



## LIFE+ 2008

LIFE+ Programme (European Commission)  
LIFE+ Environment Policy and Governance

### Project INHABIT - LIFE08 ENV/IT/000413

*Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality in South European rivers and lakes*

#### **ACTION GROUP I2: Relationship between nutrients, community and environmental conditions**

- Action I2\_IRSA (month 9-36): Relationship between nutrients, community and environmental conditions by IRSA

## Deliverable I2d2

Rapporto tecnico – Lunghezza di assorbimento e relativi parametri nei siti fluviali studiati

*Report on uptake length and related parameters in river study sites*

CNR-IRSA - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque,  
U.O.S. Brugherio, Via del Mulino 19, 20861, Brugherio (MB)





## **LIFE+ 2008**

LIFE+ Programme (European Commission)  
**LIFE+ Environment Policy and Governance**

### **Project INHABIT - LIFE08 ENV/IT/000413**

*Local hydro-morphology, habitat and RBMPs: new measures to improve ecological quality  
in South European rivers and lakes*

**ACTION GROUP I2: Relationship between nutrients, community and environmental conditions**

### **Deliverable I2d2**

Rapporto tecnico – Lunghezza di assorbimento e relativi parametri nei siti fluviali studiati

*Report on uptake length and related parameters in river study sites*

Balestrini R. , Biazzi D.

CNR-IRSA - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque, U.O.S. Brugherio,  
Via del Mulino 19, 20861, Brugherio (MB)

Brugherio, 27 luglio 2012

Hanno contribuito alle attività sperimentali e alle analisi di laboratorio nonché dato supporto generale all'organizzazione e realizzazione delle diverse attività correlate con la produzione di questo Deliverable

CNR-IRSA

Cristina Arese, Alessandro Lotti, Claudio Roscioli, Stefania Erba, Andrea Buffagni, Carlo Delconte.

ARPA PIEMONTE

Marinella Fenocchio, Matilde Simoniello, Fulvia Castino, Maria Enza Tumminelli, Maria Pizzone, Mauro Ferrando.

## Sommario

Riassunto .....	6
Extended Abstract .....	7
1. BREVE INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL DELIVERABLE.....	8
2. METRICHE PER LO STUDIO DELLA RITENZIONE DEI NUTRIENTI .....	8
2.1 Lunghezza di assorbimento dei nutrienti – <i>Nutrient uptake length (Sw)</i> .....	9
2.2 Tasso di assorbimento dei nutrienti – <i>Nutrient uptake rate (U)</i> .....	24
2.3 Coefficiente di trasferimento di massa – <i>Uptake velocity (Vf)</i> .....	26
2.4 Significato delle metriche di ritenzione .....	28
2.5 Variabilità temporale .....	29
2.6 Confronto con i dati di letteratura .....	32
Bibliografia .....	35

## Riassunto

All'interno del progetto INHABIT il gruppo di attività I2 è dedicato all'indagine delle relazioni tra nutrienti, idromorfologia, condizioni dell'habitat e comunità biologiche. L'attività ha come obiettivo la valutazione dell'efficienza di ritenzione dei nutrienti attraverso esperimenti di aggiunta di ammonio e ortofosfato in siti selezionati. Il presente deliverable si inserisce nel contesto dell'attività fornendo una descrizione di alcune metriche utilizzate in letteratura per quantificare e descrivere la capacità di ritenzione dei nutrienti nel tratto di fiume considerato.

Per i siti fluviali investigati nelle due regioni oggetto di studio, Piemonte e Sardegna, sono state calcolate: la lunghezza di assorbimento dei nutrienti, ("*uptake length*", espressa in m), che rappresenta la distanza media che una molecola di nutriente percorre nella colonna d'acqua e che viene utilizzata per fornire una stima globale dell'efficienza di ritenzione, il tasso di assorbimento dei nutrienti ("*uptake rate*", espresso in  $\text{mg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ ), che esprime la capacità di ritenzione dei nutrienti e il coefficiente di trasferimento di massa ("*uptake velocity*", espresso in  $\text{mm s}^{-1}$ ), impiegato per valutare la richiesta dei nutrienti da parte del biota.

I valori di "*uptake length*" di azoto ammoniacale e di ortofosfato nei siti sardi sono compresi rispettivamente tra 103 e 656 m e tra 261 e 7500 m; nei siti piemontesi ricadono in un intervallo compreso tra 23 e 1429 m e tra 87 e 2778 m. I valori ottenuti delineano una situazione ben diversificata in termini di efficienza di ritenzione complessiva dei nutrienti in entrambe le regioni. In alcuni siti, sia sardi che piemontesi, non si è osservata alcuna ritenzione di ortofosfato, mentre in un unico sito piemontese, il torrente Strego campionato nel Marzo del 2011, non è stato possibile ricavare la metrica in questione nei confronti dell'azoto ammoniacale.

Per alcuni siti investigati in Piemonte, dove sono state effettuate due campagne sperimentali, è mostrato il confronto tra i valori ottenuti nella stagione invernale (Febbraio 2011) e estiva (Giugno-Luglio 2011), sia per l'azoto ammoniacale che per l'ortofosfato. Una variabilità notevole si è osservata tra le due stagioni soprattutto nei confronti dell'azoto ammoniacale, in cui i valori della lunghezza di assorbimento calcolati si riducono anche di un ordine di grandezza nella stagione estiva (maggiore efficienza di ritenzione).

Confrontando poi le tre metriche di ritenzione, non sempre sembra esserci corrispondenza tra loro, poiché ognuna di esse fornisce informazioni uniche circa i processi di ritenzione. La variabilità della lunghezza di assorbimento dei nutrienti è infatti da attribuire sia ad effetti biochimici che idromorfologici, mentre il tasso di assorbimento dei nutrienti e il coefficiente di trasferimento di massa sono legati maggiormente ad un uptake da parte della componente biologica.

Sono infine presentati i dati relativi alle metriche di ritenzione ricavati dalla letteratura, i quali sembrano essere in accordo con quelli ottenuti per il presente studio.

## Extended Abstract

Activity group I2 of INHABIT Project deals with the interaction between nutrients, local hydro-morphology, habitat conditions and biological community. The activity is dedicated to the evaluation of nutrient retention efficiency by measuring the nutrient uptake length by means of short-term nutrient additions experiments in the studied river reaches. Within activity group I2 this deliverable provides a description of a set of metrics well known in literature to quantify and describe nutrient retention capacity on river reaches.

For all selected river sites in Piedmont and Sardinia the following measurements are shown: nutrient uptake length (m), representing the average distance travelled by a nutrient molecule in the water column and used to provide an overall evaluation of nutrient retention efficiency; nutrient uptake rate ( $\text{mg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ ) expressing the nutrient retention capacity, and mass transfer coefficient ( $\text{mm s}^{-1}$ ) used to assess the nutrient demand by biological communities.

The uptake length values obtained for ammonium and orthophosphate in the Sardinian sites range between 103 and 656 m and between 261 and 7500 m respectively; in Piedmont sites values cover an interval between 23 and 1429 m and between 87 and 2778 m. Obtained values outline a very heterogeneous pattern in terms of total nutrient retention efficiency in both regions.

In some river sites, both in Sardinia and in Piedmont, no retention for orthophosphate was observed, while in a single site in Piedmont we could not get any metric for ammonia.

In Piedmont the comparison between values in winter (February 2011) and summer (June/July 2011) is shown for both nutrients in the study sites where two experimental campaigns were performed. A significant seasonal variability was observed for ammonium, since uptake length values decrease up to an order of magnitude in summer (greater retention efficiency).

Considering the information provided by the whole set of retention metrics, we observed that they do not match perfectly each other, because each of them providing unique information about retention processes. Nutrient uptake length variability is linked both to biochemical and hydromorphological effects, while nutrient uptake rate and mass transfer coefficient are more closely related to biological phenomena.

Lastly data related to the retention metrics found in the literature are presented. Such data show a good agreement with the results obtained in this work.

## 1. BREVE INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL DELIVERABLE

Il ciclo ed in particolare la ritenzione dei nutrienti nei fiumi vengono sintetizzati sulla base di stime di alcune metriche, di cui la principale è rappresentata dalla lunghezza di assorbimento dei nutrienti ("*uptake length*"), espressa in metri. Tali metriche sono definite nel concetto di spiralizzazione dei nutrienti e possono fornire una misura integrativa della qualità ecologica dell'ecosistema, che è influenzato sia da processi fisico-chimici (precipitazione, adsorbimento ai sedimenti), sia da processi legati alla componente biotica (processi metabolici aerobici e anaerobici che portano all'assimilazione e alla mineralizzazione dei nutrienti), da cui dipendono i tassi di assimilazione e la velocità di trasformazione del nutriente nelle sue diverse forme.

Con l'obiettivo di formulare delle ipotesi sull'efficienza di ritenzione dei nutrienti sono presentati i valori relativi alle metriche in questione ovvero la lunghezza di assorbimento dei nutrienti ("*nutrient uptake length*"), il tasso di assorbimento dei nutrienti ("*nutrient uptake rate*") e il coefficiente di trasferimento di massa ("*uptake velocity*") relativi all'azoto ammoniacale e all'ortofosfato di tratti fluviali selezionati all'interno di due diverse regioni, il Piemonte e la Sardegna.

Tali valori sono stati ottenuti a partire da esperimenti di aggiunta di nutrienti (*addition experiments*) che prevedono l'aggiunta di una soluzione concentrata di nutrienti (ammonio ed ortofosfato) in piccole quantità a flusso costante, insieme ad un elemento conservativo, il cloruro, il quale serve da tracciante idrologico per la stima dei fenomeni di diluizione, dispersione e diffusione che si verificano nel corso d'acqua.

Gli obiettivi del deliverable si concentrano:

- nell'esposizione dettagliata dei risultati con riferimenti precisi ai dati direttamente ricavati dalla misurazione delle concentrazioni di nutriente e di tracciante lungo il sito sperimentale dopo l'esperimento di aggiunta dei nutrienti e l'applicazione di calcoli teorici per ottenere le metriche di ritenzione;
- nella discussione delle criticità del metodo utilizzato relative alla variabilità delle concentrazioni misurate al plateau in ogni tratto fluviale che in alcuni casi rendono difficilmente applicabile il modello concettuale alla base del metodo per la stima delle metriche;
- nella valutazione della variabilità delle metriche tra tutti i siti, tra le due regioni (Piemonte e Sardegna) e all'interno di ogni regione;
- nella valutazione della variabilità temporale limitatamente ai siti dove è stato possibile ripetere le misure;
- nel confronto tra *uptake length*, *uptake rate* e *uptake velocity*, focalizzandosi sul diverso significato che ognuna di queste metriche assume;
- nel confronto in ogni sito tra la lunghezza di assorbimento di ammonio e fosforo anche utile per individuare l'elemento potenzialmente limitante;
- nel confronto con i dati di letteratura ottenuti mediante esperimenti di aggiunta di nutrienti a tasso costante in corsi d'acqua di piccole dimensione comparabili ai nostri siti di studio.



## 2. METRICHE PER LO STUDIO DELLA RITENZIONE DEI NUTRIENTI

L'elaborazione dei dati raccolti con l'esperimento di aggiunta dei nutrienti ha permesso di calcolare tre metriche di ritenzione, legate al concetto di spiralizzazione dei nutrienti (Deliverable Pd4), con cui è possibile quantificare e descrivere la capacità di ritenzione dei nutrienti nel tratto di fiume considerato. Insieme, esse possono fornire una misura integrativa della qualità ecologica dell'ecosistema.

Le metriche in questione sono (Fig. 1):

- la lunghezza di assorbimento dei nutrienti, o *"nutrient uptake length"* (m), che rappresenta la distanza media che una molecola di nutriente può percorrere prima di essere rimossa dalla colonna d'acqua e che indica l'efficienza di ritenzione complessiva dei nutrienti;
- il tasso di assorbimento dei nutrienti, o *"nutrient uptake rate"* ( $\text{mg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ ), che rappresenta la quantità di nutriente che viene rimossa dalla colonna d'acqua per unità di area e indica quindi la capacità di ritenzione dei nutrienti;
- il coefficiente di trasferimento di massa, o *"uptake velocity"* ( $\text{mm s}^{-1}$ ), che rappresenta la velocità con cui la molecola di nutriente migra dalla colonna d'acqua al sedimento ed è un indice della richiesta dei nutrienti da parte del biota.

