



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 I2d1

Rapporto tecnico - Caratterizzazione fisico-chimica e idromorfologica dei siti studiati.

Report on physico-chemical and hydrological characterization of the study sites

Balestrini R.¹, Biazzì D.¹, Cazzola M.¹, Ferrero T.²

¹ CNR-IRSA - Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca sulle Acque, U.O.S. Brugherio, Via del Mulino 19, 20861, Brugherio (MB)

² ARPA Piemonte - Arpa Piemonte - Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale, Qualità delle acque - Asti, Piazza Vittorio Alfieri 33, 14100 Asti

Brugherio, 30 marzo 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.

ARPA PIEMONTE

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

Sommario

Riassunto.....	4
Extended Abstract.....	5
1. BREVE INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL DELIVERABLE	6
2. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E MORFOLOGICHE.....	7
2.1 Portata.....	7
2.2 Velocità di corrente.....	10
2.3 Larghezza dell'alveo e profondità	13
2.4 Flusso e substrato	14
2.5 Caratteristiche fisiche del sistema iporreico.....	21
3. CARATTERISTICHE CHIMICHE.....	30
3.1 Piemonte	33
3.2 Sardegna	36
Considerazioni conclusive	39
Bibliografia	41

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 degli aspetti fisico-chimici ed idromorfologici che caratterizzano i siti fluviali oggetto di indagine. La caratterizzazione idromorfologica e fisico-chimica riveste un ruolo cruciale nell'interpretazione delle dinamiche di ritenzione in quanto consente di descrivere la composizione chimico-fisica di base delle acque e di definire importanti aspetti in grado di influire sul tempo di residenza dell'acqua e sugli scambi acqua-sedimento. Per i siti fluviali investigati nelle due regioni oggetto di studio, Piemonte e Sardegna, sono presentate le seguenti variabili idrologiche e morfologiche: portata, velocità di corrente, tipo di flusso e di substrato e caratteristiche fisiche del sistema iporreico. La misura della portata è stata effettuata simultaneamente in accordo con due modalità. Per i siti investigati sono riportati e commentati i valori di portata misurati in accordo con i due protocolli, insieme alle misure della portata specifica in grado di fornire un'indicazione della dimensione del tratto fluviale. Per la velocità di corrente è presentato il dettaglio dei valori massimi, medi e minimi calcolati sulla base dell'analisi delle curve di andamento della conducibilità ottenuti attraverso l'utilizzo di un tracciante conservativo (cloruro). Alcuni di queste variabili, e rapporti tra di esse, sono commentati al fine di evidenziare eventuali fenomeni di ritenzione dovuta a processi idrologici in corso sul sito. I tipi di flusso e substrato, in grado di influenzare il comportamento dei nutrienti condizionandone il trasporto e controllandone il tempo di residenza, sono registrati in accordo con la codifica del metodo CARAVAGGIO. I risultati sono descritti mettendo in evidenza la considerevole eterogeneità osservata per queste due variabili. Le caratteristiche del sistema iporreico sono descritte mediante il confronto tra conducibilità e temperatura dell'acqua superficiale e iporreica, indicatore del grado di miscelamento delle acque superficiali e iporreiche, e la misura del gradiente idraulico verticale, che indica la direzione dello scambio tra il flusso superficiale e sotterraneo.

Sono infine presentati i dati relativi alle analisi delle variabili chimico-fisiche dei siti investigati insieme al dettaglio dei metodi analitici utilizzati e ad alcune considerazioni descrittive sui risultati ottenuti.

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 aimed at evaluating the nutrient retention efficiency by measuring the nutrient uptake length by means of short-term nutrient additions experiments in the study river reaches. Within activity group I2 this deliverable provides a description of physicochemical and hydrological features of the investigated river reaches. Physicochemical and hydrological characterisation plays a key role in the interpretation of nutrient retention dynamics for it enables to describe the baseline water composition and to define primary aspects influencing water residence time and water-sediment exchanges. For all selected river sites investigated in Piedmont and Sardinia the following hydrological and morphological variables are presented: water discharge, current velocity, flow type, substrate type and physical features of hyporheic zone. Discharge has been measured simultaneously according to two methods. Discharge values according to both the two protocols, together with values of specific discharge providing an indication of the size of the site, are reported and described. Maximum, mean and minimum values of water velocity have been extrapolated from the analysis of the conductivity trend curves obtained by using a conservative tracer as chloride. Some of these variables, and ratios between some of them, are described in order to highlight possible retention phenomena caused by hydrological processes acting on the site. Flow types and substrates are recorded using CARAVAGGIO codes. Results of flow and substrate characteristics are described and high variability observed in the surveyed sites is emphasized. Hyporheic zone characteristics are presented through the comparison between conductivity and temperature in surface and hyporheic water, indicating the mixing grade of the waters, and the measure of the vertical hydraulic gradient, showing the direction of surface and groundwater fluxes in each measuring point within each study site. Lastly, data related to physicochemical variables are presented, together with details of the analytical methods and some descriptive comments on the obtained results.

1. BREVE INTRODUZIONE E OBIETTIVI DEL DELIVERABLE

La caratterizzazione idromorfologica e chimica dei siti fluviali oggetto del presente progetto è fondamentale per comprendere i processi alla base della circolazione dei nutrienti nelle acque superficiali. Il tempo di residenza dell'acqua e gli scambi tra acqua e sedimento dipendono dalle caratteristiche idromorfologiche dei corsi d'acqua e sono tra i fattori che maggiormente ne condizionano la capacità di ritenzione dei nutrienti. La composizione chimica delle acque è cruciale sia nei processi chimici di ritenzione, quali ad esempio l'adsorbimento e la precipitazione, sia nei processi biologici, quali ad esempio la respirazione e la mineralizzazione. La caratterizzazione chimica delle acque è altresì indispensabile per conoscere le concentrazioni di base delle specie chimiche delle quali vengono poi innalzati i livelli durante gli esperimenti di aggiunta di nutrienti.

Gli obiettivi del deliverable sono focalizzati alla descrizione delle caratteristiche idrologiche, morfologiche e chimiche di ogni sito in cui sono stati condotti gli esperimenti di aggiunta di nutrienti. Ogni circa 10m in ciascun transetto di circa 100 m sono state rilevate e descritte una lunga serie di caratteristiche fisiche e chimiche che sono ritenute importanti per interpretare i processi alla base della ritenzione dei nutrienti. Questa caratterizzazione a livello di microscala viene completata dai risultati ottenuti con l'applicazione del metodo Caravaggio che fornisce una visione a scala più ampia (tratti di 500m) relativa alla caratterizzazione dell'habitat e dell'idromorfologia, sintetizzabile anche attraverso la formulazione di numerosi indici.

Molti di questi parametri, sia quelli di microscala che gli indici e sub-indici derivati dal Caravaggio verranno successivamente selezionati e posti in relazione con le varie metriche di ritenzione attraverso diverse tecniche statistiche.

L'analisi dettagliata delle caratteristiche rilevate consentirà di evidenziare le differenze tra i corpi idrici appartenenti a diversi tipi fluviali e localizzati in due regioni, il Piemonte e la Sardegna, molto differenti dal punto di vista climatico. Dove sono stato scelti tratti sullo stesso corso d'acqua a monte e a valle di un manufatto, quale ad esempio un culvert o un guado, l'attenzione si focalizzerà sulle differenze potenzialmente attribuibili a tali alterazioni morfologiche. Si potranno infine verificare alcuni presupposti del piano sperimentale scelto ad esempio la diversificazione dei siti soprattutto dal punto di vista idromorfologico, la presenza di siti "reference" e l'assenza di acque inquinate da sorgenti puntiformi come scarichi civili, scolmatori etc.

2. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E MORFOLOGICHE

2.1 Portata

Le misure di portata ottenute con due metodi diversi, cioè il mulinello e il tracciante conservativo, sono state confrontate per individuare eventuali discrepanze nei valori. Dal grafico in figura 1 in cui vengono riportati i valori misurati in tutti i corsi d'acqua studiati si evince che i due metodi di misura sono in buon accordo tra loro ($R^2 = 0.93$).

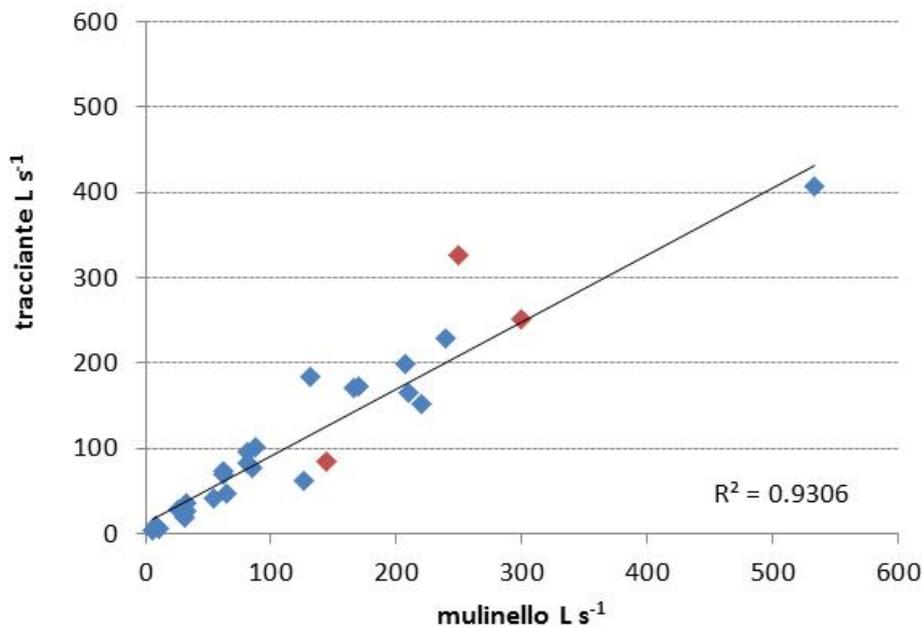


Figura 1. Confronto tra le misure di portata effettuate con il mulinelli e il tracciante conservativo. In rosso sono indicati casi esclusi dalla retta in cui non è stato possibile usare il mulinello e per i quali la portata è stata stimata misurando la velocità di un piccolo corpo galleggiante.

In tabella 1 e 2 vengono invece riportati i valori di portata (Q) ottenuti con il tracciante conservativo e quelli relativi alla "portata specifica" (Q/w) cioè il rapporto tra portata ($m^3 s^{-1}$) e l'ampiezza media dell'alveo bagnato (w , m). Questo parametro viene utilizzato in questo tipo di studi come misura della dimensione del fiume (Hall et al., 2009) e può essere espresso anche come prodotto tra la velocità e la profondità.

I valori di portata ottenuti per i siti sardi variano da 19 a $277 l s^{-1}$, mentre in Piemonte l'intervallo è compreso tra 4.5 e $230 l s^{-1}$, con un unico caso con portata superiore a $400 l s^{-1}$ (Sizzone Monte) dove però non è stato possibile stimare le metriche di ritenzione.

Tabella 1. Valori di portata ($l s^{-1}$) e di portata specifica ($m^2 s^{-1}$) dei fiumi sardi

SITI	Q $l s^{-1}$	Q/w $m^2 s^{-1}$
BARRASTONI	47.5	0.015
BALDU MONTE	164.4	0.040
BALDU VALLE	152.6	0.040
SA FAA	10.3	0.004
POSADA AFFLUENTE	95.1	0.028
TERRAMALA	62.1	0.017
LORANA MONTE	74.2	0.024
LORANA VALLE	69.4	0.015
CORR'E PRUNA	252.3	0.042
CORR'E PRUNA MONTE	277.0	0.045
PORCEDDU	89.2	0.015
CANALE M.D.	27.2	0.009
TIRSO	19.0	0.007

Tabella 2. Valori di portata ($l s^{-1}$) e di portata specifica ($m^2 s^{-1}$) dei fiumi piemontesi

SITI	DATA	Q $l s^{-1}$	Q/w $m^2 s^{-1}$
OLOBBIA	Feb 2011	199.4	0.047
OLOBBIA	Giu 2011	101.3	0.033
GUARABIONE	Feb 2011	170.0	0.027
GUARABIONE PONTE	Apr 2011	228.5	0.034
SAN SUDARIO	Mar 2011	172.3	0.029
SAN SUDARIO	Giu 2011	41.1	0.008
SIZZONE	Mar 2011	185.1	0.039
SIZZONE	Lug 2011	85.1	0.020
SIZZONE MONTE	Mar 2011	406.1	0.063
STREGO	Mar 2011	82.2	0.023
CURONE MONTE	Mar 2011	28.3	0.015
CURONE MONTE	Nov 2011	4.5	0.003
CURONE VIVAIO	Ott 2011	5.8	0.002

La portata specifica varia da 0.04 a 0.45 $m^2 s^{-1}$ in Sardegna e da 0.002 a 0.063 $m^2 s^{-1}$ in Piemonte. Portata e portata specifica sono in buon accordo e ciò indica che la dimensione del fiume coincide con la portata (Fig.2).

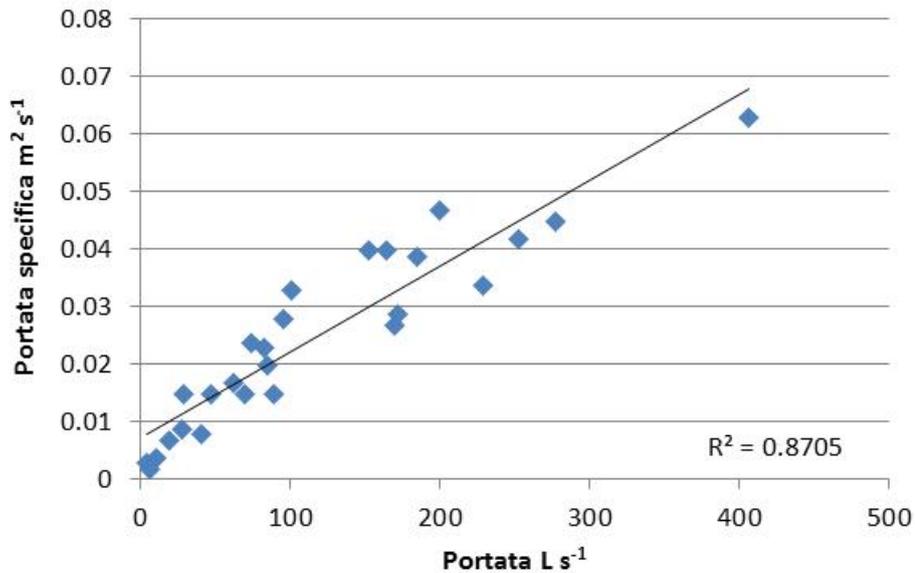


Figura 2. Confronto tra le misure di portata e di portata specifica ottenuta dal rapporto tra la portata e l'ampiezza dell'alveo bagnato.

La media dei valori di tutte le portate si attesta intorno a 100 l s^{-1} per i siti sardi e intorno a 110 l s^{-1} per quelli piemontesi. I valori di portata, complessivamente, coprono un buon intervallo di valori in entrambe le regioni come si può osservare dagli istogrammi di frequenza mostrati nelle figure 3 e 4.

