

# Capitolo 4

## LA DEGRADAZIONE DELLE FOGLIE IN UN AMBIENTE LOTICO ALPINO AL DI SOPRA DEL LIMITE DEGLI ALBERI

*Litter decomposition (and invertebrate colonization)  
in alpine environments above the tree line: an  
experimental study.*

*Polish Journal of Ecology.*



## 4.1 Introduzione

Nei sistemi fluviali sono distinguibili quattro diverse categorie di sostanza organica, che costituiscono altrettante fonti di energia per le comunità biologiche: materiale organico autoctono; CPOM (Coarse Particulate Organic Matter); FPOM (Fine Particulate Organic Matter); DOM (Dissolved Organic Matter). Il materiale organico prodotto internamente alimenta la catena trofica del pascolo, mentre quello alloctono e quello autoctono non vivente alimentano la catena trofica principale del fiume: la catena del detrito. I fiumi sono quindi sistemi energetici aperti, strettamente interconnessi con i tratti a monte e a valle e con un duplice ingresso energetico: autoctono, legato cioè alla produzione primaria interna, e alloctono, legato alla produzione primaria terrestre. Nei sistemi di basso ordine, la maggior parte degli input energetici deriva da materia organica non vivente, prodotta all'esterno del sistema fluviale. In questo contesto, la caduta autunnale delle foglie è uno dei più importanti input energetici dei torrenti delle aree temperate; le foglie che arrivano nel reticolo idrografico spinte dalla gravità e dalle acque di precipitazione vengono intrappolate dalle asperità del substrato e si depositano formando degli ammassi fogliari che sono successivamente degradati da una combinazione di processi fisici e biologici. Descrivere e comprendere l'importanza degli scambi di energia fra ambienti terrestri e acquatici ha rappresentato un'importante sfida per gli studiosi di ecologia, con importanti scuole di pensiero e gruppi di ricerca che hanno portato alla formulazione di innovative teorie come lo spiraling dei nutrienti (Webster, 2007) ed il River Continuum Concept (Vannote *et al.*, 1980). Questi aspetti dell'ecologia fluviale sono stati studiati con una crescente attenzione nel corso degli ultimi anni, a partire da alcuni studi pionieristici, come quelli di Odum (1956), Kaushik & Hynes (1971), e Petersen & Cummins (1974). Nel 2010 Tank e collaboratori riassunsero i risultati degli studi riguardanti i processi di decomposizione del materiale biologico di origine alloctona negli ecosistemi lotici. I metodi utilizzati negli studi di degradazione sono stati esaminati inoltre da Boulton & Boon (1991) e più recentemente da Graça *et al.* (2005). La degradazione della sostanza

organica nei torrenti comporta una serie di passaggi ben documentati: lisciviazione, frazionamento fisico, condizionamento microbico e colonizzazione da parte dei macroinvertebrati. La frammentazione delle parti vegetali (in genere si parla di foglie), viene comunemente misurata come perdita di massa nel corso del tempo, e di solito è valutata sperimentalmente utilizzando pacchi di foglie posate in alveo. La degradazione e la perdita di massa delle foglie dipende da molti fattori, tra cui la temperatura e le caratteristiche chimiche dell'acqua (Pascoal *et al.*, 2003; Fenoglio *et al.*, 2006), l'attività microbica (batteri – Maamri *et al.*, 1998 ed ifomiceti acquatici - Gessner & Chauvet, 1997), l'attività dei macroinvertebrati (Graça *et al.*, 2001), e fattori intrinseci alle foglie stesse, come la composizione chimica complessiva, il rapporto C:N (Swan & Palmer, 2004).

Recentemente, l'interesse per questo argomento è cresciuto ulteriormente a causa del suo impiego nel monitoraggio ambientale. Importanti studi suggeriscono l'uso del tasso di degradazione delle foglie come indicatore della qualità ambientale e della funzionalità dei sistemi lotici (Webster & Benfield, 1986; Niyogi *et al.*, 2001; Hagen *et al.*, 2006; Young *et al.*, 2008). I dati e le informazioni riguardanti la degradazione delle foglie sono abbondanti in letteratura, non solo in ambienti temperati ma anche in sistemi lotici mediterranei (Maamri *et al.*, 1998; Casas & Gessner, 1999; Peralta-Maraver *et al.*, 2011) e tropicali (Shieh *et al.*, 2007; Mathuriau & Chauvet, 2002). Tuttavia, i lavori pubblicati finora sono stati eseguiti generalmente in sistemi lotici caratterizzati dalla presenza di vegetazione ripariale o comunque in fiumi che scorrono in bacini che presentano almeno un certo grado di copertura arborea.

Alcuni autori ipotizzano che il cambiamento climatico e il riscaldamento globale potrebbe influire sugli ecosistemi acquatici, in particolare, portare a una variazione della disponibilità di foglie e ad un aumento dei tassi di degradazione (Fenoglio *et al.*, 2010). Altri studi hanno riportato che un aumento della frequenza e della forza delle inondazioni in inverno potrebbe annullare più del 50% degli ingressi di foglie e di detrito all'interno del corso d'acqua, causando una ridotta disponibilità di materiale detritico per la catena trofica

del sistema lotico (Kernan *et al.*, 2010); inoltre il materiale organico non frammentato e metabolizzato potrebbe essere trascinato inalterato verso valle, aumentando il carico organico dei bacini riceventi.

È interessante notare che ben poche informazioni sono disponibili circa la degradazione del detrito alloctono nei torrenti alpini di alta quota (Robinson & Gessner, 2000; Gessner & Robinson, 2003). A causa delle peculiari caratteristiche e delle difficili condizioni climatiche, i bacini alpini hanno, al di sopra della linea della vegetazione arborea, scarsa possibilità di ricevere discrete quantità di detrito organico alloctono.