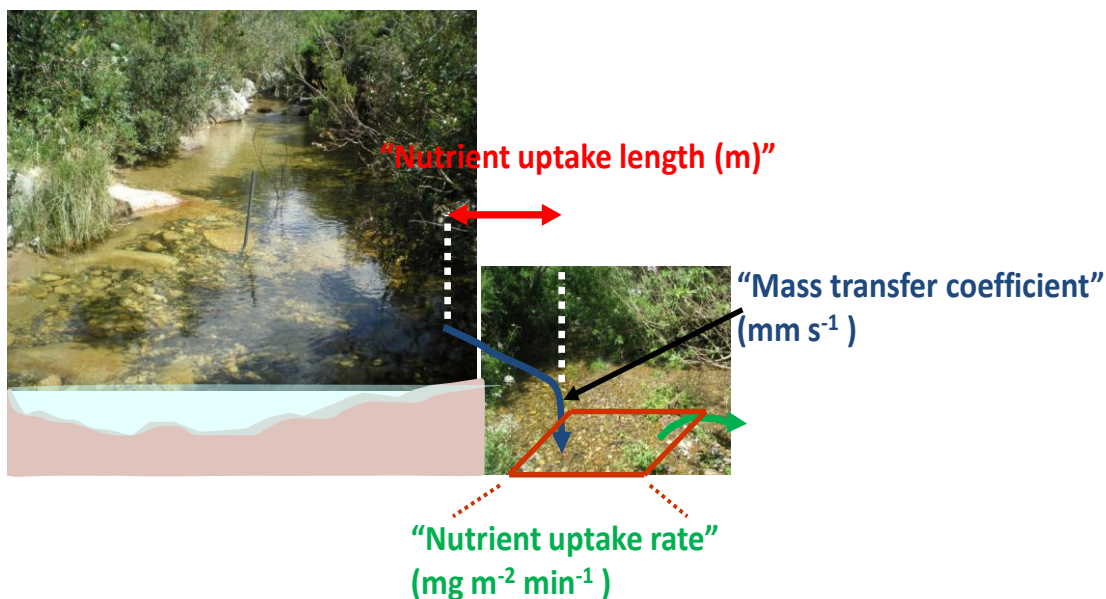


Figura. 1 Rappresentazione grafica delle metriche di ritenzione in un tratto fluviale

### 2.1 Lunghezza di assorbimento dei nutrienti – *Nutrient uptake length* ( $S_w$ )

Il calcolo della lunghezza di assorbimento si basa sul confronto tra i pattern delle concentrazioni di tracciante e di nutriente lungo il sito sperimentale, come indicato nel protocollo sperimentale riconosciuto a livello internazionale e pubblicato come proceeding del "Stream Solute Workshop" (1990) e poi adattato per gli scopi del progetto nel Deliverable Pd4 (2010).

Per il calcolo della lunghezza di assorbimento, la concentrazione dei nutrienti al "plateau" ( $C_p$ ), che attesta l'avvenuta distribuzione e miscelazione della soluzione aggiunta, deve essere corretta

per i valori di “background” ( $C_b$ ), ovvero delle concentrazioni ambientali dei nutrienti, in ciascun punto di campionamento.

Questa differenza diminuirà gradualmente lungo l’asta se si verificano processi di ritenzione sia fisico-chimici che biologici che portano alla riduzione del nutriente aggiunto.

Analogamente la stessa operazione deve essere fatta per il tracciante. Se il tratto considerato non presenta ingressi di acqua laterali o verticali, la concentrazione corretta del tracciante (cioè  $T_p - T_b$ ) deve essere simile in tutti i punti di campionamento.

Una volta che le concentrazioni sono state corrette, occorre calcolarne il logaritmo del rapporto. Se il nutriente viene rimosso in seguito a processi biotici o abiotici e assumendo che l’ *uptake* dei nutrienti sia direttamente proporzionale alla concentrazione del nutriente in acqua, questo rapporto seguirà l’andamento di una curva esponenziale negativa considerando i punti da monte a valle, a partire dal punto di aggiunta dei nutrienti. Ipotizzando un tasso di assorbimento costante (“*uptake rate*”) lungo il tratto, la seguente equazione descriverà la variazione lungo il tratto considerato del logaritmo naturale del suddetto rapporto:

$$\ln \frac{[C_p - C_b]}{T_p - T_b} = -Kx$$

dove  $K$  (la pendenza di questa funzione) è il coefficiente di variazione del nutriente a valle ( $m^{-1}$ ) e  $x$  è la distanza di ciascun punto di campionamento dal punto dell’aggiunta ( $m$ ).

L’inverso negativo di  $K$  (vale a dire  $-1/K$ ) è una stima dell’efficienza di ritenzione dei nutrienti lungo il tratto, espressa in unità di lunghezza.

Questo parametro è la lunghezza di assorbimento dei nutrienti o “*nutrient uptake length*” ( $S_w$ , espresso in metri):

$$S_w = -1/K$$

In linea teorica, minore è la lunghezza di assorbimento, maggiore è l’efficienza di ritenzione del corpo idrico considerato.

Nel caso di siti sardi, le concentrazioni utilizzate per ricavare il parametro di “*uptake length*” dell’azoto ammoniacale si riferiscono ai campioni acquosi prelevati in corrispondenza dei punti centrali del tratto considerato misurate con spettrofotometro da campo, in quanto rispecchiano verosimilmente le concentrazioni attese su cui sono stati eseguiti i calcoli per la preparazione della soluzione da aggiungere. La determinazione dell’azoto ammoniacale dei campioni acquosi è stata eseguita anche in laboratorio successivamente al periodo di campionamento, ma i dati ottenuti mostravano una elevata variabilità, probabilmente dovuta al comportamento piuttosto instabile di tale specie chimica da associare alle alte temperature di quel periodo, nonostante le precauzioni adottate per il mantenimento dei campioni.

Di seguito sono presentate le rappresentazioni grafiche di regressione lineare per tutti i siti sardi, sia per l’azoto ammoniacale che per l’ortofosfato (Fig. 2). Esse mostrano indicativamente l’andamento dei nutrienti all’interno del corso d’acqua in funzione della lunghezza del transetto sperimentale e del logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di nutriente e tracciante conservativo (cloruro) misurate in corrispondenza di tutti i punti di campionamento dopo

l'esperimento di "short term addition". Per ogni grafico sono indicate l'equazione della retta che interpola i punti e il valore di  $R^2$ .

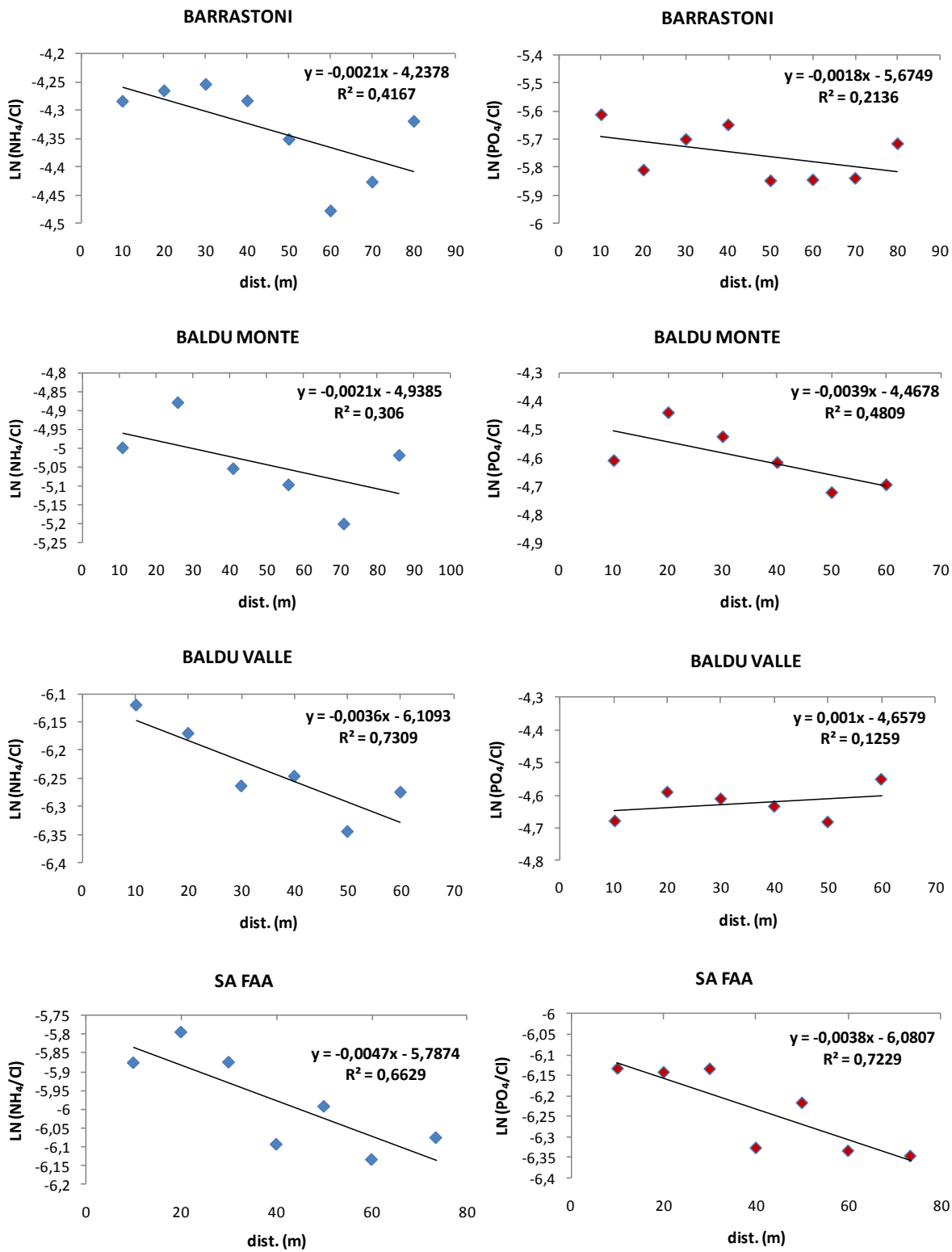


Figura 2. Regressione lineare tra la lunghezza del transetto e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo (cloruro) dei siti sardi. L'inverso del coefficiente angolare della retta indica la misura di "uptake length" in m.

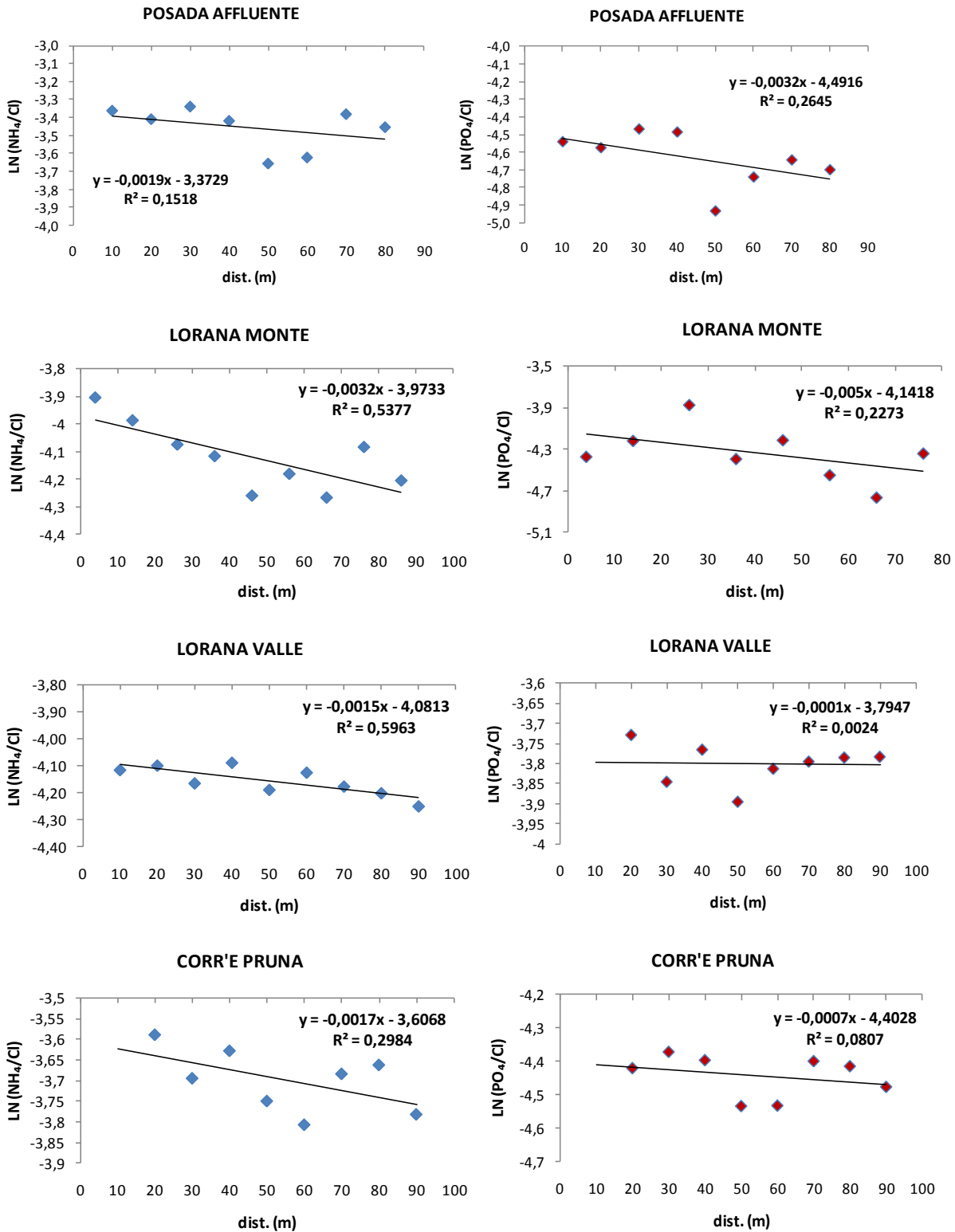


Figura 2. Regressione lineare tra la lunghezza del transetto e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo (cloruro) dei siti sardi. L'inverso del coefficiente angolare della retta indica la misura di "uptake length" in m.

