

2° Giornata di Studio

Il monitoraggio idrotorbidimetrico dei corsi d'acqua
per la stima dei processi erosivi e il bilancio dei solidi sospesi

8 ottobre 2004

**L'azoto totale nelle torbide fluviali in bacini appenninici:
relazioni con i parametri ideologici**

Dott.ssa Licia Rubbi*, Dott.ssa Laura Billi*,
Dott.ssa Donatella Pavanelli **, Ing. Alessandro Bigi**

* ARPA Emilia Romagna, sez. prov. Ravenna

** DEIAgra, Facoltà di Agraria, Università di Bologna

INTRODUZIONE

Il trasporto torbido dei corsi d'acqua può essere considerato un indicatore dei fenomeni d'erosione del suolo che si manifestano sui versanti, nell'ambito del bacino.

Il trasporto torbido è costituito da solidi in sospensione di granulometria variabile, dalle argille alle sabbie, in funzione dei parametri idraulici, litopedologici, vegetazionali del bacino.

Numerose sono le indagini sui processi di trasporto che concordano nell'attribuire ai solidi sospesi il ruolo di veicolo per la migrazione degli agenti inquinanti e dei nutrienti [Bueselinck et al., 2000; Horowitz, 1991].

La concentrazione di tali sostanze, nei solidi in sospensione, può arrivare a diversi ordini di grandezza maggiori rispetto alla loro concentrazione nella frazione liquida, in fase disciolta.

In particolare è stato provato il ruolo di vettore preferenziale degli aggregati di particelle fini come argilla e limo [Droppo et al., 1997; Ongley et al., 1992].

Inoltre numerosi studi hanno provato come il tasso di azoto sia tendenzialmente in crescita negli acquiferi e nelle acque superficiali [Böhlke and Denver, 1995] e come il ciclo naturale dell'azoto sia ormai modificato, a causa dei fertilizzanti e degli scarichi zootecnici e fognari [Vitousek et al., 1997].

La necessità di dati sperimentali rende il monitoraggio fluviale un basilare tassello nell'ambito della gestione e della protezione dell'ambiente e, nel caso specifico, per il controllo dell'erosione del suolo, dell'inquinamento e dell'eutrofizzazione delle acque di superficie.

Nel presente lavoro si riportano i primi risultati conseguiti, nell'ambito di un più ampio progetto, relativamente alle relazioni, in campioni di torbida fluviale, tra la concentrazione dell'azoto totale rilevato nei solidi sospesi, la concentrazione e la granulometria dei solidi sospesi. Si propone inoltre un primo tentativo di stima dell'azoto perso a livello di bacino, attraverso il vettore dei solidi sospesi fluviali.

Lo studio si avvale di una rete di monitoraggio fluviale avviata nell'aprile del 1997 dal DEIAgra della Facoltà di Agraria col supporto dell'Autorità di Bacino del Reno, che vede operative le seguenti stazioni di rilevamento idrologico-torbidimetrico in continuo:

- T. Sillaro, con un bacino di 137,6 km², avviata nell'aprile 1997,
- T. Lavino (82,6 km²), operativa dal settembre 1998,
- T. Savena (168,9 km²) dall'ottobre 2000.

I campioni studiati in questa prima fase del lavoro sono prelevati durante il 2003, dalle tre stazioni di monitoraggio, che presentano un'adeguata concentrazione di solidi in sospensione.

Sulla base della disponibilità dei dati analitici fisici e chimici, dei dati idrologici di portata e delle precipitazioni sarà possibile, in prospettiva, approfondire i seguenti aspetti del fenomeno:

- lo studio del ruolo dell'erosione idrica e del trasporto dei solidi sospesi nel trasferimento dell'azoto in ambito fluviale,
- la stima a livello di bacino della perdita di azoto,
- la perdita di azoto, sia in funzione delle caratteristiche intrinseche (litologia, pedologia, geomorfologia ecc) di ciascun bacino, sia in funzione della diversa antropizzazione e uso del suolo dei bacini.

METODOLOGIA DI LAVORO E ANALISI

I torrenti sono stati attrezzati, alla chiusura del bacino montano, con idrometro ad ultrasuoni e campionatore automatico per le torbide, i dati sono trasmessi via modem.

