

COMPOSIZIONE GEOCHIMICA DEL SOLIDO SOSPESO FLUVIALE: UNO STRUMENTO PER L'ANALISI AMBIENTALE

Dimitra Rapti-Caputo¹, Donatella Pavanelli² & Carmela Vaccaro¹

¹ Università di Ferrara, Dipartimento di Scienze della Terra, via Saragat, 1, I-44100 Ferrara Italia;
e-mail: cpr@unife.it

² Università degli Studi di Bologna, Dipartimento di Scienze della Terra e Geologico-Ambientali,
Via Zamboni 64, 40126 Bologna

Riassunto: Rapti-Caputo D., Pavanelli D. & Vaccaro C.: *Composizione geochemica del solido sospeso fluviale: uno strumento per l'analisi ambientale* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

Nel presente lavoro, vengono presentati i risultati preliminari relativi alla definizione dello stato ambientale dei bacini idrografici con l'ausilio di metodi geochemici ed idrologici. In particolare, in una rete di monitoraggio idrologico relativa a quattro affluenti del fiume Reno, quali Gaiana, Lavino, Sillaro e Savena, è stato campionato il materiale solido sospeso durante il periodo di piena.

L'analisi chimica del solido sospeso tramite fluorescenza a raggi X ha permesso di definire la composizione geochemica dei sedimenti e la relazione con le formazioni litologiche affioranti nei bacini e di determinare i tenori di fondo attuali relativi alle grandezze geochemiche analizzate.

Abstract: Rapti-Caputo D., Pavanelli D. & Vaccaro C.: Geochemical composition of the fluvial suspended load: a tool environmental analyses (IT ISSN 0394-3356, 2008).

The preliminary results based on a geochemical and hydrological approach and aimed at defining the environmental conditions of the Reno hydrographic basin, Northern Italy, are presented. The environmental conditions of the discussed case study are determined with a geochemical analysis of the solid suspended load carried out for the four major hydrographic sub-basins (Gaiana, Lavino, Sillaro and Savena). The chemical analyses of the fluvial suspended load was carried out during extreme flow events. The collected sediments were analysed with the X-Ray fluorescence method thus allowing to define the geochemical composition of the sediments and their relation with the rocks outcropping within the hydrographic basins as well as the present-day background values of the principal chemical elements

Parole chiave: Fiume Reno, solidi sospesi, geochemica, analisi ambientale.

Key words: Reno River, suspended sediment load, geochemistry, environmental analysis.

1. INTRODUZIONE

Il trasporto torbido dei corsi d'acqua è costituito da solidi in sospensione di granulometria variabile, dalle argille alle sabbie, in funzione dei parametri idraulici, litopedologici e 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; PAVANELLI & BIGI, 2004). 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 (DROPPA *et al.*, 1997; ONGLEY *et al.*, 1992).

La necessità di dati sperimentali rende il monitoraggio fluviale un basilare tassello nella gestione e protezione dell'ambiente dato che la composizione geochemica del materiale solido sospeso permette di definire i tenori di fondo delle diverse grandezze geochemiche, e conseguentemente, di valutare i fenomeni di contaminazione e/o inquinamento dei sedimenti.

In questo contesto va inquadrata la presente ricerca della quale si presentano i risultati preliminari

relativi alla caratterizzazione geochemica del materiale solido sospeso di quattro affluenti dell'asta fluviale del Fiume Reno: i torrenti Sillaro, Gaiana, Lavino e Savena (Fig. 1).

2. APPROCCIO METODOLOGICO

La definizione della composizione geochemica del materiale solido sospeso si è basata su una rete di monitoraggio fluviale (avviata col contributo dell'Autorità di Bacino del Reno e responsabile scientifico la dr. Pavanelli), che vede attive quattro stazioni di rilevamento idrologico-torbidimetrico (Fig. 2 stazione foto), in continuo, lungo i torrenti Sillaro, Gaiana, Lavino e Savena (PAVANELLI, 2000; PAVANELLI & PAGLIARANI, 2002; PAVANELLI & BIGI, 2005a; 2005b; PAVANELLI & RIGOTTI, 2007).

In particolare, i torrenti sono stati attrezzati, alla chiusura del bacino montano, con idrometro ad ultrasuoni e campionatore automatico per le torbide; mentre, il campionamento è stato programmato in funzione del volume d'acqua defluito dalla sezione (PAVANELLI *et al.*, 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 stati concentrati nelle fasi idrologiche più interessanti per lo studio del trasporto torbido rappresentati dai periodi di piena.

Nel caso specifico, per poter effettuare analisi geochimiche sul materiale in sospensione, nella scelta della strumentazione e della campagna di rilevamento, si è tenuto conto anche della necessità di una quantità significativa di materiale solido (>10 g), il che può risultare un problema nel caso che la strategia di campionamento non sia adeguata alla natura altamente episodica delle piene e delle torbide fluviali (WALLING et al., 1992).

I campioni dell'acqua ed il solido sospeso in essi contenuto, relativi agli eventi di torbida, sono stati selezionati sulla base della portata e quindi della magnitudine dell'evento stesso, in modo da ottenere i volumi di sedimento necessari per una completa caratterizzazione geochimica. I campioni selezionati per questa prima fase del lavoro di adeguata concentrazione di solidi in sospensione sono stati sottoposti ad analisi fisiche ed chimiche.

In particolare, le analisi fisiche (realizzate presso i laboratori della sezione provinciale di Ravenna dell'Agenzia Regionale Prevenzione Ambiente) sono le seguenti:

- a) determinazione dei solidi residui mediante analisi gravimetrica e separazione dei solidi sospesi. In questa fase, per la separazione della frazione liquida dai solidi sospesi, i campioni sono sottoposti a filtrazione con filtri $0,45 \mu\text{m}$, dopo preventiva sedimentazione e, se necessaria, centrifugazione. La parte solida così risultante viene inizialmente essiccata a 105°C fino al raggiungimento del peso costante; ed in seguito pesata per la determinazione dei solidi sospesi.
- b) realizzazione di analisi granulometriche adottando 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

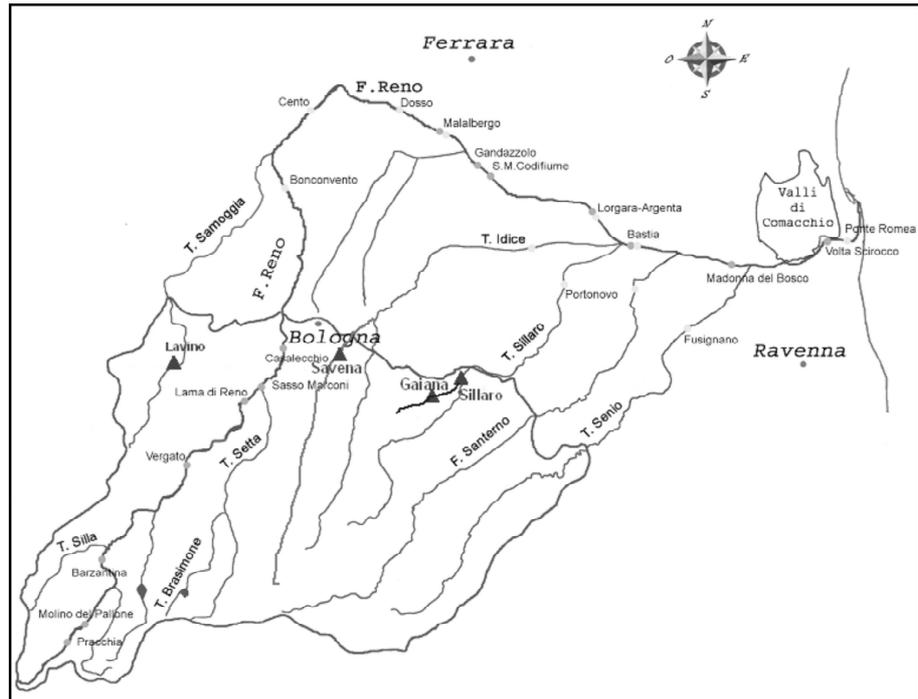


Fig. 1 - Bacino idrografico del Fiume Reno (i triangoli rappresentano le stazioni di monitoraggio del materiale solido sospeso).

Hydrographic basin of the Reno River (triangles represent the monitoring stations for the suspended load).

legge di Stokes. In tale modo sono state determinate le frazioni granulometriche relative a sabbia ($2000 \div 50 \mu\text{m}$); limo grossolano ($50 \div 20 \mu\text{m}$); limo fine ($20 \div 2 \mu\text{m}$) ed argilla ($< 2 \mu\text{m}$). Infine, nella frazione fine così ottenuta (insieme delle particelle elementari con $\varnothing < 2 \mu\text{m}$) è stata inizialmente eliminata la parte organica e, successivamente sottoposta ad analisi chimica.