**Figura 4.1: Il Po a Pian Melzé, un tipico ambiente lotico alpino al di sopra della linea degli alberi (foto S. Fenoglio)**

La linea degli alberi di solito non è un elemento ben distinto, ma al contrario è molto variabile a seconda delle zone e dei fattori limitanti che influenzano la crescita arborea

(Körner, 1998). Solitamente, nei torrenti alpini delle zone temperate sopra il limite del bosco mancano significativi ingressi di materia organica ripariale (Figura 4.1), che sono invece tipici nei torrenti a quote inferiori (Figura 4.2 - Ward, 1994).



**Figura 4.2: Il Maira a Acceglio, un ambiente lotico alpino al di sotto della linea degli alberi (foto S. Fenoglio)**

Negli ultimi anni, alcuni studi hanno evidenziato come si stia verificando un aumento significativo di quota della linea della copertura forestale (Grace *et al.*, 2002; Parolo & Rossi, 2008; Didion *et al.*, 2011). Questo spostamento verso l'alto delle foreste può essere ragionevolmente attribuito ai cambiamenti climatici, ed al progressivo abbandono dei pascoli alpini, ed è probabile che questo trend si mantenga se il clima continuerà a mantenere ed incrementare gli attuali livelli di temperatura media stagionale (Gehrig-Fasel *et al.*, 2007).

## 4.2 Scopo della ricerca

Con l'innalzamento della linea degli alberi, legato al cambiamento climatico globale, alcuni rii di alta quota, che solcano praterie o tundre alpine potranno ricevere un notevole incremento di materiale organico di origine. Per questo motivo, le possibili dinamiche del degrado del detrito fogliare in questi ambienti è un argomento di grande attualità e di notevole interesse, sul quale praticamente non esistono dati a disposizione. L'obiettivo del presente studio è stato quindi analizzare la degradazione e la colonizzazione macrobentonica di foglie terrestri in un torrente alpino di basso ordine, al di sopra della linea degli alberi: il Po a Pian della Regina, Crissolo (CN – Figura 4.3).



**Figura 4.3: Sito di studio: Pian della Regina, la prateria alpina con gli ultimi larici sporadici (foto M. Cammarata).**

### 4.3 Materiali e Metodi

Lo studio è stato condotto nel fiume Po a Crissolo, Pian della Regina (1750 m s.l.m., UTM 357.750-4.951.547, NW Italia). Il fiume Po, il più lungo sistema di lotico italiano (652 km), sorge da una torbiera sotto il fronte nord-ovest del Monviso, nelle Alpi Cozie. Il sito del nostro studio, si trova a 2,5 km dalle sorgenti di Pian del Re. Questo tratto del fiume Po è un tipico torrente alpino di secondo ordine. Numerosi laghi di origine glaciale sono presenti nella parte più alta del bacino, senza collegamenti superficiali diretti con il Po. Nel sito di studio, il torrente attraversa una pianura di origine glaciale, caratterizzata dalla presenza di una vasta prateria alpina, grandi massi, pochissimi e isolati Larici europei (*Larix decidua*, Miller). In questo sito, la larghezza dell'alveo bagnato è in media di circa 4-6 m, con una profondità media di 40-60 cm, ed il substrato prevalente è costituito da massi e ciottoli. Il clima è temperato-alpino, con notevole incremento della portata nella primavera in conseguenza dello scioglimento delle nevi. Questo studio è stata effettuato durante l'autunno del 2009, quando si verifica la naturale caduta del fogliame. Per lo studio sono state utilizzate foglie di castagno (*Castanea sativa* Miller) raccolte in una zona vicina, a 1000 m s.l.m. nella stessa valle. Le foglie sono state raccolte direttamente dal suolo, trasportate in laboratorio e asciugate per 15 giorni a temperatura ambiente. Sono state realizzate 100 confezioni di foglie, denominate anche *leaf packs* o *leaf bags* nella letteratura corrente con una massa secca per confezione pari a 5,11 g media  $\pm$  0,11 SD (Figure 4.4 - 4.5).





**Figura 4.4:** Pesatura dei *leaf packs* in laboratorio (foto T. Bo).



**Figura 4.5:** Numerazione dei *leaf packs* in laboratorio (foto T.Bo).

I pacchetti di foglie sono stati confezionati utilizzando una rete di nylon con maglia di 1,0 centimetri. I pacchi sono stati introdotti nel torrente nel mese di ottobre. Le confezioni

sono state legate ad alcuni massi e inserite in alveo in modo casuale in un tratto di torrente omogeneo lungo circa 200 m (Figura 4.6).