L'idrometro è interconnesso al campionatore automatico per liquidi, dotato di 24 bottiglie, al quale invia l'impulso per il campionamento con frequenza programmata in funzione del volume d'acqua defluito dalla sezione [Pavanelli, Pagliarani, Bigi, 2004].

Tale metodo di campionamento delle torbide consente di prelevare un numero di campioni, per ciascun evento, in relazione alla portata e quindi alla magnitudine dell'evento stesso, di conseguenza i campionamenti sono concentrati nelle fasi idrologiche più interessanti per lo studio del trasporto torbido: le piene.

Nel caso specifico, per poter effettuare analisi geo-chimiche sui campioni di sedimento, nella scelta della strumentazione e della campagna di rilevamento si è tenuto conto anche della necessità di una quantità significativa di materiale solido (> 10g), il che può risultare un problema se la strategia di campionamento non è adeguata alla natura altamente episodica delle piene e delle torbide fluviali [Russell et al., 2000].

In figura 1 si riporta, come esempio, l'andamento della portata, della concentrazione dei solidi e dell'azoto totale nei campioni durante alcuni eventi significativi occorsi nel 2003; i dati idrologici hanno frequenza 30'.

Si osserva la distribuzione dei campionamenti rispetto all'idrogramma che consente di ricostruire al meglio anche l'andamento della torbida e della concentrazione dell'azoto.

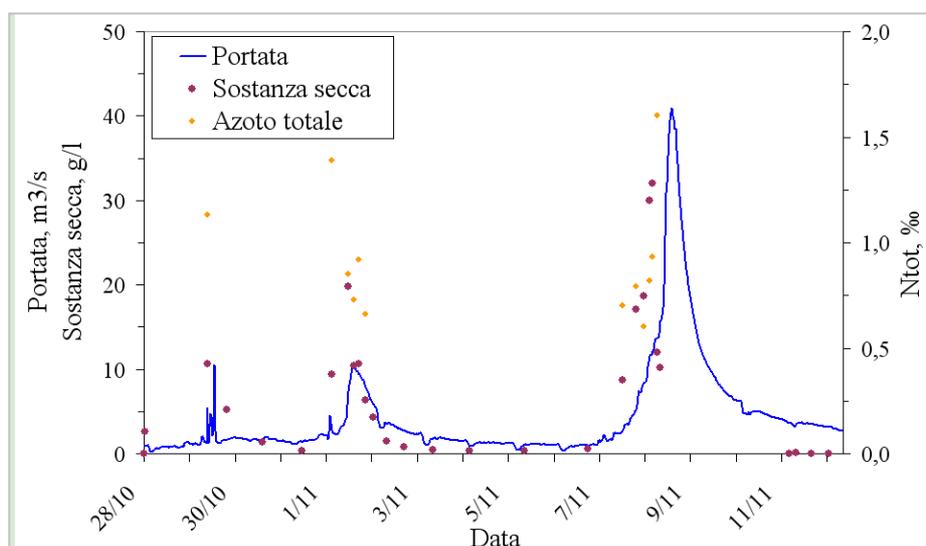


Fig. 1. Andamento della portata, della concentrazione dei solidi sospesi (sostanza secca) e dell'azoto totale (N_{tot}) nei solidi sospesi durante alcuni eventi occorsi nell'autunno del 2003 nel torrente Savena.

I campioni di torbida sono sottoposti alle seguenti analisi:

1. analisi torbidimetrica - torbidimetro da laboratorio (Hach model 2100AN, fondo scala 10000 unità nefelometriche (NTU));
2. determinazione dei solidi sedimentabili in cono Imhoff;
3. determinazione dei solidi residui mediante analisi gravimetrica separazione dei solidi con centrifugazione ed essiccazione a 105°C fino a peso costante;
4. analisi granulometrica - velocità di sedimentazione con l'applicazione della legge di Stokes, (metodo della pipetta);
5. determinazione dell'azoto totale.

Le analisi 3, 4, 5 sono effettuate presso i laboratori della sez. Provinciale di Ravenna dell'Agenzia Regionale Prevenzione Ambientale (ARPA) dell'Emilia Romagna,

le analisi 1 e 2 sono effettuate presso il laboratorio di Idraulica del Dipartimento [Pavanelli, Bigi, 2004] .