Fig. 2 - Stazione di monitoraggio idro-torbidimetrico sul Sillaro.
Hydro-turbidimetric monitoring station along the Sillaro Torrent.

c) analisi chimiche mediante fluorescenza a raggi X. La frazione granulometrica fine (particelle elementari con $\varnothing < 2 \mu\text{m}$), relativa a 39 campioni (17: Gaiana, 9: Sillaro, 8: Lavino, 5: Savena) è stata sottoposta alle analisi composizionali, per determinare la L.O.I. (Loss of Ignition), e ad analisi chimiche degli elementi maggiori, mediante fluorescenza a raggi X (modello Advant Xp della Thermo ARL), utilizzando una configurazione a dispersione di lunghezza d'onda con valori di tensione e corrente compresi nell'intervallo 30-50 kV e 30-50 mA, con anodo di cromo per gli elementi leggeri e di tungsteno per quelli pesanti.

L'utilizzo della fluorescenza a raggi X, in accordo con il metodo proposto da FRANZINI *et al.* (1975), ha consentito la determinazione quantitativa degli elementi maggiori (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , MnO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) espressi in percentuale in peso (wt%); mentre, le concentrazioni relative agli elementi in tracce, sono stati ottenuti calcolando sperimentalmente i coefficienti di correzione. L'accuratezza e la precisione per gli elementi in tracce (in ppm) per concentrazioni superiori a 10 ppm è maggiore del 7%, per il Rb, Nb, Sr, V; e maggiore del 15%, per Zr, Ba, Ni, Co, Cr, Terre Rare (REE), e Y.

3. INQUADRAMENTO AMBIENTALE DEL BACINO DEL RENO

Il Fiume Reno, il più importante dei fiumi emiliano-romagnoli; nasce in Toscana ad una quota di circa 740 m s.l.m. dalla confluenza del Reno di Prunetta e del Reno di Capoluogo. Il bacino idrografico ha un' estensione di circa 4953 km² e possono distinguere:

- undici sottobacini idrografici con estensione areale superiore a 40 km², comprendenti il torrente Setta ed il suo affluente Brasimone; ed i torrenti Limentra di Treppio, Silla; Vergatello, Limentra di Sambuca e Samoggia con l'affluente Lavino, Idice, Sillaro, Savena, Santerno e Senio; e
- undici affluenti, con estensione dei relativi bacini idrografici, comprese tra i 10 e i 40 km² quali i torrenti Sembro, Gabellato e Voglio affluenti del torrente Setta; il torrente Aneva affluente del Vergatello, i torrenti Venola, Maresca, Marano, Rio Maggiore, Orsigna, Croata e Randaragna.

Il ramo principale del Fiume Reno ha una lunghezza di circa 210 km suddiviso in due aree con caratteristiche idrauliche differenziate che consistono in una parte montana appenninica, estesa fino a località Casalecchio nei pressi del centro urbano di Bologna, caratterizzata da regime torrentizio ed un settore a basso gradiente topografico, impostato sui depositi terrazzati antichi e nei sedimenti alluvionali recenti per sfociare, infine, nel mare Adriatico immediatamente a sud delle valli di Comacchio (Fig. 1).

Nella zona di pianura, le acque del Reno per motivi di sicurezza idraulica sono state deviate in canali artificiali di grandi dimensioni quali il Cavo Napoleonico, il Canale Navile ed il Canale Savena.

La superficie dei bacini dei quattro affluenti del Reno attualmente monitorati copre complessivamente un'area di 389 km². Tali bacini hanno una forma stretta ed allungata (direzione: sudovest-nordest), fattore che accentua il carattere tipicamente torrentizio, con piene

repentine e, a volte, rovinose. La precipitazione media annua sul bacino montano è di circa di 1000 mm.

3.1 Il bacino idrografico del Lavino

Il torrente Lavino, affluente in destra idrografica del fiume Samoggia, ha origine in località Croce delle Pradole, nei pressi di Montepastore, sull'Appennino emiliano. Il suo corso principale viene alimentato da quattro affluenti principali, due in sinistra e due in destra, alimentati da numerosi subaffluenti di lunghezza modesta a regime tipicamente torrentizio.

Il bacino montano del Lavino ha una estensione di 83,6 km², a fronte di un reticolo idrografico di 175,7 km. La pendenza media del bacino è di 2,9 % , mentre, solo il 25% dei terreni ubicati nel bacino montano hanno una pendenza superiore al 35 %. L'altitudine media è di 370 m, con quote comprese tra 75 m e 776 m. Dal punto di vista geologico (Fig. 3, Tab I), nel bacino del Lavino si ha la predominanza di (da *carta dell'uso del suolo e carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna* in www.regione.emilia-romagna.it) argille scagliose o "Caotico Eterogeneo" (e). Questa formazione costituisce un substrato alloctono eterogeneo di origine pliocenica, formato da una matrice plastica prevalentemente argillosa, inglobante calcari, arenarie, marne ed i cosiddetti "Red Beds", argille dal caratteristico colore vinato o verdastro (h).

L'altra formazione litologica, meno ricorrente, è rappresentata da marne depositate e cementate di età Elveziana in successione alle argille scagliose (c). Caratteristica di tale marne sono le dense fratture in blocchetti irregolarmente conformati, spesso arrossati per la presenza di ossidi di ferro o anneriti da ossidi di manganese (Fig. 3, Tab I)

Il torrente Lavino presenta un deflusso torbido unitario medio di 1,89 t/ha, corrispondente ad un denudamento medio annuo di circa 0,13 mm (PAVANELLI *et al.*, 2004)

I suoli siti nel bacino montano del torrente Lavino sono generalmente di modesto valore agronomico. L'insediamento antropico presenta una intensità decrescente risalendo l'asta del torrente.

3.2 Il bacino idrografico del Sillaro

Il torrente Sillaro, affluente in destra del Reno, ha origine nell'Appennino presso Piancaldoli (FI), si addentra in Emilia in corrispondenza di Giugnola e prosegue il suo corso in direzione N-NE segnando il confine geografico tra l'Emilia e la Romagna. In Comune di Castel San Pietro (prov. Bologna) si chiude il bacino montano.

L'idrografia del bacino presenta un'elevata densità di drenaggio con il tipico andamento dendritico indicativo della presenza di formazioni litologiche a bassa permeabilità. Il reticolo idrografico comprende 16 affluenti principali, di cui 13 in sinistra idrografica e 3 in destra.

Dal punto di vista geologico (Fig. 3, Tab I), il bacino riveste particolare importanza poiché rappresenta il raccordo tra il limite occidentale delle Unità Liguri o Liguridi, caratterizzanti il settore Emiliano; ed il limite orientale del dominio Umbro Marnoso-Arenaceo tipico del settore Romagnolo. Questa zona di contatto tra le due differenti formazioni viene chiamata "linea del Sillaro". In particolare, verso sud, al confine con la

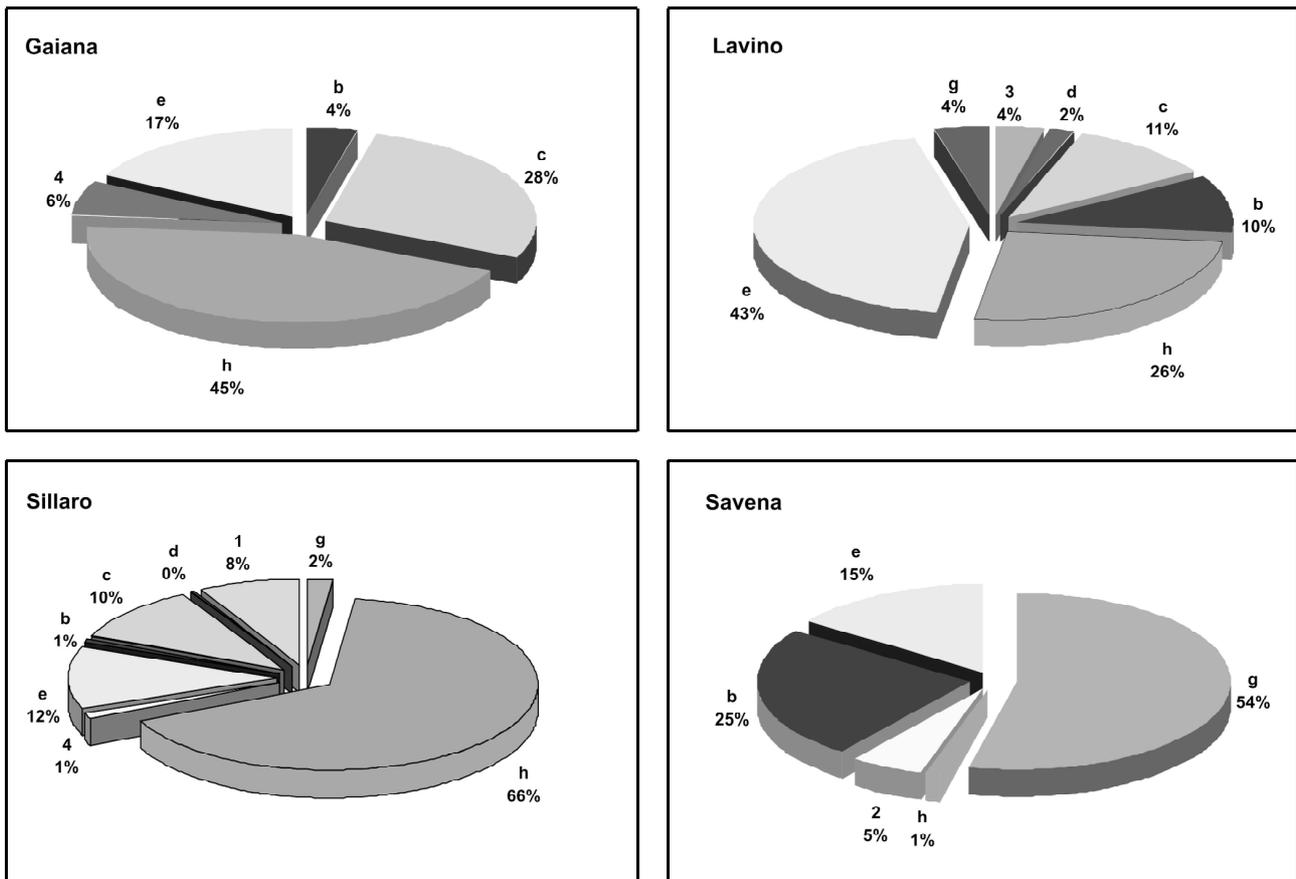


Fig. 3 -Ripartizione in classi litologiche dei bacini idrografici (per la simbologia delle classi litologiche vedi tabella I).
Lithological classes of the hydrographic basins (see Table I for symbols).