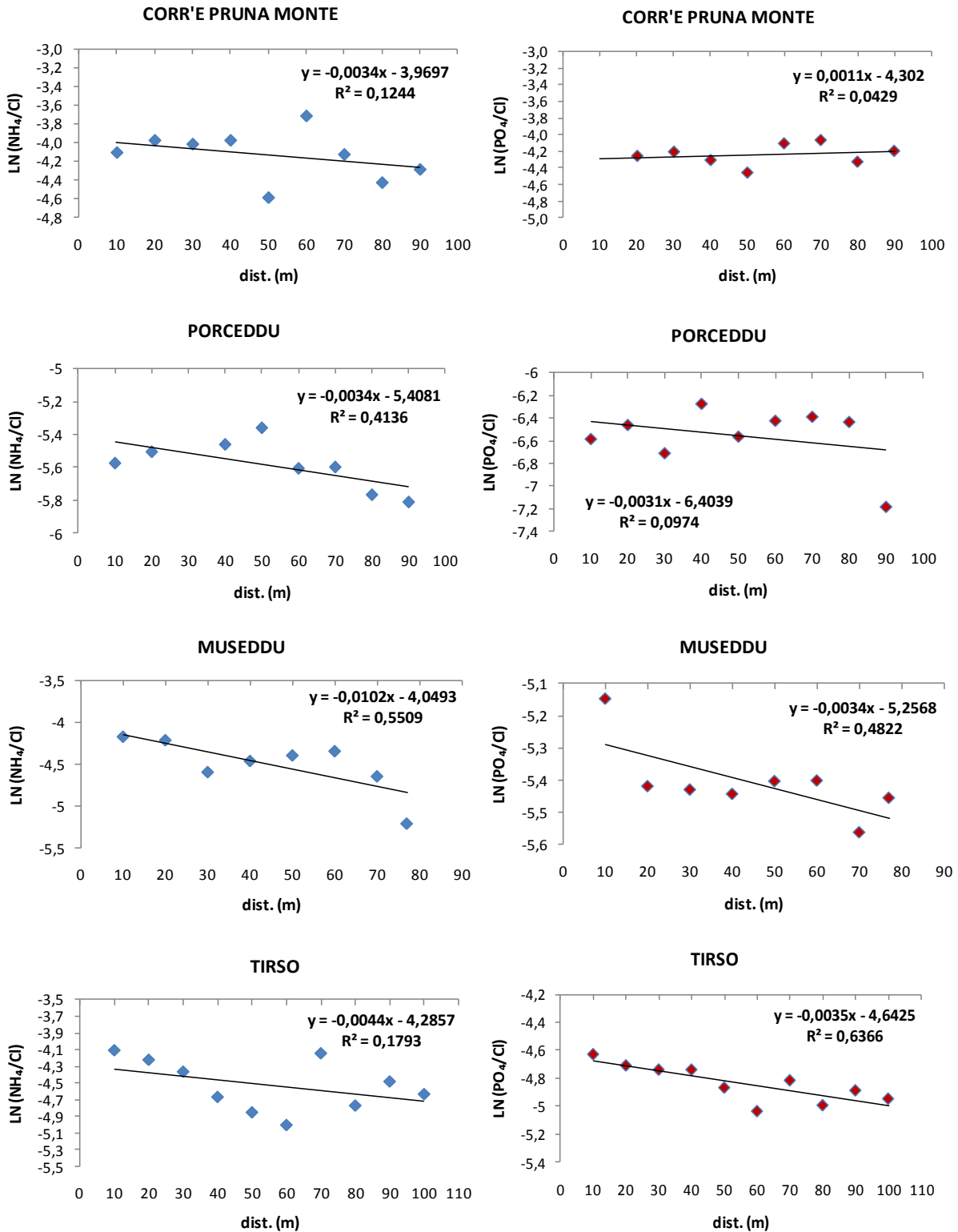


Figura 2. Regressione lineare tra la distanza dei punti di campionamento dal punto di immissione dei nutrienti e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo dei siti sardi. L'inverso del coefficiente angolare della retta indica la misura di "uptake length" in m.

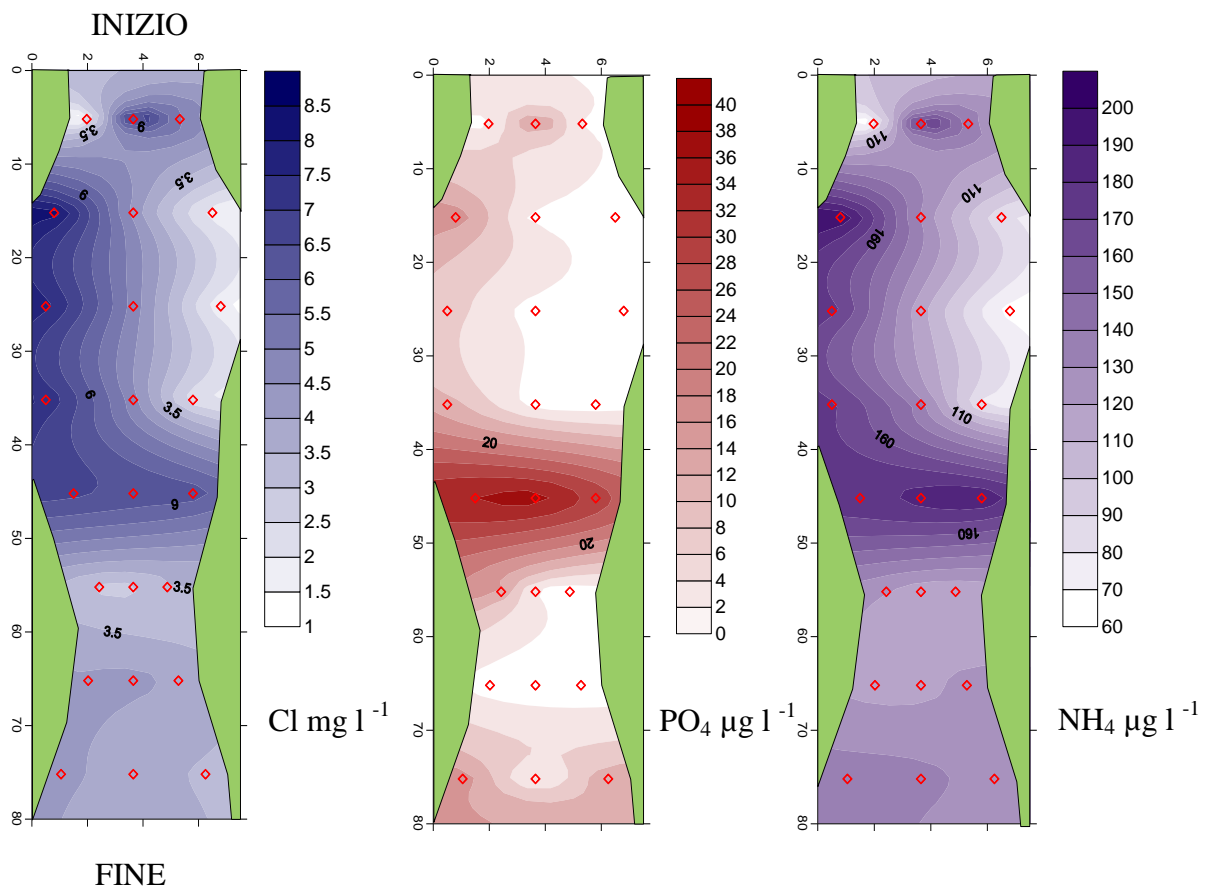
Come si evince dai grafici, non sempre tutti i valori ottenuti sperimentalmente si dispongono con lieve scarto sulla linea di tendenza.

Ciò è da mettere in relazione alla variabilità ambientale che influenza questi dati e in particolare con la variabilità locale che si riscontra a livello di ciascun punto di campionamento all'interno di uno stesso tratto fluviale. Essa è determinata in primo luogo da fattori fisici, come differenze di profondità o larghezza dell'alveo, presenza di flussi e substrati non omogenei, dall'alternanza della sequenza pool/riffle, o dalla presenza di detrito, dighe o sbarramenti, ad esempio, o idraulici, legati verosimilmente all'ambiente cosiddetto iporreico.

Da considerare è anche la possibilità che la soluzione di nutrienti aggiunta non si sia miscelata completamente all'interno del tratto, ma segua dei percorsi preferenziali che non vengono rilevati attraverso la misura della conducibilità alla fine del transetto ottenuta posizionando il conduttimetro al centro dell'alveo, nonostante il protocollo sperimentale e le procedure operative siano state eseguite correttamente.

Per valutare come varia la concentrazione del tracciante conservativo e dei nutrienti lungo il tratto, è stato utilizzato l'apposito software *Surfer 8.0*, che consente di rappresentare in una scala bidimensionale (lunghezza e larghezza del tratto) una terza dimensione (concentrazione del tracciante e dei nutrienti).

È mostrato di seguito un esempio indicativo della variabilità delle concentrazioni di tracciante e nutrienti della soluzione aggiunta (Fig. 3) nel torrente Sizzone campionato nel mese di Marzo. Le concentrazioni sono espresse in mg/l per il cloruro e in µg/l per ammonio ed ortofosfato.



**Figura 3. Rappresentazione della sezione longitudinale del tratto fluviale considerato con isolinee di concentrazione. In asse X e Y si riporta rispettivamente la lunghezza e la larghezza del tratto.**

Da queste immagini si osserva che la variabilità è più elevata nei primi 3-4 punti di campionamento a valle del punto di immissione, con la tendenza del soluto ad accumularsi in alcune zone particolari, mentre in quelli successivi tende a ridursi di molto. Dal 5° punto di campionamento in poi si è avuto infatti il quasi completo miscelamento della soluzione, cioè dove l'alveo bagnato era più stretto e in una zona di *riffle* con flusso turbolento. È verosimile che le zone in cui il soluto si accumuli siano zone di pool con flusso relativamente lento e profondità elevate.

Per ricavare dunque un indicatore il più possibile rappresentativo dei siti considerati (in questo caso la stima della misura di "*uptake length*"), la regressione lineare è stata effettuata anche utilizzando la media del logaritmo naturale del rapporto tra nutriente e tracciante conservativo tra due punti di campionamento adiacenti (1°-2°, 3°-4° ecc.). Inoltre si sono anche utilizzate le medie relative ai primi e agli ultimi tre punti, in modo da ottenere due valori che mostrassero indicativamente la differenza di concentrazione del nutriente, e quindi la sua ritenzione, all'inizio e alla fine dell'esperimento, lungo il tratto considerato.

Nel caso del Baldu sito "valle" e nel Corr'e Pruna sito "monte" le regressioni mostrano l'assenza di ritenzione nei confronti dell'ortofosfato: il coefficiente angolare della retta che interpola i punti è risultato infatti positivo, determinando un segno negativo alla metrica di "*uptake length*" (nessuna ritenzione). Nel caso del Terramala, i dati non sono presentati in quanto il calcolo della metrica è risultato errato a causa di un errore nella preparazione della soluzione riscontrato successivamente.

In quasi tutti i siti, i valori delle lunghezze di assorbimento ottenuti con i tre tipi di regressione non sembrano mostrare differenze evidenti tra loro, dimostrando che il valore ottenuto utilizzando i dati relativi a tutti i punti di campionamento è comunque da ritenersi valido.

E' riportato di seguito un esempio in cui vengono mostrati i tre tipi di regressione lineare per uno dei siti sardi (rio Sa Faa) (Fig. 4).

