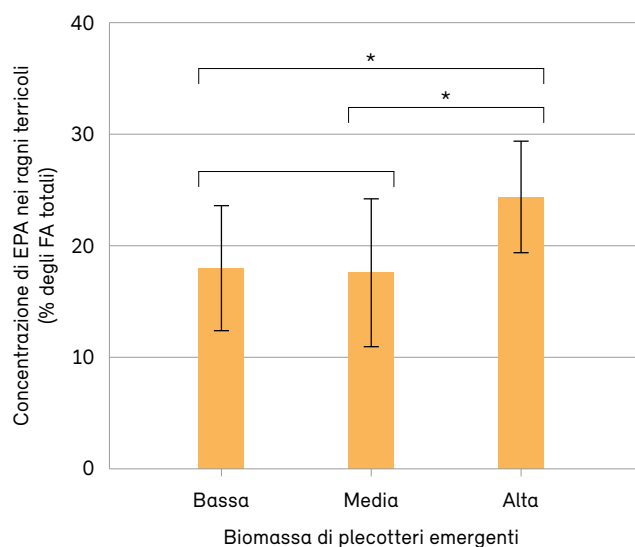
3.3 Implicazioni gestionali

Sia gli insetti acquatici emergenti sia i ragni contengono notevoli concentrazioni di EPA e sono quindi un elemento centrale che promuove il trasferimento di EPA verso gli ecosistemi terrestri. I corpi idrici, che forniscono apporti acquatici, e le zone ripuali, che costituiscono l'habitat principale dei ragni, devono essere in buone condizioni ecologiche per poter ospitare popolazioni sane. In particolare nelle zone ripuali, la densità di ragni tessitori dipende dalla vegetazione ripuale, come arbusti e alberi (Laeser *et al.* 2005), e la concentrazione di PUFA nei ragni è maggiore se è presente una zona cuscinetto (Ramberg *et al.* 2020). La conservazione del paesaggio fluviale, compreso un corso d'acqua sano, è quindi fondamentale per il mantenimento dei flussi di risorse tra ecosistemi acquatici e terrestri.

La ricerca sui legami tra ecosistemi acquatici e terrestri offre la possibilità di informare e coinvolgere le diverse parti interessate nei progetti di gestione delle rive, come suggerito da Muehlbauer *et al.* (2019). Le discussioni sui progetti di rivitalizzazione dovrebbero assumere una prospettiva più globale, considerando gli ecosistemi terrestri e acquatici in combinazione. Un progetto di conservazione degli uccelli, ad esempio, potrebbe avere scarso valore se i corpi idrici vicini sono in cattive condizioni e non possono fornire i necessari apporti di risorse acquatiche, come i PUFA. In questo caso, l'esportazione di PUFA dovrebbe essere considerata un servizio ecosistemico fondamentale. In questo contesto è particolarmente importante arrestare il declino generale dei plecoterri, che costituiscono una via di esportazione distinta e facilmente accessibile ai predatori terricoli presenti nelle zone ripuali. I plecoterri non possono vivere in corsi d'acqua in cattivo stato ecologico e quindi nei paesaggi fluviali degradati questa via e il flusso di risorse dall'ecosistema acquatico a quello terrestre vanno persi.

Figura 20

Concentrazione di EPA dei ragni terricoli in primavera in funzione della biomassa di plecoterri emergenti. Categorie di biomassa di plecoterri: bassa = massa secca $< 0,25 \text{ mg m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$, media $\leq 1 \text{ mg m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$, alta = massa secca $> 1 \text{ mg m}^{-2} \text{ giorno}^{-1}$. Gli asterischi rappresentano differenze significative a $p < 0,05$.



Riquadro 6: Nella pratica – favorire le connessioni chiave tra un corso d’acqua e l’area terrestre circostante

Vinzenz Maurer, Ufficio delle acque e dei rifiuti del Canton Berna, Ecologia acquatica

I Cantoni e i Comuni svizzeri stanno attualmente definendo lo «spazio riservato alle acque» nel quadro della pianificazione del territorio (fig. 21). In questo contesto assumono particolare rilievo lo spazio necessario per la protezione contro le piene e la protezione dei corpi idrici e degli organismi acquatici dall’inquinamento di origine agricola. La maggior parte delle discussioni verte tuttavia sulla perdita di superfici agricole utili. I benefici che sponde prossime allo stato naturale possono apportare ai terreni agricoli adiacenti sono invece raramente discussi.

Le sponde prossime allo stato naturale ed eterogenee ospitano una comunità diversificata di alghe, piante acquatiche e animali che, come dimostra lo studio presentato, producono importanti sostanze che si diffondono ben oltre i corsi d’acqua attraverso gli insetti emergenti. Ne beneficiano non solo i ragni studiati in questo progetto, ma anche molti altri organismi, che a loro volta vanno a caccia di insetti «parassiti» nelle aree agricole, a vantaggio dell’uomo.

Dovremmo cogliere l’opportunità offerta da questa definizione della pianificazione territoriale e permettere ai corsi d’acqua di formare sponde diversificate, creare habitat per gli insetti emergenti e far crescere una vegetazione ripariale molto strutturata, con diversi habitat per ragni, uccelli e ricci, che possono beneficiare degli insetti acquatici come fonte di cibo. Infine, dovremmo apprezzare il ruolo svolto da questi organismi nel controllo naturale dei parassiti nelle colture.

Figura 21

Esempio di «spazio riservato alle acque», una definizione della zona ripariale ampiamente utilizzata dai gestori delle risorse.



Fonte: AWA (2020)