La campagna analitica ha preso avvio nel 2000, per quanto riguarda le analisi fisiche, tuttavia la ricerca dell'azoto sarà possibile anche sui campioni passati, dal 2000 ad oggi, poiché la frazione solida è stata conservata nel laboratorio dell'ARPA.

I campioni di torbida sono sottoposti, presso il laboratorio DEIAgra, Facoltà di Agraria, Università di Bologna, ad analisi torbidimetrica e determinazione dei solidi sedimentabili mediante cono Imhoff.

Tali misure vengono effettuate sul campione tal quale senza modificarne lo stato chimico-fisico.

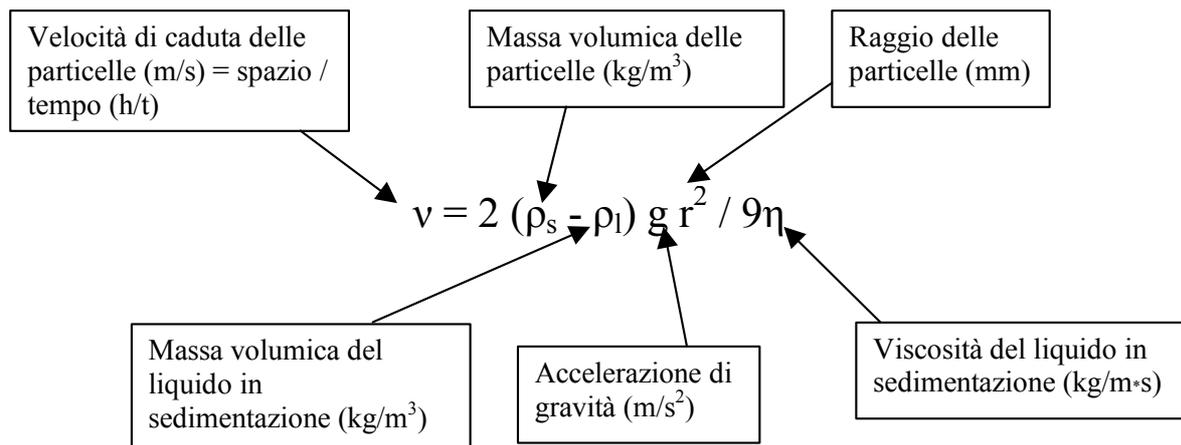
Successivamente, presso il laboratorio Arpa, il campione viene sottoposto alla separazione della frazione liquida dai solidi sospesi, mediante filtrazione su filtri 0,45 µm, dopo preventiva sedimentazione e, se necessario centrifugazione.

I solidi sospesi così risultanti vengono seccati, pesati (determinazione dei solidi sospesi), macinati e setacciati a 2 mm e costituiscono la frazione solida su cui vengono effettuate le successive prove:

a) determinazione le frazioni granulometriche:

- sabbia 2000 ÷ 50 µm
- limo grosso 50 ÷ 20 µm
- limo fine 20 ÷ 2 µm
- argilla < 2 µm

E' adottato il "metodo della pipetta" che si basa su criteri idrodinamici fondati sulla differenza di velocità relativa di caduta delle particelle nel fluido in cui sono immerse secondo la legge di Stokes:



Operativamente il metodo consiste in prelievi a tempi ed altezze, determinate da suddetta legge, di un volume prefissato da un cilindro di dimensioni (altezza ed area della base) esatte, contenente una soluzione in cui è stato disperso il campione solido. A titolo di esempio si riporta uno schema operativo:

Diametro delle particelle non sedimentate	Tempo di sedimentazione	Profondità di prelievamento
< 50 μm	1' 55"	25 cm
< 20 μm	4' 48"	10 cm
< 2 μm	8 h	10 cm
< 2 μm	4 h	5 cm

b) Sulle aliquote di sedimento rimaste, dopo aver determinato la granulometria, si è successivamente deciso, grazie ad un accordo ARPA-DEIAgra, di determinare l'Azoto totale mediante analisi elementare dei campioni.

La tecnica consiste nella combustione istantanea (flash combustion) del campione con formazione di ossidi gassosi trasportati in corrente di He e ridotti ad Azoto elementare (N₂) su uno strato di rame.

Il metodo non differenzia le diverse forme di azoto (organico e minerale nitrico, nitroso e ammoniacale) ma procede ad una determinazione complessiva dell'elemento nel campione sottoposto a prova.