Toscana, il bacino insiste su lembi della formazione "Marnoso-Arenacea" costituita dall'alternanza di arenarie e marne (h), mentre il restante si estende in gran parte sul "Caotico eterogeneo" (e), costituito prevalentemente da argille grigiastre che, in seguito a complessi fenomeni tettonici hanno assunto un alto grado di caoticità inglobando al loro interno, come corpi alloctoni, formazioni di età e litologia diversa.

Procedendo verso nord, si incontrano rocce sedimentarie di ambiente lacustre come le evaporiti messiniane (Formazione Gessoso-Solfiera), i conglomerati e le sabbie del Pliocene inferiore, le argille e le argille-marnose del Pliocene medio superiore e le argille sabiose del Calabriano (1; Fig. 3, Tab I)

Dal punto di vista pedologico, il bacino è prevalentemente interessato da regosuoli, suoli bruni e pseudogley, suoli tipici che evolvono su associazioni argillose. I suoli più evoluti si incontrano sulle pendici boscate. I più diffusi sono i regosuoli, poco profondi e con abbondante scheletro. Il bacino montano ha un'estensione di 123,3 km², con quote comprese tra i 68 ed i 993 m *slm*.

La morfologia è generalmente abbastanza dolce e solamente il 7,6% del bacino presenta pendenze superiori al 35%, tranne nei settori caratterizzati da un paesaggio calanchivo.

Per quanto riguarda la copertura vegetale (Tab. II) il bacino è interessato da bosco ceduo spesso degradato (14%), zone sterili per affioramento roccioso e/o

copertura vegetale carente (49%), pascolo (6%) e, dove la pendenza lo consente, da seminativo (17%). La parte restante è interessata da vigneti, frutteti, corpi idrici, insediamenti, ecc.

Il torrente Sillaro presenta un deflusso torbido unitario medio di 10,1 t/ha, corrispondente ad un denudamento medio annuo di circa 0,67 mm (Pavanelli et al. 2004). Valori simili sono stati documentati anche per altri torrenti appenninici limitrofi (BARTOLINI et al., 1996).

3.3 Il bacino idrografico del Gaiana

Il torrente Gaiana nasce sull'Appennino Emiliano presso il versante nord tra Palgone e Ca' de'Belli ad una quota di 312 m *slm*. Confina in destra idrografica con il torrente Sillaro e in sinistra con il torrente Quaderna affluente dell'Idice. Si sviluppa prevalentemente in direzione N-NE per poi confluire nel torrente Quaderna. Presenta le tipiche caratteristiche di un torrente appenninico, una dominante litologia sedimentaria e un drenaggio dendritico con elevata densità.

Il bacino idrografico del Torrente Gaiana presenta una superficie di 8,7 km², altitudine media di 237 m, *slm* (quote variabili tra 101 e 495 m, *slm*), e si chiude presso Casalecchio dei Conti, all'altezza della via Emilia.

Dal punto di vista geologico (Fig. 3, Tab I) il bacino del torrente Gaiana è caratterizzato da una prevalenza di argille, argilliti e breccie argillose con clasti eterometrici e scaglie di calcari marnosi, marne, arenarie ed

Tab. I - Composizione geolitologica dei bacini idrografici (classe e caratteristiche specifiche).

Table I - Geolithological composition of the hydrographic basins (class and specific characteristics)

Lavino			Savena			Sillaro			Gaiana		
Classe	area (km ²)	%	classe	area (km ²)	%	classe	Area (km ²)	%	classe	Area (km ²)	%
3	3,031	3,63	g	66,275	53,75	g	2,460	2,01	b	0,349	4,02
d	1,714	2,05	h	1,304	1,06	h	80,838	65,97	c	2,437	28,02
c	9,052	10,83	2	6,627	5,37	4	1,429	1,17	h	3,869	44,48
b	8,686	10,39	b	30,427	24,68	e	14,159	11,55	4	0,544	6,26
h	21,324	25,52	e	18,670	15,14	b	0,956	0,78	e	1,498	17,22
e	36,310	43,45	Tot.	123,30	100	c	12,730	10,39	Tot.	8,69	100
g	3,456	4,14				d	0,385	0,31			
Tot.	83,57	100				l	9,583	7,82			
						Tot.	122,54	100			

classe	caratteristiche specifiche
b	Prevalenti sabbie ed areniti generalmente poco cementate
c	Prevalenti argille e marne con intercalazioni di areniti, conglomerati e rare calcareniti
d	Gessi, gessoruditi e calcari evaporitici messiniani, talora risedimentati, con intercalazioni di argille bituminose
e	Successioni prevalentemente costituite da alternanze di areniti e peliti, generalmente torbiditiche, con rapporto A/P molto variabile, con associati intervalli pelitici alla base e al tetto; rare intercalazioni di depositi caotici
g	Alternanze di marne, argille e calcari, con intervalli pelitico-arenacei, di origine torbiditica; talora intensamente deformati e fratturati.
h	Argille, argilliti e breccie argillose con clasti eterometrici e scaglie di calcari marnosi, marne, arenarie, ofioliti e breccie poligeniche
1	Ghiaie e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari amalgamati, intercalate a sabbie e sabbie limose in strati di spessore decimetrico. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto all'interno suoli a diverso grado di evoluzione
2	Sabbie, limi sabbiosi e limi, in strati di spessore decimetrico, ghiaie sabbiose e sabbie in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione
3	Limi e limi argillosi in strati di spessore decimetrico, subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose in corpi canalizzati e lenticolari. Depositi di conoide e di terrazzo. Al tetto e all'interno suoli a diverso grado di evoluzione
4	Ghiaie, sabbie, limi e limi argillosi. Depositi alluvionali indifferenziati

ofioliti facenti parte della formazione "Marnoso Arenacea" (h), nonché argille e marne con intercalazioni di areniti (c) e successioni prevalentemente costituite da alternanze di areniti e peliti, generalmente torbidiche che si estendono sul "Caotico eterogeneo" (e).

Per quel che riguarda l'uso del suolo è da sottolineare la prevalente vocazione colturale del territorio, in particolare si tratta di colture a seminativo (S in Tab. II); e in minor misura attività agricole eterogenee (Ze).

3.4 Il bacino idrografico del Savena

Il bacino montano del Savena è di circa 123,8 km² e presenta quote comprese tra 200 e 1275 m s.l.m. Trae origine da tre rii, detti le tre Savenelle, in territorio toscano, che scendono da un anfiteatro la cui vetta più alta arriva a 1302 m.

La densità del reticolo idrografico è elevata, e i numerosi affluenti presentano un andamento pressoché perpendicolare al Savena e uno sviluppo, in lunghezza, contenuto a causa della caratteristica forma del bacino stretta e lunga, come peraltro tutti i bacini di questo settore dell'Appennino. Tale idrografia, assieme al regime delle precipitazioni, contraddistingue il carattere torrentizio del Savena. Peraltro, la presenza di numerose sorgenti favorisce la continuità di portata anche durante i periodi estivi.

Dal punto di vista geologico (Fig. 3, Tab. I), il bacino del torrente Savena è caratterizzato, in sinistra idrografica, dalla presenza di una successione di sabbie e areniti poco cementate (b), areniti e peliti, generalmente torbidiche (e), con alternanze di marne, strati potentissimi di argille (dal colore turchino, dovuto alla presenza di una forma di ferro ridotto), calcari, con intervalli pelitico arenacei, di origine torbidica, talora intensamente deformati e fratturati (g). La parte destra della vallata è, invece, caratterizzata da importanti formazioni gessose associate a marne. Proseguendo verso la pianura, la litologia diventa prevalentemente argillosa.

Parte del territorio di Pianoro presenta fenomeni carsici caratterizzati da inghiottitoi e grotte, originati da formazioni evaporitiche dei gessi miocenici (Fig. 3, Tab. I).

Risulta evidente la diversa caratterizzazione geologica del Savena rispetto agli altri bacini. Tale bacino è, infatti, contraddistinto dalla presenza di una decisa componente calcarea oltre che dall'argilla (Tab. I).