**Figura 4.6: Posa in alveo dei pacchi di foglie (foto M. Cammarata).**

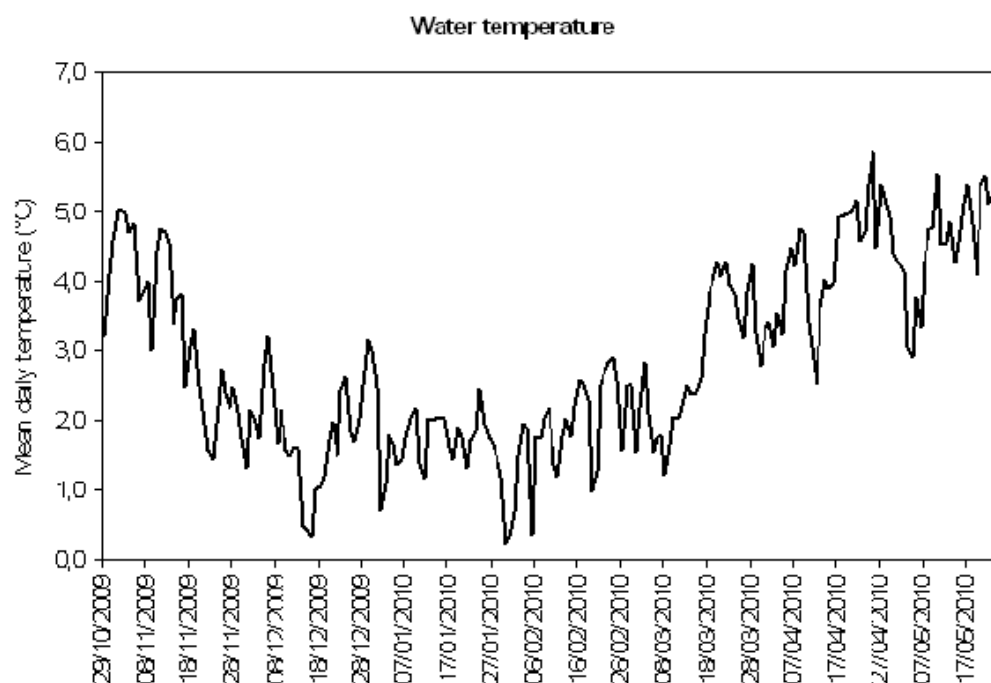
Con cadenza mensile sono stati estratti dall'alveo dieci pacchi di foglie, scelti in modo casuale, fino al mese di maggio 2010, quando tutte le foglie sono risultate completamente decomposte e nessun detrito è più stato rinvenuto nelle maglie della rete di nylon. In ogni data di estrazione, dopo la rimozione i pacchi sono stati immediatamente trasportati in laboratorio. Le foglie sono state quindi essiccate in forno a 105° C fino al raggiungimento di una massa costante e quindi alla totale perdita di acqua, per determinarne la massa rimanente. La perdita di massa dei pacchi di foglie è stata quantificata utilizzando la percentuale di massa rimanente. La percentuale rimanente dopo un certo tempo è stata calcolata seguendo il lavoro di Petersen & Cummins (1974):

$$\% R = W_{(t)} / W_{(0)} \times 100$$

dove  $W_{(0)}$  è la massa iniziale e  $W_{(t)}$  rappresenta la quantità di materiale che rimane dopo il tempo  $t$ .

Prima di procedere con l'essiccamento delle foglie tutti i macroinvertebrati che colonizzavano i pacchetti sono stati direttamente raccolti con le pinzette entomologiche e conservati in etanolo al 70%. Tutti gli organismi sono stati identificati fino a livello di

genere, ad eccezione di Chironomidae, Simuliidae, e primi stadi di alcuni Tricotteri e Ditteri, che sono stati identificati a livello di famiglia. Ad ogni taxon è stato inoltre assegnato a un gruppo trofico funzionale (FFG: raschiatori, tagliuzzatori, raccoglitori, filtratori e predatori) secondo quanto riportato da Merritt & Cummins (1996a) e Tachet *et al.* (2002). Inoltre, è stata effettuata una classificazione dei taxa in sette gruppi biologici e sette gruppi ecologici, secondo il metodo suggerito da Usseglio-Polatera *et al.* (2000). Per confrontare le abbondanze di invertebrati che hanno colonizzato le confezioni di foglie con le densità naturali di macroinvertebrati nel fondo del torrente sono stati raccolti campioni Surber (0,5m<sup>2</sup>, maglia pari a 250 micron) in ogni data di rimozione dei pacchi di foglie. Nel periodo di studio, le temperature dell'acqua sono stati misurate ogni ora con un Datalogger (HOBO Water Temp ® Pro, 0.0 1 ° precisione C - Figura 4.7). Abbiamo inoltre calcolato la temperatura media giornaliera dell'acqua per ogni giorno dell'esperienza, e quindi sommato queste medie per avere il valore dei 'gradi-giorno'.



**Figura 4.7: Variazione della temperatura delle acque durante il periodo di studio.**

Altri parametri chimico-fisici sono stati misurati ad ogni data di campionamento utilizzando una multisonda Eijkelkamp 13.14 e 18.28 e altri strumenti portatili (Tabella 4.1).

Parametro	Valori
Conducibilità ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	$95 \pm 0,16$
C.O.D. (mg/l)	$< 5,0$
B.O.D. (mg/l)	$< 2,0$
Fosforo totale (mg/l)	$< 0,05$
$\text{NH}_4^+$ (mg/l)	$< 0,05$
$\text{O}_2$ (mg/l)	$11,1 \pm 0,92$
$\text{O}_2$ (%)	$90,4 \pm 8,45$
Velocità della corrente (m/s)	$0,43 \pm 0,15$
Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )	$2,89 \pm 1,36$
pH	$7,56 \pm 0,09$