Confrontando tra loro siti posti a breve distanza sul medesimo corso d'acqua, come nel caso del Baldu, del Lorana e del Corr'e Pruna in Sardegna, si notano differenze di portata, seppur molto contenute. Queste differenze possono essere spiegate con un errore associato al metodo, in quanto in questi casi gli esperimenti sono stati eseguiti a distanza di qualche ora o in giorni diversi, o possono essere ascrivibili all'eventuale presenza di canali di scolo o scolmatori (segnalateci in alcuni casi dagli abitanti) che presentano variazioni di portata giornaliera o orarie.

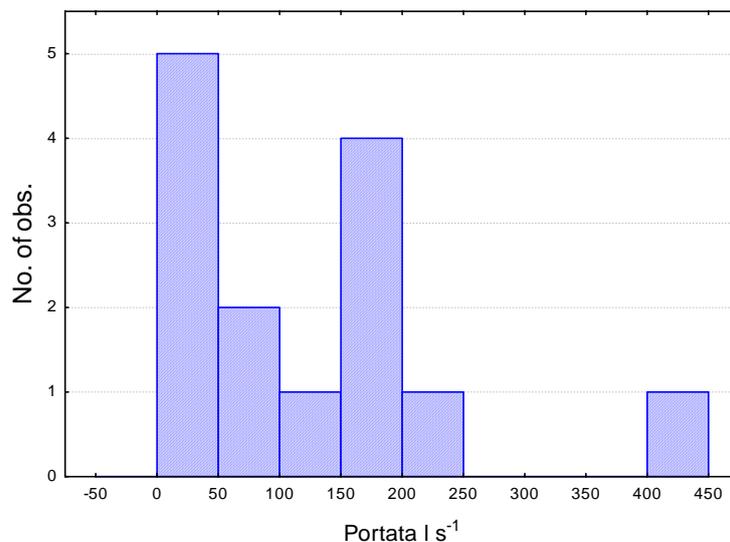


Figura 3. Istogramma di frequenza relativo alla portata dei fiumi piemontesi

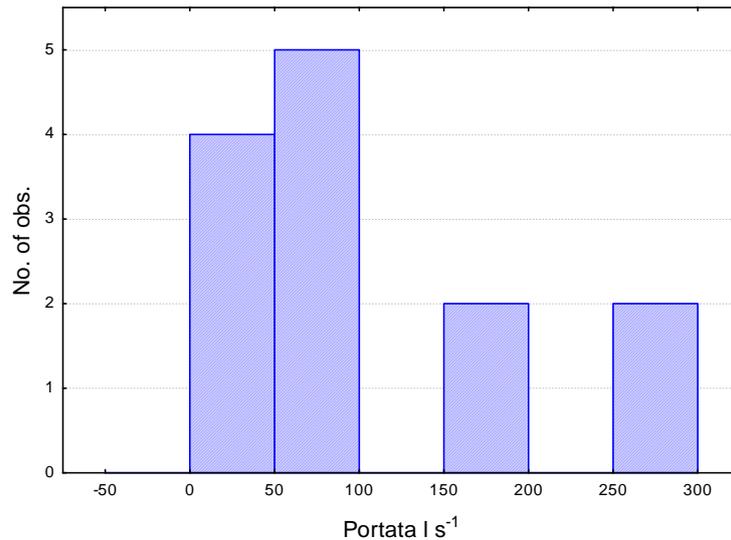


Figura 4. Istogramma di frequenza relativo alla portata dei fiumi sardi.

2.2 Velocità di corrente

La velocità di corrente può essere stimata utilizzando le variazioni di conducibilità in funzione del tempo all'interno del tratto sperimentale ottenute durante l'esperimento di addizione. Esso può servire per valutare i possibili fenomeni di diluizione lungo il tratto considerato e può fornire informazioni sulle caratteristiche idrologiche e idrauliche a scala di sito.

L'andamento della conducibilità durante un esperimento di aggiunta di nutrienti può essere rappresentata graficamente da una curva, come mostrato in figura 5. È visibile anche il tracciato teorico (linea tratteggiata), in assenza di fenomeni di ritenzione idrologica. Le porzioni delle due curve che non si sovrappongono vengono definite come "transient storage zones", ovvero zone in cui si manifestano verosimilmente la maggior parte dei processi di ritenzione idrologica all'interno un corso d'acqua.

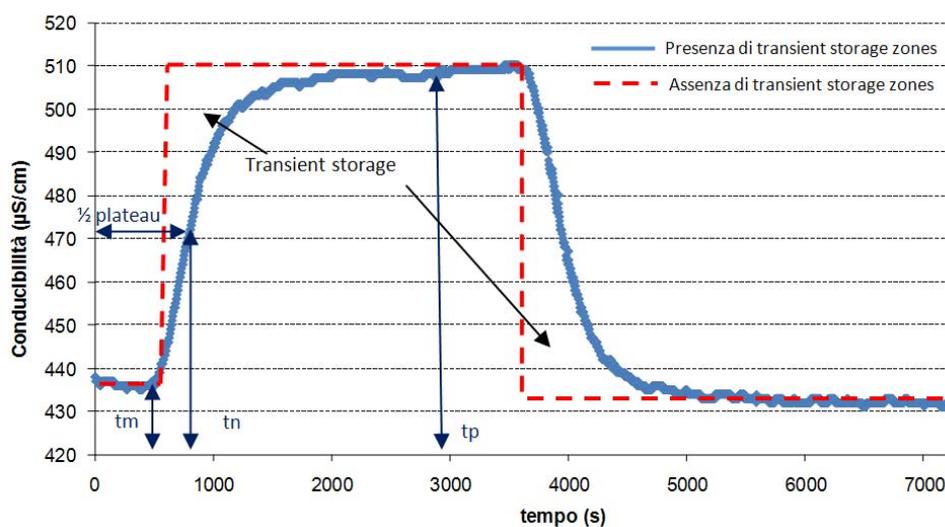


Figura 5. Andamento della conducibilità durante un esperimento di short term additon. È rappresentato l'andamento misurato con quello teorico, in assenza di fenomeni di ritenzione idrologica (Dati IRSA).

La forma della curva dipende dalle variazioni nella velocità dell'acqua nella porzione di fiume in esame. In particolare, se la parte crescente della curva è ripida, la velocità dell'acqua è relativamente omogenea, mentre se la curva sale lentamente la velocità è da ritenersi più eterogenea. Ne consegue che la stima della velocità dell'acqua che si ottiene da questi calcoli rappresenta una misura integrata della velocità sull'intero tratto considerato.

In base al tempo impiegato dal tracciante per raggiungere le differenti concentrazioni, i dati raccolti possono essere utilizzati per calcolare:

- Velocità massima: calcolata dividendo la lunghezza del tratto considerato per il tempo intercorso per rilevare il primo aumento di concentrazione del tracciante (Fig. 5, T_m);
- Velocità minima: calcolata dividendo la lunghezza del tratto considerato per il tempo necessario al tracciante per raggiungere il plateau di concentrazione (Fig. 5, T_p). Il plateau di concentrazione è la concentrazione massima che il tracciante può raggiungere una volta completamente miscelato lungo il tratto di fiume selezionato. Il tempo (T_p) è una stima del tempo di ricambio dell'acqua nel tratto in esame, rappresenta inoltre il tempo minimo necessario per raccogliere i campioni al plateau ed è il tempo minimo necessario per effettuare l'esperimento di aggiunta;
- Velocità media: calcolata dividendo la lunghezza del tratto considerato per il tempo necessario per aumentare la concentrazione del tracciante alla metà della concentrazione di plateau (Fig. 5, T_n). Questo valore rappresenta una media delle diverse velocità dell'acqua lungo il tratto legata alla morfologia (presenza di pools, runs, riffles etc.) e agli scambi tra l'acqua superficiale e l'iporreico.

In particolare il rapporto tra velocità minima e velocità media è un indicatore della ritenzione dovuta a processi idrologici del corso d'acqua. Se il rapporto è uguale a 1 la ritenzione idrologica è trascurabile (ad esempio, nei canali artificiali). Valori minori di 1 indicano, invece, che esiste una data ritenzione idrologica dovuta a pozze, vortici o alla presenza di interazioni laterali e verticali tra l'acqua superficiale, il comparto iporreico e l'acqua sub-superficiale proveniente dalla zona riparia. Queste zone responsabili di un complessivo rallentamento del flusso dell'acqua superficiale verso valle rappresentano le "water transient storage zones". Ulteriori dettagli sull'estrapolazione dei dati di velocità di corrente dalla curva di conducibilità sono riportati in Arese et al., 2010.

Di seguito, in tabella 3 e 4, sono presentati i valori delle velocità calcolate sulla base di questi calcoli.

Tabella 3. Dati di velocità di corrente e rapporto tra velocità di corrente minima e media dei siti sardi

SITO	V.MAX m/s	V.MEDIA m/s	V. MIN m/s	V.MIN/ V.MEDIA
BARRASTONI	0.123	0.076	0.027	0.36
BALDU MONTE	0.205	0.144	0.039	0.27
BALDU VALLE	0.305	0.240	0.062	0.26
SA FAA	0.073	0.044	0.015	0.34
POSADA AFF.	0.132	0.098	0.028	0.29
TERRAMALA	0.109	0.068	0.032	0.47
LORANA MONTE	0.170	0.115	0.026	0.23
LORANA VALLE	0.076	0.054	0.022	0.41
CORR'E PRUNA	0.439	0.346	0.120	0.35
CORR'E PRUNA M.	0.243	0.225	0.165	0.73
PORCEDDU	0.205	0.165	0.088	0.53
CANALE M.D.	0.164	0.131	0.059	0.45
TIRSO	0.147	0.056	0.016	0.29

La velocità massima, che all'interno di un corso d'acqua si registra verosimilmente in prossimità della porzione centrale dell'alveo, presenta valori compresi tra 0.073 m s^{-1} misurati nel rio Sa Faa e 0.440 m s^{-1} circa rilevati nel rio Corr'e Pruna, mentre la velocità minima, che caratterizza le porzioni laterali del corso d'acqua dove il flusso è generalmente più lento, ricade in un intervallo di valori compresi tra 0.015 m s^{-1} misurati ancora nel rio Sa Faa e 0.165 m s^{-1} registrati nel rio Corr'e Pruna sito "monte". I valori di velocità media sono compresi invece tra 0.054 e 0.346. Il rio Corr'e Pruna presenta i valori più alti di velocità di corrente massima e media, mentre è il rio Sa Faa ad avere i valori più bassi, sia di velocità massima, che media, che minima.

Riguardo al rapporto tra velocità di corrente minima e media, in tutti i siti selezionati esso è minore di 1, con un valore medio intorno a 0.35, stando ad indicare la possibile esistenza di una discreta ritenzione idrologica. E' interessante considerare che anche nel Corr'e Pruna e nel Canale M.D. siti che presentano pesanti alterazioni idromorfologiche, come la cementificazione dell'alveo e delle rive, l'arginatura e la canalizzazione, questo rapporto si è mantenuto inferiore a 0.50. Il valore massimo di 0.53 è stato misurato invece nel Porceddu in un tratto dove le modificazioni dovute a interventi umani sono modeste.

Nel rio Lorana si è riscontrato un rapporto molto diverso tra il sito a monte e quello a valle, dove il valore è quasi raddoppiato. Questa variazione può essere messa in relazione alla presenza di alterazione morfologiche tra cui alcuni culvert, guadi in cemento, etc. Nel caso del fiume Baldu, invece, tale parametro non è cambiato nei due tratti considerati (monte e valle di un culvert) suggerendo che la presenza di un unico culvert non ha influito sulla ritenzione idrologica. Nel tratto a valle del culvert si osserva in generale una maggiore velocità del flusso dovuta al passaggio dell'acqua attraverso una sezione ristretta e a un conseguente processo di erosione dell'alveo.

Tabella 4. Dati di velocità di corrente e rapporto tra velocità di corrente minima e media dei siti piemontesi.

SITO	DATA	V.MAX m s^{-1}	V.MEDIA m s^{-1}	V. MIN m s^{-1}	V.MIN/ V.MEDIA
OLOBBIA	Feb 2011	0.307	0.249	0.092	0.37
OLOBBIA	Giu 2011	0.143	0.108	0.062	0.57
GUARABIONE	Feb 2011	0.175	0.127	0.037	0.29
GUARABIONE P.	Apr 2011	0.274	0.140	0.051	0.36
SAN SUDARIO	Mar 2011	0.363	0.271	0.118	0.44
SAN SUDARIO	Giu 2011	0.117	0.088	0.027	0.31
SIZZONE	Mar 2011	0.351	0.250	0.070	0.28
SIZZONE	Lug 2011	0.333	0.237	0.067	0.28
SIZZONE M.	Mar 2011	0.390	0.310	0.143	0.46
STREGO	Mar 2011	0.166	0.083	0.049	0.59
CURONE M.	Mar 2011	0.074	0.059	0.032	0.54
CURONE M.	Nov 2011	0.040	0.021	0.009	0.43
CURONE V.	Ott 2011	0.040	0.026	0.010	0.38

I valori di velocità massima variano da 0.040 a 0.118 m s^{-1} , quelli di velocità media sono compresi in un intervallo tra 0.021 a 0.250 m s^{-1} , mentre quelli di velocità minima tra 0.009 a 0.118 . Tali valori mostrano mediamente una minore velocità di corrente nei siti piemontesi rispetto a quelli sardi.

Il rapporto tra velocità minima e media è inferiore all'unità in tutti i siti, con un valore medio intorno a 0.40, indicando, analogamente alla Sardegna, una possibile discreta ritenzione idrologica. In nessun sito, in ogni modo, il rapporto è risultato superiore a 0.6, né si assiste a differenze significative tra siti medesimi campionati in diversi periodi dell'anno.

2.3 Larghezza dell'alveo e profondità

La larghezza e la profondità dell'alveo bagnato rappresentano due fattori che caratterizzano morfologicamente i fiumi oggetto del presente studio e che sono alla base dei processi di ritenzione dei nutrienti.

La tabella 5 presentata di seguito è relativa alla larghezza e alla profondità dell'alveo bagnato per tutti i siti investigati in Sardegna. I valori si riferiscono alla media dei valori di larghezza e profondità misurati in prossimità di tutti i punti in cui è stato effettuato il prelievo dei campioni d'acqua all'interno del tratto sperimentale durante l'esperimento di aggiunta dei nutrienti. Ne vengono riportati anche la deviazione standard e il coefficiente di variazione in percentuale, ottenuto dal rapporto tra la deviazione standard e la media.