Nell'area collinare, i versanti sono, specie in sinistra idrografica, ad elevata acclività e sono interessati per lo più da boschi di latifoglie. Nella fascia tra i 300 ed i 1000 m, sono presenti i castagneti. Nella porzione valliva predominano le formazioni a litologia argillosa, quali le argille scagliose, con pendenze minori, interessate da seminativi e pascoli e da frequenti fenomeni di erosione e dissesto. Il progressivo abbandono dell'agricoltura fa sì che oltre il 20% della superficie agraria sia a pascolo o incolto.

Infine, il torrente Savena presenta un deflusso torbido unitario medio di 6,5 t/ha, corrispondente ad un denudamento medio annuo di circa 0,43 mm (PAVANELLI et al., 2004).

4. USO DEL SUOLO

Per quel che riguarda l'uso del suolo nei quattro

bacini (Tab. II) è da sottolineare la prevalente vocazione colturale del territorio; in particolare si tratta di colture a seminativo (S) e in minor misura attività agricole eterogenee (Ze), in quanto rappresentano per tre bacini su quattro la destinazione d'uso privilegiata.

Tale condizione è rappresentativa della connessione tra uomo e territorio che si è sviluppata nel corso dei secoli in queste terre, e che ancora si manifesta ai giorni nostri, ma che in un futuro prossimo sarà destinata a vedere diminuire la percentuale di zone destinate all'uso agricolo a causa dell'abbandono delle terre da parte dei proprietari, soprattutto in quelle zone dove le caratteristiche morfologiche del territorio rendono difficile l'applicazione di un'efficace meccanizzazione che porti ad un'agricoltura più redditizia.

Una situazione di questo genere è resa particolarmente evidente dalla massiccia presenza di aree a cespuglieti (Zs), caratteristica vegetazione rappresentativa di una condizione di transizione che si evolve verso un ecosistema di tipo naturalistico, con formazioni boschive, soprattutto di latifoglie, che già figurano ben presenti in tutti i bacini (B).

Nei confinanti bacini del Gaiana e Sillaro si può notare la marcata presenza di aree ad affioramenti litoidei (Zr), caratteristica infatti di tale porzione di territorio sono le formazioni calanchive.

L'abbandono dei terreni agricoli avrà di certo una ripercussione anche sui fenomeni di dissesto idrogeologico che già interessano particolarmente questa porzione di territorio appenninico in Emilia-Romagna. Si presentano, infatti, nei bacini del Sillaro e Gaiana evidenti fenomeni franosi attivi, ciò è dovuto soprattutto alla particolare conformazione geologica dei due bacini, condizionati dalla presenza di materiali come argille, argilliti, brecce argillose e marne (h in Tab. I).

5. CARATTERIZZAZIONE GRANULOMETRICA DEI CAMPIONI DI TORBIDA FLUVIALE

Nei campioni d'acqua relativi ai bacini del Lavino, Gaiana e Sillaro si riscontra una omogeneità nella suddivisione dei solidi sospesi in classi granulometriche, con predominanza delle frazioni limosa ed argillosa (soprattutto quest'ultima), mentre nei solidi sospesi del Savena si nota chiaramente, a parità di frazione limosa, la minor percentuale di aliquota argillosa e la maggior quantità di frazione sabbiosa, risultati che rispecchiano le caratteristiche geologiche specifiche dei quattro bacini (PAVANELLI et al., 2007; Tab. III).

Infine, grazie ai dati a disposizione può essere riscontrato un ulteriore nesso tra granulometria dei sedimenti, uso del suolo e trasporto torbido. Come visto precedentemente, il bacino del Savena si diversifica dagli altri bacini per la suddivisione granulometrica dei sedimenti: la minor percentuale di argilla riscontrata nei sedimenti può essere messa in relazione con l'uso del suolo del bacino che, di fatto, è interessato per il 40% della superficie da boschi di latifoglie (Tab. II), ovvero una composizione vegetale che meno lascia spazio a fenomeni erosivi superficiali di versante.

Di conseguenza, verificando la relazione che lega la granulometria dei sedimenti all'uso del suolo nel Sillaro, la maggior percentuale di argilla ritrovata nei sedimenti è da collegare direttamente all'uso del suolo

Tabella II - Confronto tra classi di uso del suolo nei quattro bacini.
 Comparison between different soil-use classes within the four basins

Lavino			Savena			Gaiana			Sillaro		
classe	area (km ²)	%	classe	area (km ²)	%	classe	area (km ²)	%	classe	area (Km ²)	%
Zi	0,392	0,47	C	0,299	0,24	Zs	1,652	19,00	L	0,263	0,21
Iv	0,400	0,48	Ct	0,0835	0,07	S	3,791	43,59	Iv	0,448	0,36
Zc	0,592	0,71	Br	0,318	0,26	Zr	1,151	13,24	Zc	0,173	0,14
L	0,034	0,04	L	0,126	0,10	Ze	1,368	15,73	Al	1,337	1,08
Br	0,199	0,24	Zs	4,354	3,52	Pp	0,224	2,58	Zm	0,025	0,02
Ba	0,180	0,22	Zc	0,832	0,67	C	0,049	0,56	Zf	0,469	0,38
Pp	1,800	2,15	Al	0,440	0,36	B	0,459	5,28	Ct	0,161	0,13
Cp	0,265	0,32	Cf	0,131	0,11	Cv	0,001	0,02	Cf	0,241	0,20
Cv	0,371	0,44	Zi	1,455	1,18	Tot.	8,699	100	Ba	0,001	0,00
Ct	0,183	0,22	Cv	0,250	0,20				Zi	0,076	0,06
Cf	0,601	0,72	I	3,203	2,59				I	0,288	0,23
S	28,452	34,04	Ba	0,874	0,71				C	0,124	0,10
I	1,8749	2,24	Iv	1,969	1,59				Cv	0,612	0,50
C	3,03	3,63	Cp	0,088	0,07				Pp	3,352	2,72
Ze	10,23	12,24	Zr	0,402	0,33				Ze	9,417	7,64
Zs	7,42	8,88	Pp	3,842	3,10				B	16,389	13,29
B	24,58	29,42	B	50,676	40,92				S	42,066	34,11
Zr	2,94	3,52	S	35,647	28,79				Zs	32,880	26,66
Tot.	83,57	100	Ze	18,834	15,21				Zr	14,990	12,16
			Tot.	123,83	100				Tot.	123,32	100

Classi di uso del suolo	Classificazione	Descrizione
Zone urbanizzate	Pp	Prati stabili
Zone industriali	Pc	Praterie e brughiere cacuminali
Reti ferroviarie e stradali	Ze	Aree agricole eterogenee
Aeroporti	B	Formazioni boschive a prevalenza di latifoglie
Aree portuali	Ba	Formazioni di conifere adulte
Zone estrattive e discariche	Bm	Boschi misti di conifere e latifoglie
Zone verdi urbane e impianti sportivi	Br	Rimboschimenti recenti
Seminativi	Zs	Cespuglieti
Risaie	Zp	Zone umide
Vigneti	Vs	Valli salmastre
Frutteti	Sa	Saline
Uliveti	Sp	Spiagge costiere
Colture specializzate miste (frutteti e vigneti)	Zr	Zone a prevalente affioramento litoide
Orti, vivai, colture sotto tunnel	Zm	Zone non fotointerpretabili
Colture da legno specializzate (pioppeti, ecc.)	Al	Corsi d'acqua
Castagneti da frutto	L	Corpi d'acqua (laghi, bacini)
	Ma	Mare

Tabella III - Descrizione statistica della classificazione granulometrica dei campioni di torbida fluviale.

Statistical description of the granulometric classification of the fluvial suspended load samples.

GAIANA	sabbia %	limo %	argilla %	N°campioni
media	8,33	47,51	43,54	95
max	27,30	61,00	53,00	
dev.stand.	4,46	6,39	3,82	
SILLARO	sabbia %	limo %	argilla %	N°campioni
media	8,99	48,86	42,11	98
max	21,00	57,00	59,00	
dev.stand.	4,18	4,69	5,87	
LAVINO	sabbia %	limo %	argilla %	N°campioni
media	9,70	51,9	38,34	48
max	19,00		57,00	
dev.stand.	4,50		5,13	
SAVENA	sabbia %	limo %	argilla %	N°campioni
media	22,83	52,00	25,17	43
max	54,00	67,00	50,00	
dev.stand.	11,60	7,33	6,97	
TUTTI	sabbia %	limo %	argilla %	N°campioni
media	12,46	49,46	37,29	71
max	54,00	67,00	59,00	
dev.stand.	6,93	2,30	10,21	

del bacino dove due categorie particolarmente soggette ad erosione come affioramenti litoidi (calanchi) e terreno coltivato a seminativo, occupano la maggior parte della superficie.

6. COMPOSIZIONE GEOCHIMICA DEL SOLIDO SOSPESO

L'elaborazione dei dati chimici relativi al materiale solido sospeso, campionato durante gli eventi di piena, riflette le lievi ma significative differenze composizionali fra i bacini idrografici distinte dall'analisi litologica e sedimentologica.