Il valore di Azoto totale determinato si riferisce esclusivamente alla frazione solida del campione di torbida, dal momento che il primo passo della preparazione del campione consiste nella separazione dalla frazione liquida, che non viene conservata, quindi, in questo contesto, si intenderà per Azoto Totale, l'azoto totale nei solidi sospesi (N_{tot} SS).

ELABORAZIONE DEI DATI

In tabella1 si riportano i valori medi, massimi e la deviazione standard dei campioni oggetto dello studio, relativamente alla portata, misurata durante il campionamento, alla concentrazione dell'azoto totale, alla distribuzione granulometrica dei solidi sospesi ed alla concentrazione di questi ultimi nei campioni.

Si osserva una notevole differenza tra i valori di portata dei tre torrenti, legate alle rispettive caratteristiche intrinseche, quali la dimensione dei bacini, la geolitologia, la copertura vegetale ecc.. L'azoto risulta mediamente inferiore nei campioni del Lavino, mentre è su valori simili, anche relativamente ai valori massimi e dev.st., negli altri 2 torrenti.

Per quanto riguarda la granulometria si osservano significative similitudini tra i campioni del Sillaro ed il Lavino, per i quali vi è una netta predominanza della granulometria fine, argille e limo fine, mentre i campioni del Savena presentano valori rilevanti della frazione grossolana (Fig.2), risultati che rispecchiano le caratteristiche geolitologiche specifiche dei tre bacini.

		Portata (m3/s)	Azoto tot. (‰)	Sabbia (%)	Limo (%) (50-20 µm)	Limo (%) (20-2 µm)	Argilla (%)	Sost. Secca g/kg
LAVINO	media	1,0	0,6	4,1	5,8	44,2	46,0	9,8
	max	1,1	0,9	8,0	11,0	52,0	60,0	20,8
	dev standard	0,1	0,2	2,4	3,4	5,7	10,0	5,7
SAVENA	media	11,4	0,8	47,5	10,0	28,6	13,8	53,7
	max	22,9	1,6	94,0	26,0	62,0	36,0	164,9
	dev standard	6,5	0,4	30,7	7,2	19,5	9,7	45,7
SILLARO	media	26,8	0,8	3,8	5,6	43,7	46,9	9,2
	max	46,0	1,4	13,0	15,0	60,0	69,0	34,9
	dev standard	16,0	0,3	2,3	2,8	6,1	7,6	5,3

Tab.1 statistiche dei valori misurati nei campioni del 2003 dei 3 corsi d'acqua: portata del momento di campionamento, concentrazione dell'azoto totale, granulometria e concentrazione dei solidi sospesi nei campioni.