Tabella 5. Larghezza e profondità dell'alveo bagnato nei siti sardi

	LARGHEZZA (m)			PROFONDITA' (m)		
	Media	SD	CV%	Media	SD	CV%
BARRASTONI	3.15	1.19	38	0.26	0.20	77
BALDU M.	4.10	0.52	13	0.30	0.09	30
BALDU V.E	3.80	0.78	21	0.31	0.16	52
SA FAA	2.40	0.45	19	0.18	0.15	83
POSADA AFF.	3.40	0.51	15	0.41	0.12	29
TERRAMALA	3.70	1.43	39	0.36	0.22	61
LORANA MONTE	3.10	1.15	37	0.21	0.08	38
LORANA VALLE	4.60	1.48	32	0.31	0.18	58
CORR'E PRUNA	6.00	0.00	0	0.17	0.09	53
CORR'E PRUNA M.	6.20	0.79	13	0.22	0.04	18
PORCEDDU	5.80	1.88	32	0.15	0.06	40
CANALE M.D.	3.00	1.05	35	0.07	0.07	100
TIRSO	2.90	1.02	35	0.19	0.13	68

In Sardegna la larghezza media dell'alveo bagnato è compresa tra 2.5 e 6 m circa, con un minimo di 1 m misurato nel rio Lorana sito "monte" fino ad un massimo di 9 m nel Porceddu, mentre la profondità media varia da 0.07 a 0.40 metri circa, con un valore minimo di 0.03 metri nel Canale M.D e nel Tirso ad un massimo di 0.66 metri nel rio Lorana sito valle.

Il valore del coefficiente di variazione fornisce un'idea della variabilità di questi parametri che si incontra a scala di sito. Da questi dati emerge una situazione molto variegata ed eterogenea soprattutto per quanto riguarda il singolo sito; all'interno dello stesso tratto possiamo osservare ampiezze e profondità dell'alveo molto diverse tra loro nei diversi punti di campionamento. Il sito che sembra mostrare la più alta variabilità per entrambi i parametri è il rio Barrastoni; il Canale M.D. presenta invece un valore di CV della profondità pari al 100%, attestando la presenza di molte zone di pozza più o meno profonde dove l'acqua può ristagnare.

L'unica eccezione, per quanto riguarda la larghezza dell'alveo bagnato, è rappresentata dal rio Corr'e Pruna in cui tale parametro rimane costante per tutta la lunghezza del tratto considerato, a causa della sua canalizzazione. La profondità invece subisce variazioni a causa di fenomeni più o meno accentuati di erosione del letto del fiume.

In tabella 6 sono invece rappresentati i valori di larghezza e profondità dell'alveo bagnato relativi ai siti del Piemonte. Nel caso del Sizzone sito "monte" la profondità si è rivelata troppo elevata per

poterne effettuare una misura corretta, mentre nel Curone sito “monte” campionato a marzo la misura della profondità non è stata effettuata per problemi di carattere logistico.

Tabella 6. Larghezza e profondità dell’alveo bagnato nei siti piemontesi.

		LARGHEZZA (m)			PROFONDITA' (m)		
		Media	SD	CV%	Media	SD	CV%
OLOBBIA	Feb 2011	4.20	2.25	54	0.23	0.09	39
OLOBBIA	Giu 2011	3.10	1.16	37	0.21	0.08	38
GUARABIONE	Feb 2011	6.25	0.71	11	0.28	0.11	39
GUARABIONE P.	Apr 2011	6.70	1.37	20	0.27	0.07	26
SAN SUDARIO	Mar 2011	6.00	1.17	20	0.21	0.04	19
SAN SUDARIO	Giu 2011	5.20	1.67	32	0.13	0.04	31
SIZZONE	Mar 2011	4.70	1.67	36	0.20	0.10	50
SIZZONE	Lug 2011	4.20	1.44	34	0.16	0.09	56
SIZZONE M.	Mar 2011	6.40	1.63	25	-	-	-
STREGO	Mar 2011	3.50	0.72	21	0.27	0.18	67
CURONE M.	Mar 2011	1.95	0.63	32	-	-	-
CURONE M.	Nov 2011	1.70	0.61	36	0.18	0.12	67
CURONE V.	Ott 2011	3.45	0.41	12	0.17	0.08	47

In Piemonte, i valori medi di larghezza e profondità, risultano molto simili a quelli rilevati in Sardegna con una media di circa 4 m per la larghezza e circa 0.20 m per la profondità. I dati relativi al singolo sito mostrano una variabilità meno marcata rispetto ai siti sardi, ma in questo caso occorre considerare il minore numero di siti studiati. Il Curone e lo Strego sono i siti con la maggiore variabilità relativamente alla profondità, mentre è l’Olobbia a presentare una forte disomogeneità nell’ampiezza dell’alveo bagnato. Confrontando i siti studiati in diverse stagioni (Olobbia, San Sudario, Sizzone e Curone sito “monte”), si assiste ad una diminuzione sia della larghezza che della profondità passando dalla stagione tardo invernale a quella estivo-autunnale.

2.4 Flusso e substrato

Anche i tipi di flusso e di substrato possono influenzare il comportamento dei nutrienti in un corso d’acqua, in quanto possono condizionarne il trasporto e controllarne il tempo di residenza nella matrice acquosa.

La deposizione del substrato non rappresenta un evento permanente, in quanto può essere soggetta a numerose modificazioni promosse dal flusso dell’acqua, che a sua volta dipende dalla velocità di corrente, dal grado di inclinazione del corso d’acqua, dalle variazioni dovute alle precipitazioni, dallo scioglimento delle nevi, o dall’apporto di acqua sotterranea.

A causa della grande eterogeneità riscontrata nei fiumi selezionati per il presente studio all’interno di uno stesso transetto sperimentale e data quindi l’impossibilità di descrivere un intero tratto con un solo tipo di flusso o di substrato prevalente, si è deciso di riportare le categorie di flusso e substrato per ogni punto di campionamento in uno stesso tratto fluviale, in prossimità della sponda destra, del punto centrale dell’alveo e della sponda sinistra dove possibile (Tabella 7 e 8). Le caratteristiche di flusso e substrato sono registrate in accordo con le codifiche utilizzate per il metodo CARAVAGGIO, descritte nel dettaglio nel Deliverable Pd3 (Buffagni et al., 2010) Sempre in prossimità di ogni punto si è valutata la presenza di zone di riffle (raschio), caratterizzate da una

loticità accentuata e da un flusso piuttosto turbolento e di zone di pool (pozza), in cui il movimento dell'acqua risulta piuttosto scarso. La tipologia di flusso e di substrato sembra essere correlata a tali zone.

Tabella 7. Tipi di flusso e di substrato e zone di riffle/pool rinvenute nei siti sardi

	RIFFLE/POOL	FLUSSO				SUBSTRATO	
		DX	CENTRO	SX	DX	CENTRO	SX
BARRASTONI							
1	Riffle	SM/NP	SM	UW	CO	CO	CO
2	Pool	SM	SM	SM	SA	SA	SA
3	Riffle	UW	UW	RP	CO	CO	PE
4	Riffle	SM	SM	RP	SA	SA	CO/PE
5	Riffle	SM	SM	SM	PE	PE	SA
6	Pool	SM	SM	SM	SA	SA	SA
7	Pool	SM	SM	SM	SA/GP	SA/GP	SA/GP
8	Pool	SM	NP	NP	SA	SA	SA
BALDU M.							
1	Pool	SM	SM	SM	SA	SA	SA
2	Pool	SM/RP	SM/RP	SM	SA/CO	CO/SA	SA
3	Riffle	SM	RP	SM	SA	SA	SA
4	Pool	SM	UW	RP	CO	CO	SA/CO
5	Pool	RP	RP	SM	SA/CO	SA/GP	SA/GP
6	Pool	SM	RP	RP	SA/GP	SA/GP	SA
BALDU V.							
1	Riffle/run	UW	UW	UW	SA	SA	SA/CO
2	Riffle/run	UW	RP	UW	CO	CO	CO
3	Pool	RP	RP	SM	SA/CO	SA	SA
4	Pool/run	SM	SM	SM	SA/GP	SA/GP	SA/GP
5	Pool/run	SM	RP	RP	SA	SA	SA
6	Pool/run	RP	RP	RP	SA	SA	SA
SA FAA							
1	Pool	SM	SM	SM	CO	GP	GP/CO
2	Riffle	RP	RP	NP	PE	CO	CO
3	Run	RP	RP	SM	CO	CO	CO
4	Pool	NP	NP	NP	SA	SA	SA
5	Pool	SM	SM	SM	SA	GP	CO
6	Riffle	RP	SM	SM	SA	CO	CO
7	Pool/run	SM	SM	SM	SA	GP	GP
TERRAMALA							
1	Pool	SM	SM	SM	BO/SA	BO	BO
2	Riffle	RP	RP	RP	BO	BO	BO
3	Pool	NP	SM	NP	GP/BO	GP	GP/BO
4	Riffle	CH	CH	CH	BO	BO	BO
5	Riffle	RP	SM	SM	-	SM	-
6	Pool	SM	SM	SM	BO	BO	BO
7	Riffle	UB	RP	RP	BO	BO	BO
8	Pool	SM	SM	SM	BO	BO	BO
9	Riffle	RP	RP	RP	CO	BO	BO

(segue)

PORCEDDU		DX	CENTRO	SX	DX	CENTRO	SX
1	Pool/run	SM	SM	RP	BO/CO	CO	SA/BO/CO
2	Run	RP	RP	RP	BE	BE/SA	BE
3	Pool/run	SA	RP	RP	SA	SA/PE	CO
4	Run	RP	RP	RP	CO	PE/SA	BO
5	Riffle	RP	RP	SM	CO	CO	CO/SA
6	Pool	NP	SM	SM	BO	CO	BE/BO
7	Pool	RP	RP/SM	NP	CO/PE	PE/CO	CO/SA
8	Pool/run	RP	SM/RP	SM	CO	SA/CO	BE/SA
LORANA M.							
1	Riffle	SM	SM	SM	GP	GP	GP
2 DX	(Isoletta)	SM/RP	SM	SM	GP	GP	GP
2 SX	(Isoletta)	UW	UW	SM	GP	GP	GP
3 DX	(Isoletta)	SM	RP	RP	GP	GP	GP
3 SX	Biforcazione	NP/SM	NP/SM	NP/SM	SA	SA	SA
4	Pool	NP	SM	NP	SA	SA	SA
5	Pool	SM	SM	SM	GP	SA	SA
6	(Vegetazione)	SM	SM	SM	SA	SA	SA
7	Riffle	SM	SM	UW	GP	GP	GP
8	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	GP
9	Pool	NP	SM	SM	SA	SA/PE	SI
LORANA V.							
1	Riffle	UW	UW	SM	CO	BO	GR
2	Pool	SM	SM	SM	SA	SA	SA
3	Pool	SM	SM	SM	SA/GR	SA/GR	SA/GR
4	Pool	SM	SM	SM	SA	GP	GP
5	Riffle	SM	UW	SM	GP	GP	GP
6	Riffle	SM	UW	NP	GP	PE	GP
7	Pool	NP	SM	NP/SM	GP	GP/CO	GP
8	Riffle	RP	UW	RP	CO/BE	CO	CO
9	Riffle	BW	RP	CH	BE	BE	BE
CORR'E PRUNA							
1	Riffle	BW	BW	BW	CO/Cem.	CO/Cem	CO/Cem
2	Pool	SM	RP	RP	GP	Cem	Cem/GP
3	Pool/run	SM	SM	SM	Cem/CO	Cem/CO	Cem/CO
4	Run	RP	RP	RP	Cem/CO	Cem/CO	Cem/CO
5	Run	RP	RP	RP	Cem/CO	Cem/CO	Cem/CO
6	Run	RP	RP	RP	Cem/CO	Cem/CO	Cem/CO
7	Run	RP	RP	RP	Cem/CO	Cem/CO	Cem/CO
8	Riffle	UW	RP	RP	Cem/CO	Cem/CO	Cem/CO
9	Riffle	CH/UW	RP/UW	RP	Cem/CO	Cem	Cem/CO
CORR'E PRUNA M.							
1	Riffle	RP	RP	RP	CO	CO	CO
2	Run	RP	RP	RP	CO	CO	CO
3	Run	RP	RP	RP	CO	CO	CO
4	Run	SM	UW	RP	CO	CO	CO
5	Run	SM	RP	SM	CO/PE	CO	CO/GR
6	Run	SM	RP	UW	PE/CO	GP	GP
7	Riffle	UW	RP/UW	SM	PE/CO	PE/CO	GP
8	Riffle	UW	BW	UW	PE/CO	PE/CO	PE/CO
9	Riffle	UW	UW	RP	PE/CO	PE/CO	PE/CO

(segue)

PORCEDDU		DX	CENTRO	SX	DX	CENTRO	SX
1	Riffle	SM	RP	SM	SA	GP	GP/SA
2	Run	SM	RP	SM	GP	GP	SA
3	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	SA
4	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	GP
5	Riffle	RP	UW	RP	GP	GP	GP
6	Riffle	UW	RP	RP	GP	GP	GP
7	Run	RP	RP	RP	GP	GP	GP
8	Run	RP	RP	RP	GP	GP	GP
9	Run	RP	RP	SM	GP	GP	GP
CANALE M.D.							
1	Riffle/run	SM	SM	SM	Cem./alghe	Cem./alghe	Cem./alghe
2	Pool	NP	SM	SM	Cem./alghe	Cem./alghe	Cem./alghe
3	Pool/run	SM	SM	SM	Cem./alghe	Cem.	Cem./alghe
4	Ristagno	RP	RP	RP	Cem.	Cem.	Cem.
5	Ristagno	RP	RP	RP	Cem.	Cem.	Cem.
6	Run	SM	SM	SM	Cem.	Cem.	Cem.
7	Run	SM	SM	SM	Cem.	Cem.	Cem.
8	Run	SM	SM	RP	Cem./alghe	Cem.	Cem.
TIRSO							
1	Pool	SM	SM	SM	CO	CO	BE
2	Riffle	CH	CH	CH	BE	BE	BE
3	Run	SM	SM	RP	GP/SA	CO	CO
4	Riffle	CH	UW	CH	BE	BE	BE
5	Riffle	UW	CH	SM	CO	BE	CO
6	Run	SM	RP	RP	CO	CO	CO
7	Pool	SM/RP	SM/RP	SM/RP	CO/PE	CO/PE	CO/PE
8	Riffle	RP	UW	RP	CO	CO	CO
9	Pool	SM	SM	SM	CO	CO	CO

In linea generale i tipi di flusso predominanti nei siti sardi (tabella 7) sembrano essere “smooth” (SM) e “ripple” (RP), seguiti da una discreta percentuale di “unbroken waves” (UW).

L’andamento dei tipi di flusso all’interno di ciascun transetto rispecchia effettivamente l’alternanza di zone di riffle e pool : nelle prime prevale infatti un flusso più turbolento (RP tipicamente) mentre nelle seconde il flusso tende a rallentare (specialmente SM).

Per quanto riguarda i tipi di substrato registrati nei corsi d’acqua sardi vi è una condizione di estrema eterogeneità: all’interno di uno stesso tratto fluviale è possibile riscontrare substrati più fini, come sabbia o piccoli ciottoli, e substrati più grossolani o addirittura grossi massi in egual misura (caratteristico è il caso del Posada affluente). Le eccezioni sono rappresentati da tratti fluviali estremamente alterati come il Corr’è Pruna e il Museddu che presentano l’alveo quasi interamente cementificato. E’ da notare però che il canale Museddu mostra sulla superficie una vasta e diffusa copertura algale, che è anche responsabile di un certo rallentamento del flusso dell’acqua nei punti ove presente. Tra i corsi d’acqua moderatamente alterati è invece da segnalare il Porceddu che mostra una certa uniformità di substrato prevalentemente costituito da ciottoli e ghiaia (GP).