Le differenze emergono sia in termini di percentuale in peso degli elementi maggiori sia nella distribuzione degli elementi in tracce. Per quanto riguarda gli elementi maggiori, dalla distribuzione dei dati nel dia-

gramma CaO vs Al₂O₃ (Fig. 4) possiamo individuare la presenza di tre gruppi di campioni:

a) Il primo gruppo rappresentato dai campioni provenienti dal torrente Savena è caratterizzato da elevati valori di CaO (13,5-15,5 wt%), e bassi valori di Al₂O₃ (11-13,5 wt%) rispetto gli altri affluenti, che riflettono la prevalenza di rocce carbonatiche. Infatti, il solido sospeso del Savena, come risulta anche dalle analisi granulometriche (Tab. III), è caratterizzato dalla minore presenza di frazione argillosa rispetto quella degli altri bacini dove la concentrazione in Al₂O₃ varia tra i 14 e 18 (wt%).

b) Il secondo gruppo, che comprende i campioni dei torrenti Gaiana e Lavino, è caratterizzato da elevate concentrazioni in Al₂O₃ (16-18 wt%) e basse in CaO (6,5-9,5 wt%) e riflette la dominanza nel bacino idrografico di formazioni argillose.

c) Infine, concentrazioni intermedie tra questi due gruppi presentano i campioni del Sillaro, caratterizzati anche da una forte variazione composizionale, che indica la presenza nel bacino idrografico sia di formazioni carbonatiche sia argillose.

Nei torrenti considerati, la buona correlazione tra CaO (wt%) e Al₂O₃ (wt%), legata ad una discreta omogeneità composizionale della componente silicatica è espressa dall'equazione:

$$\text{CaO} = -1,7 * (\text{Al}_2\text{O}_3) + 37$$

con coefficiente di correlazione (R²) pari a 0,94.

Dal punto di vista geochimico, è possibile discriminare i torrenti anche dalla distribuzione sul diagramma K₂O vs CaO/Al₂O₃ (Fig. 4) e notare la suddivisione nei seguenti due gruppi.

- Il solido sospeso nel torrente Savena è caratterizzato da elevato rapporto CaO/Al₂O₃ (compreso tra 1 e 1,4) e da basse concentrazioni in K₂O, con valore medio pari a 2 (wt%). Inoltre, nel Savena, il rapporto sodio vs silice è più alto rispetto gli altri affluenti (Fig. 5);
- Le concentrazioni in K₂O nei torrenti Gaiana e Lavino sono significativamente elevate e presentano oscillazioni tra 2,7 e 3,2 (wt%), ed il rapporto CaO/Al₂O₃ assume un valore medio pari a 0,5. Particolarmente basso è il rapporto sodio vs silice nei sedimenti del torrente Sillaro (Fig. 5) caratterizzato anche da bassi contenuti in potassio, probabilmente per la maggiore presenza nella frazione silicatica di minerali argillosi, a differenza del Savena in cui una maggiore percentuale di silt e sabbie è costituita da feldspati e muscovite.

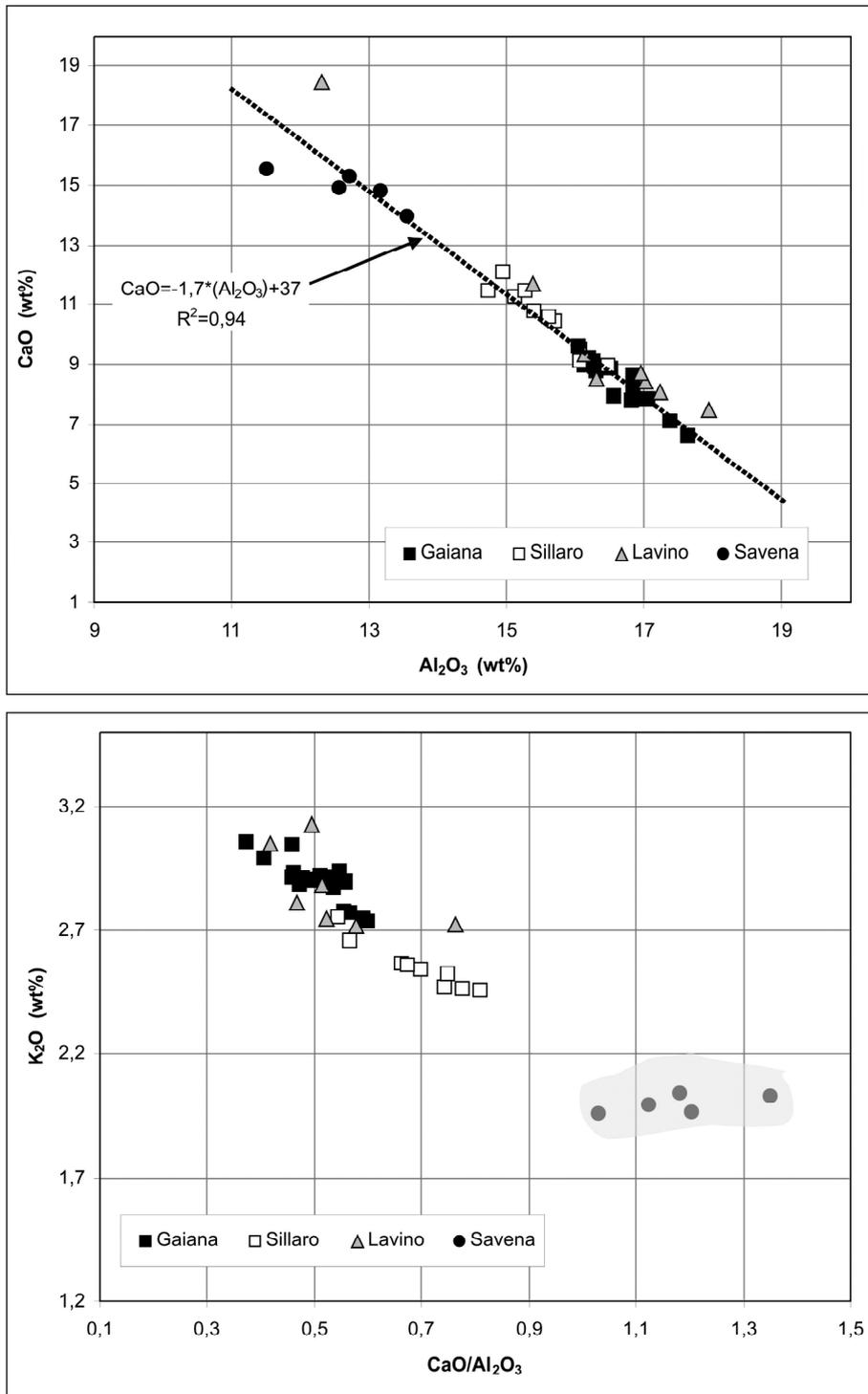


Fig. 4 - Materiale solido sospeso: distribuzione geochemica dei dati sul diagramma CaO vs Al₂O₃ e K₂O vs CaO/Al₂O₃ (concentrazioni in wt%).

Geochemical distribution of the suspended load data: CaO versus Al₂O₃ and K₂O versus CaO/Al₂O₃ (concentrations in wt%).

Per quanto riguarda gli elementi in tracce, in tutti i campioni è stata osservata una buona correlazione positiva tra potassio vs rubidio e stronzio vs CaO/Al₂O₃ (Fig. 5). Gli elementi di transizione risultano leggermente arricchiti rispetto alla composizione media della crosta superficiale calcolata da TAYLOR-MCLENNAN (1985), arricchimento più evidente nel

Savena, e correlati positivamente con l'alluminio.

Infine, il torrente Savena presenta caratteri geochemici peculiari anche per i bassi valori nella somma delle Terre rare (REE) e per un maggior rapporto Cr/Al₂O₃ (Fig. 5).

6.1 Analisi statistica dei dati analitici

L'analisi statistica dei dati analitici (Tab. IV; Fig. 6) ha messo in evidenza, nella stessa stazione di campionamento, la presenza di notevoli variazioni nel chimismo del solido sospeso delle acque fluviali; oscillazioni però che non sono sempre direttamente correlate con le variazioni di portata (Fig. 8).

Infatti, pur mantenendo un'impronta geochemica caratteristica del bacino, i campioni mostrano fluttuazioni notevoli che probabilmente possono essere imputate sia ai diversi tempi di corruzione dei sedimenti, nei differenti sottobacini fino alla stazione di prelievo, sia alle differenze nelle litologie affioranti nei singoli bacini e sottobacini idrografici ed al loro grado di erodibilità. Tali parametri potrebbero spiegare, in una fase preliminare, le variabilità composizionali osservate nei campioni.

Per la determinazione dei valori di fondo naturali attuali è stata utilizzata l'analisi statistica univariata dei dati (DE VIVO, 1995; LEPELTIER C., 1969; SINCLAIR, 1976; TENNANT & WHITE, 1959).

Nell'elaborazione statistica dei dati analitici acquisiti nella presente ricerca sono stati aggiunti anche i valori relativi al chimismo del materiale solido sospeso provenienti da AMOROSI *et al.* (2002) relativi al torrente Sillaro (1 campione) e da RAPTI-CAPUTO *et al.* (2005; 10 campioni relativi al Savena; 5 al Lavino e 1 al Sillaro). In particolare, l'analisi di tutti i dati analitici (17: Gaiana; 11: Sillaro; 13: Lavino; 15: Savena) è stata realizzata in due

fasi: in una prima fase, si è verificato il tipo di distribuzione dei dati relativi ad ogni singolo parametro (normale o log-normale) e se essa è rappresentativa di una o più popolazioni di dati.