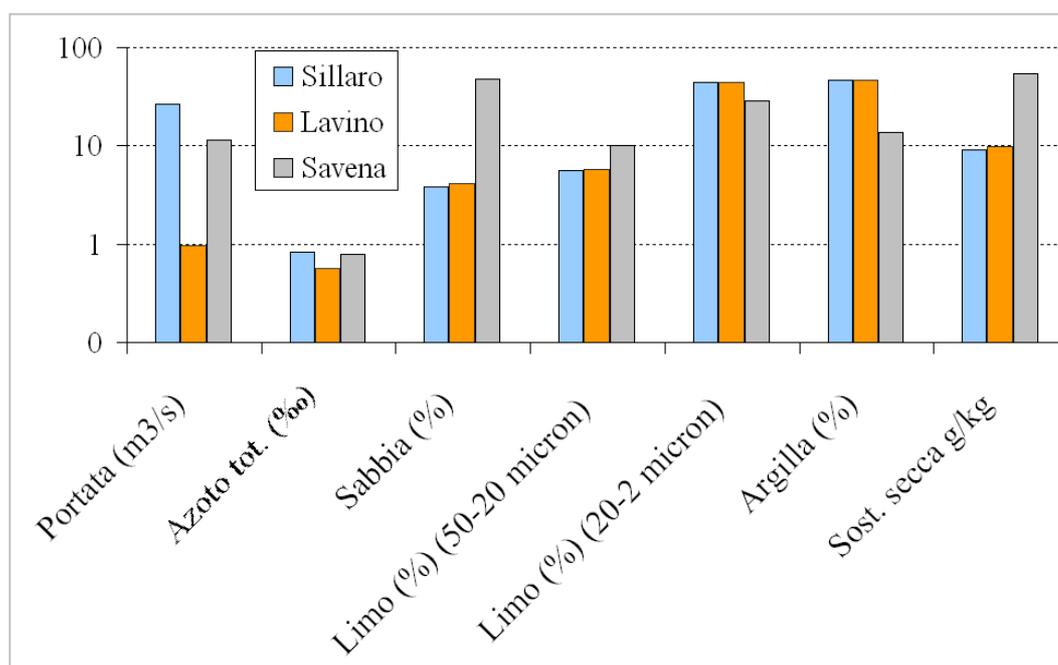


Fig.2 Istogramma dei dati della tabella1.

Lo studio, già in questa prima fase, fornisce interessanti elementi per una valutazione del comportamento della concentrazione dell'azoto totale rispetto alla granulometria dei campioni.

In particolare si osserva che esiste una relazione diretta con la granulometria più fine: le argille ed il limo fine (50-20 μm). Viceversa all'incrementare della concentrazione della frazione sabbiosa, nel campione, diminuisce la concentrazione di azoto (Fig. 3).

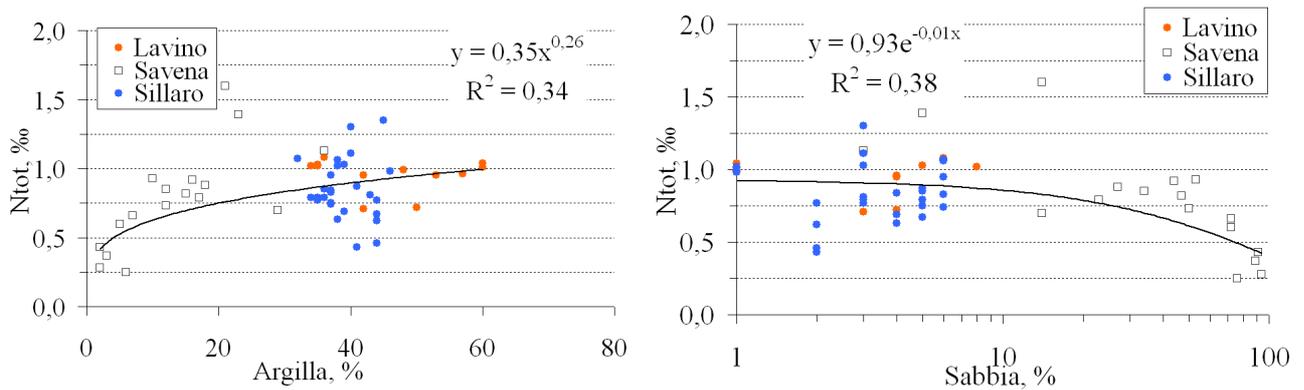


Fig. 3. Andamento della concentrazione di azoto totale in relazione alla granulometria della frazione argillosa (%) e sabbiosa nei campioni dei tre torrenti

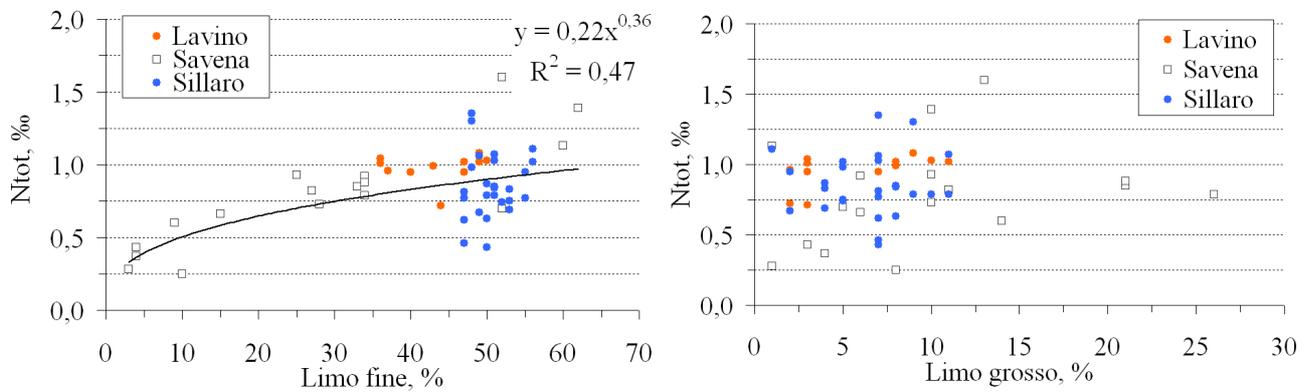


Fig.4 Andamento della concentrazione dell'azoto totale in relazione alla granulometria della frazione limo fine (20-2 micron) e grosso (50-20 micron).