Similmente al flusso, anche il tipo di substrato è conforme all’alternanza di zone di riffle e pool: substrati più grossolani (GP, CO) prevalgono nelle prime, mentre un substrato più fine, tipicamente sabbia, predomina nelle seconde, in quanto è più facile che esso si depositi e si accumuli sul fondo a causa di un flusso più lento.

In tabella 8 e 9 sono presentati i tipi di flusso e di substrato relativi ai siti piemontesi. Durante la prima campagna nel periodo tardo invernale/primaverile le valutazioni hanno riguardato solo i

punti centrali del transetto considerato, mentre nella campagna successiva, sempre a causa della grande variabilità mostrata nei diversi punti dello stesso tratto fluviale, si sono estese anche alla parte destra e sinistra dell'alveo, in modo da avere un quadro maggiormente dettagliato.

Tabella 8. Tipi di flusso e di substrato e zone di riffle/pool rinvenute nei siti piemontesi (prima campagna)

	RIFFLE/POOL	FLUSSO	SUBSTRATO
OLOBBIA			
1	Riffle	RP	GP
2	Riffle	RP	GP
3	Riffle	RP	SA
4	Pool	RP	GP
5	Pool	SM	GP
6	Riffle	UW	GP
7	Pool	SM	GP
8	Pool	SM	GP
9	Riffle	BW	GP
10	Riffle	RP	GP
GUARABIONE			
1	Riffle	RP	GP
2	Pool	SM	GP
3	Pool	SM	SA
4	Pool	SM	SA
5	Pool	SM	SA
6	Pool	SM	GP
7	Pool	SM	SA
8	Pool	SM	GP
9	Pool	SM	GP
10	Riffle	RP	GP
11	Riffle	RP	GP
SAN SUDARIO			
1			
2	Riffle	RP	GP
	Riffle	BW	GP
3	Riffle	UW	GP
4	Riffle	RP	GP
5	Pool	RP	GP
6	Riffle	RP	GP
7	Riffle	RP/UW	GP
8	Riffle	UW	GP
9	Riffle	BW	GP
10	Riffle	RP	GP
SIZZONE			
1	Pool	RP	SA/GP
2	Riffle	RP	CO/GP
3	Pool	RP/UW	SA/CO
4	Riffle	RP/BW	CO
5	Riffle	BW	CO
6	Pool	UW	CO/SA
7	Run	RP	CO/SA
8	Run	RP	CO

(segue)

STREGO			
1	Pool	SM	SA
2	Riffle	RP	GP

3	Riffle	RP	GP/CO
4	Pool	RP	SA/CO
5	Riffle	RP/UW	GP/CO
6	Riffle	RP/UW	GP/CO
7	Pool/Riffle	RP	GP
8	Pool	SM/RP	GP/CO
9	Riffle	SM/RP	GP/CO
10	Riffle	RP/SM	GP

Per quanto riguarda il torrente Curone sito "monte" e il torrente Guarabione Ponte campionati rispettivamente nel mese di marzo e aprile i dati di flusso e di substrato non sono disponibili.

Tabella 9. Tipi di flusso e di substrato e zone di riffle/pool rinvenute nei siti piemontesi (seconda campagna)

	RIFFLE/POOL	FLUSSO			SUBSTRATO		
		DX	CENTRO	SX	DX	CENTRO	SX
OLOBBIA							
1	Riffle	SM	UW	RP	GP	PE	SA
2	Pool	SM	SM	SM	SA-PE	GP	GP
3	Pool	SM	RP	SM	SA/GP	GP/SA	SA
4	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	GP
5	Riffle	UW	BW	UW	PE	CO	PE
6	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	GP
7	Riffle	UW	BW	UW	PE/CO	PE/CO	PE/CO
8	Pool	SM	RP	RP	PE	PE/CO	PE
9	Riffle	RP	BW	UW	GP	PE	PE
10	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	GP
SAN SUDARIO							
1	Riffle	NP	SM	RP	CO	GP	CO
2	Pool/Riffle	RP	NP	SM	CO	CO	GP
3	Pool/Riffle	SM	SM	SM	CO	GP	GP
4	Riffle	RP	RP	NP	CO	CO	GP
5	Riffle	RP	RP	SM	CO	GP	GP
6	Riffle	SM	RP	RP	GP	GP	GP
7	Riffle	SM	RP	RP	GP	GP	GP
8	Riffle	RP	RP	UW	GP	GP	CO
9	Riffle	RP	RP	NP	GP	GP	CO
10	Pool	RP	RP	SM	GP	GP	CO

(segue)

	RIFFLE/POOL	FLUSSO			SUBSTRATO		
		DX	CENTRO	SX	DX	CENTRO	SX

SAN SUDARIO							
1	Riffle	NP	SM	RP	CO	GP	CO
2	Pool/Riffle	RP	NP	SM	CO	CO	GP
3	Pool/Riffle	SM	SM	SM	CO	GP	GP
4	Riffle	RP	RP	NP	CO	CO	GP
5	Riffle	RP	RP	SM	CO	GP	GP
6	Riffle	SM	RP	RP	GP	GP	GP
7	Riffle	SM	RP	RP	GP	GP	GP
8	Riffle	RP	RP	UW	GP	GP	CO
9	Riffle	RP	RP	NP	GP	GP	CO
10	Pool	RP	RP	SM	GP	GP	CO
SIZZONE							
1	Riffle/Run	RP	RP	RP	GP	GP	GP
2	Riffle	SM/RP	RP	RP	GP	GP	GP
3	Riffle	SM	UW	RP	GP	GP/SA	GP
4	Riffle/Run	SM	RP	RP	GP	GP	GP
5	Riffle	RP	UW	RP	GP	CO	CO
6	Riffle	RP	UW	UW	CO	CO	GP
7	Pool	SM	SM	NP	SA	SA	GP
8	Pool	SM	SM	SM	GP	GP	GP/SA
9	Riffle/Run	RP/SM	RP	SM	GP	GP	GP/SA
CURONE V.							
1	Pool	SM	SM	SM	SA	SA	GP
2	Riffle	SM	RP	SM	GP	GP	GP
3	Pool	NP	NP	SM	SA	SA	SA
4	Riffle	RP	RP	RP	GP	GP	GP
5	Pool	SM	SM	NP	GP	GP	GP
6	Run	NP	SM	NP	GP/CL	GP	GP
7	Run	NP	SM	SM	GP	GP/CL	GP
8	Pool	SM	NP	SM	SA	GP	GP
9	Pool	NP	SM	SM	GP/SA	GP	GP
CURONE M.							
1	Riffle	UW	UW	UW	GP	PE	PE
2	Pool/Run	NP	NP	SM	Foglie	Foglie	GP
3	Riffle	RP	RP	RP	PE	PE	GP
4	Pool/Run	SM	SM	SM	CO	GP	GP
5	Run	SM	SM	NP	GP	GP	CO
6	Pool	NP	NP	SM	BE	Foglie	Foglie
7	Riffle	UW	UW	RP	GP	GP	GP
8	Riffle	SM	RP	UW	GP	GP	GP
9	Pool	NP	NP	NP	GP	GP	GP
10	Pool/Run	SM	SM	SM	GP	GP	GP

A differenza dei siti sardi, nei fiumi piemontesi le caratteristiche del substrato e del flusso appaiono più omogenee e in generale prevalgono granulometrie piuttosto grossolane (CO) e ghiaia (GP) e flussi più turbolenti. In particolare l’Olobbia e il San Sudario presentano un substrato molto omogeneo con netta prevalenza di ghiaia e ciottoli medi (GP). L’unico fiume piemontese con una presenza piuttosto abbondante di sabbia è il Guarabione.

In un unico sito, il Curone sito “monte” campionato in Novembre, non è stato possibile determinare correttamente il tipo di substrato in alcuni punti del transetto, a causa di una vasta

copertura fogliare che ne impediva la visualizzazione. Tale copertura potrebbe aver influito anche su tipo di flusso in questi punti, che è risultato infatti essere non percettibile (NP).

Nei fiumi studiati in Piemonte non si sono registrate situazioni di elevata alterazione del substrato che dimostri una marcata alterazione morfologica.

2.5 Caratteristiche fisiche del sistema iporreico

La maggior parte dei processi che avvengono in un fiume sono strettamente associati al sedimento.

Si può quindi ritenere che l'effetto di tali processi sulla chimica dell'acqua superficiale sarà maggiore quanto maggiore è l'interazione tra l'acqua superficiale, i sedimenti e il comparto iporreico.

L'interazione che ne consegue può essere stimata da alcune caratteristiche idrauliche del tratto di fiume considerato. I risultati di queste misurazioni potranno evidenziare differenze nell'interazione tra acqua, sedimento e acqua sotterranea nei diversi siti o, a livello di microscala, anche all'interno del medesimo sito.

Le misure proposte comprendono:

- Confronto tra conducibilità e temperatura dell'acqua superficiale e iporreica, che suggerisce il grado di miscelamento tra acqua superficiale e sotterranea;
- Misura del gradiente idraulico verticale (VHG), che indica la direzione dello scambio tra acqua superficiale e sotterranea

In occasione di ogni campionamento temperatura e conducibilità sono state misurate con un conduttimetro portatile all'interno di ciascun piezometro installato nel tratto sperimentale e nell'acqua superficiale in prossimità del piezometro.

Vengono presentate di seguito le tabelle 10 e 11 relative ai valori di conducibilità e temperatura e del VHG nei corsi d'acqua selezionati per la Sardegna e la figura 6 che mostra i grafici a torta in cui viene indicato il numero di osservazioni relativo al rapporto tra conducibilità interna ed esterna. In alcuni corsi d'acqua tali misurazioni non sono state effettuate a causa dell'impossibilità di installare i piezometri, come nel caso del Terramala, del rio Corr'e Pruna, del Canale M.D. e del Tirso, data la consistenza troppo dura del substrato all'interno del tratto.

Tabella 10. Valori di conducibilità e temperatura interna ed esterna misurati nei corsi d'acqua sardi

SITO	CONDUCIBILITA'								TEMPERATURA							
	Interna ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				Esterna ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				Interna ($^{\circ}\text{C}$)				Esterna ($^{\circ}\text{C}$)			
	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max
BARRASTONI	456.8	74.5	363.0	607.0	478.5	1.2	477.0	481.0	14.6	0.2	14.3	14.7	14.9	0.2	14.8	15.4
BALDU MONTE	501.3	74.4	397.0	630.0	496.0	3.1	492.0	501.0	16.3	0.6	15.6	17.2	16.7	0.1	16.6	16.8
BALDU VALLE	490.2	58.1	420.0	577.0	469.2	1.1	468.0	471.0	14.5	0.2	14.3	14.8	14.4	0.04	14.4	14.5
SA FAA	894.3	110.0	824.0	1092.0	809.5	3.2	805.0	813.0	14.9	0.4	14.6	15.7	14.8	0.2	14.6	15.1
POSADA A.	173.2	7.0	166.0	182.0	144.8	0.5	144.0	145.0	16.7	0.2	16.5	17.0	16.5	0.1	16.4	16.6
LORANA M.	333.8	35.4	287.0	403.0	361.0	14.3	327.0	374.0	15.4	0.5	14.6	16.3	16.0	0.2	15.7	16.2
LORANA V.	387.3	19.6	350.0	410.0	390.1	2.4	388.0	394.0	18.2	1.0	16.5	19.1	18.7	0.2	18.4	19.0
CORR'E' PRUNA M.	480.8	31.9	402.0	507.0	495.3	3.2	492.0	501.0	17.5	0.1	17.4	17.7	17.6	0.2	17.5	18.1
PORCEDDU	299.6	18.3	278.0	325.0	258.0	1.0	257.0	259.0	17.8	0.1	17.7	18.0	18.0	0.04	18.0	18.1

Tabella 11. Valore del VHG dei siti sardi relativo ad ogni punto di campionamento in cui è stata effettuata la misura

SITO	BARRASTONI	BALDU M.	BALDU V.	SA FAA	POSADA A.	LORANA M.	LORANA V.	CORR'E PRUNA M.	PORCEDDU
1	0.13	0.06	0.16	-0.03	-0.02	-0.28	0.09	0.07	0.05
2	0.02	0.07	-0.04	0.03	-0.13	0.10	0.09	0.09	-0.28
3	0.02	-0.13	0.00	0.17	0.11	0.92	0.04	0.19	0.05
4	0.10	-0.05	0.02	0.15	-0.06	0.07	0.03	0.05	0.08
5	0.06	0.00	0.02	0.14		0.11	-0.29	0.02	0.07
6	0.15			0.00		0.09	-0.89	0.03	
7	0.00					-0.07	-0.20	-0.81	
8	-0.01					-0.05	0.31	0.00	
9						-0.60		0.78	



Figura 6. Grafici a torta relativi al rapporto tra conducibilità interna ed esterna nei punti di campionamento di alcuni siti sardi