In una seconda fase, per ogni elemento, è stata individuata e rappresentata graficamente la distribuzio-

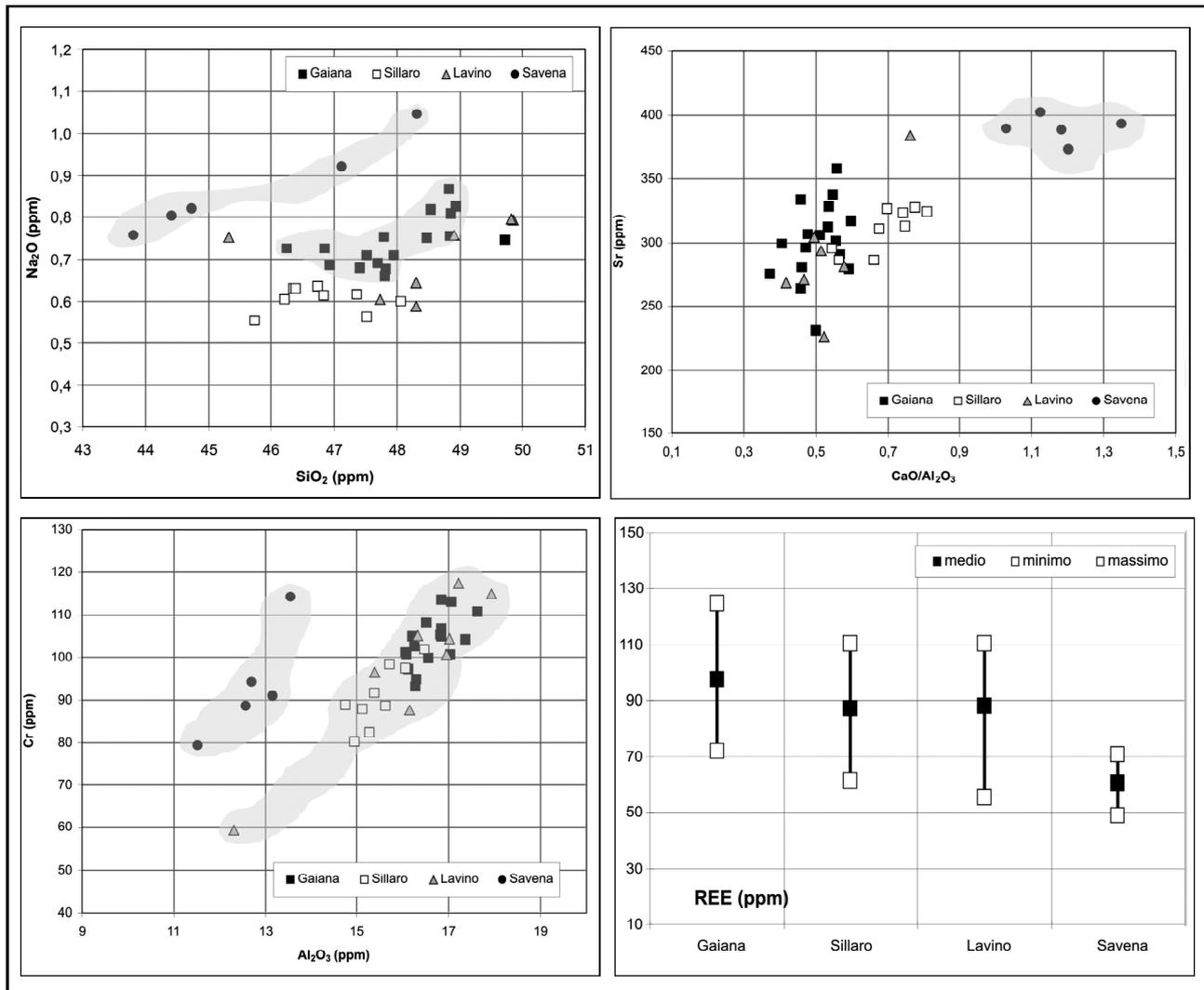


Fig. 5 - Materiale solido sospeso: distribuzione dei dati analitici sul diagramma Na₂O vs SiO₂; Sr vs CaO/Al₂O₃; Cr vs Al₂O₃ e delle Terre rare (REE) nei quattro affluenti.

Distribution of the suspended load data: Na₂O versus SiO₂; Sr versus CaO/Al₂O₃; Cr vs Al₂O₃ and of the Rare Earths (REE) for the four river branches.

ne statistica dei dati analitici tramite l'utilizzo di istogrammi e di curve cumulative di frequenza (Fig. 7).

Tale elaborazione statistica ha permesso, per ogni elemento, il calcolo delle soglie di anomalia (Tab. IV). In particolare si può osservare che, in primo luogo, i valori del tenore di fondo attuale negli elementi maggiori non presentano significative variazioni. Inoltre, per quanto riguarda gli elementi in tracce, di particolare interesse ambientale è l'elevato tenore di fondo in zolfo nel torrente Savena (526ppm) e Sillaro (451ppm) rispetto gli altri affluenti del Reno. Questi valori elevati riflettono la presenza della formazione Gessoso-Solfifera in tali bacini. Il tenore di fondo in Cr presenta valori più alti nel torrente Gaiana (101 ppm) attribuiti alla maggior estensione delle formazioni ofiolitiche nel bacino idrografico.

Infine, il solido sospeso nel torrente Savena è caratterizzato da elevati tenori di fondo attuale in Celsio (43 ppm contro un valore medio circa a 4 ppm negli altri affluenti) e bassi in rubidio (68 ppm) e zinco (59 ppm).

7. CONCLUSIONI

L'analisi delle caratteristiche litologiche e dell'uso del suolo dei bacini idrografici dei torrenti di Sillaro, Gaiana, Lavino e Savena, affluenti del fiume Reno, integrata con analisi granulometriche e chimiche del materiale solido sospeso hanno permesso di determinare la composizione geochemica dei sedimenti di tali affluenti, verificando durante gli eventi di piena una buona qualità ambientale della componente inorganica trasportata (confronto con D.M. 471/99).

L'impronta geochemica del solido sospeso fluviale risulta fortemente condizionata dalle differenze delle litologie affioranti nei bacini e dai caratteri geomorfologici (es. acclività) per cui è possibile definire uno stretto intervallo di variazioni composizionali nei sedimenti trasportati che possono essere tradotte in impronta geochemica dei corrispondenti bacini.

Il solido sospeso del torrente Savena rispetto gli altri affluenti indagati risulta arricchito in zolfo, in accor-