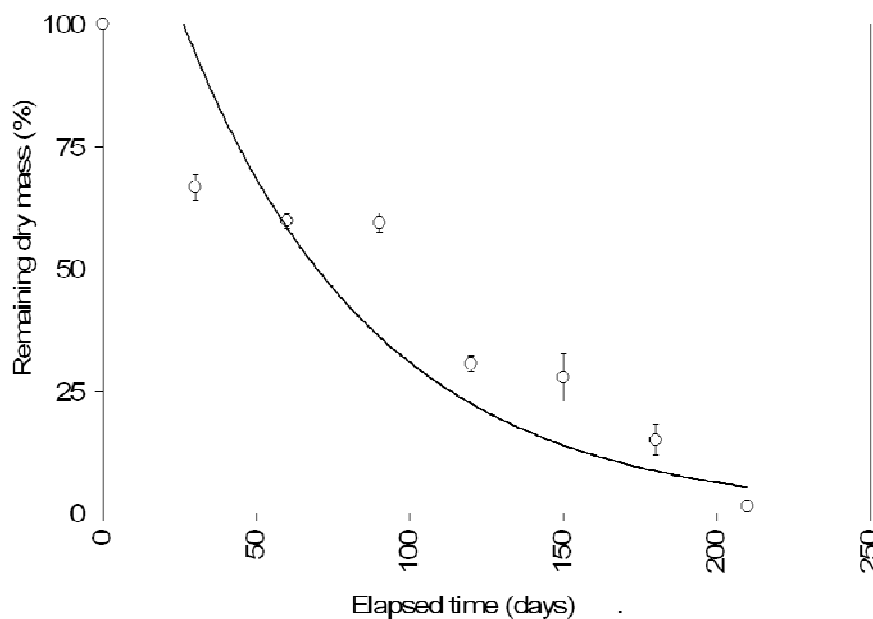
**Tabella 4.1: Principali parametri fisico-chimici del fiume Po durante il periodo di studio (media  $\pm$  SD).**

L'analisi statistica dei dati di densità (N), ricchezza tassonomica (S), e la composizione funzionale della comunità macroinvertebrata presente nei pacchi di foglie è stata effettuata utilizzando ANOVA e Bartlett test Chi-quadro sul log (N, S) o arcsin-trasformata (FFG, composizione percentuale dei gruppi biologico ed ecologico).

## 4.4 Risultati

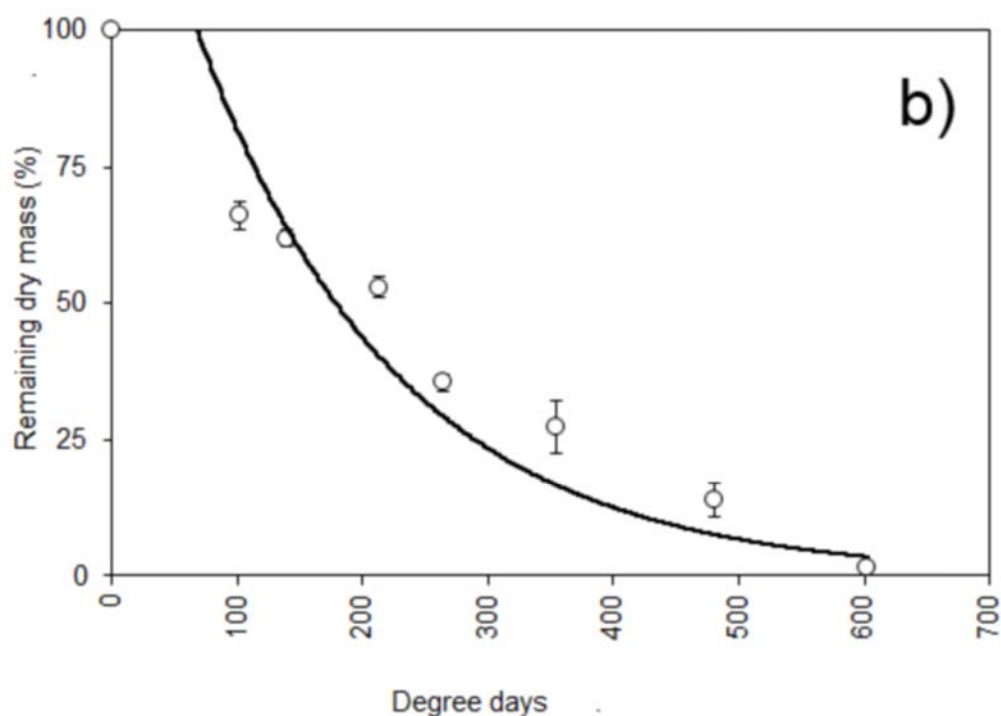
### 4.4.1 Perdita di massa

I leaf packs hanno presentato una perdita di massa con un andamento di tipo esponenziale (Figura 4.8).



**Figura 4.8: Variazione della massa residua (percentuale della massa secca iniziale, media  $\pm$  SE) dei pacchi di foglie nel tempo.**

La diminuzione del peso delle foglie è stata rapida durante i primi 30 giorni e la massa residua media alla prima data di rimozione è stata pari al 66,7% della massa iniziale. La perdita di massa delle foglie è stata descritta con un modello di decadimento esponenziale e il tasso di decomposizione è stato modellato come segue:  $W_t = 151.7e^{-0.016t}$ . Il processo di decomposizione è risultato abbastanza uniforme anche considerando la percentuale di perdita di massa in base ai gradi giorno (Figura 4.9)