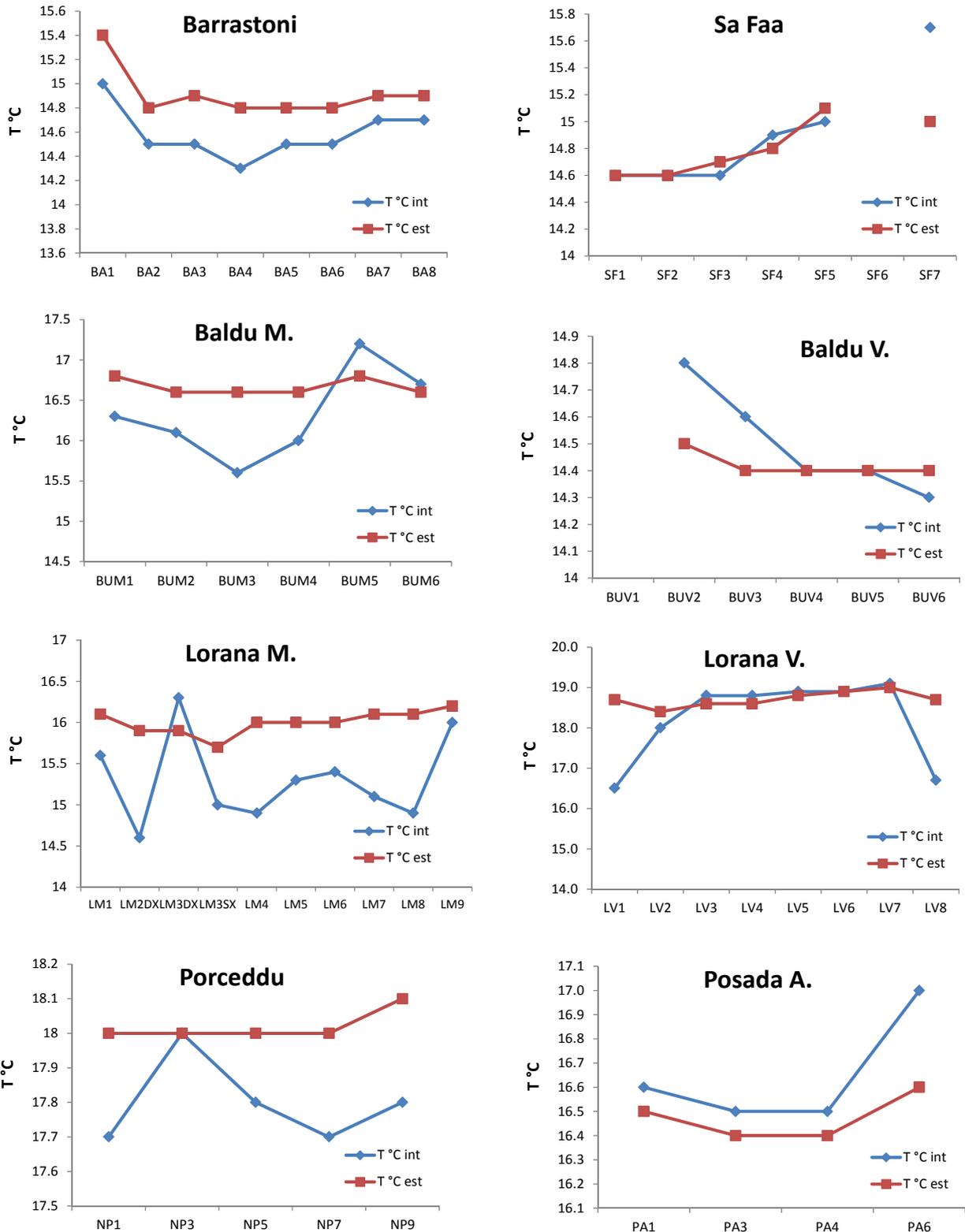


Figura 7. Grafici relativi alle variazioni di temperatura interna ed esterna in prossimità dei punti di campionamento del tratto fluviale di alcuni siti sardi

Come atteso, la conducibilità “esterna”, cioè quella misurata nell’acqua superficiale in prossimità di ogni piezometro, si mantiene gradualmente costante lungo ogni transetto di studio. Al contrario la conducibilità misurata all’interno di ogni piezometro (“interna”) mostra una elevata variabilità

con valori in alcuni casi molto più alti rispetto alla corrispondente conducibilità “esterna”. Tale variabilità può essere attribuita ad una situazione molto diversificata che si verifica all’interno della porzione di sedimento, la quale influenza la composizione chimica dell’acqua. Nel comparto iporreico possono cioè verificarsi le condizioni idonee all’innescarsi di numerosi processi biochimici quali ad esempio processi di denitrificazione ad opera delle comunità batteriche favorita da una possibile condizione di anossia del sedimento. Differenze elevate tra conducibilità “esterna” ed “interna” potrebbe essere spiegate anche con la prevalenza di unflusso d’acqua sotterranea (“upwelling”) con caratteristiche chimiche diverse da quella superficiale.

La figura 6 mostra i grafici a torta che indicano la distribuzione dei valori relativa al rapporto tra conducibilità dell’acqua iporreica e superficiale per ogni fiume studiato. Si osserva, ad esempio, nel caso del rio Barrastoni, una notevole eterogeneità all’interno del tratto di 100 m con punti in cui la conducibilità dell’iporreico è molto maggiore di quella esterna e altri in cui è minore, mentre nel Lorana Valle le differenze tra conducibilità “esterna” ed “interna” sono molto più contenute.

Le differenze nei valori di temperatura dell’acqua superficiale lungo ogni transetto indicano differenze nell’irradiazione solare dovute, generalmente, alla presenza di vegetazione riparia che determina il grado di ombreggiamento del tratto fluviale. Le deviazioni standard calcolate per i fiumi sardi, variabili da 0.04 a 0.2, suggeriscono delle condizioni omogenee lungo i transetti studiati, relativamente a questo parametro.

La temperatura del comparto iporreico, in analogia con l’acqua sotterranea, dovrebbe risentire in misura minore delle variazioni della temperatura dell’aria, quindi le differenze tra temperatura “interna” ed “esterna” dovrebbero suggerire il grado di isolamento dell’acqua presente ad una certa profondità nel sedimento fluviale.

I grafici di figura 9, in cui viene confrontata la temperatura interna ed esterna in ogni sito fluviale studiato, danno un’idea dell’eterogeneità riscontrata a livello dei sedimenti.

Il dato relativo al VHG, infine, rappresenta una misura della differenza di pressione tra acque superficiali e sotterranee, e indica quindi la direzione e l’intensità degli scambi tra la superficie e il comparto sotterraneo. Questo parametro è fortemente influenzato dalle variazioni idrologiche e dalle caratteristiche locali del punto in cui viene effettuata la misura e non può quindi essere esteso a tutto il transetto, ma deve essere considerato indicativo solo del punto di campionamento considerato. In generale valori negativi indicano che è l’acqua del fiume a entrare nei sedimenti (“downwelling”, una maggiore pressione delle acque superficiali), mentre valori positivi indicano una direzione opposta del movimento delle acque (“upwelling”, maggiore pressione delle acque sotterranee), lo zero indica che nel punto considerato non c’è ricambio d’acqua. In molti siti sardi, quali ad esempio il Barrastoni, il Sa Faa e il Corr’e Pruna sito “monte”, i valori di VHG sono positivi sulla quasi totalità dei punti misurati, suggerendo l’importanza della falda acquifera nell’alimentare tali corsi d’acqua in quel periodo dell’anno (Tabella 11).

Questa variabilità potrà anche riflettersi nella composizione chimica delle acque superficiali in ogni punto di campionamento considerato.

I valori di conducibilità, temperatura e VHG dei siti situati in Piemonte sono presentati nelle tabelle 12 e 13 di seguito. Essi non sono disponibili per il torrente Guarabione Ponte e per il Sizzone sito “monte”. Come per la Sardegna, vengono presentati i grafici a torta relativi al rapporto tra conducibilità “interna” ed “esterna” (Fig. 8).

Tabella 12. Valori di conducibilità e temperatura interna ed esterna misurati nei corsi d'acqua piemontesi

SITO	DATA	CONDUCIBILITA'								TEMPERATURA							
		Interna ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				Esterna ($\mu\text{S cm}^{-1}$)				Interna ($^{\circ}\text{C}$)				Esterna ($^{\circ}\text{C}$)			
		Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max	Media	SD	Min	Max
OLOBBIA	Feb 2011	92.6	1.6	90.6	96.1	91.7	0.8	90.6	96.1	7.4	0.1	7.3	7.5	7.4	0.1	7.3	7.6
OLOBBIA	Giu 2011	133.0	7.0	120.4	140.6	128.7	1.0	127.2	129.8	20.0	1.0	17.9	21.2	19.9	0.2	19.6	20.1
GUARABIONE	Feb 2011	92.7	5.9	85.7	106.0	93.7	1.5	90.0	94.7	5.7	0.2	5.3	5.9	5.7	0.1	5.6	5.9
SAN SUDARIO	Giu 2011	192.7	4.7	188.0	201.0	189.2	0.3	188.7	189.4	25.2	0.3	25.0	25.9	25.2	0.1	25.1	25.4
SIZZONE	Mar 2011	27.4	1.5	26.0	30.3	25.8	0.4	24.9	26.0	4.7	0.1	4.5	4.9	4.8	0.1	4.7	4.8
SIZZONE	Lug 2011	57.4	7.6	44.7	66.3	42.1	2.5	39.3	45.1	25.0	0.0	25.0	25.0	25.0	0.0	25.0	25.0
STREGO	Mar 2011	104.2	34.0	76.4	171.0	75.6	0.9	73.3	76.2	6.1	0.2	5.8	6.4	6.1	0.1	6.1	6.2
CURONE M.	Mar 2011	266.0	90.7	110.0	342.0	378.1	1.2	377.0	380.0	11.7	0.8	10.3	12.8	12.1	0.2	12.0	12.4
CURONE M.	Nov 2011	333.1	15.8	315.0	366.0	320.9	0.9	320.0	322.0	6.4	0.3	6.0	6.9	6.0	0.1	5.9	6.3
CURONE V.	Ott 2011	414.7	12.3	396.0	433.0	424.9	1.8	423.0	427.0	13.0	0.1	12.9	13.3	12.8	0.1	12.7	13.0

Tabella 13. Valore del VHG dei siti piemontesi relativo ad ogni punto di campionamento in cui è stata effettuata la misura

SITO	OLOBBIA	OLOBBIA	GUARABIONE	S. SUDARIO G	SIZZONE	SIZZONE	STREGO	CURONE M.	CURONE V.
	Feb '11	Giu '11	Feb '11	Giu '11	Mar '11	Lug '11	Mar '11	Nov '11	Ott '11
1	-0.09	0.03	-0.98	-0.06	-1.35	0.11	-0.24	0.13	0.15
2	-1.15	0.08	0.06	0.02	-1.03	0.01	0.00	-1.53	0.11
3	-1.49	-0.13	-1.77	-0.07	-1.29	-0.03	0.48	-0.10	0.03
4	-1.00	-0.89	-1.83	-0.04	-1.23	-0.02	0.13	0.02	0.11
5	-1.79	-0.91	-2.00	-0.08	-1.22	-0.01	0.00	-1.52	-0.03
6	-1.62	-0.04	-1.33	-0.04	-2.43	-0.18	0.09	-2.27	0.02
7	-2.27	-0.14	-2.52		-1.42	0.06	-0.53	0.02	-0.27
8	-1.65	0.00	-2.68		-1.63	0.79	0.29	-0.28	0.09
9	-1.55	0.02	-1.35			1.06	0.14	-0.76	0.06

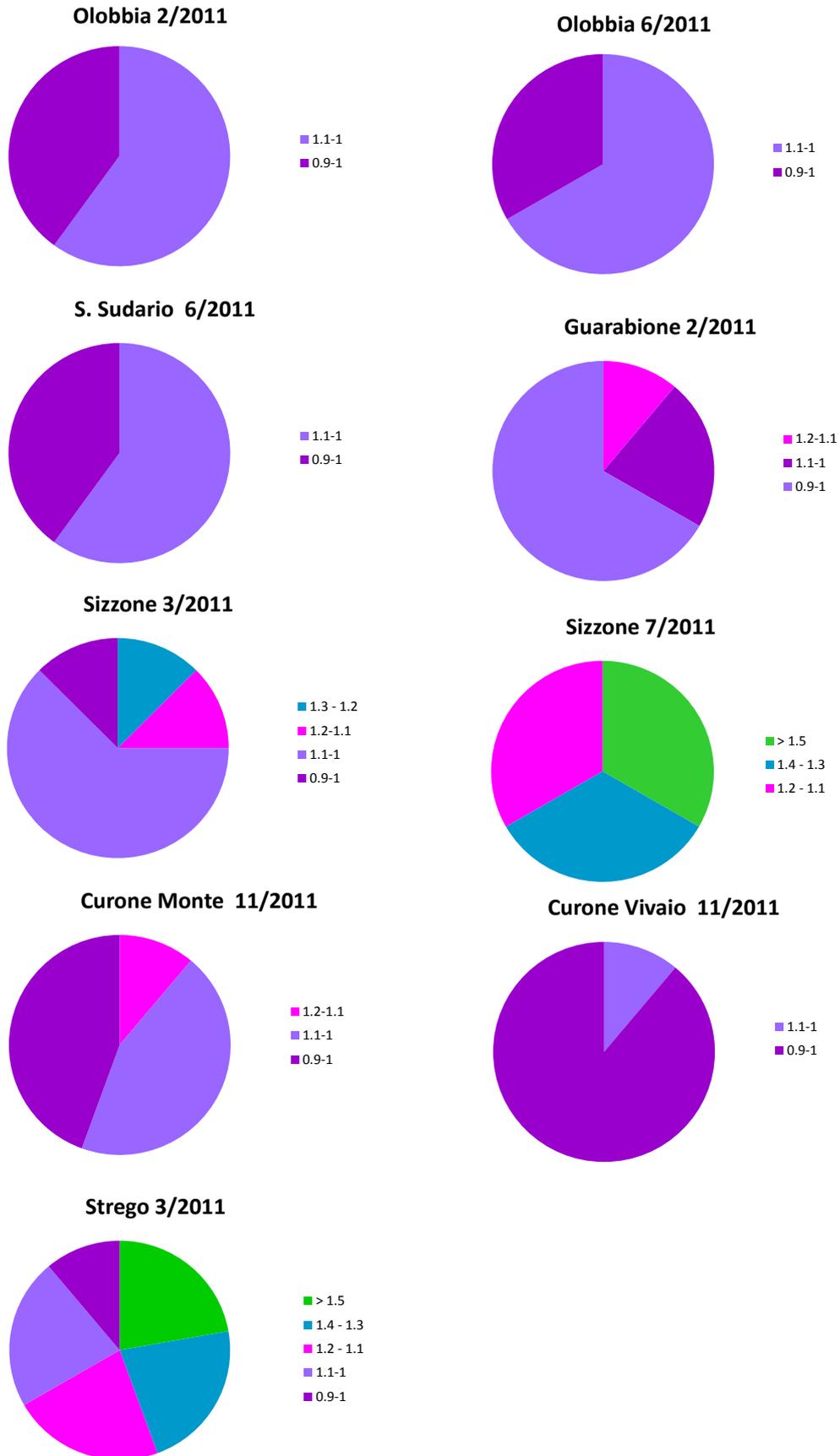


Figura 8. Grafici a torta relativi al rapporto tra conducibilità interna ed esterna nei punti di campionamento di alcuni siti piemontesi