Relativamente alla frazione limosa (Fig.4) si osserva una relazione diretta con il limo fine, in analogia con l'andamento riscontrato con l' argilla, mentre è assente il legame con il limo grosso.

L'azoto totale è stato messo in relazione anche con la concentrazione dei solidi sospesi nei campioni (*Fig.5 sin.*), si osserva che all'aumentare di questa l'azoto diminuisce.

Tale comportamento può essere spiegato con l'incremento della frazione più grossolana che si rileva all'aumentare della concentrazione delle torbide.

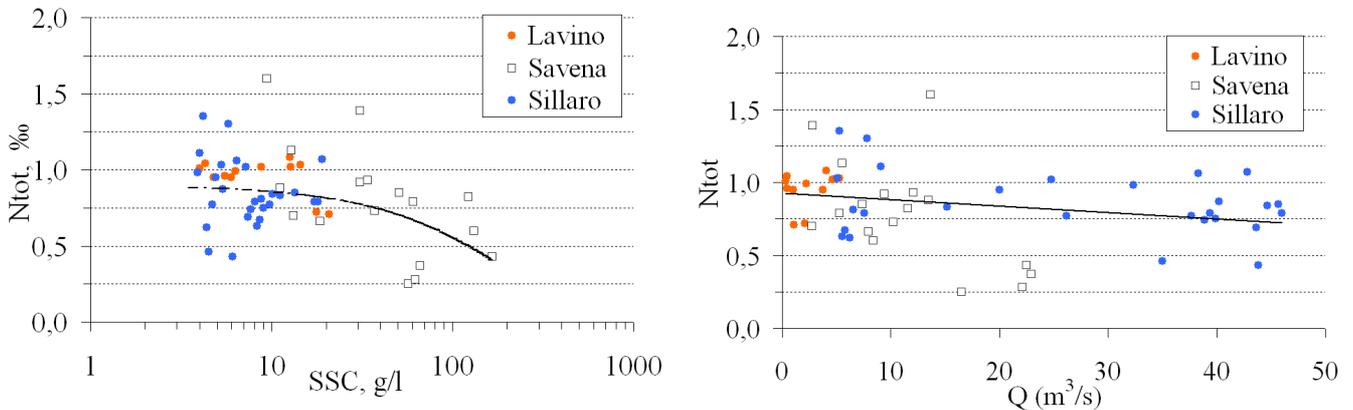


Fig. 5 Sinistra: relazione tra l'azoto totale e la concentrazione dei solidi sospesi in g/l per i tre corsi d'acqua. Destra: relazione tra l'azoto totale e la portata media di 30 min relativa al campionamento, la regressione si riferisce ai campioni del Savena.

Come noto la concentrazione delle torbide è direttamente correlata con la portata; l'incremento della portata implica una maggiore energia cinetica dell'acqua con il conseguente aumento della capacità erosiva e di trasporto durante gli eventi di piena, ne segue che tale stato idraulico è caratterizzato dall'aumentare della quota di particelle grossolane in sospensione.

Si sono ricercate anche le relazioni tra l'azoto totale e la portata, valore medio su 30min., misurata durante il campionamento (*Fig. 5 des.*): si osserva una relazione, di tipo inverso, relativamente ai soli dati del Savena.

Questo fatto si spiega con la variabilità della granulometria dei solidi sospesi del Savena che copre tutto il range, dalle argille alle sabbie, ne segue che all'aumentare della portata, incrementando la frazione grossolana, l'azoto diminuisce essendo legato alla frazione fine.

Viceversa gli altri due corsi d'acqua monitorati sono caratterizzati da solidi in sospensione costituiti prevalentemente da materiali fini: al variare della portata non si riscontra una variazione di composizione granulometrica significativa, e conseguentemente neanche della concentrazione di azoto.