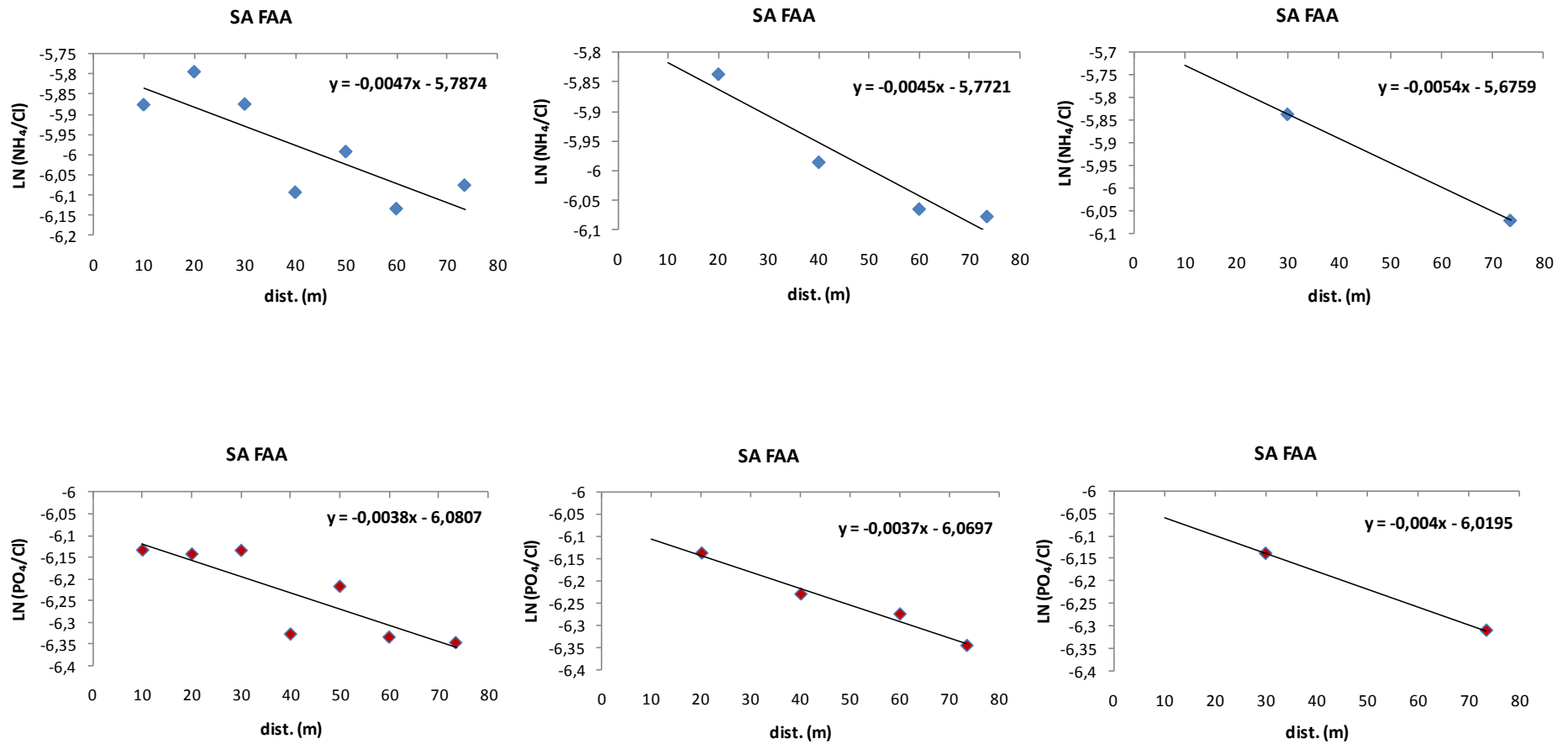


Figura 4. Regressione lineare tra la distanza dei punti di campionamento dal punto di immissione dei nutrienti e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo (cloruro) nel rio Sa Faa. Le tre regressioni sono state ottenute utilizzando tutti i punti di campionamento, la media di due punti di campionamento adiacenti e la media dei primi e degli ultimi tre punti.



Le tabelle riassuntive di seguito rappresentano i valori delle lunghezze di assorbimento dell'azoto ammoniacale e dell'ortofosfato dei tratti fluviali selezionati in Sardegna, ottenuti dalle tre regressioni lineari (Tab. 1, 2). Ne vengono indicate anche le medie.

**Tabella 1. Valori di "uptake length" dell'ammonio dei siti sardi relativi alle tre regressioni**

SITO	Sw N-NH <sub>4</sub> (1)	Sw N-NH <sub>4</sub> (2)	Sw N-NH <sub>4</sub> (3)	Media Sw N-NH <sub>4</sub>
	m			
BARRASTONI	476	455	357	429
BALDU MONTE	476	345	345	389
BALDU VALLE	278	244	294	272
SA FAA	213	222	185	207
POSADA AFFLUENTE	526	556	435	506
LORANA MONTE	313	303	385	334
LORANA VALLE	667	526	714	636
CORR'E PRUNA	588	667	714	656
CORR'E PRUNA MONTE	294	233	244	257
PORCEDDU	294	270	298	287
MUSEDU	98	95	116	103
TIRSO	227	-	175	201

**Tabella 2. Valori di "uptake length" dell' ortofosfato dei siti sardi relativi alle tre regressioni**

SITO	Sw P-PO <sub>4</sub> (1)	Sw P-PO <sub>4</sub> (2)	Sw P-PO <sub>4</sub> (3)	Media Sw P-PO <sub>4</sub>
	m			
BARRASTONI	556	526	526	536
BALDU MONTE	256	217	196	223
SA FAA	263	270	250	261
POSADA AFFLUENTE	313	286	303	301
LORANA MONTE	416	357	286	353
LORANA VALLE	10000	-	5000	7500
CORR'E PRUNA	1429	1250	1429	1369
PORCEDDU	323	714	714	584
MUSEDU	294	303	333	310
TIRSO	286	303	278	289

Nella quasi totalità dei siti sardi i valori di "uptake length" sono abbastanza diversi se si confrontano tra loro i nutrienti.

In generale, la media delle lunghezze di assorbimento dell'ortofosfato appare più elevata rispetto a quella ottenuta per l'azoto ammoniacale. In alcuni siti molto alterati da un punto di vista morfologico, come ad esempio il Corr'e Pruna, il valore di "uptake length" dell'ortofosfato supera i 1000 metri, e addirittura i 7000 metri nel Lorana sito "valle".

Complessivamente, i valori di "uptake length" dell'ammonio sono compresi tra 100 e 650 metri circa, mentre per l'ortofosfato ricadono in un intervallo compreso tra 220 e 580 m circa se non si

considerano i due valori nettamente più alti di Corr'e Pruna e Lorana sito "valle". In questi due siti anche le lunghezze di assorbimento dell'ammonio sono le più elevate tra i siti sardi.

Il canale Museddu, anch'esso alterato morfologicamente, presenta un valore di lunghezza di assorbimento decisamente basso se paragonato a siti più "naturali" nei confronti dell'azoto ammoniacale. La presenza massiccia di alghe filamentose può avere influito in questo caso sulla ritenzione del nutriente.

Anche per i siti piemontesi vengono mostrati i grafici di regressione lineare ottenuti utilizzando i valori misurati in prossimità di tutti i punti di campionamento (Fig. 5).

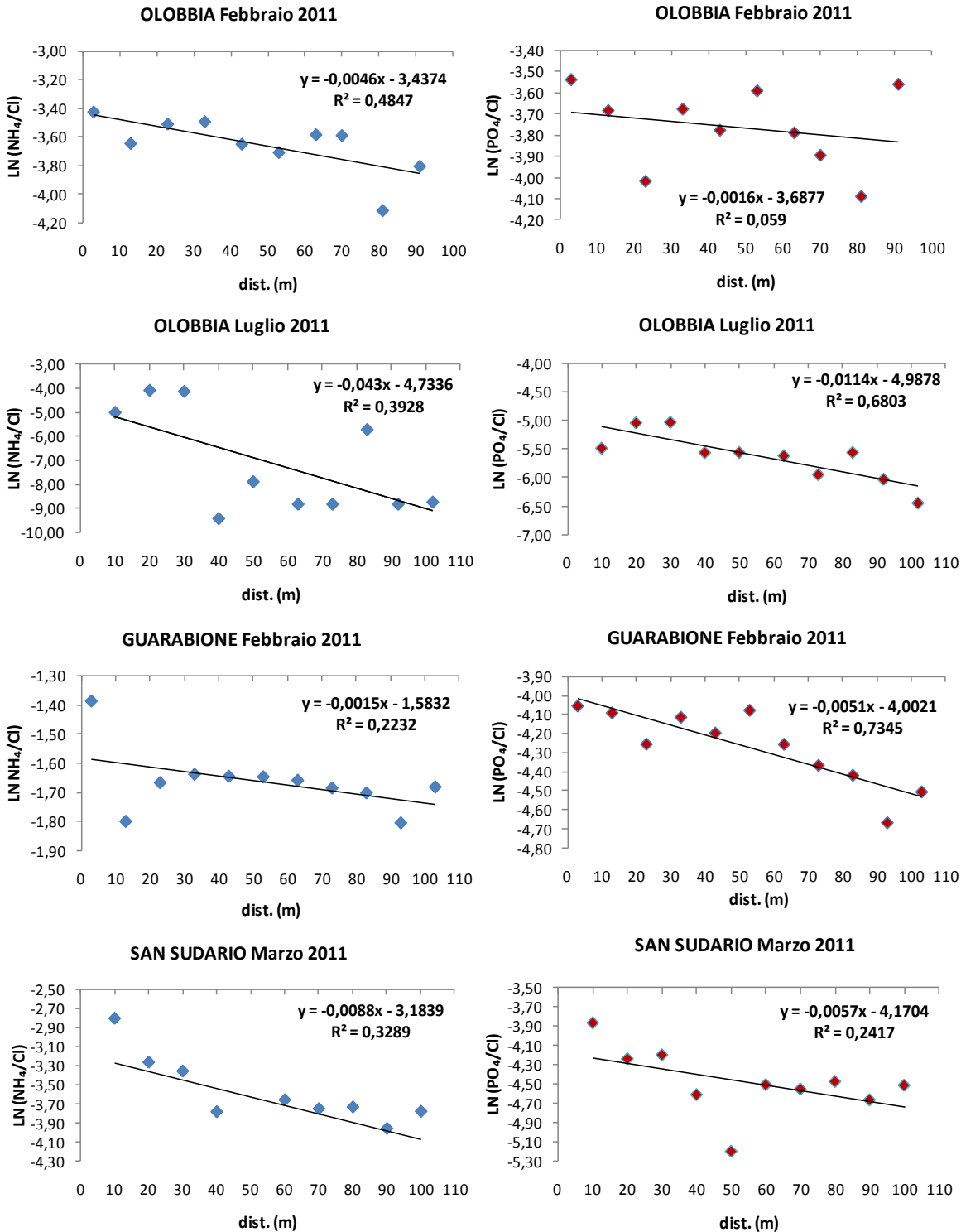


Figura 5. Regressione lineare tra la distanza dei punti di campionamento dal punto di immissione dei nutrienti e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo dei siti piemontesi. L'inverso del coefficiente angolare della retta indica la misura di "uptake length" in m.