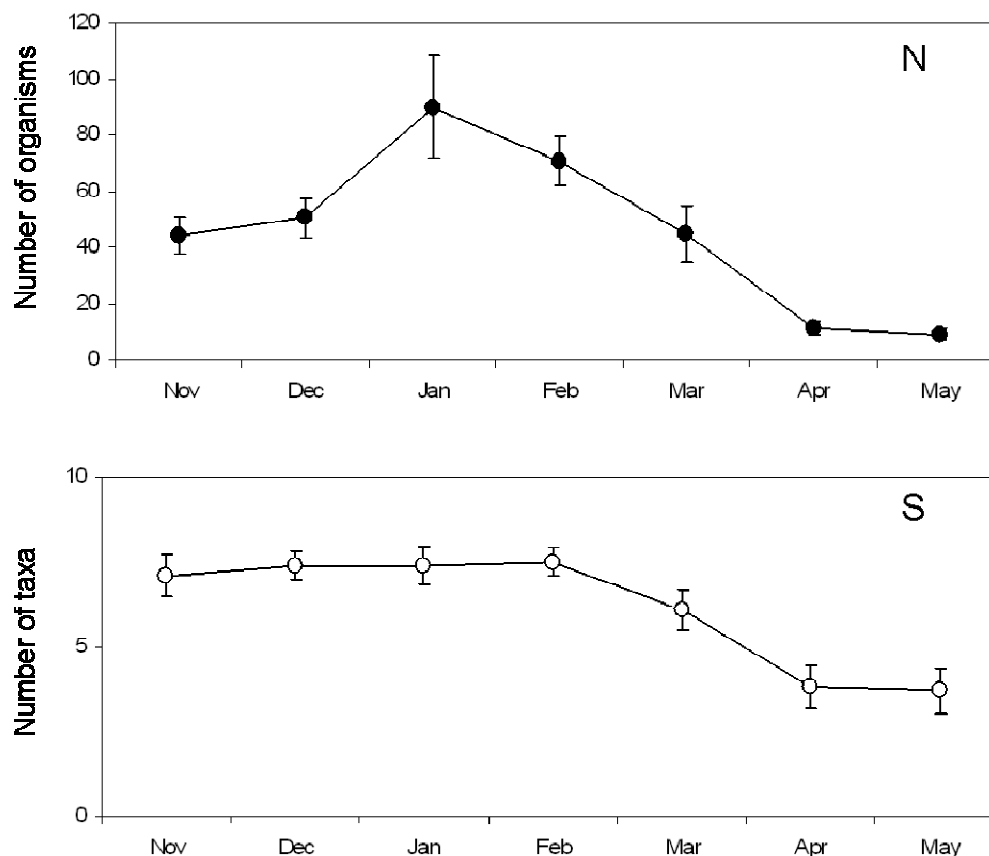
**Figura 4.9: Variazione della massa residua (percentuale della massa secca iniziale, media  $\pm$  SE) dei pacchi di foglie rispetto ai gradi-giorno.**

#### 4.4.2 Colonizzazione dei macroinvertebrati

In totale, nei pacchi di foglie sono stati raccolti 3.204 macroinvertebrati, appartenenti a 29 differenti taxa, e 18.964 macroinvertebrati, appartenenti a 41 taxa sono stati raccolti tramite i campionamenti Surber nel letto del fiume.

L'abbondanza dei macroinvertebrati che hanno colonizzato le foglie ha mostrato una significativa variazione temporale (ANOVA  $F_{6,63} = 24,8$ ,  $P < 0,001$ ): in media, il numero di organismi è aumentato da  $44,2 \pm 6,83$  SE ind. / pacchetto nella prima data di rimozione, a  $89,8 \pm 18,5$  SE ind. / pacchetto nella terza data di rimozione, sino a calare ad un valore di  $9,10 \pm 2,14$  SE ind. / pacchetto nell'ultima data di rimozione. Anche la ricchezza di taxa (S) è variata in modo significativo nel corso del tempo (ANOVA  $F_{6,63} = 10,9$ ,  $P < 0,001$ ). La ricchezza tassonomica S è rimasta pressoché costante nelle prime quattro date di rimozione (circa sette taxa), per poi diminuire, raggiungendo i valori più bassi nelle ultime due date

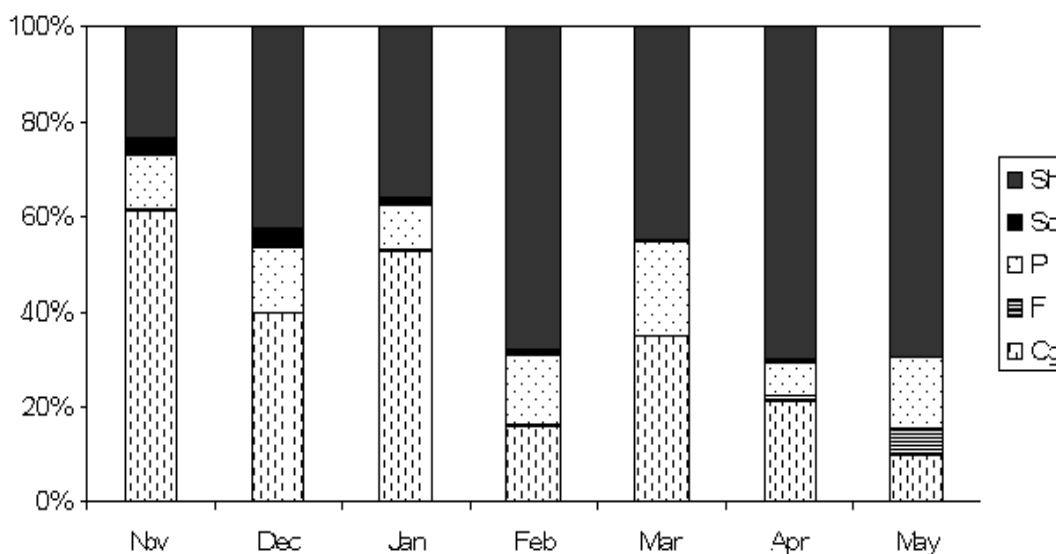
(Figura 4.10). La ricchezza tassonomica è risultata significativamente correlata alla massa fogliare residua (Bartlett Chi-quadro: 5,51 df = 1,  $p < 0,05$ ), ma non al numero totale di invertebrati (N - Bartlett Chi-quadro: 2,71 df = 1,  $p = 0,09$ ).