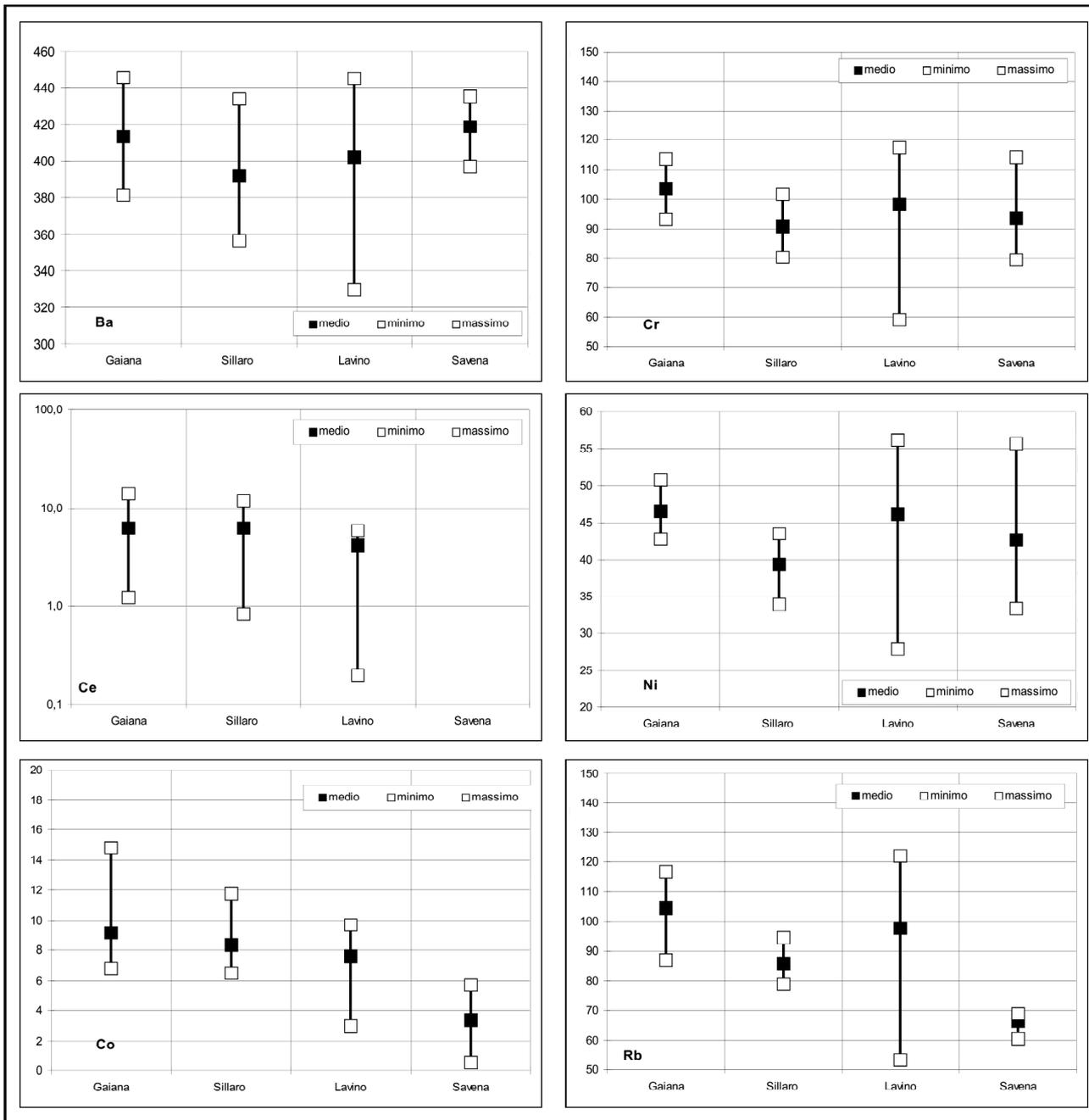


Fig. 6 - Variazioni nel chimismo del solido sospeso (concentrazioni in ppm).
 Chemical variations in the suspended load (concentraions in ppm)

do con la presenza della formazione Gessoso-Solfifera. Inoltre, la maggior presenza della frazione sabbiosa si riflette nel maggior contenuto in elementi alcalini. L'analisi statistica dei dati ha permesso la definizione dei tenori di fondo attuali per ogni elemento chimico. Tali valori, che costituiscono l'impronta geochemica di ogni bacino, permettono di riconoscere l'eventuale presenza di fenomeni di contaminazione naturale e/o antropica.

Infine, meno significative sono le variazioni delle

concentrazioni in elementi di transizione nonostante che, nel torrente Gaiana si è stimato un tenore di fondo in cromo (101 ppm) leggermente più alto attribuito alla maggior estensione di rocce ofiolitiche affioranti.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori ringraziano il dott. E. Tassinari del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Ferrara, per il supporto analitico.

Tabella IV - Materiale solido sospeso: stima dei tenori di fondo attuali delle grandezze geochimiche analizzate.

Suspended load sediments: estimate of the present-day background values of the analysed geochemical parameters.

Torrente Sillaro					
tenore di fondo attuale					
	(wt%)		(ppm)		(ppm)
SiO ₂	46	Ba	383	Sr	295
TiO ₂	1	Ce	4	Th	8
Al ₂ O ₃	15	Co	8	V	108
Fe ₂ O ₃	6	Cr	88	Y	14
MnO	0,1	La	34	Zn	60
MgO	3	Nb	8	Zr	87
CaO	10	Ni	38	Cu	43
Na ₂ O	0,6	Pb		S	451
K ₂ O	2,5	Rb	81	Sc	15,1
P ₂ O ₅	0,1				

Torrente Gaiana					
tenore di fondo attuale					
	(wt%)		(ppm)		(ppm)
SiO ₂	48	Ba	415	Sr	280
TiO ₂	1	Ce	2	Th	10
Al ₂ O ₃	16	Co	8	V	120
Fe ₂ O ₃	6	Cr	101	Y	14
MnO	0,1	La	37	Zn	70
MgO	3	Nb	9	Zr	80
CaO	8	Ni	45	Cu	43
Na ₂ O	1	Pb	8	S	227
K ₂ O	3	Rb	98	Sc	15
P ₂ O ₅	0,1				

Torrente Lavino					
tenore di fondo attuale					
	(wt%)		(ppm)		(ppm)
SiO ₂	46	Ba	346	Sr	276
TiO ₂	1	Ce	5	Th	9
Al ₂ O ₃	15	Co	7	V	109
Fe ₂ O ₃	5	Cr	85	Y	12
MnO	0,1	La	31	Zn	70
MgO	3	Nb	7	Zr	72
CaO	8	Ni	44	Cu	46
Na ₂ O	0,6	Pb	10	S	319
K ₂ O	2,7	Rb	92	Sc	15
P ₂ O ₅	0,1				

Torrente Savena					
tenore di fondo attuale					
	(wt%)		(ppm)		(ppm)
SiO ₂	46	Ba	350	Sr	262
TiO ₂	1	Ce	43	Th	7
Al ₂ O ₃	13	Co	5	V	89
Fe ₂ O ₃	5	Cr	91	Y	12
MnO	0,1	La	31	Zn	59
MgO	3	Nb	5	Zr	72
CaO	8	Ni	43	Cu	36
Na ₂ O	0,7	Pb	8	S	526
K ₂ O	2	Rb	68	Sc	13
P ₂ O ₅	0,1				

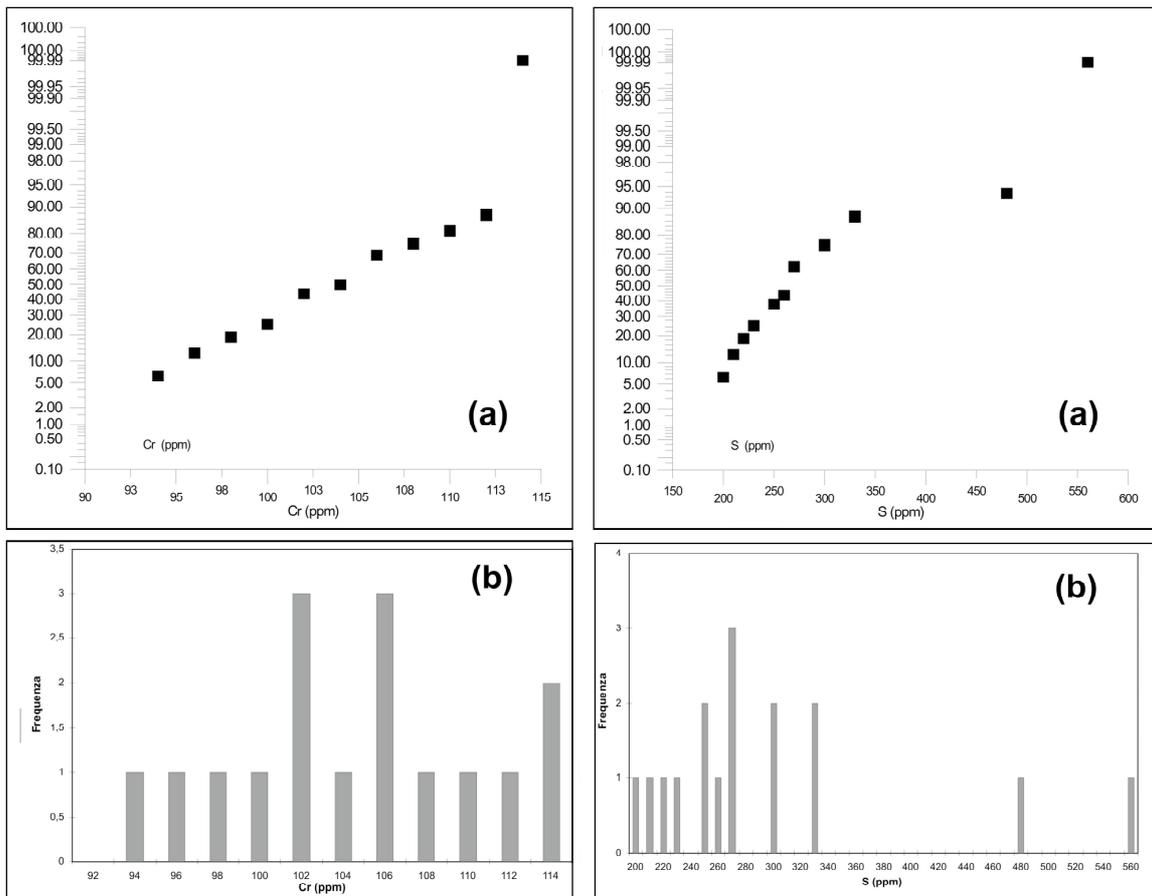


Fig. 7 - Esempio dell'elaborazione statistica dei dati geochimica relativi al torrente Gaiana a) curva di frequenza cumulativa (y: asse di probabilità); b) diagramma di frequenza .

Example of statistical elaboration of the geochemical data relative to the Gaiana Torrent. a) cumulative frequency; b) frequency distribution.