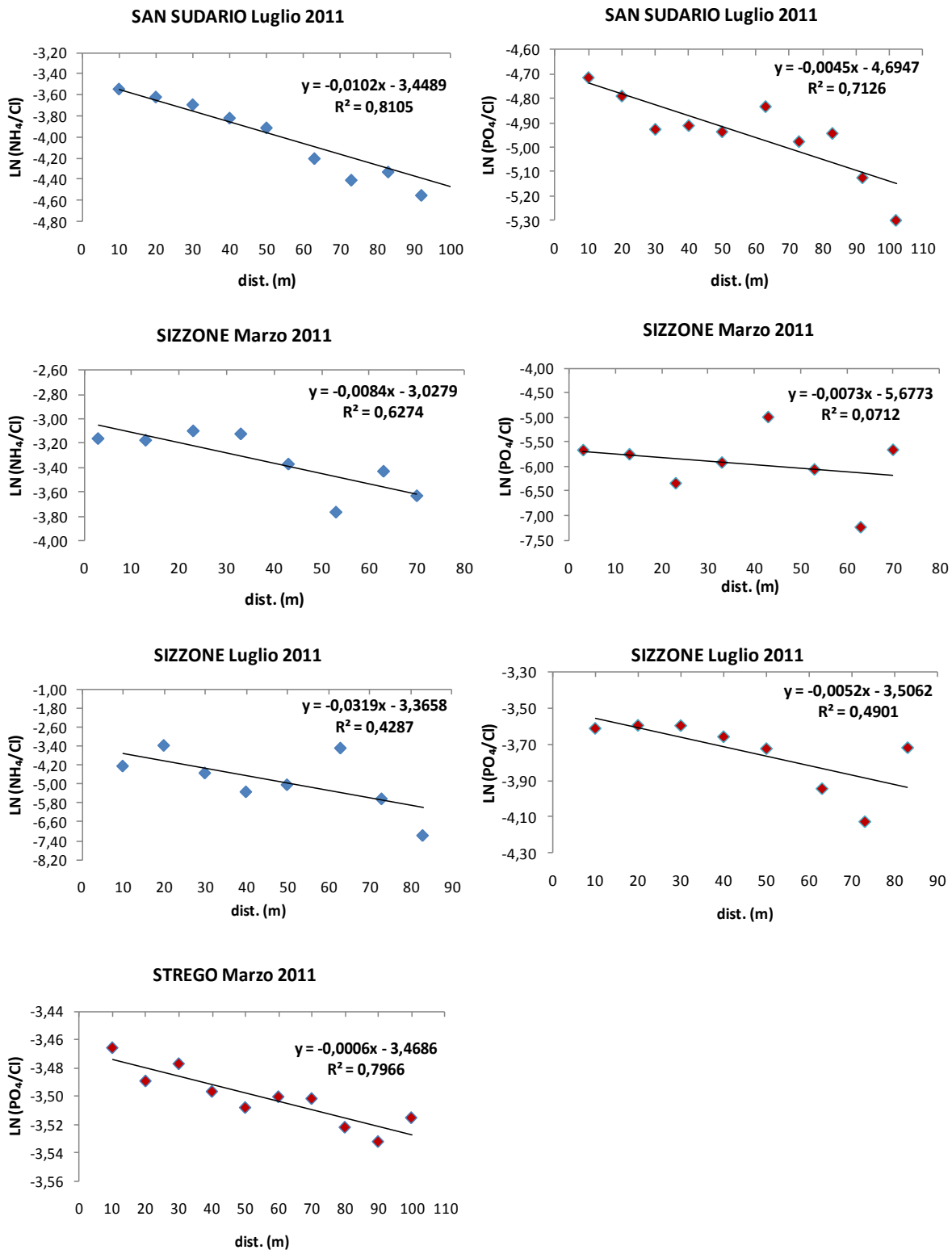


Figura 5. Regressione lineare tra la distanza dei punti di campionamento dal punto di immissione dei nutrienti e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo dei siti piemontesi. L'inverso del coefficiente angolare della retta indica la misura di "uptake length" in m.

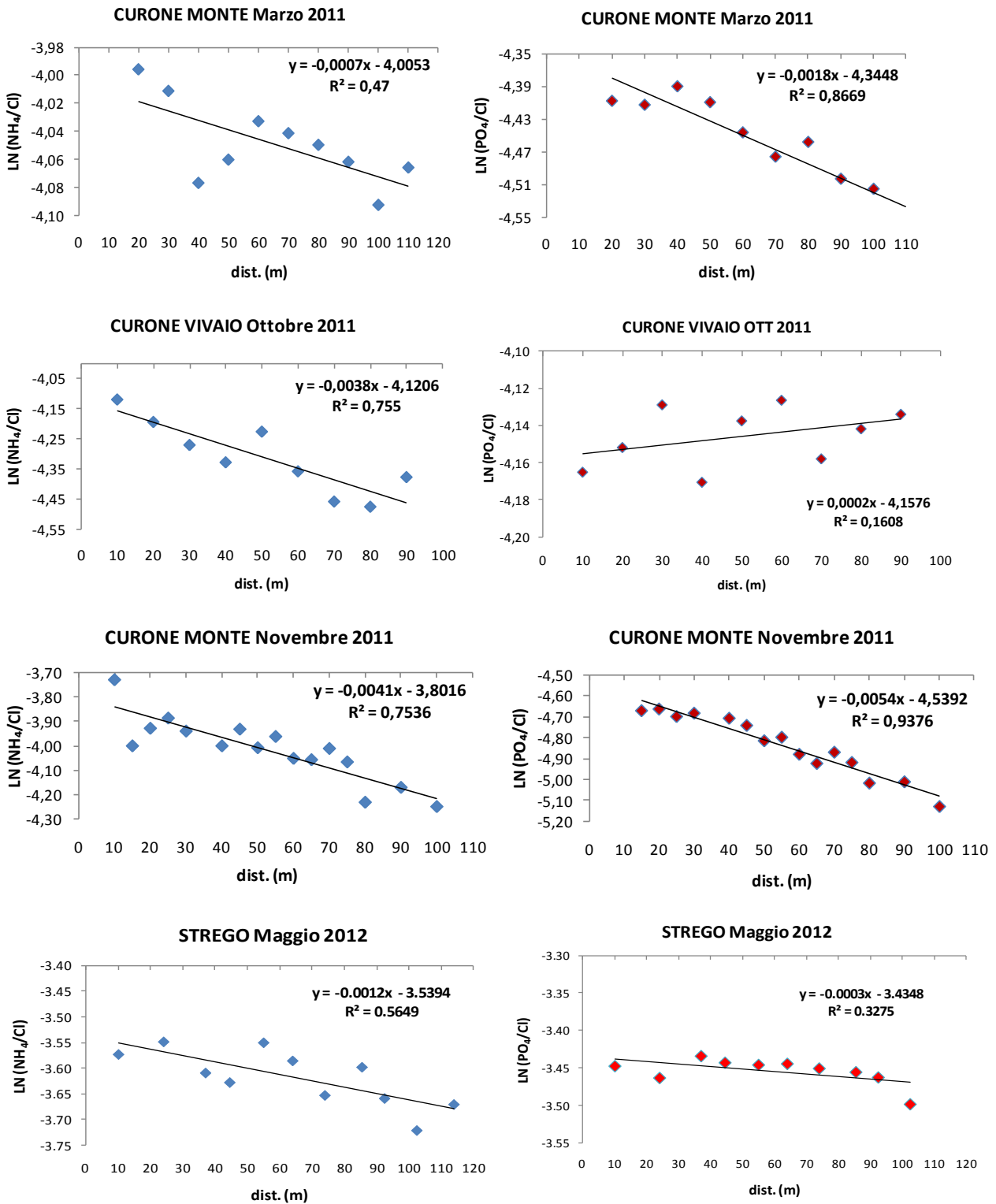


Figura 5. Regressione lineare tra la distanza dei punti di campionamento dal punto di immissione dei nutrienti e il logaritmo naturale del rapporto tra le concentrazioni di ammonio ed ortofosfato e tracciante conservativo dei siti piemontesi. L'inverso del coefficiente angolare della retta indica la misura di "uptake length" in m.

Le tabelle 3 e 4 di seguito rappresentano i valori delle lunghezze di assorbimento dell'azoto ammoniacale e dell'ortofosfato dei tratti fluviali selezionati in Piemonte, ottenuti anch'essi dalle tre regressioni lineari. Ne viene indicato anche il valore medio.

**Tabella 3. Valori di "uptake length" dell'ammonio dei siti piemontesi relativi alle tre regressioni**

SITO	DATA	Sw N-NH <sub>4</sub> (1)	Sw N-NH <sub>4</sub> (2)	Sw N-NH <sub>4</sub> (3)	Media Sw N-NH <sub>4</sub>
					m
OLOBBIA	Feb 2011	217	204	217	213
OLOBBIA	Giu 2011	23	23	22	23
GUARABIONE	Feb 2011	667	769	714	717
SAN SUDARIO	Mar 2011	114	109	102	108
SAN SUDARIO	Lug 2011	98	130	112	113
SIZZONE	Mar 2011	119	122	101	114
SIZZONE	Lug 2011	31	30	38	33
CURONE MONTE	Mar 2011	1429	1429	1429	1429
CURONE MONTE	Nov 2011	244	250	278	257
CURONE VIVAIO	Ott 2011	263	278	244	262
STREGO	Mag 2012	833	769	526	709

**Tabella 4. Valori di "uptake length" dell'ortofosfato dei siti piemontesi relativi alle tre regressioni**

SITO	DATA	Sw P-PO <sub>4</sub> (1)	Sw P-PO <sub>4</sub> (2)	Sw P-PO <sub>4</sub> (3)	Media Sw P-PO <sub>4</sub>
					m
OLOBBIA	Feb 2011	625	455	667	582
OLOBBIA	Giu 2011	88	86	87	87
GUARABIONE	Feb 2011	196	189	200	195
SAN SUDARIO	Mar 2011	175	167	154	165
SAN SUDARIO	Lug 2011	222	213	217	217
SIZZONE	Mar 2011	137	123	118	126
SIZZONE	Lug 2011	192	179	159	177
STREGO	Mar 2011	1667	1667	1429	1588
STREGO	Mag 2012	3333	3333	1667	2778
CURONE MONTE	Nov 2011	556	588	556	567
CURONE MONTE	Ott 2011	185	172	196	184

I valori medi di "uptake length" relativi all'azoto ammoniacale dei siti piemontesi sono compresi tra 23 e 1430 metri, quelli dell'ortofosfato tra 87 e 1588 metri. È interessante evidenziare come il torrente Curone, pur essendo un sito di riferimento, presenti una lunghezza di assorbimento di entrambi i nutrienti decisamente elevata se paragonata a siti non di riferimento o addirittura alterati da un punto di vista idromorfologico.

Anche in Piemonte non è stato possibile ricavare la lunghezza di assorbimento di tutti i siti investigati: nel caso del Sizzano sito "monte", la portata troppo elevata (> 400 L/s) ha determinato l'esito negativo dell'esperimento per entrambi i nutrienti; nel caso del torrente Curone sito "vivaio" e nel torrente Strego campionato nel Marzo del 2011, non è stato possibile determinare la

metrica in questione rispettivamente per l'ortofosfato e per l'azoto ammoniacale. Nel primo caso, come mostrato dal grafico di regressione lineare corrispondente, i dati estrapolati non mostravano alcun tipo di regressione e non vi era nessuna tendenza alla diminuzione del nutriente; nel secondo, le concentrazioni di azoto ammoniacale misurate dopo l'esperimento di aggiunta dei nutrienti coincidevano con quelle di base del fiume. In quest'ultimo infatti, le concentrazioni di azoto ammoniacale dei campioni prelevati durante la fase di plateau non coincidevano con quelle attese. Non è da escludere che una parte di azoto ammoniacale sia stata persa a causa di problemi nella conservazione del campione dopo il prelievo.

Relativamente allo Strego, la lunghezza di assorbimento dell'ortofosfato è risultata molto elevata in entrambi gli esperimenti condotti (marzo 2011 e maggio 2012). Ciò rappresenta un risultato in parte inatteso poiché si verifica in un sito decisamente poco alterato dal punto di vista idromorfologico e di uso del suolo. Occorre però rilevare che le concentrazioni di base del PO<sub>4</sub>, all'interno del tratto sperimentale, sono risultate in diverse date piuttosto alte (Deliverable I2d1), suggerendo la presenza di una possibile fonte di contaminazione (e.g. scarico abusivo).

Il rapporto tra la ritenzione dei nutrienti e la concentrazione di base misurata lungo un tratto fluviale è ben documentata. Dodds e colleghi (2002) assumono che l'uptake dei nutrienti avvenga proprio in funzione della concentrazione di "background" e in particolare una relazione significativa è stata trovata tra la concentrazione ambientale di ammonio e il corrispondente tasso di assorbimento (Webster et al., 2003). Nei siti in cui tali nutrienti raggiungono verosimilmente una concentrazione definita "saturante", essi non rappresentano più un fattore limitante, determinando così la perdita della capacità di assorbimento da parte dell'ecosistema, sia da parte dei sedimenti, già saturi, sia da parte della comunità biologica. Ciò suggerisce che quando la concentrazione di background di un nutriente è vicina o eccede i livelli di saturazione, anche piccole aggiunte non susciteranno la stessa risposta rispetto a situazioni in cui la concentrazione di base rimane entro la linea teorica di una tipica curva di uptake che segue la cinetica di Michaelis-Menten (Stream Solute Workshop, 1990).

Infine, sembra che i valori di "uptake length" ottenuti per il torrente Guarabione Ponte non siano rappresentativi del sito, a causa dello sversamento di acque di scarico nell'acqua del fiume.

Sono riportate di seguito due tabelle riassuntive che mostrano i valori medi e altre variabili statistiche delle lunghezze di assorbimento di ammonio ed ortofosfato separate per Sardegna e Piemonte (Tab. 5 e 6).