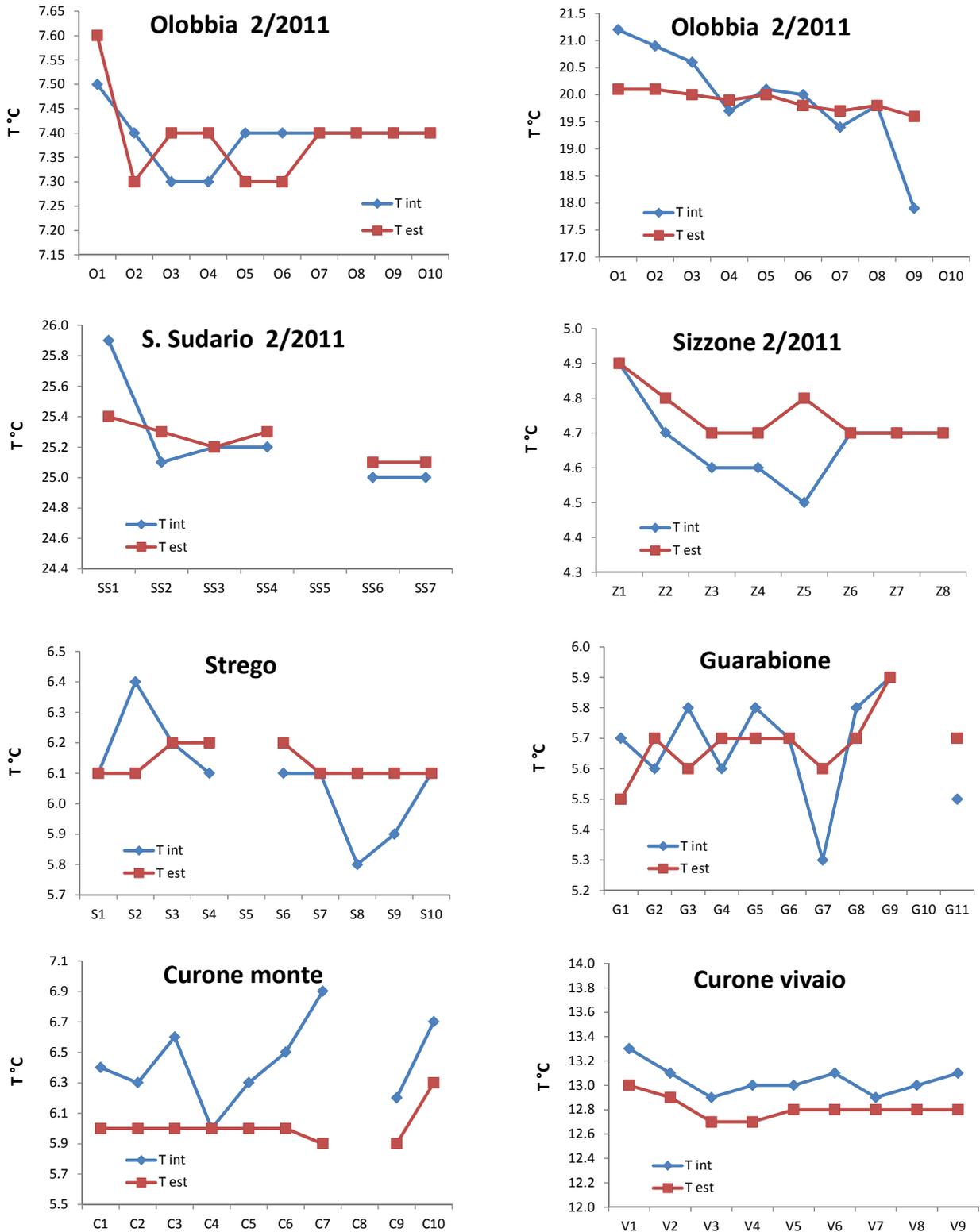


Figura 9. Grafici relativi alle variazioni di temperatura interna ed esterna in prossimità dei punti di campionamento del tratto fluviale dei siti piemontesi

Anche in Piemonte, l'analisi complessiva dei dati di conducibilità stabilisce l'ipotesi di un elevato scambio tra acqua superficiale e acqua iporreica. Le situazioni in cui si registra una maggiore variabilità sono il Sizzano campionato in Luglio e lo Strego, i quali mostrano peraltro valori di conducibilità interna mediamente più alti.

In linea generale i valori di conducibilità nella maggior parte dei siti sono molto minori rispetto a quelli misurati in Sardegna (lì solo in un caso era inferiore ai $200 \mu\text{S cm}^{-1}$), salvo qualche eccezione, come il torrente Curone sito "vivaio", in cui è superiore ai $400 \mu\text{S cm}^{-1}$. Anche la differenza tra le conducibilità dell'acqua iporreica misurate nei diversi punti di un singolo transetto è meno marcata.

Il Curone sito "monte" campionato in Marzo mostra una discreta variabilità nella conducibilità misurata all'interno dei piezometri. Sempre in questo sito il valore di conducibilità dell'acqua superficiale risulta superiore a quella dell'acqua iporreica, indicando verosimilmente uno scambio d'acqua ridotto tra i due comparti.

I valori di temperatura dell'acqua superficiale, come in Sardegna, sembrano essere piuttosto costanti e non mostrare alcuna differenza significativa anche se si confrontano i siti campionati in una stessa stagione (deviazione standard compresa tra 0.1 e 0.2). I valori sono compresi tra 5 e 7 °C circa nel periodo tardo-invernale, tra 20 e 25 °C nella stagione estiva e tra 6 e i 13 °C nel periodo autunnale.

Vengono mostrati i grafici relativi al confronto tra la temperatura dell'acqua superficiale e dell'acqua iporreica, la quale presenta una più elevata variabilità come riscontrato tra i siti sardi (Fig. 9).

Per quanto riguarda il VHG, in qualche sito la situazione appare più omogenea rispetto ai siti sardi. Nel caso dell'Olobbia, del Guarabione e del San Sudario campionati nel periodo Febbraio-Marzo, ad esempio, il valore di VHG è infatti risultato negativo in tutti i punti di campionamento, indicando una maggiore pressione delle acque superficiali rispetto all'acqua iporreica e che è quindi l'acqua del fiume a entrare nei sedimenti.

3. CARATTERISTICHE CHIMICHE

Durante le campagne sperimentali in Piemonte e Sardegna sono stati raccolti campioni di acque fluviali destinati alle analisi chimiche per la caratterizzazione chimica dei siti di studio.

Nel caso del Piemonte i siti fluviali sono stati campionati dall'ARPA-Piemonte in 4 date nel 2001 corrispondenti ai mesi di febbraio, aprile, giugno, agosto. I tratti fluviali situati nella regione Piemonte ricadono in due diverse idroecoregioni: quella relativa ai "piccoli fiumi di pianura" (06) e ai "fiumi alpini di piccole dimensioni"(02). Nei siti fluviali della idroecoregione 06 altri campioni utili per una caratterizzazione chimica generale sono stati prelevati nelle stesse date in cui venivano effettuati gli esperimenti di aggiunta di nutrienti. Alla idroecoregione 06 appartiene anche il fiume Curone situato in Lombardia e campionato in due tratti denominati Curone Monte e Curone Valle. Il primo rappresenta un sito reference ed è stato campionato in 3 date (marzo, luglio e novembre 2011) mentre il secondo più a valle è stato campionato in un'unica data a novembre 2011. Questi due tratti fluviali sono stati oggetto di studio in un progetto sulla circolazione dei nutrienti nel sistema iporreico che l'IRSA ha portato avanti dal 2006 al 2007 (Lotti e al. 2010).

I 24 siti fluviali selezionati in Sardegna sono invece stati campionati in un'unica occasione corrispondente a maggio 2011.

Le analisi dei siti piemontesi e del torrente Curone sono state condotte dal laboratorio dell'ARPA-Piemonte, mentre i campioni dei fiumi sardi sono stati analizzati presso l'IRSA, Unità Operativa di Supporto di Brughiero. I metodi analitici adottati in entrambi i laboratori sono standardizzati e confrontabili e le liste dei metodi vengono presentate nelle tabelle 14 e 15. Sulla maggior parte dei campioni analizzati da ARPA sono stati determinati oltre ai classici parametri idrochimici (pH, conducibilità, alcalinità, nitrati, azoto ammoniacale, ortofosfato, cloruri, solfati, calcio, magnesio, sodio e potassio) anche alcuni metalli in traccia (cadmio, cromo, mercurio, etc) e molti microinquinanti organici (fitofarmaci, PCBs, fluorurati, etc).

Durante la campagna sperimentale in Sardegna alcuni parametri come pH, Conducibilità, O₂ disciolto e temperatura sono stati misurati in continuo, sulle 24 ore, mediante una sonda (Hach Lange) collocata direttamente in ogni sito. Inoltre, nei siti dove sono stati condotti gli esperimenti di addition sono stati utilizzati dei kit e uno spettrofotometro da campo (Dr. Lange) per determinare l'azoto ammoniacale, l'ortofosfato e i cloruri.

Tabella 14. Metodi utilizzati dall'ARPA Piemonte per la determinazione dei parametri chimici (vedi ARPA Piemonte. Programma di attività 2012-2014 – Allegato 2)

Rif.Programma di attività 2012-2014	Parametro/i	Metodo	Codice ARPA
Tab. 12 – Parametri generali	CONDUCIBILITÀ	APAT CNR-IRSA 2030 2003	U.RP.M560
Tab. 12 – Parametri generali	CLORURI, AZOTO NITRICO, SOLFATI	APAT CNR-IRSA 4020 Man 29/2003	U.RP.M901
Tab. 12 – Parametri generali	AZOTO AMMONIACALE	Kit colorimetrico A Ammoniaca	U.RP.M589
Tab. 12 – Parametri generali	DUREZZA	APHA Standard Methods, Ed. 21th 2005, 2340C	U.RP.M851
Tab. 12 – Parametri generali	FOSFORO TOTALE	APAT CNR-IRSA 4110 A2 2003	U.RP.M854
Tab. 12 – Parametri generali	ORTOFOSFATI	APAT CNR-IRSA 4110 A1 2003	U.RP.M853
Tab. 12 – Parametri generali	pH	APAT CNR-IRSA 2060 2003	U.RP.M559
Tab. 12 – Parametri generali	AZOTO NITROSO	APAT CNR-IRSA 4050 2003	U.RP.M568
Tab. 12 – Parametri generali	OSSIGENO DISCIOLTO	APAT CNR-IRSA 4120 A1 Man 29/2003	U.RP.M263
Tab. 12 – Parametri generali	OSSIGENO DISCIOLTO (% SATURAZIONE)	APAT CNR-IRSA 4120 A1 Man 29/2003	U.RP.M263
Tab. 12 – Parametri generali	BOD 5	APHA Standard Methods, Ed. 21th 1998, 5210 D	U.RP.M330
Tab. 12 – Parametri generali	COD	ISO 15705 2002	U.RP.M014
Tab. 12 – Parametri generali	AZOTO TOTALE	Kit colorimetrico A Azoto totale	U.RP.M590
Tab. 12 – Parametri generali	SOLIDI SOSPESI	APAT CNR-IRSA Metodo 2090 B Man 29/2003	U.RP.M257
Tab. 13 – Parametri generali a supporto	ESCHERICHIA COLI	APAT CNR-IRSA 7030 D 2003	U.RP.M001
Tab. 13 – Parametri generali a supporto	AMMONIACA NON IONIZZATA	Calcolo	U.RP.M589
Tab. 13 – Parametri generali a supporto	AMMONIACA TOTALE	Kit colorimetrico A Ammoniaca	U.RP.M589
Tab. 13 – Parametri generali a supporto	NITRITI	APAT CNR-IRSA 4050 2003	U.RP.M568
Tab. 13 – Parametri generali a supporto	TENSIOATTIVI ANIONICI	Kit colorimetrico A Tensioattivi anionici	U.RP.M606
Tab. 13 – Parametri generali a supporto	CALCIO, MAGNESIO, POTASSIO, SODIO	APAT CNR-IRSA 3030 2003	U.RP.M300
Tab. 14 - Metalli	CADMIO, CROMO, NICHEL, PIOMBO, RAME,	APHA Standard Methods, Ed. 21th 2005, 3120	U.RP.M848
Tab. 14 - Metalli	ARSENICO	APHA Standard Methods, Ed. 21th 2005, 3120	U.RP.M848
Tab. 14 - Metalli	CROMO ESAVALENTE	APAT CNR-IRSA 3150 C Man 29/2003	U.RP.M875
Tab. 14 - Metalli	MERCURIO	APAT CNR-IRSA 3200 2003	U.RP.M576
Tab. 15 - Pesticidi	vedi Tab. 4 (codici Fito G e Fito R)	APAT CNR-IRSA 5050 Man 29/2003 (LC/MS/MS)	U.RP.M660
Tab. 15 - Pesticidi	vedi Tab. 4 (codici Fito G e Fito R)	ISS.CAC.015.REV00 RAPPORTI ISTISAN 07/31 (APAT	U.RP.M855
Tab. 15 Pesticidi	vedi Tab. 4 (codice Fito G_SC)	EPA 8270D:1998	U.RP.M280
Tab. 16 – Altre sostanze	NONILFENOLO E OCTILFENOLO	EPA 8270D:1998	U.RP.M280
Tab. 16 – Altre sostnze	ACIDO PERFLUOROOTTANOICO e ACIDO	APAT CNR-IRSA 5050 Man 29/2003 (LC/MS/MS)	U.RP.M660
Tab. 17 - IPA	vedi Tab. 6 per il dettaglio delle singole	EPA 8270D:1998	U.RP.M280
Tab. 18 - Composti organici volatili (VOC)	vedi Tab. 7 per il dettaglio delle singole	APAT CNR IRSA 5140 2003	U.RP.M249
Tab. 18 - Composti organici volatili	vedi Tab. 7 per il dettaglio delle singole	APAT CNR IRSA 5150 2003	U.T2.M185
Tab. 19 - Sostanze Tabella 1/A Decreto 260/2010	Pesticidi persistenti, IPA e altri composti	EPA 8270D:1998	U.RP.M280

Tabella 15. Metodi analitici utilizzati dall'IRSA – Brugherio per la determinazione in laboratorio dei parametri chimici.

Parametro	Unità di misura	Metodo Analitico	Riferimento	Strumento
pH		Potenziometrica	A.P.H.A., A.W.W.A., W.E.F., 1995	pHmetro Radiometer pHM82
Conducibilità	$\mu\text{S cm}^{-1}$ 20°C	Conduttimetrica	A.P.H.A., A.W.W.A., W.E.F., 1995	Conduttimetro Radiometer pIONner30
Alcalinità totale	meq l ⁻¹	Potenziometrica	Rodier, 1984	Titolatore automatico TTT85 Titrator
Fosforo totale disciolto	$\mu\text{g P l}^{-1}$	Assorbimento molecolare	Valderrama, 1981	Spettrofotometro UV-VIS Perkin Elmer Lambda 2
Azoto totale disciolto	mg N l ⁻¹	Assorbimento molecolare	Valderrama, 1981	Spettrofotometro UV-VIS Perkin Elmer Lambda 2
Azoto ammoniacale	mg N l ⁻¹	Assorbimento molecolare	Fresenius, Quentin & Schneider, 1988	Spettrofotometro UV-VIS Perkin Elmer Lambda 2
Azoto nitrico	mg N l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°4020 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex (LC25, EG 40, ED 50, GS 50)
Solfati	mg SO ₄ l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°4020 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex (LC25, EG 40, ED 50, GS 50)
Cloruri	mg Cl l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°4020 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex (LC25, EG 40, ED 50, GS 50)
Sodio	mg l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°3030 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex ICS2000
Potassio	mg l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°3030 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex ICS2000
Magnesio	mg l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°3030 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex ICS2000
Calcio	mg l ⁻¹	Cromatografia ionica	metodo n°3030 (APAT / IRSA-CNR 2004)	Cromatografo ionico Dionex ICS2000

3.1 Piemonte

In tabella 16 viene presentato un quadro sintetico relativo alle concentrazioni delle principali specie chimiche misurate nei siti fluviali piemontesi in cui sono stati condotti esperimenti di aggiunta di nutrienti. Dall'analisi sono stati esclusi i siti sui fiumi Ceronda e Odda che presentavano delle caratteristiche non idonee per esperimenti di aggiunta, cioè nel caso del Ceronda il flusso era troppo turbolento e la granulometria del substrato molto grossolana, mentre nel caso dell'Odda a una portata relativamente elevata erano associate anche alte concentrazioni di alcuni nutrienti.