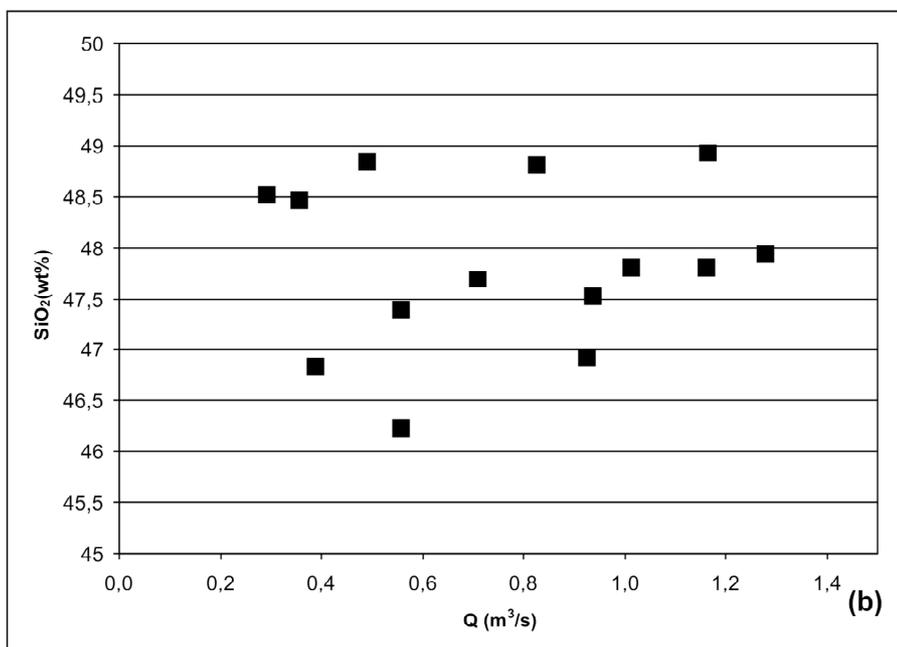
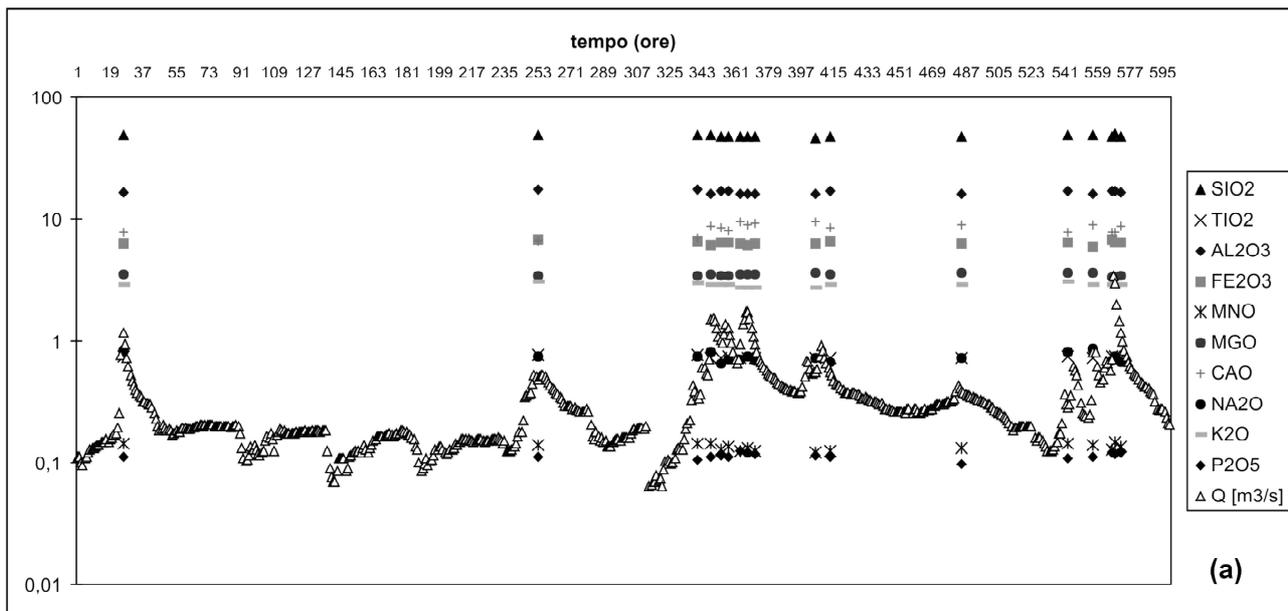


Fig. 8 - Torrente Gaiana: a) dispersione della composizione chimica del materiale solido sospeso (concentrazioni espresse in wt%) rispetto agli eventi di piena (portata espressa in m³/s); b) SiO₂ (wt%) vs portata (Q, m³/s)

Gaiana Torrent: a) distribution of the chemical composition of the suspended load (concentrations in wt%) during the major flooding events (water discharge in m³/s); b) SiO₂ (wt%) versus water discharge (Q, m³/s).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AMOROSI A. CENTINEO M.C., DINELLI E. LUCCHINI F. & TETEO F (2002) - *Geochemical and mineralogical variations as indicators of provenance changes in Late Quaternary deposits of SE Po Plain* - *Sedimentary Geology*, **151**: 273-292.
 BARTOLINI C., CAPUTO R. & PIERI M (1996) - *Pliocene-Quaternary sedimentation in the Northern Apennine Foredeep and related denudation*. *Geol. Mag.* **133**, 255-273.
 BUESSELINCK L., GOVERS G., STEEGEN A. & POESEN V. (2000)

- *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* - IAHS, Waterloo, Canada, pp. 99-107.
 DE VIVO B. (1995) - *Elementi e metodi di geochimica ambientale* - Liguori editore, Napoli.
 DROPPA I.G., LEPPARD G.G., FLANNIGAN D.T. & LISS S.N. (1997) - *The Freshwater Floc: A Functional Relationship of Water and Organic and Inorganic Floc Constituents Affecting Suspended Sediment Properties* - *Water, Air and Soil Pollution*, **99** (1-4),

- 43-54.
- FRANZINI M., LEONI L., & SAITTA M. (1975) - *Revisione di una metodologia analitica per fluorescenza X basata sulla correzione completa degli effetti di matrice*. Rend Soc. It. Min. Petrol., **2**: 497-510.
- HOROWITZ A.J. (1991) - *A primer on sediment trace-element chemistry* - Lewis, Michigan, USA.
- LEPELTIER C. (1969) - *A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical Representation* - Econ. Geol., **64**: 538-550.
- ONGLEY E.D., KRISHNAPPAN B.G., DROPPA I.G., RAO S.S. & MAGUIRE R.J. (1992) - *Cohesive sediment transport: emerging issues for toxic chemical management* - Hydrobiologia, **235/236**: 177-187.
- PAVANELLI D. & BIGI A. (2004) - *Indirect analysis methods to estimate suspended sediment concentration: reliability and relationship of turbidity and settleable solids* - Biosystems Engineering, **90** (1): 75-83.
- PAVANELLI D. & BIGI A. (2005a) - *Suspended sediment transport monitoring in the Reno basin: relationship between hydrological parameters and discharges*, AIIA 2005 "L'ingegneria agraria per lo sviluppo sostenibile dell'area mediterranea" Catania 27-30 giugno 2005.
- PAVANELLI D. & BIGI A. (2005b) - *A New Indirect Method To Estimate Suspended Sediment Concentration in a River Monitoring Programme*, BIOSYSTEMS ENGINEERING 2005, **92** (4), 513-520.
- PAVANELLI D. & PAGLIARANI A. (2002) - *Monitoring water flow, turbidity and suspended sediment load, from an Apennine catchment basin, Italy* - Biosystems Engineering, **83/4**: 463-468.
- PAVANELLI D., PAGLIARANI A. & BIGI A. (2004) - *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.*
- PAVANELLI D. & RIGOTTI M. (2007) - *Relationship between suspended sediment concentration and total nitrogen, and comparison among basins for some apennine rivers* Atti del Convegno Internazionale "COST634" del 1-3 ottobre 2007, Praga "Off-site Impacts of Soil Erosion and Sediment Transport.
- PAVANELLI D., TAGLIOLI G. & PAGLIARANI A. (2001) - *Rilevamento delle portate e del trasporto torbido nelle stazioni sperimentali del torrente Sillaro e torrente Lavino. Analisi dei dati 1997-2000* - Convegno "Monitoraggio fluviale ed erosione nella pianificazione e gestione dei bacini appenninici" organizzato da Pavanelli D., 6 luglio 2001, Fac. Agraria, Bologna, stampato a cura dell'Autorità di Bacino del Reno, Bologna, (pp. 1-62).
- RAPTI-CAPUTO D., TASSINARI R., VACCARO C. & PAVANELLI D. (2005) - *Caratterizzazione geochimica dei sedimenti e delle acque del fiume Reno -ARPA Rivista*, gen-feb 2005, **1**: 27-29.
- RUSSELL MA, WALLING DE & HODGKINSON RA (2001) - *Suspended sediment sources in two small lowland agricultural catchments in the UK* - Journal of Hydrology **252**: 1-24.
- SINCLAIR A. J. (1976) - *Application of probability graphs in mineral exploration* - AEG SP. Vol. 4, Toronto.
- TAYLOR SR & McLENNAN SM. (1985) - *The continental crust, its composition and evolution: an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks* - Blackwell Scientific Publications, Oxford (Oxfordshire).
- TENNANT C. B. & WHITE M. L. (1959) - *Study of the distribution of some geochemical data* - Econ. Geol., **54**: 1281-1290.
- WALLING D.E., WEBB B.W. & WOODWARD J.C. (1992) - *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.

Ms. ricevuto il 28 febbraio 2008
 Testo definitivo ricevuto il 30 maggio 2008

Ms. received: February 28, 2008
 Final text received: May 30, 2008