**Tabella 5. Media, deviazione standard, mediana, 25 e 75 percentile, minimo e massimo dei valori di uptake length di ammonio e ortofosfato nei siti sardi**

	Sw N-NH <sub>4</sub>	Sw P-PO <sub>4</sub>
	m	m
<b>MEDIA</b>	356	470
<b>DEV.ST.</b>	173	359
<b>MEDIANA</b>	311	310
<b>25 PERCENTILE</b>	245	289
<b>75 PERCENTILE</b>	448	536
<b>MIN</b>	103	223
<b>MAX</b>	656	1369

**Tabella 6. Media, deviazione standard, mediana, 25 e 75 percentile, minimo e massimo dei valori di uptake length di ammonio e ortofosfato nei siti piemontesi**

	Sw N-NH <sub>4</sub>	Sw P-PO <sub>4</sub>
	m	m
<b>MEDIA</b>	362	389
<b>DEV.ST.</b>	429	456
<b>MEDIANA</b>	213	190
<b>25 PERCENTILE</b>	110.5	168
<b>75 PERCENTILE</b>	486	480
<b>MIN</b>	23	87
<b>MAX</b>	1429	1588

La media dei valori di “*uptake length*”, se si escludono il Lorana Valle tra i siti sardi e lo Strego campionato nel 2012 tra quelli piemontesi, è abbastanza simile tra le due regioni sia per l’azoto ammoniacale che per l’ortofosfato (tra i 300 e i 400 m circa). La differenza più rilevante riguarda i valori minimi e massimi, soprattutto nei confronti dell’azoto ammoniacale; in Piemonte l’intervallo dei valori risulta essere decisamente più ampio, definendo una situazione più eterogenea in questa regione.

Dal momento in cui le aggiunte di ammonio ed ortofosfato sono state condotte simultaneamente (unica soluzione contenente sali di ammonio e fosforo), si definisce il rapporto tra la lunghezza di assorbimento di N-NH<sub>4</sub> e quella di P-PO<sub>4</sub>, per poter confrontare la ritenzione di entrambi i nutrienti in uno stesso tratto sperimentale (Martì & Sabater, 1996).

Rapporti minori di uno indicano una maggiore efficienza di ritenzione dell’ammonio, mentre valori superiori all’unità indicano una più alta ritenzione di ortofosfato.

Quando due elementi sono confrontati nello stesso fiume, l’ “*uptake length*” più corta coincide verosimilmente con l’elemento potenzialmente limitante.

Sia i fiumi sardi che i fiumi piemontesi mostrano un’efficienza più elevata nel ritenere ammonio, poiché un rapporto tra le lunghezze di assorbimento minore di uno è risultato in 10 siti su 12 in Sardegna e in 7 siti su 9 in Piemonte, suggerendo che i processi di *uptake* si verificano maggiormente nei confronti dell’ammonio che non dell’ortofosfato. Altri siti, quali il Baldu sito “monte” e il Posada affluente in Sardegna o il Guarabione in Piemonte, mostrano invece una più alta efficienza per l’ortofosfato.

Quando due elementi sono confrontati nello stesso fiume, l’ “*uptake length*” più corta coincide verosimilmente con l’elemento potenzialmente limitante (Martì & Sabater, 1996). In questo senso, la relativa alta efficienza nella ritenzione dell’ammonio suggerisce che esso potrebbe essere un potenziale nutriente limitante in questi siti fluviali.

## 2.2 Tasso di assorbimento dei nutrienti – *Nutrient uptake rate (U)*

Una volta calcolata la lunghezza di assorbimento dei nutrienti (Sw, m) si può calcolare il tasso di assorbimento (U) o “*uptake rate*” per unità di superficie (del letto fluviale), in condizioni naturali, usando la seguente equazione:

$$U = \frac{C_b * Q}{S_w * w} * 60$$



dove  $U$  è il tasso di assorbimento dei nutrienti ( $\text{mg m}^{-2} \text{min}^{-1}$ ),  $C_b$  è la concentrazione di base dei nutrienti ( $\text{mg/l}$ ),  $Q$  è la portata ( $\text{L/s}$ ),  $S_w$  è la lunghezza di assorbimento dei nutrienti ( $\text{m}$ ),  $w$  è la larghezza media dell'alveo del fiume nel tratto considerato ( $\text{m}$ ), e 60 è il fattore di conversione da secondi a minuti.

Questo parametro esprime quindi la quantità di nutriente che viene rimossa dall'acqua per unità di area ( $\text{mg/ m}^2 \text{min}$ ).

Vengono proposti di seguito i valori di "uptake rate" misurati per i siti sardi e per quelli piemontesi, calcolati a partire dalla media dei tre valori di "uptake length" ottenuti dalle tre regressioni (Tab. 7, 8).

**Tabella 7. Valori di "uptake rate" di ammonio e ortofosfato dei siti sardi**

SITO	U N-NH <sub>4</sub> mg/m <sup>2</sup> min	U P-PO <sub>4</sub> mg/m <sup>2</sup> min
BARRASTONI	0.21	0.05
BALDU MONTE	0.19	0.54
BALDU VALLE	0.27	-
SA FAA	0.01	0.01
POSADA AFFLUENTE	0.03	0.06
LORANA MONTE	0.09	1.06
LORANA VALLE	0.03	0.03
CORR'E PRUNA	0.19	0.04
CORR'E PRUNA MONTE	0.52	-
PORCEDDU	0.10	0.02
MUSEDU	0.53	0.02
TIRSO	0.02	0.01

Dove il dato di lunghezza di assorbimento non era disponibile, non è stato possibile calcolare il valore di "uptake rate" associato ad esso.

I dati ottenuti per l'azoto ammoniacale occupano un intervallo di valori tra 0.01 e 0.53  $\text{mg/m}^2 \text{min}$  con un valore medio intorno a 0.18  $\text{mg/m}^2 \text{min}$ ; per l'ortofosfato i valori sono compresi tra 0.01 e 1.06  $\text{mg/m}^2 \text{min}$  con un valore medio anch'esso di 0.18  $\text{mg/m}^2 \text{min}$  circa.

Tra i siti sardi, quello che presenta il valore del tasso di assorbimento più elevato nei confronti dell'azoto ammoniacale è il canale Museddu (il quale presentava anche il valore di "uptake length" più basso) mentre per l'ortofosfato il valore più alto si registra nel rio Lorana sito "monte". Il valore più basso, per entrambi i nutrienti, si osserva invece nel rio Sa Faa, nonostante il valore di "uptake length" non fosse tra i più elevati.

**Tabella 8. Valori di “uptake rate” di ammonio e ortofosfato dei siti piemontesi**

SITO	DATA	U N-NH <sub>4</sub> mg/m <sup>2</sup> min	U P-PO <sub>4</sub> mg/m <sup>2</sup> min
OLOBBIA	Feb 2011	0.20	0.07
OLOBBIA	Giu 2011	2.59	0.11
GUARABIONE	Feb 2011	0.03	0.03
SAN SUDARIO	Mar 2011	0.24	0.04
SAN SUDARIO	Giu 2011	0.13	0.01
SIZZONE	Mar 2011	0.31	0.08
SIZZONE	Lug 2011	0.55	0.07
STREGO	Mar 2011	-	0.07
CURONE MONTE	Mar 2011	0.01	0.01
CURONE MONTE	Nov 2011	0.01	0.003
CURONE VIVAIO	Ott 2011	0.01	-
STREGO	Mag 2012	0.04	0.08

La media dei valori di “uptake rate” dell’azoto ammoniacale è di 0.4 mg/m<sup>2</sup> min circa, con un valore minimo di 0.01 mg/m<sup>2</sup> min e massimo di 2.6 mg/m<sup>2</sup> min registrati rispettivamente nel torrente Curone e nell’Olobbia campionato in Giugno; per l’ortofosfato, la media è di 0.05 mg/m<sup>2</sup> min circa, con un intervallo di valori decisamente più contenuto. Questo suggerisce che in questi siti considerati la concentrazione di base del fiume a cui è associato il calcolo dell’“uptake rate” influisce maggiormente sui processi riguardanti l’azoto ammoniacale piuttosto che l’ortofosfato. I valori calcolati evidenziano un maggior tasso di assorbimento dell’azoto ammoniacale nei siti piemontesi rispetto a quelli sardi, facendo pensare a una serie di processi di ritenzione più numerosi, più frequenti o di maggiore importanza per questo nutriente all’interno di questi siti. Sembra valere il contrario nei confronti dell’ortofosfato.

### 2.3 Coefficiente di trasferimento di massa – Uptake velocity (Vf)

Come già accennato anche le variazioni nella velocità di corrente possono influenzare la lunghezza di assorbimento dei nutrienti (Sw).

Il coefficiente di trasferimento di massa (Vf, m/s) o “uptake velocity” esprime la velocità verticale con cui una molecola di nutriente migra nell’interfaccia acqua – sedimento anche in funzione della profondità.

Il coefficiente di trasferimento di massa è legato alla lunghezza di assorbimento dei nutrienti come segue:

$$Vf = (d \cdot v) / Sw$$

dove d è la profondità media dell’acqua (m) e v la velocità media dell’acqua (m/s).

Di seguito in tabella 9 e 10 sono mostrati i valori di “uptake velocity” per i siti sardi e per quelli piemontesi.

**Tabella 9. Valori di “uptake velocity” di ammonio e ortofosfato dei siti sardi**

SITO	Vf N-NH <sub>4</sub> mm/s	Vf P-PO <sub>4</sub> mm/s
BARRASTONI	0.05	0.04
BALDU MONTE	0.11	0.19
BALDU VALLE	0.27	-
SA FAA	0.04	0.03
POSADA AFFLUENTE	0.08	0.13
LORANA MONTE	0.07	0.07
LORANA VALLE	0.03	0.002
CORR'E PRUNA	0.09	0.04
CORR'E PRUNA MONTE	0.19	-
PORCEDDU	0.09	0.04
MUSEDU	0.09	0.03
TIRSO	0.05	0.04

I valori calcolati sono compresi tra 0.03 e 0.27 mm/s, con un valore medio di 0.09 mm/s per l'azoto ammoniacale e tra 0.002 e 0.19 mm/s con un valore medio di 0.06 mm/s relativamente all'ortofosfato, indicando complessivamente che in questi siti la profondità e la velocità media dell'acqua sembrano incidere maggiormente sul comportamento del primo nutriente piuttosto che sul secondo.

**Tabella 10. Valori di “uptake velocity” di ammonio e ortofosfato dei siti piemontesi**

SITO	DATA	Vf N-NH <sub>4</sub> mm/s	Vf P-PO <sub>4</sub> mm/s
OLOBBIA	Feb 2011	0.27	0.10
OLOBBIA	Giu 2011	1.0	0.26
GUARABIONE	Feb 2011	0.05	0.18
SAN SUDARIO	Mar 2011	0.53	0.34
SAN SUDARIO	Giu 2011	0.10	0.05
SIZZONE	Mar 2011	0.44	0.40
SIZZONE	Lug 2011	1.2	0.21
STREGO	Mar 2011	-	0.01
CURONE MONTE	Nov 2011	0.01	0.02
CURONE VIVAIO	Ott 2011	0.02	-
STREGO	Mag 2012	0.05	0.01

Anche il dato relativo all'“uptake velocity” dei siti piemontesi segue l'andamento di quello calcolato nei siti sardi nei confronti dei due nutrienti: il valore medio di tale metrica è di 0.4 mm/s per l'azoto ammoniacale e di 0.17 mm/s per l'ortofosfato.

Paragonando i siti di entrambi le regioni i valori del coefficiente di trasferimento di massa calcolati evidenziano una maggiore velocità di rimozione di entrambi i nutrienti nei siti piemontesi rispetto a quelli sardi.

## 2.4 Significato delle metriche di ritenzione dei nutrienti

Come si evince dai valori sopra riportati, le tre metriche di ritenzione esaminate non seguono lo stesso ordine crescente di valori nella maggior parte dei siti, sia in Sardegna che in Piemonte.

Tra i siti sardi, ad esempio, il canale Museddu presenta il valore di lunghezza di assorbimento dell'ammonio più basso, ma allo stesso tempo il valore del tasso di assorbimento più alto. Nel Lorana Valle, parallelamente, dove si è calcolata una "*uptake length*" di ortofosfato di 7500 m, vi è un "*uptake rate*" tra i più elevati ma un valore di "*uptake velocity*" che risulta essere il più piccolo.

Tra i siti piemontesi il torrente Guarabione presenta il valore più alto di "*uptake length*", ma valori corrispondenti di "*uptake rate*" e "*uptake velocity*" tra i più bassi.

Il caso contrario si osserva ad esempio nell'Olobbia campionato in Giugno, in cui vi è il valore più basso di "*uptake length*" di N-NH<sub>4</sub> ma anche il valore più elevato di "*uptake rate*" e tra i più alti di "*uptake velocity*". L'Olobbia presenta questo andamento anche per l'ortofosfato.