Tabella 16. Caratteristiche chimiche dei siti fluviali piemontesi appartenenti all'idroecoregione 06.

	Unità	N	Media	Min	Max	Mediana	25%ile	75%ile
O2	mg/l	16	10.68	6.50	13.7	10.45	9.90	11.50
SAT (O2)	%	16	98.6	75.0	111.0	99.0	94.8	103.0
BOD5	mgO2/l	16	3.38	2.00	8.00	2.00	2.00	4.25
COD	mgO2/l	16	7.69	5.00	21.00	5.00	5.00	9.00
pH		25	7.30	6.55	8.50	7.20	7.00	7.45
Cond.	μS/cm	25	110.5	36.0	175.0	128.1	96.8	134.0
HCO ₃	meq/l	19	0.65	0.23	1.21	0.60	0.36	0.87
N-NH ₄	mg/l	21	0.06	D.L	0.36	D.L	D.L	0.03
N-NO3	mg/l	25	1.14	0.20	2.10	1.10	0.80	1.40
TN	mg/l	16	2.32	1.20	3.60	2.15	1.85	3.00
P-PO ₄	mg/l	24	0.06	0.04	0.260	0.05	0.04	0.05
TP	mg/l	16	0.09	0.05	0.33	0.05	0.05	0.07
SO ₄	mg/l	25	5.5	1.6	11.0	4.0	3.0	6.4
Cl	mg/l	25	8.2	1.0	24.3	5.4	3.5	12.6
Ca	mg/l	16	10.6	3.1	16.8	11.8	7.6	14.0
Mg	mg/l	16	5.0	D.L	7.9	4.4	2.7	7.0
Na	mg/l	16	6.3	3.0	10.6	5.6	3.7	9.1
K	mg/l	16	1.84	D.L	5.4	1.1	D.L	1.6
S.S	mg/l	16	17	10	76	10	10	19

La specie anionica prevalente è rappresentata dall'HCO₃ seguita da cloruri, solfati e nitrati, mentre le specie cationiche seguono l'ordine Ca>Na>Mg>K. Come si può osservare dal grafico di figura 10 lo ione carbonato è strettamente correlato ai cationi Ca e Mg a indicare la presenza di carbonato di Ca e Mg derivante dal dilavamento del bacino. Al contrario la scarsa correlazione tra solfato e Ca porta ad escludere la presenza massiccia di rocce gessose. Dal momento che Na e K traggono la loro origine dai silicati mentre SO₄ e Cl derivano principalmente dai depositi di gesso e salgemma, il rapporto Na+K/SO₄+Cl maggiore di 1, indica che anche il dilavamento dei silicati è relativamente importante nell'area di studio. Anche Na e Cl sono ben correlati (figura 11) e ciò indica la presenza di NaCl che può derivare dagli aerosol marini, dalla presenza dei depositi di salgemma, dal sale distribuito sulle strade in periodo invernale e infine da scarichi civili. Il rapporto Na/Cl di 1.6, quindi

decisamente più alto rispetto a quello tipico delle acque di mare, indica un eccesso di Na probabilmente di origine geochimica. Occorre considerare che dalla relazione lineare tra Na e Cl sono stati esclusi i punti relativi allo Strego che presentava concentrazioni di Cl anomale cioè piuttosto elevate associate a valori elevati di ortofosfato e di Ferro disciolto. Durante gli esperimenti di addizione di nutrienti sono state osservate alcune zone, in particolare nei tratti di pool, caratterizzati da acque con colorazione blu (Figura 12) probabilmente da imputare alla presenza di uno scarico illegale di origine industriale a monte del tratto studiato.

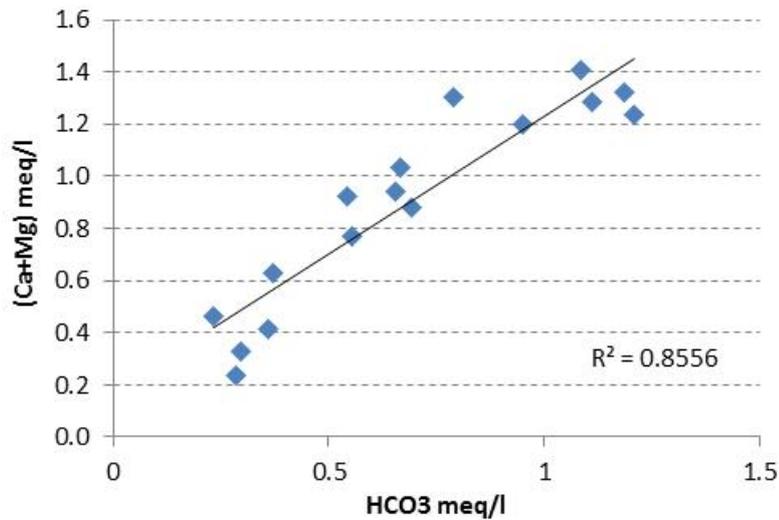


Figura 10. Relazione lineare tra alcalinità e la somma di Ca e Mg .

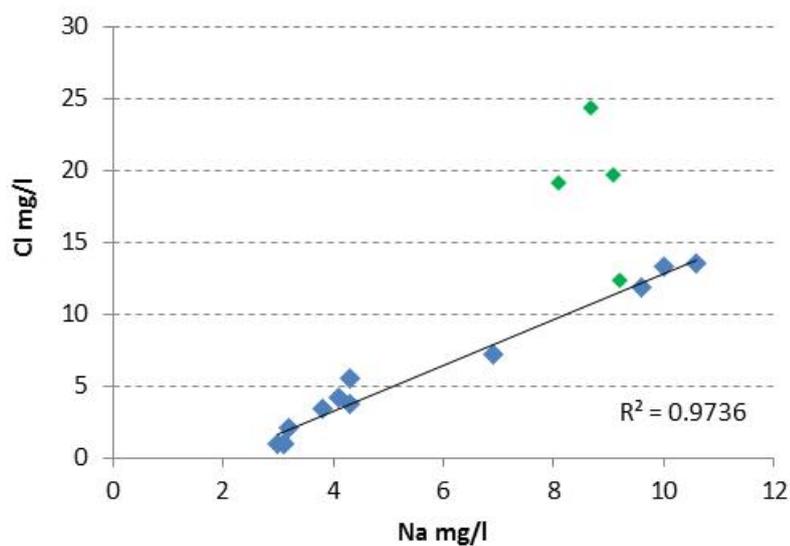


Figura 11. Relazione lineare tra sodio e cloruri. I punti verdi sono relativi al fiume Strego e sono stati esclusi dalla relazione lineare.



Figura 12. Sito sperimentale sul fiume Strego: acque colorate di blu nel tratto di pool.

Relativamente al torrente Curone le cui principali caratteristiche chimiche sono presentate in Tabella 17 si può osservare che anche per questo sito la specie ionica più rappresentata è lo ione bicarbonato la cui concentrazione media è di un ordine di grandezza maggiore rispetto alla mediana dei siti piemontesi. A concentrazione elevate di questa specie chimica sono associate concentrazioni altrettanto elevate di Ca e Mg e valori di pH maggiori di 8. Questa peculiarità chimica è all'origine del fenomeno di travertinizzazione e della presenza dell'habitat "cratoneurion" o delle "sorgenti pietrificanti".

Tabella 17. Caratteristiche chimiche dei siti Curone Monte e Curone Valle.

SITO	DATA	pH	c20°C μS/ cm	HCO ₃ meq/l	N-NO ₃ mg/l	N-NH ₄ μg/l	P-PO ₄ μg/l	SO ₄ mg/l	Cl mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l
CURONE M.	24/03/11	7.9	457		2.6	<15	2	11.9	3.8				
CURONE M.	17/11/11	8.1	459		2.2	<15	2	10.1	8.4				
CURONE V.	13/10/11	7.9	506		1.8	<15	2	16.8	15.4				
CURONE M.	*	8.2	428	3.5	2.2	13	2	14	10	78	8	5	1
CURONE V.	*	8.2	472	4.9	2.4	21	10	18	13	69	11	7	2

*= 6/2006-6/2007

Sia nei siti piemontesi che nel fiume Curone la specie azotata principale è rappresentata dall'azoto nitrico mentre l'azoto ammoniacale è spesso al di sotto del limite di rilevabilità ad eccezione del Guarabione. In questo sito la media delle concentrazioni è di 0.125 mg l⁻¹ ed è sicuramente da mettere in relazione all'uso prevalentemente agricolo del suo bacino. L'azoto nitrico presenta un intervallo di concentrazioni piuttosto limitato con il 50% delle osservazioni comprese tra 0.80 e 1.40 mg l⁻¹. Le concentrazioni più basse (media 0.80 mg l⁻¹) sono state misurate nel Sizzone,

classificato come “reference” mentre nel Curone, anch’esso caratterizzato da un bacino completamente naturale, i valori sono decisamente più alti (maggiori di 2 mg l^{-1}). Infine l’azoto totale presenta valori mediani maggiori rispetto all’azoto inorganico (cioè la somma di azoto nitrico e azoto ammoniacale) indicando che le forme organiche azotate non sono trascurabili in questi corpi idrici. Per quanto riguarda il fosforo, le concentrazioni di ortofosfato sono nella maggior parte dei casi prossime o al di sotto del limite di rilevanza ad eccezione dello Strego. Inoltre dati pregressi relativi al torrente Curone rilevano differenze significative nella concentrazione di fosforo totale tra il tratto a monte ($5 \mu\text{g l}^{-1}$) e quello a valle ($35 \mu\text{g l}^{-1}$) (Lotti e al. 2010).

Per quanto riguarda la presenza di inquinanti in traccia (quali metalli e fitofarmaci) le analisi condotte hanno dato valori sempre al di sotto dei limiti di rivelabilità che portano ad escludere questo tipo di contaminazione nei siti di studio. La caffeina, utilizzata come tracciante di inquinamento di origine civile, è stata ritrovata in concentrazioni leggermente superiore al limite di rivelabilità nella campagna di febbraio nel Guarabione e a fine giugno nell’Olobbia.

3.2 Sardegna

In Tabella 18 sono riportate le concentrazioni delle specie chimiche analizzate nei siti sardi dove sono stati effettuati gli esperimenti di aggiunta dei nutrienti durante la campagna sperimentale del maggio 2011.

Dai valori della conducibilità emerge una maggiore ricchezza ionica di queste acque superficiali rispetto a quelle campionate in Piemonte con una mediana di $447 \mu\text{S cm}^{-1}$ cioè più di 3 volte quella dei siti piemontesi. L’intervallo dei valori, è molto ampio con un minimo di $154 \mu\text{S cm}^{-1}$ e un massimo di $856 \mu\text{S cm}^{-1}$, come ci si poteva attendere data l’ampia distribuzione dei siti sull’intero territorio regionale. La composizione chimica delle acque superficiali è dominata dalla presenza di Na e Cl che costituiscono insieme il 47% del contenuto ionico totale e sono entrambi altamente correlati alla conducibilità (Figura 13).

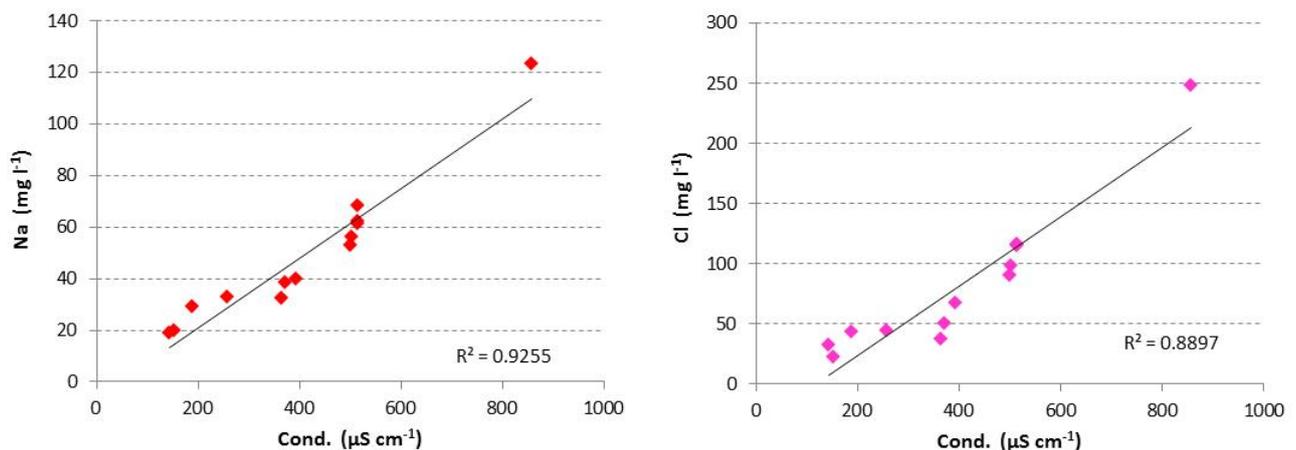


Figura 13. Relazioni lineari tra conducibilità e sodio e conducibilità e cloruri.

Tabella 18. Caratteristiche chimiche dei siti sardi campionati nel maggio 2011

	O ₂ mg l ⁻¹	SAT.(O ₂) %	pH	Cond. μS cm ⁻¹	HCO ₃ meq l ⁻¹	N-NO ₃ mg l ⁻¹	SO ₄	Cl	N-NH ₄	P-PO ₄	TP	Ca	Mg	Na	K
BARRASTONI	9.6	98	7.1	514	1.4	2.20	23.2	116	0.082	0.033	0.04	16.9	13.8	68.1	2.1
BALDU M.	9.6	96	7.1	515	1.4	0.90	24.0	115	0.027	0.047	0.06	20.3	14.0	61.3	2.1
BALDU V.	9.6	96	7.1	515	1.4	0.60	24.0	115	0.027	0.048	0.06	21.1	14.5	62.0	2.1
SA FAA	9.1	99	7.6	856	1.4	0.20	33.4	248	0.008	0.002	<0.05	22.8	22.6	123.0	3.4
POSADA AFF.	9.4	100	7.4	154	0.5	0.20	14.5	22.5	0.013	0.002	0.01	5.5	3.9	19.9	1.1
TERRAMALA	9.0	101	7.2	145		0.04	8.4	32.1	0.016	0.009		3.7	2.7	18.7	0.8
LORANA M.	9.3	97	7.7	371	1.4	0.70	32.0	50.7	0.020	0.260	0.28	20.8	12.8	38.2	2.1
LORANA V.	9.3	97	7.8	393	1.4	0.60	42.6	67.5	0.020	0.240	0.28	21.4	13.1	39.8	2.1
CORR'E PRUNA	9.6	102	7.2	501	2.2	0.60	32.4	90.7	0.053	0.024	0.03	35.2	14.8	52.8	1.2
CORR'E PRUNA M.	9.6	102	7.6	502	2.2	0.60	30.2	98.5	0.053	0.065	0.05	36.6	15.5	56.1	1.4
PORCEDDU	9.0	95	7.6	258	1.1	0.10	15.9	44.2	0.028	0.005	0.01	16.9	6.5	32.7	1.3
CANALE M.D.	8.7	101	7.8	364	2.2	1.70	19.3	37.9	0.117	0.025	0.02	28.5	11.6	32.3	1.4
TIRSO	8.1	94	7.1	189	0.4	0.10	11.3	43.2	0.010	0.005	0.01	7.0	3.3	28.9	0.3
N	13	13	13	13	12	13	13	13	13	13	12	13	13	13	13
media	9.2	98.3	7.4	406	1.42	0.66	23.9	83.2	0.036	0.059	0.100	19.7	11.5	48.8	1.6
min	8.1	94.0	7.1	145	0.40	0.04	8.35	22.5	0.008	0.002	0.006	3.71	2.67	18.7	0.3
max	9.6	102.0	7.8	856	2.20	2.20	42.6	248	0.117	0.260	0.280	36.6	22.6	123	3.4
mediana	9.3	98.0	7.4	393	1.40	0.60	24	67.5	0.027	0.025	0.040	20.8	13.1	39.8	1.4
25° perc	9.0	96.0	7.1	258	1.33	0.20	15.9	43.2	0.016	0.005	0.015	16.9	6.5	32.3	1.2
75° perc	9.6	101.0	7.6	514	1.60	0.70	32	115	0.053	0.048	0.057	22.8	14.5	61.3	2.1

Come si può osservare dal grafico di Figura 14 le concentrazioni di Na e Cl oltre ad essere ben correlate tra loro ($R^2 = 0.987$) ricadono molto bene sulla linea corrispondente al rapporto $\text{Na/Cl} = 0.86$ tipica delle acque marine, confermando quindi la loro origine prevalentemente marina.