**Figura 4.10: Variazione del numero di organismi e biodiversità rinvenute nei pacchi di foglie nelle sette date di rimozione (N = numero totale di invertebrati; S = ricchezza tassonomica).**

Le comunità di macroinvertebrati bentonici sono state poi classificate in base ai gruppi trofici funzionali (FFG - Figura 4.11). La composizione funzionale della comunità colonizzanti i leaf-packs è stata confrontata con quella della comunità presente nel letto del fiume; in primo luogo, sono state rilevate differenze per il gruppo dei raccoglitori di particellato fine (Collectors-gatherers), che sono risultati più abbondanti nei pacchi di

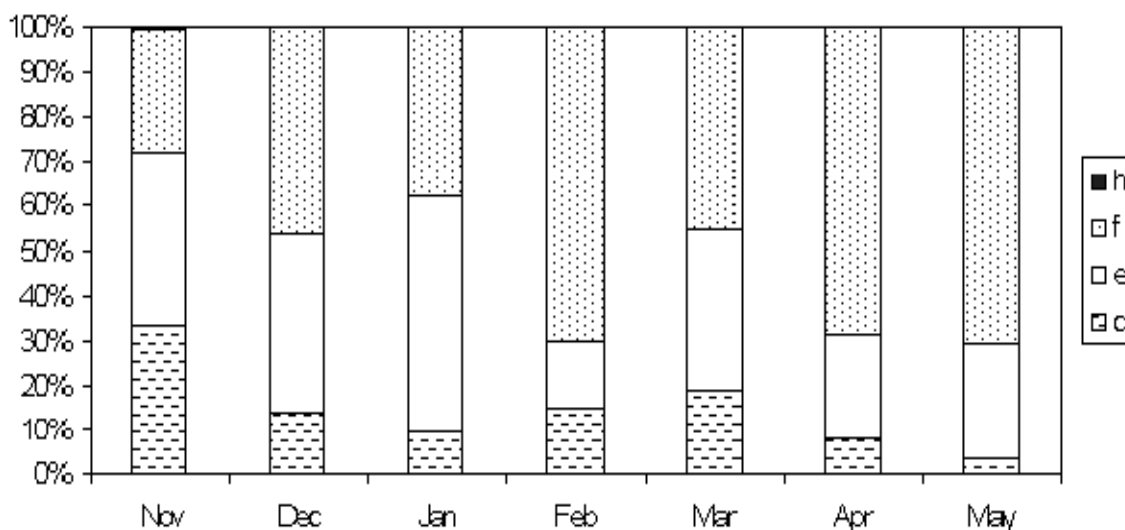
foglie rispetto al substrato fluviale (38,9% e 16,4% rispettivamente. T-test = 2.31,  $P < 0,05$ ). Anche il gruppo dei tagliuzzatori, o shredders, è risultato più rappresentato nei *leaf-packs* rispetto al substrato, ma la differenza non risulta statisticamente significativa (t-test = 2,05,  $P = 0,06$ ). La differenza più evidente è stata riscontrata per il gruppo dei raschiatori, o scrapers (t-test = 5,47,  $p < 0,001$ ). Questi ultimi sono risultati decisamente poco abbondanti nei pacchi di foglie mentre erano molto presenti nel letto del torrente (1,9% e 36,4% del totale della comunità, rispettivamente). I predatori rappresentano il 13,0% degli invertebrati raccolti nei pacchi fogliari e l'11,5% di quelli rinvenuti nel substrato, non presentando quindi differenze statisticamente significative nei due ambienti (t-test = 0,68,  $P = 0,51$ ). I filtratori sono risultati essere il gruppo trofico funzionale meno frequente in entrambi gli ambienti (0,6% nelle foglie e 1,81% nel substrato), con nessuna differenza significativa nella composizione percentuale (t-test = -1,07,  $p = 0,30$ ).



**Figura 4.11: Importanza relativa dei cinque gruppi trofico-funzionali nel periodo di studio (Sh = tagliuzzatori; Sc = raschiatori, P = predatori, F = filtratori; Cg = raccoglitori) nei *leaf packs*.**