Sebbene i fattori che influenzano le dinamiche di ritenzione dei nutrienti siano molteplici, poiché associati a parametri fisici, chimici e alla componente biologica, queste variazioni osservate possono essere spiegate tenendo conto di quello che le tre metriche rappresentano.

La lunghezza di assorbimento, come detto, definisce l'efficienza di ritenzione di un nutriente e rappresenta la distanza media che una molecola di nutriente percorre nella colonna d'acqua. Dei tre parametri è dunque l'unico in funzione delle caratteristiche del flusso.

Il tasso di assorbimento rappresenta la capacità di ritenzione dei nutrienti in funzione delle concentrazioni ambientali del fiume considerato e può variare tra siti fluviali diversi o tra differenti tratti del medesimo corso d'acqua, a causa delle fluttuazioni locali della domanda biologica (Munn & Meyer, 1990).

Il coefficiente di trasferimento di massa definisce la velocità con cui un nutriente si muove attraverso la colonna d'acqua verso il sedimento e rappresenta quindi la richiesta dei nutrienti da parte del biota associato al sedimento (Wollheim et al., 2001).

Ognuna delle metriche in questione fornisce informazioni uniche circa i processi di ritenzione.

La variabilità della metrica di "*uptake length*" è stata attribuita sia ad effetti biochimici che idromorfologici, mentre studi recenti indicano la metrica di "*uptake velocity*" come un parametro più appropriato per confrontare diversi siti fluviali poiché normalizza gli effetti idromorfologici e quindi spiega la variabilità nei processi di ritenzione dei nutrienti attraverso i soli fenomeni biochimici (Wollheim et al., 2001; Hall et al., 2002). È verosimile dunque che i processi che controllano la ritenzione dei nutrienti nei siti che presentano un'alta variabilità in  $V_f$  non siano dovuti primariamente a fattori idromorfologici ma siano da attribuire a fattori biologici.

Ciò spiega perché vi siano siti con valori simili di "*uptake length*" ma con valori di "*uptake rate*" e soprattutto "*uptake velocity*" molto diversi.

Confrontando poi i due nutrienti tra loro, dal momento in cui le aggiunte di ammonio ed ortofosfato sono state condotte simultaneamente (unica soluzione contenente sali di ammonio e fosforo), si definisce il rapporto tra la lunghezza di assorbimento di N-NH<sub>4</sub> e quella di P-PO<sub>4</sub>, per poter confrontare la ritenzione di entrambi i nutrienti in uno stesso tratto sperimentale (Martì & Sabater, 1996). Rapporti minori di uno indicano una maggiore efficienza di ritenzione dell'ammonio, mentre valori superiori all'unità indicano una più alta ritenzione di ortofosfato.

Sia i fiumi sardi che i fiumi piemontesi mostrano un'efficienza più elevata nel ritenere ammonio, poiché un rapporto tra le lunghezze di assorbimento minore di uno è risultato in 10 siti su 12 in Sardegna e in 7 siti su 9 in Piemonte, suggerendo che i processi di "*uptake*" si verificano maggiormente nei confronti dell'ammonio che non dell'ortofosfato. Altri siti, quali il Baldu sito "monte" e il Posada affluente in Sardegna o il Guarabione in Piemonte, mostrano invece una più alta efficienza per l'ortofosfato. Quando due elementi sono confrontati nello stesso fiume

l'“uptake length” più corta coincide verosimilmente con l'elemento potenzialmente limitante (Martí & Sabater, 1996). In questo senso la relativa alta efficienza nella ritenzione dell'ammonio suggerisce che esso potrebbe essere un potenziale nutriente limitante in questi siti fluviali.

## 2.5 Variabilità temporale

Molti dei lavori riportati in letteratura utilizzano un approccio sperimentale basato sull'esecuzione di diversi esperimenti di *addition* su pochi siti fluviali in modo da poter valutare la variabilità temporale, sia giornaliera (Martí et al. 1994) che mensile e/o annuale (Martí & Sabater, 1996, Simon et al. 2005; Von Schiller et al. 2008), delle metriche di ritenzione.

Nel nostro caso invece la sperimentazione si è basata sulla misura delle metriche in un'unica occasione, ma in diversi siti fluviali nei quali altri gruppi di lavoro, contemporaneamente, hanno studiato le comunità biologiche e l'idromorfologia. Solo in Piemonte, sono state previste due o più campagne sperimentali attualmente ancora in itinere.

Si riporta di seguito il confronto tra i risultati ottenuti nella stagione invernale (febbraio 2011) e estiva (giugno-luglio 2001) per tre fiumi, Olobbia, Sizzano e San Sudario. Le differenze di *uptake length* tra le due stagioni sono notevoli, come viene mostrato nella figura 6, nel caso dell'Olobbia e del Sizzano.

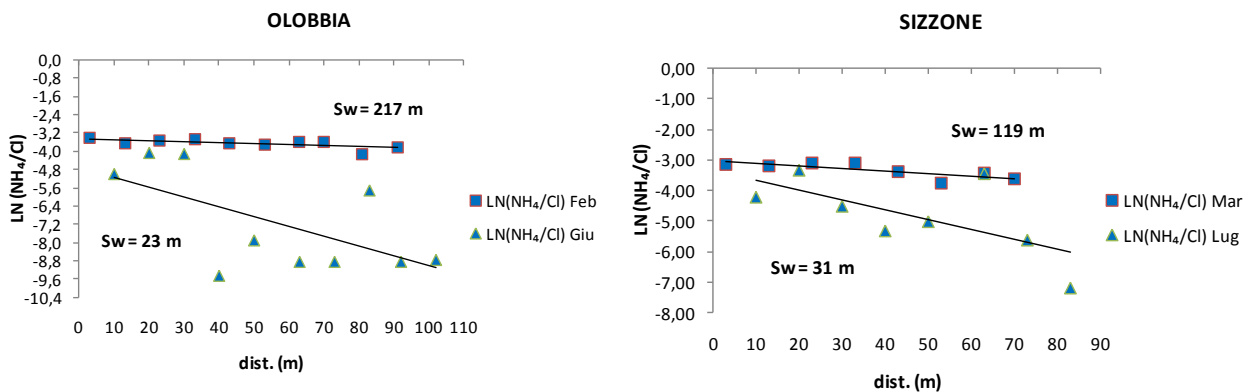


Figura 6. Confronto tra le *uptake length* di azoto ammoniacale di Olobbia e Sizzano in due diverse stagioni

Notiamo che nel periodo estivo (fine Giugno) il valore di *uptake length* di N-NH<sub>4</sub> si riduce di un ordine di grandezza rispetto a quello calcolato nel periodo invernale (Febbraio), indicando una maggiore efficienza di ritenzione. Anche il San Sudario mostra un comportamento simile per l' N-NH<sub>4</sub>, anche se la diminuzione dell'*uptake length* è molto più limitata (Fig. 7).

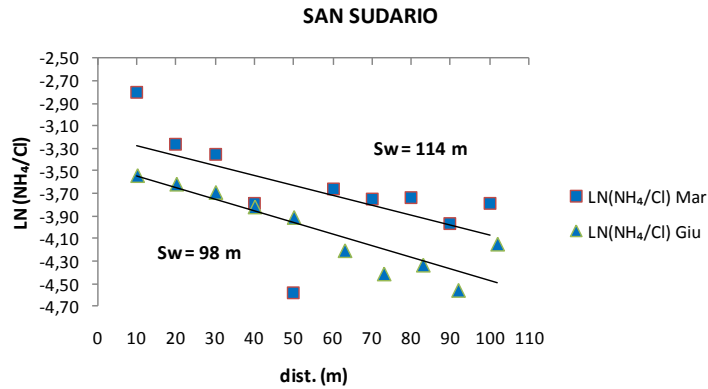


Figura 7. Confronto tra le uptake length di azoto ammoniacale del San Sudario in due diverse stagioni

Per il P-PO<sub>4</sub> le differenze sono meno evidenti nel Sizzone e nel San Sudario (Fig. 8), e indicano una minore efficienza di ritenzione nel periodo estivo. Il contrario si verifica invece nell'Olobbia dove l' uptake length varia da 582 a 87 m da febbraio a giugno (Fig. 9).

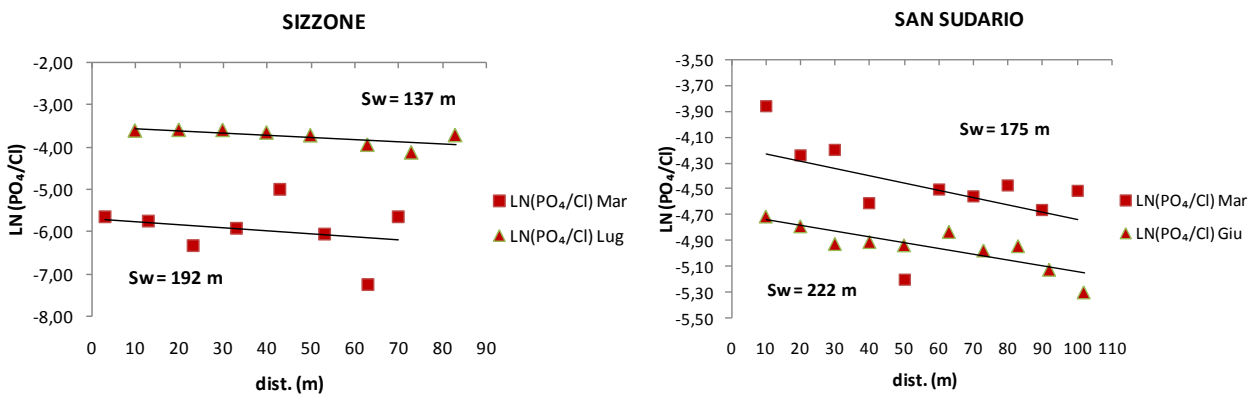


Figura 8. Confronto tra le uptake length di ortofosfato di Sizzone e San Sudario in due diverse stagioni

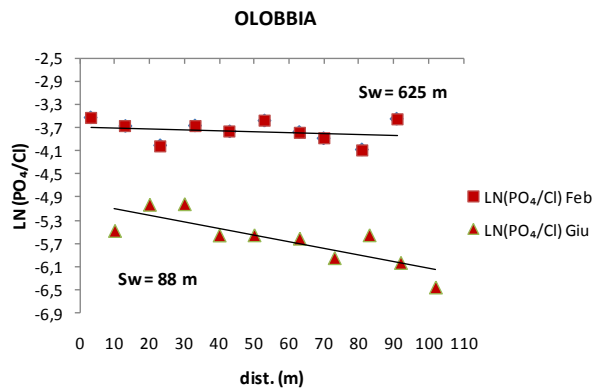


Figura 9. Confronto tra le misure di uptake length dell'ortofosfato nell' Olobbia

Vengono riportate di seguito anche le tabelle relative ai valori di “*uptake rate*” ed “*uptake velocity*” di Olobbia, San Sudario e Sizzone campionati in inverno ed estate, sia per l’ammonio che per l’ortofosfato (Tab. 11, 12).

**Tabella 11. Confronto tra le metriche di *uptake rate* e *uptake velocity* di azoto ammoniacale di Olobbia, San Sudario e Sizzone in due diverse stagioni**

	<b>U N-NH<sub>4</sub></b>	<b>U N-NH<sub>4</sub></b>	<b>Vf N-NH<sub>4</sub></b>	<b>Vf N-NH<sub>4</sub></b>
	<b>Inverno</b>	<b>Estate</b>	<b>Inverno</b>	<b>Estate</b>
	mg/m <sup>2</sup> min	mg/m <sup>2</sup> min	mm/s	mm/s
<b>OLOBBIA</b>	0.20	2.59	0.27	1.00
<b>SAN SUDARIO</b>	0.24	0.13	0.53	0.10
<b>SIZZONE</b>	0.31	0.55	0.44	1.20

Anche le altre due metriche di ritenzione, “*uptake rate*” ed “*uptake velocity*”, sembrano seguire lo stesso andamento della lunghezza di assorbimento corrispondente nei confronti dell’azoto ammoniacale nei casi di Olobbia e Sizzone. Qui infatti, i rispettivi valori sono decisamente più elevati nella stagione estiva, testimoniando una maggiore richiesta e velocità di uptake del suddetto nutriente. Sembra valere il contrario per il San Sudario, dove però la differenza tra i valori è meno accentuata.