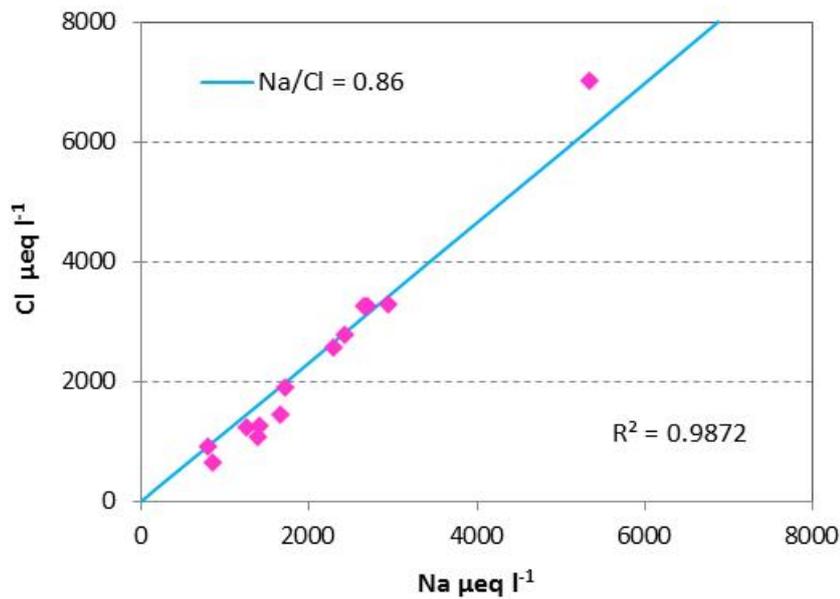


Figura 14. Relazione lineare tra Na e Cl in cui viene mostrata anche la linea corrispondente al rapporto Na/Cl tipico delle acque di mare.

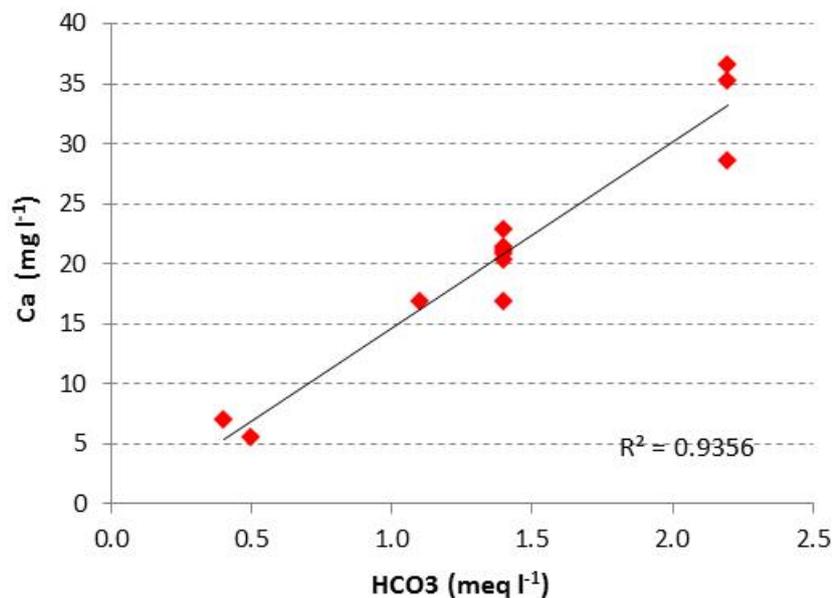


Figura 15. Relazione lineare tra bicarbonato e calcio

Relativamente alle altre specie ioniche si osserva che i rapporti medi tra SO_4/Cl , Ca/Cl e Mg/Cl sono maggiori rispetto a quelli dell'acqua di mare suggerendo quindi l'importanza di altri apporti oltre a quello derivante dagli aerosol marini come sicuramente il dilavamento delle rocce presenti nel bacino. In particolare occorre osservare che le specie ioniche più abbondanti dopo Cl e Na sono per le specie anioniche lo ione bicarbonato e per quelle cationiche Mg e Ca che presentano

concentrazioni mediane molto simili (1.07 e 1.04 meq l, rispettivamente). La buona correlazione tra HCO₃ e Ca (Figura 14) evidenzia l'importanza del carbonato di Ca derivante dal dilavamento di rocce calcaree nella composizione chimica dei fiumi studiati.

I cationi Mg, Na e K risultano ben correlati tra loro ($R^2 > 0.68$) e Mg e K anche con i Cl ($R^2 > 0.71$ e 0.66 rispettivamente) e ciò suggerisce che nel loro caso, a differenza del Ca, l'influenza degli aerosols è comunque molto importante.

Tra le specie azotate la forma prevalente è quella ossidata (N-NO₃) che presenta una mediana di 0.60 mg l⁻¹ quindi inferiore a quella dei siti piemontesi. Il 50% dei siti sardi presenta concentrazioni comprese tra 0.20 e 0.70 mg l⁻¹, e nei siti reference non si sono mai misurati valori superiori a 0.20 mg l⁻¹. Si può ipotizzare che queste basse concentrazioni, molto vicine ai valori naturali, siano da mettere in relazione a carichi di deposizione atmosferica di azoto molto bassi (Marchetto et al. 2012) e alla scarsissima presenza di coltivazioni agricole richiedenti grandi quantitativi di fertilizzanti azotati (es. il mais) nei bacini di studio. Al contrario del nitrato, l'azoto ammoniacale presenta una concentrazione mediana di 27 µg l⁻¹ quindi più alta rispetto ai siti piemontesi, dove con una sola eccezione, non si superavano mai i 15 µg l⁻¹. Le concentrazioni di azoto ammoniacale nei siti sardi coprono un intervallo abbastanza ampio da 10 a 120 µg l⁻¹ e ciò è probabilmente da imputare alla diffusa presenza di animali da allevamento (pecore, capre e vacche) in prossimità dei corsi d'acqua.

Analogamente all'azoto ammoniacale, anche le concentrazioni di ortofosfato sono risultate mediamente più elevate nei fiumi sardi (tra 5 e 65 µg l⁻¹) rispetto a quelli piemontesi generalmente inferiori ai 15 µg l⁻¹, con alcune eccezioni come il rio Lorana, in Sardegna, dove si è registrata una concentrazione di 250 µg l⁻¹ circa (sia nel sito a monte che in quello a valle). Anche nel caso dell'ortofosfato occorre considerare una possibile contaminazione di origine zootecnica a cui potrebbe aggiungersi quella derivante dalla presenza di scarichi fognari attivi saltuariamente segnalateci dagli abitanti, ma ancora da verificare.

Considerazioni conclusive

L'analisi dettagliata delle caratteristiche idrologiche, morfologiche e chimiche rilevate nei siti selezionati per gli esperimenti di "nutrient addition" è risultata molto utile per completare e arricchire la conoscenza degli ambienti fluviali oggetto di studio del progetto INHABIT.

Questa attività è indispensabile per le fasi successivi del progetto principalmente perché ha consentito l'individuazione delle variabili fisiche e chimiche più importanti da mettere poi in relazione con le metriche di ritenzione dei nutrienti.

Tra le variabili idrologiche abbiamo osservato un'ampia variabilità di condizioni di portata in entrambe le regioni oggetto di indagine. In linea con le prerogative del piano sperimentale, non sono presenti siti caratterizzati da portata molto elevata che avrebbe potuto compromettere i risultati ottenuti con gli esperimenti di aggiunta dei nutrienti. Escludendo tali casi estremi si ritiene che i siti investigati coprano un idoneo gradiente rappresentativo.

La stima della portata con l'utilizzo del tracciante ha per ora consentito di ricavare dei valori di velocità di corrente (media, minima e massima) che possono dare indicazioni preliminari sulle condizioni idrologiche di ogni sito, in particolare è stato calcolato il rapporto tra velocità minima e velocità media che è considerato un indicatore della ritenzione dovuta a processi idrologici del corso d'acqua. Nelle attività previste nei prossimi mesi le curve di conducibilità verranno utilizzate per approfondire la tematica relativa alla ritenzione idrologica in particolare attraverso l'applicazione di un modello che consentirà di stimare le "transient storage zones".

Relativamente alle caratteristiche morfologiche, abbiamo riscontrato un'alta eterogeneità nelle tipologie di flusso e substrato, soprattutto nei siti sardi mentre, in quelli piemontesi prevalgono in generale granulometrie piuttosto grossolane e flussi turbolenti.

Ancora più eterogeneo è risultato il sistema iporreico con differenze importanti all'interno di ogni tratto di 100m. A tal proposito è emersa la necessità di definire dei descrittori sintetici in grado di integrare le informazioni di eterogeneità/omogeneità dei parametri, da poter mettere in relazione con l'efficienza di ritenzione dei nutrienti.

L'analisi della composizione chimica delle acque fluviali ha fatto emergere delle differenze, in parte attese, tra le due diverse regioni. Innanzitutto l'influenza degli aerosols marini nei siti sardi responsabili delle elevate concentrazioni di cloruro di sodio le cui variazioni spaziali sono da mettere in relazione alla distanza di ogni sito dal mare. Contrariamente ai siti sardi, in quelli piemontesi la specie ionica più abbondante è rappresentata dai carbonati di Ca e Mg derivanti dal dilavamento dei bacini. Per quanto riguarda i nutrienti e i contaminanti in traccia, le analisi chimiche hanno consentito di confermare le scelte del piano sperimentale che prevedevano l'esclusione dei siti caratterizzati da un importante inquinamento di origine puntuale (scarichi civili, industriali e scolmatori). In Piemonte le concentrazioni di N-NH₄ e P-PO₄ sono risultate nella maggior parte dei casi inferiori al limite di rilevabilità, mentre nei siti sardi i livelli erano leggermente più elevati e distribuiti su intervalli più ampi. Queste condizioni sono probabilmente da imputare alla diffusa presenza di animali da allevamento (pecore, capre e vacche) in prossimità dei corsi d'acqua in Sardegna. A differenza dell'azoto ammoniacale, le concentrazioni di azoto nitrico sono risultate mediamente più elevate in Piemonte e ciò è presumibilmente da associare a carichi di deposizione atmosferica di azoto più elevati e a una maggiore presenza di coltivazioni agricole che richiedono l'utilizzo di fertilizzanti azotati in Piemonte rispetto alla Sardegna.

Bibliografia

- APAT, IRSA-CNR, 2004. Metodi analitici per le acque. Manuali e Linee guida 29/2003, Roma, 1153 pp.
- A.P.H.A., A.W.W.A., W.E.F., 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Amer. Publ. Health. Ass., Washington.
- Arese C., Balestrini R. & Lotti A., 2010. Linee guida e protocolli operativi relativi alle attività di campo per la valutazione della capacità di riduzione dei nutrienti nei fiumi. Deliverable Pd4. Project INHABIT - LIFE08 ENV/IT/000413. 51 pp. www.life-inhabit.it
- ARPA Piemonte, 2011. Attività ARPA nella gestione delle reti di monitoraggio delle acque superficiali. Piano di monitoraggio triennio 2012-2014. Struttura Specialistica Qualità delle Acque. Firenze A. (a cura di). Dicembre 2011, 159 pp. <http://www.arpa.piemonte.it/approfondimenti/temi-ambientali/acqua/acque-superficiali-corsi-dacqua/RelazionePianomonitoraggi20122014superficiali2011.pdf>
- Buffagni A., S. Erba & Ciampittiello M., 2005. Il rilevamento idromorfologico e degli habitat fluviali nel contesto della Direttiva europea sulle acque (WFD): principi e schede di applicazione del metodo CARAVAGGIO. Notiziario dei Metodi Analitici IRSA 12: 32-46.
- Buffagni A., Erba S. & Demartini D., 2010. Deliverable Pd3. Indicazioni generali e protocolli di campo per l'acquisizione di informazioni biologiche e di habitat. Parte A: fiumi. Project INHABIT - LIFE08 ENV/IT/000413. 99 pp. www.life-inhabit.it
- Erba S., Demartini D., Balestrini R., Cazzola M., Tenchini R., Fiorenza A., Ferrero T., Casula R., Pintus M. & Buffagni A., 2011. Deliverable I1d1. Rapporto tecnico - Aree di studio, siti e strategie di campionamento, difficoltà complessive e sintesi dei principali risultati. Parte A: FIUMI. 166 pp. www.life-inhabit.it
- Fresenius, W., Quentin, K.E., 1988. Water Analysis. Schneider, W. (Eds), Springer-Verlag, Berlin: 804 pp.
- Lotti A., Balestrini R, Arese C., Delconte C.A, Passatore L., 2010. Circolazione dell'azoto in Val Masino: studi condotti in ambienti di alta quota. In: Analisi spazio-temporali: dinamiche e processi a confronto. BOLZANO, 15-18 settembre 2009, vol. 57(2), p. 29-37, Bolzano: Accademia Europea Bolzano, ISBN: 978-88-88906-56-0.
- Marchetto A., Tornimbeni O., Rogora M. & Ciampittiello M., 2012. Deliverable I2d6- Rapporto tecnico - Modellizzazione del comportamento dell'azoto nei bacini fluviali selezionati. Project INHABIT - LIFE08 ENV/IT/000413. 27 pp. www.life-inhabit.it
- Rodier, J., 1984. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris. 1365 pp.
- Valderrama, J.C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorous in natural waters. Marine Chemistry, 10: 109-122.