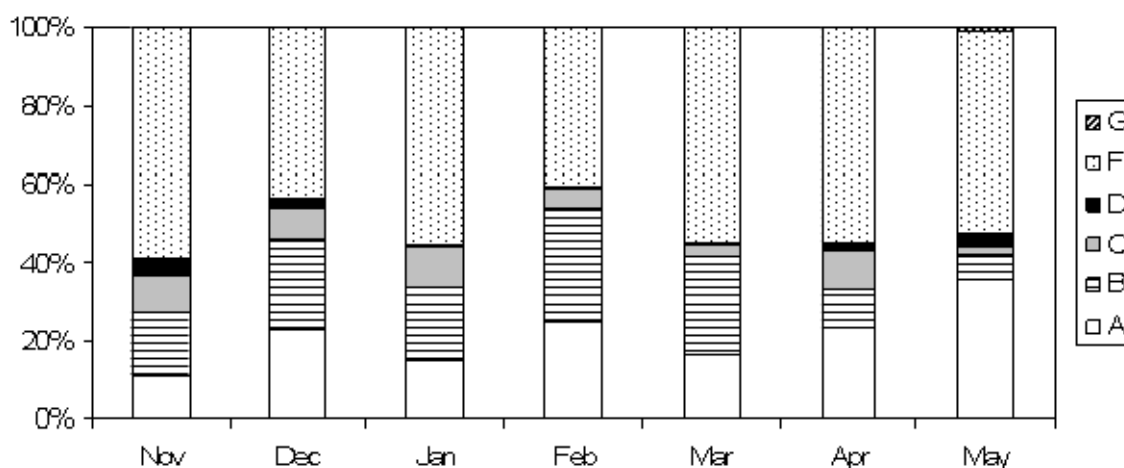


Comparando le caratteristiche biologiche (*sensu* Usseglio-Polatera *et al.*, 2000 – Figura 4.12) dei gruppi presenti nei pacchi di foglie e substrato fluviale, non sono state rilevate differenze statisticamente significative per i gruppi: 'c' (organismi di medie dimensioni, principalmente tagliuzzatori o predatori, monovoltini,  $t\text{-test} = 1,53$ ,  $P = 0,15$ ), 'h' (raggruppamento omogeneo di Oligocheti di diverse dimensioni, plurivoltini, frequentemente interstiziali e detritivori;  $t = -1,99$ ,  $p = 0,07$ ). Sono risultate invece rinvenute differenze significative per i gruppi: 'd' (organismi di dimensioni medio-grandi con cicli vitali lunghi, in genere semivoltini e predatori;  $t = -2,81$ ,  $p < 0,05$ ), 'e' (organismi piccoli o di medie dimensioni uni o plurivoltini, generalmente tagliuzzatori o raschiatori con respirazione acquatica,  $t\text{-test} = 2,31$ ,  $p < 0,05$ ), e 'f' (organismi di media taglia monovoltini, con respirazione acquatica, generalmente tagliuzzatori;  $t\text{-test} = -2,46$ ,  $P < 0,05$ ); gli organismi appartenenti al gruppo 'g' (organismi di piccola-media taglia in genere nuotatori che si nutrono di macroinvertebrati, alcuni tagliuzzatori, in genere appartenenti agli ordini dei Coleotteri ed Eterotteri) sono stati rinvenuti nel substrato, ma mai nei pacchi di foglie.



**Figura 4.12: Importanza relativa dei gruppi biologici (*sensu* Usseglio-Polatera *et al.*, 2000).**

Per quanto riguarda le caratteristiche di tipo ecologico (Usseglio-Polatera *et al.* 2000 – Figura 4.13), ci sono interessanti differenze tra le comunità dei pacchi di foglie e quelle del fondo fluviale per quanto riguarda i gruppi di organismi di tipo 'B' (organismi reofili, oligosaprobi ed euritermi; test  $t = -3,77$ ,  $p < 0,005$ ) e 'C' (organismi che colonizzano bordi e tratti epipotamali, prediligono substrati medi, ciottoli-ghiaia, vegetazione e tratti con corrente lenta o moderata,  $t\text{-test} = -2,81$ ,  $p < 0,05$ ). Entrambi questi gruppi erano maggiormente rappresentati nel substrato rispetto ai pacchi di foglie. Al contrario, gli organismi appartenenti al gruppo 'F' (organismi tolleranti, che sopravvivono in diversi habitat, prediligono tuttavia ambienti lenticici o francamente stagnanti, specialmente se popolati da una ricca vegetazione a macrofite,  $t\text{-test} = 2,78$ ,  $p < 0,05$ ) e 'D' (organismi che vivono in tratti abbastanza lenticici, euritermi, oligo e mesosaprobici,  $t\text{-test} = 2,37$ ,  $P < 0,05$ ) erano più abbondanti nei pacchi di foglie piuttosto che nel fondo fluviale. Non era statisticamente differente la presenza di organismi del gruppo 'A' (gruppo che include organismi reofili, poco tolleranti all'incremento della sostanza organica, stenotermi freddi, che prediligono substrati minerali grossolani; test  $t = -1,70$ ,  $P = 0,11$ ).



**Figura 4.13: Importanza relativa dei gruppi ecologici (*sensu* Usseglio-Polatera *et al.*, 2000).**

#### 4.5 *Discussione*

In questo studio è stato analizzato il processo di degradazione di foglie terrestri in un torrente alpino in un'area posta al di sopra del limite della vegetazione arborea. Le foglie di castagno (*Castanea sativa*) hanno subito una perdita di massa esponenziale nel tempo e sono state colonizzate da una parte di comunità macrobentonica presente in questo tratto del fiume Po.

La perdita di massa è stata più veloce durante il primo mese, probabilmente a causa del dilavamento della parte solubile del materiale organico (Tank *et al.*, 2010). La degradazione delle foglie di castagno è stata più lenta rispetto a quanto riportato in studi analoghi effettuati a quote inferiori (Canhoto & Graça, 1996). Ad esempio, il tasso di decomposizione delle foglie di castagno è stato, in questo studio, inferiore a quanto osservato in un altro lavoro effettuato nel torrente Erro, un torrente situato nella stessa regione, ma ad una quota più bassa (circa 300 m s.l.m. – Fenoglio *et al.*, 2006). Poiché lo studio condotto sul torrente Erro durò meno tempo, possiamo solo comparare le prime due date di rimozione: dopo due mesi trascorsi in alveo, le foglie del fiume Po hanno mostrato una massa residua del 59,8%, mentre quelli del torrente Erro avevano una massa residua del 47,8%.

Nonostante questa differenza, il processo di decadimento della massa è risultato essere esponenziale, con diverse velocità e in tempi diversi, secondo un profilo simile a quello riportato in altri studi in ambienti caratterizzati dalla presenza di bacini forestati (Tank *et al.*, 2010).

I pacchi di foglie sono stati prontamente colonizzati da una comunità di macronvertebrati ricca e diversificata che ha utilizzato le foglie come fonte di cibo e/o come riparo-rifugio. Si sono riscontrate differenze significative nella composizione funzionale, biologica ed ecologica dei popolamenti di macroinvertebrati che colonizzavano l'alveo naturale ed i pacchi di foglie. I raschiatori rappresentavano il FFG più importante nel substrato fluviale, mentre l'abbondanza nei pacchi di foglie era minima (1,93% di

invertebrati totali). I tagliuzzatori sono stati una componente importante in entrambe le associazioni, e rappresentavano circa la metà degli organismi colonizzatori dei pacchi di foglie. La scarsa abbondanza relativa di tagliuzzatori alla prima data di rimozione è probabilmente dovuta all'incompleta colonizzazione microbica delle foglie. Infatti questi organismi riescono ad utilizzare la risorsa solo quando questa è stata parzialmente degradata dai microrganismi (batteri ed ifomiceti acquatici). I raccoglitori costituivano circa il 40% degli organismi presenti nei pacchi di foglie. Infatti i pacchi possono agire come trappole per il particolato fine di materia organica, ed i raccoglitori possono utilizzare entrambe le risorse: sia i piccoli frammenti di foglie, che le particelle organiche intrappolato fra esse.