**Tabella 12. Confronto tra le metriche di *uptake rate* e *uptake velocity* di ortofosfato di Olobbia, San Sudario e Sizzone in due diverse stagioni**

	<b>U P-PO<sub>4</sub></b>	<b>U P-PO<sub>4</sub></b>	<b>Vf P-PO<sub>4</sub></b>	<b>Vf P-PO<sub>4</sub></b>
	<b>Inverno</b>	<b>Estate</b>	<b>Inverno</b>	<b>Estate</b>
	mg/m <sup>2</sup> min	mg/m <sup>2</sup> min	mm/s	mm/s
<b>OLOBBIA</b>	0.07	0.11	0.10	0.26
<b>SAN SUDARIO</b>	0.04	0.01	0.34	0.05
<b>SIZZONE</b>	0.08	0.07	0.40	0.21

Per quanto riguarda l’ortofosfato, le differenze sono molto meno evidenti. Considerando il tasso di assorbimento la situazione rimane pressoché invariata tra le due stagioni, mentre sembra esserci un aumento di velocità di trasferimento del nutriente al sedimento nell’Olobbia e una sua diminuzione nel San Sudario e nel Sizzone nella stagione estiva.

Se è logico aspettarsi che la ritenzione di nutrienti sia soggetta ad una grande variabilità temporale, difficile è individuare il fattore ambientale che determina tale variazione dal momento che la ritenzione è influenzata dalla temperatura, ma anche ad esempio dalla portata, dalla concentrazione dei nutrienti e dall’abbondanza delle comunità biologiche, che possono cambiare nel corso delle stagioni. Ad esempio, in tutti i tre fiumi considerati la portata diminuisce molto da febbraio a giugno, ma con effetti diversi nei tre ambienti considerati e a seconda del nutriente (N-NH<sub>4</sub> o P-PO<sub>4</sub>). Queste differenze tra diversi siti suggeriscono che i processi che influenzano la ritenzione dei due nutrienti non sono gli stessi, ma subiscono l’effetto delle caratteristiche proprie di ogni singolo corso d’acqua e nello specifico, di ogni tratto sperimentale selezionato.

Risulta dunque difficile attenersi ad una regola generale che vada bene per tutti: mentre in qualche sito si nota che i valori di “*uptake length*”, “*uptake rate*” e “*uptake velocity*” di entrambi i nutrienti sono più alti nel periodo tardo invernale (Febbraio-Marzo) rispetto a quelli calcolati in primavera/estate (Aprile, Giugno, Luglio), come testimoniano i casi dell’Olobbia e del Sizzone, in altri non sembra essere così.

## 2.6 Confronto con i dati di letteratura

In letteratura scientifica sono presenti numerosi dati riguardo alla tematica di ritenzione dei nutrienti ottenuti attraverso sperimentazioni condotte con diversi approcci (aggiunta di nutrienti e isotopi) soprattutto negli Stati Uniti. In Italia, fino ad oggi, la tematica relativa alla capacità di autodepurazione dei fiumi non è mai stata affrontata attraverso la misura delle metriche di ritenzione, con due eccezioni relative ad un piccolo fiume alterato, il Fosso Bagnatore e al torrente Simbrivio entrambi nel Lazio (*Ruggiero et al.*, 2000; *Proia et al.*, 2007). Le stime dell’efficienza di ritenzione di nutrienti in corsi d’acqua presenti sul territorio italiano ottenute nel presente studio rappresentano quindi delle misure del tutto originali e innovative.

Nonostante le metriche di ritenzione siano soggette ad una forte variabilità non solo spaziale ma anche temporale, abbiamo ritenuto utile riportare in tabella 13 alcuni dati ricavati dalla letteratura, ottenuti mediante esperimenti di aggiunta di nutrienti a tasso costante in corsi d’acqua di piccole dimensione comparabili quindi ai nostri siti di studio.

Occorre però considerare che la maggior parte dei lavori riportati in letteratura si riferiscono a campagne sperimentali effettuate su pochi siti fluviali in diverse date di campionamento durante l’anno, mentre l’attività da noi condotta si è concentrata su un numero maggiore di fiumi in una o due date.



Tabella 13. Valori di “Uptake length”, “Uptake rate” e “Uptake velocity” in corsi d’acqua studiati in letteratura (n.m. = non misurato)

SITO	STATO	Sw N-NH <sub>4</sub> m	U N-NH <sub>4</sub> mg m <sup>-2</sup> min	Vf N-NH <sub>4</sub> mm s <sup>-1</sup>	Sw P-PO <sub>4</sub> m	U P-PO <sub>4</sub> mg m <sup>-2</sup> min	Vf P-PO <sub>4</sub> mm s <sup>-1</sup>	Riferimento
Riera Major	Spagna	68-693	n.m.	n.m.	110-2793	n.m.	n.m.	Butturini & Sabater, 1998
Pioneer Creek	Idaho, USA	n.m.	n.m.	n.m.	370	0.04	0.01	Davis & Minshall, 1999
Cliff Creek	Idaho, USA	n.m.	n.m.	n.m.	370	0.08	0.01	”
Kings Creek	Kansas, USA	66-261	0.002-0.4	0.004-0.10	n.m.	n.m.	n.m.	Dodds et al., 2002
La Solana	Spagna	121	0.1	n.m.	89	0.05	n.m.	Martí & Sabater, 1996
Riera Major	Spagna	137	0.2	n.m.	177	0.20	n.m.	”
Boulder Creek	Wisconsin, USA	n.m.	n.m.	n.m.	719	0.95	0.38	Orr et al., 2006
Torrente Simbrivio	Lazio, Italia	774	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	n.m.	Proia et al., 2007
La Tordera	Spagna	96	0.03	0.06	406	0.009	0.01	Von Schiller et al., 2008
Aiguaviva Park	Spagna	335	0.01	0.003	145	0.007	0.01	”
Castanyet	Spagna	475	0.02	0.02	978	0.0002	0.01	”
Sant Celoni	Spagna	476	0.01	0.02	1083	0.01	0.01	”
Santa Coloma sur	Spagna	158	0.09	0.12	391	0.006	0.05	”
Santa Coloma Norte	Spagna	370	0.03	0.03	153	0.003	0.08	”
Font del Regàs	Spagna	162	0.07	0.09	294	0.002	0.05	”
Fuirosos	Spagna	173	0.01	0.02	441	0.0002	0.01	”
Gualba	Spagna	249	0.03	0.05	502	0.001	0.03	”
Montbarbat	Spagna	238	0.05	0.01	64	0.002	0.03	”
Santa Fe	Spagna	162	0.07	0.08	655	0.002	0.02	”

<b>SITO</b>	<b>STATO</b>	<b>Sw N-NH<sub>4</sub></b> m	<b>U N-NH<sub>4</sub></b> mg m <sup>-2</sup> min	<b>Vf N-NH<sub>4</sub></b> mm s <sup>-1</sup>	<b>Sw P-PO<sub>4</sub></b> m	<b>U P-PO<sub>4</sub></b> mg m <sup>-2</sup> min	<b>Vf P-PO<sub>4</sub></b> mm s <sup>-1</sup>	<b>Riferimento</b>
<b>Residential Park</b>	Spagna	104	0.02	0.02	62	0.04	0.03	"
<b>Rielles</b>	Spagna	532	0.02	0.03	1171	0.006	0.01	"
<b>Riudarenes</b>	Spagna	433	0.03	0.02	656	0.007	0.01	"
<b>Sawmill Branch</b>	North Carolina, USA	n.m.	n.m.	n.m.	3-84	0.015-0.27	0.01-0.04	Webster et al., 1991
<b>Hugh White Creek</b>	North Carolina, USA	n.m.	n.m.	n.m.	9-81	0.016-0.13	0.02-0.03	"
<b>Walker Branch</b>	Tennessee, USA	23	0.02	0.14	n.m.	n.m.	n.m.	"
<b>Mack Creek</b>	Oregon, USA	55	0.04	0.2	n.m.	n.m.	n.m.	"

I valori della metrica di “*uptake length*” di azoto ammoniacale (N-NH<sub>4</sub>) ed ortofosfato (P-PO<sub>4</sub>) ottenuti per questo studio ricadono nell’intervallo dei valori riportati in tabella per alcuni siti fluviali.

In molti casi i valori di lunghezza di assorbimento sono inferiori a 100 metri, mentre nel presente studio solo in qualche sito piemontese si sono misurate lunghezze di assorbimento inferiori a 100 m nel periodo estivo.

Anche le metriche di “*uptake rate*” e “*uptake velocity*” misurate in altri studi sono in buona corrispondenza con quelle misurate nel presente lavoro, ricadendo in un range di 10<sup>-3</sup> – 10<sup>-1</sup> sia per l’ammonio che per l’ortofosfato.

## Bibliografia

Balestrini R., Arese C., Lotti A., 2010. Linee guida e protocolli operativi relativi alle attività di campo per la valutazione della capacità di rimozione dei nutrienti nei fiumi. LIFE 08 ENV/IT /000413 – INHABIT, Deliverable Pd4, 51 pp. - [www.life-inhabit.it](http://www.life-inhabit.it)

Balestrini R., Biazzì D., Cazzola M., Ferrero T., 2012. Rapporto tecnico – Caratterizzazione fisico-chimica ed idromorfologica dei siti studiati. - LIFE 08 ENV/IT /000413 – INHABIT, Deliverable I2d1, 41 pp. - [www.life-inhabit.it](http://www.life-inhabit.it)

Butturini A. & Sabater F., 1998. Ammonium and phosphate retention in a Mediterranean stream: hydrological versus temperature control. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 55, 1938-1945.

Dodds W.K., Lòpez A.J., Bowden W.B., Gregory S., Grimm N.B., Hamilton S.K., Hershey A.E., Martí E., McDowell W.H., Meyer J.L., Morrall D.D., Mulholland P.J., Peterson B.J., Tank J.L., Valett H.M., Webster J.R., Wollheim W., 2002. N uptake as a function of concentration in streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 21, 206-220.

Davis J.C. & Minshall G.W., 1999. Nitrogen and phosphorus uptake in two Idaho (USA) headwater wilderness streams. *Oecologia*, 119, 247-255.

Hall R.O., Tank J.L., Sobota D.J., Mulholland P.J., O’Brien J.M., Dodds W.K., Webster J.R., Valett H.M., Poole G.C., Peterson B.J., Meyer J.L., McDowell W.H., Johnson S.L., Hamilton S.K., Grimm N.B., Gregory S.W., Dahm C.N., Cooper L.W., Ashkenas L.R., Thomas S.M., Sheibley R.W., Potter J.D., Niederlehner B.R., Johnson L.T., Helton A.M., Crenshaw C.L., Burgin A.J., Bernot M.J., Beaulieu J.J., Arango C.P., 2009. Nitrate removal in stream ecosystems measured by N<sup>15</sup> addition experiments: total uptake. *Limnol. Oceanogr.*, 54, 653-665.

Martí E., Armengol J., Sabater F., 1994. Day and night nutrient uptake differences in a calcareous stream. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 25, 1756-1760.

Martí E. & Sabater F., 1996. High variability in temporal and spatial nutrient retention in Mediterranean streams. *Ecology*, 77, 854-869.

Munn N. L. & Meyer J. L., 1990. Habitat-specific solute retention in two small streams: an intersite comparison. *Ecology*, 71, 2069-2082.

Orr C.H., Rogers K.L., Stanley E.H., 2006. Channel morphology and P uptake following removal of a small dam. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 25, 556-568.

Proia L., Carchini G., Caprioli R., Ruggiero A., 2007. La ritenzione di azoto ammoniacale e azoto nitrico nel tratto sorgentizio di un torrente mediterraneo. *Studi Trent. Sci. Nat., Acta Biol.*, 83, 199-203.

Ruggiero A., Solimini A.G., Anello M., Romano A., De Cicco M., Carchini G., 2006. Nitrogen and phosphorus retention in a human altered stream. *Chemistry and Ecology*, 22, 1-13.

Simon K.S., Townsend C.R., Biggs B.J.F., Bowden W.B., 2005. Temporal variation of N and P uptake in two New Zealand streams. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 24, 1-18.

Stream Solute Workshop, 1990. Concepts and methods for assessing solute dynamics in stream ecosystems. *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 9(2), 95-119.

Von Schiller D., Martì E., Riera J.L., Ribot M., Argerich A., Fonollà P., Sabater F., 2008. Inter-annual, annual, and seasonal variation of P and N retention in a perennial and an intermittent stream. *Ecosystems*, 11, 670-687.

Webster J.R., D'Angelo D.J., Peters G.T., 1991. Nitrate and phosphate uptake in streams at Coweeta Hydrologic Laboratory. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 24, 1681-1686.

Wollheim W.M., Peterson B.J., Deegan L.A., Hobbie J.E., Hooker B., Bowden W.B., Edwardson K.J., Arscott D.B., Hershey A.E., Finlay J., 2001. Influence of stream size on ammonium and suspended particulate nitrogen processing. *Limnol. Oceanogr.*, 46, 1-13.