	Stima Ntot			Stima Ntot			Stima Ntot				
	Ton/km ²	Tonn		Ton/km ²	Tonn		Ton/km ²	Tonn			
SILLARO	1997	0,5	67,7	LAVINO	1998	0,0	0,9	SAVENA			
	1998	0,4	49,0		1999	0,2	18,3				
	1999	0,9	124,7		2000	0,0	2,8		2000	0,1	19,6
	2000	0,5	75,0		2001	0,1	6,2		2001	0,4	68,6
	2001	0,7	94,5		2002	0,1	10,7		2002	0,5	80,9
	2002	0,6	76,8		2003	0,1	9,4		2003	0,6	107,8
	2003	0,7	100,4		2004	0,2	15,4		2004	0,3	52,4
	2004	1,0	132,8		media	0,1	9,1		media	0,4	65,8

Tab.2 Stima della perdita di Azoto totale unitaria ed annua dai tre bacini considerati.

In tabella 2 si riportano i valori di stima della perdita di azoto totale annua dei tre bacini monitorati, il valore indica l'azoto effettivamente perduto in quanto uscito dal bacino dalla sezione di chiusura monitorata, attraverso il trasporto torbido.

Il calcolo è stato effettuato utilizzando i dati di perdita di suolo ottenuti da tutti i campioni di trasporto torbido raccolti durante la campagna di monitoraggio.

Utilizzando una formula di interpolazione [Walling, 1992], si è calcolato il trasporto medio annuo che ha permesso di stimare la perdita di azoto utilizzando la concentrazione di azoto totale media rilevata per ciascun bacino.

Relativamente al metodo di stima del deflusso torbido si rimanda agli altri interventi riportati (Rilevamento idrologico e dei solidi sospesi nelle stazioni sperimentali sui torrenti Sillaro, Lavino, Savena e foce Reno, D. Pavanelli, A. Pagliarani, A. Bigi).

	Deflusso torbido unitario (T/Km ²)	Erosione suolo mm
Savena media (2001-03)	651	0,43
Sillaro media (1998-03)	1010	0,67
Lavino media (1999-03)	189	0,13

Tab.3 Stima del deflusso torbido e della perdita di suolo.

I valori massimi di perdita di azoto sono riscontrati nel Sillaro con 133 tonnellate di Ntot SS, relative al primo semestre del 2004, e media di 90 ton sul periodo monitorato, segue il Savena con 108 ton. di Ntot SS nel 2003, e una media di 66 ton. annue, infine il Lavino presenta valori di un ordine di grandezza inferiori: 9 ton medie con il massimo di 18 ton nel 1999.

In tabella 3 si riportano i valori relativi al deflusso torbido unitario e alla perdita di suolo stimati per i tre corsi d'acqua e rispettivi bacini: si osserva che il Sillaro ed il Savena presentano valori elevati, risultando essere bacini in forte erosione, mentre il Lavino ha un modesto trasporto torbido.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I dati fin qui studiati ci permettono di fare alcune considerazioni, che comunque richiederanno l'ampliamento della campagna di misure ed elaborazioni per avere conferma.

L'azoto totale risulta essere in diretta relazione con la presenza di argille e limo a granulometria fine, confermando quanto dedotto in bibliografia.

La relazione tra l'azoto totale e la concentrazione della sostanza secca è inversa, a causa dei rapporti idraulici che esistono tra la portata e la competenza della corrente, infatti incrementando la portata aumenta la quantità di materiale trasportabile e anche la sua granulometria.

Tale relazione è confermata dall'andamento della concentrazione d'azoto rispetto alla portata misurata durante il campionamento.

La stima della perdita di azoto attraverso fenomeni erosivi dalle sezioni monitorate si può imputare come perdita effettiva di azoto totale dal bacino, in quanto misurato alla sezione di chiusura del bacino montano.

I valori massimi, sul periodo di rilevamento, per il Sillaro ed il Savena risultano dell'ordine del centinaio di tonnellate annue, con media di 90 ton e di 66 ton annue rispettivamente, mentre il Lavino presenta valori di un ordine di grandezza inferiori, 9 ton medie.

Queste stime, se confermate, dovranno essere spiegate, in quanto, sebbene il Lavino presenti minore trasporto solido rispetto agli altri 2 torrenti, risulta essere il bacino maggiormente interessato dall'agricoltura e dall'antropizzazione.