I macroinvertebrati sono stati classificati per caratteristiche biologiche, e abbiamo osservato che gli organismi appartenenti al gruppo biologico 'e' (organismi piccoli o di medie dimensioni uni o plurivoltini, generalmente tagliuzzatori o raschiatori, con respirazione acquatica, che si nutrono principalmente di materiale vegetale) sono risultati più abbondanti nei pacchi di foglie rispetto al substrato; al contrario, gli organismi appartenenti al gruppo biologico 'f' (organismi di media taglia monovoltini, con respirazione acquatica, ad esempio alcune famiglie di Tricotteri, Efemeroteri Heptageniidae e Plecotteri) erano più abbondanti nel substrato fluviale.

Analizzando i gruppi ecologici si è visto come i gruppi 'B' (organismi reofili, oligosaprobi ed euritermi) e 'C' (organismi che colonizzano bordi e tratti epipotamali, prediligono substrati medi, ciottoli-ghiaia, vegetazione e tratti con corrente lenta o moderata) erano più abbondanti nel substrato che nei pacchi di foglie. Tuttavia, la maggior parte degli organismi nelle foglie faceva parte del gruppo 'D' (organismi che vivono in tratti abbastanza lentic, vicino alle rive, su una vasta gamma di substrati, euritermi, oligo e mesosaprobici) e 'F' (organismi estremamente tolleranti, che sopravvivono in diversi habitat, prediligono tuttavia ambienti lentic o francamente stagnanti, specialmente se popolati da una ricca vegetazione a macrofite). Gli organismi del gruppo 'A' (tipici taxa di

ambiente montano alpino, ovvero un gruppo che include organismi reofili, poco tolleranti all'incremento della sostanza organica, stenotermi freddi, che prediligono substrati minerali grossolani) rappresentano il gruppo ecologico più diffuso, e non sono state riscontrate differenze fra la comunità che ha colonizzato le foglie e quella del fondo fluviale. Possiamo quindi supporre che i sacchetti di foglia non rappresentano solo un risorsa trofica, ma costituiscono un particolare micro-ambiente, adatto ad ospitare tutti quegli organismi che poco tollerano un'elevata velocità della corrente, non si nutrono di biofilm algale e consumano volentieri materiale vegetale grossolano (CPOM).

Il processo di degradazione delle foglie terrestri in un ambiente alpino al di sopra del limite della vegetazione arborea è risultato essere tutto sommato comparabile con quanto avviene nei sistemi lotici a quote inferiori. Considerato il fatto che la temperatura dell'acqua è uno dei parametri che possono influenzare la degradazione del materiale biologico in un fiume (Webster & Benfield, 1986), le ridotte velocità di degradazione che sono state osservate possono essere state spiegate per le basse temperature di questo torrente alpino. La comunità bentonica del Po è naturalmente dominata da organismi di medie dimensioni, univoltini, stenotermi freddi e tipicamente orofili, che si nutrono principalmente di biofilm algale e che vivono su un substrato tendenzialmente grossolano con medie e forti correnti. I pacchi di foglie in questo torrente alpino hanno costituito un habitat ed una risorsa trofica insoliti, e sono state colonizzate da una frazione della comunità bentonica naturale, composta principalmente di organismi di piccole o medie dimensioni, uni o plurivoltini, generalisti, spesso legati ad ambienti a debole corrente e consumatori di particellato organico.

A quote più basse, la copertura arborea dei bacini fornisce una fonte di materiale organico sufficiente, in quantità e distribuzione temporale, per sostenere una comunità varia e ricca di tagliuzzatori. In questo studio, abbiamo dimostrato che al di sopra della linea degli alberi, dove le comunità bentoniche sono dominate da invertebrati raschiatori,

una parte importante della comunità bentonica viene comunque coinvolta nel processo di degradazione delle foglie. Alcuni studi recenti hanno indicato che anche i sistemi lotici privi di un significativo numero di alberi nel loro bacino, come le praterie del Nord America o gli ambienti agricoli, drenano comunque territori in grado di fornire significative quantità di materia organica metabolizzabile all'interno della catena trofica (Stagliano & Whiles, 2002; Hagen *et al.*, 2006).

I sistemi lotici montani sopra la linea degli alberi, mentre ospitano comunità di invertebrati dominati da organismi che si nutrono per lo più di biofilm, ospitano anche una ricca popolazione di invertebrati opportunisti, che possono consumare particellato organico grossolano (CPOM). Questi organismi si nutrono generalmente di particelle organiche anche di origine alloctona (frammenti di erba, fiori, semi, ecc) ma in presenza di un cospicuo ingresso di foglie terrestri, sono in grado di colonizzare attivamente e degradare anche questa risorsa.

E' noto che gli ecosistemi montani sono particolarmente sensibili alle alterazioni delle condizioni climatiche (Beniston, 2006). Nell'eventualità di un aumento del limite altitudinale termico per la crescita degli alberi, a causa a cambiamento climatico delle Alpi, è probabile che i detriti organici prodotti dagli alberi verranno agevolmente ed attivamente degradati dalla comunità bentonica dei sistemi lotici alpini.