Tuttavia per un affinamento della stima della perdita di azoto sarà necessario calcolarla in relazione alla concentrazione della frazione fine presente nelle torbide, e quindi differenziando il valore di stima della perdita di suolo in relazione alle frazioni granulometriche ne risulterebbe certamente ridimensionata la perdita di azoto calcolata per il Savena per il quale è rilevante la presenza della frazione grossolana nelle torbide.

Non sono state definite le diverse forme di azoto, in quanto l'Azoto totale è stato determinato mediante la tecnica dell'analisi elementare.

È però presumibile, visto che il dato si riferisce alla frazione solida nella torbida, che si tratti delle forme meno solubili legate alla matrice suolo (infatti le maggiori concentrazioni sono state riscontrate nei campioni a rilevante componente granulometrica fine).

Il dato è quindi interpretabile anche come una quantificazione relativamente alla perdita di azoto a minor impatto ambientale e a maggior utilità agronomica.

Si deduce che in tale forma l'azoto non costituisce un diretto pericolo in relazione ai fenomeni di inquinamento organico e dell'eutrofizzazione, ma piuttosto, indirettamente, tale perdita comporta un reintegro di azoto in forma probabilmente più impattante, attraverso l'uso di fertilizzanti.

Bibliografia

- Böhlke, J.K., and J.M. Denver, Combined use of groundwater dating, chemical, and isotopic analyses to resolve the history and fate of nitrate contamination in two agricultural watersheds, Atlantic coastal plain, Maryland, *Water Resources Research*, 31 (9), 2319-2339, 1995.
- Bueselinck, L., G. Govers, A. Steegen, and J. Poesen, Impact of soil aggregates on the size selectivity of the sediment deposition process, in *The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer*, pp. 99-107, IAHS, Waterloo, Canada, 2000.
- Droppo, I.G., G.G. Leppard, D.T. Flannigan, and S.N. Liss, The Freshwater Flocculation: A Functional Relationship of Water and Organic and Inorganic Flocculation Constituents Affecting Suspended Sediment Properties, *Water, Air, and Soil Pollution*, 99 (1-4), 43-54, 1997.
- Horowitz, A.J.: *A primer on sediment trace-element chemistry*, Lewis, Michigan, USA, 1991.
- Ongley, E.D., B.G. Krishnappan, I.G. Droppo, S.S. Rao, and R.J. Maguire, Cohesive sediment transport: emerging issues for toxic chemical management, *Hydrobiologia*, 235/236, 177-187, 1992.
- D. Pavanelli, A. Bigi, Indirect analysis methods to estimate suspended sediment concentration: reliability and relationship of turbidity and settleable solids, *Biosystems Engineering*, accettato maggio '04. I006343 - (AM)
- Donatella Pavanelli, Andrea Pagliarani, Alessandro Bigi, Rilevamento idrologico e dei solidi sospesi nelle stazioni sperimentali dei torrenti Sillaro, Lavino, Savena, e foce Reno, 2°Giornata di studio "Monitoraggio fluviale ed erosione nella pianificazione e gestione dei bacini appenninici" 8 ottobre 2004, *Aula Magna della Facoltà di Agraria, Bologna, Via G. Fanin, 50, Atti pubblicati su Rivista dell'Arpa, n.6, 2004*
- D. Pavanelli, A. Pagliarani, Monitoring water flow, turbidity and suspended sediment load, from an Apennine catchment basin, Italy *Biosystems Engineering*, vol 83/4 pp 463-468, 2002
- Russell, M. A., Walling, D. E., and Hodgkinson, R. A. "Appraisal of a simple sampling device for collecting time-integrated fluvial suspended sediment samples." *The role of erosion and sediment transport in nutrient and contaminant transfer*, Waterloo, Canada, 119-127.
- Vitousek, P.M., J.D. Aber, R.W. Howarth, G.E. Likens, P.A. Matson, D.W. Schindler, W.H. Schlesinger, and D.G. Tilman, Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences, *Ecological Applications*, 7, 737-750, 1997.
- Walling, D.E., Webb B.W., Woodward, J.C., Some sampling considerations in the design of effective strategies for monitoring sediment-associated transport, in *Erosion and sediment transport monitoring programmes in river basins*, edited by J. Bogen, Walling D.E., Day, T.J., pp. 279-288, IAHS, Oslo, 1992.