

## IL TRASPORTO SOLIDO NEI CORSI D'ACQUA MINORI DELL'OLTREPO PAVESE: ALCUNI CARATTERI PECULIARI NEL CONTENUTO DELLE TORBIDE DEL T. VERSA

Gianfranco Ciancetti, Gabriele Dolza & Giorgio Pilla

Laboratorio I.C.G.  
Dipartimento di Scienze della Terra  
Università degli Studi di Pavia  
e-mail cttgf@unipv.it

**RIASSUNTO:** Ciancetti G., Dolza G. & Pilla G.: *Il trasporto solido nei corsi d'acqua minori dell'Oltrepo Pavese: alcuni caratteri peculiari nel contenuto delle torbide del T. Versa.* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

Gli studi condotti dal Laboratorio ICG del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, sulle acque superficiali dell'area pavese hanno portato a riconoscere alcune caratteristiche dei corsi d'acqua che, ad esclusione del T. Staffora, sono comuni a tutti gli altri piccoli corsi d'acqua che drenano il territorio collinare e montano dell'Oltrepo Pavese. Sono state prese in considerazione le caratteristiche geolitologiche, le condizioni climatiche, l'estensione e la morfologia dei bacini, l'uso del suolo, nonché l'instabilità dei versanti. Il bacino utilizzato come riferimento è quello del T. Versa. La Valle Versa è una delle valli dell'Oltrepo Pavese in cui la coltura della vite, è divenuta prevalente da quasi un secolo; per effetto delle pratiche agricole e della tipologia dei terreni, prevalentemente argillosi presenti, si è potuto evidenziare un accumulo negli stessi terreni, di taluni metalli pesanti come il Rame e lo Zinco presenti nei prodotti fitosanitari distribuiti per la lotta antiparassitaria.

L'area, dal punto di vista geologico, è distinguibile in due settori che, ovviamente, si riflettono nelle caratteristiche morfologiche del bacino idrografico. Il settore centro-settentrionale della valle, costituito da litotipi marnoso-argillosi, con rari conglomerati, arenarie e calcari, caratterizzato da una morfologia collinare ed il settore meridionale in cui affiorano litotipi a forte componente calcarea. La ridotta permeabilità dei terreni affioranti, favorisce il ruscellamento superficiale delle acque meteoriche, piuttosto che l'infiltrazione, creando le condizioni per una erosione accelerata del suolo ed il trasporto di elevate quantità di sedimenti nel reticolo idrografico. La distribuzione delle piogge, tipica dell'Oltrepo, presenta un massimo assoluto nel mese di Novembre ed un minimo assoluto nel mese di Agosto, mentre nei rimanenti mesi dell'anno, le piogge risultano abbastanza omogeneamente distribuite. Strettamente correlato agli afflussi meteorici, il deflusso del torrente Versa è caratterizzato da piene di breve durata e di elevato battente idrico, che si registrano generalmente nel tardo autunno, talvolta anche in primavera. Nei periodi di precipitazioni scarse, il deflusso superficiale, può ridursi notevolmente fino a quasi annullarsi, per il limitato contributo delle acque sotterranee al deflusso di base.

Le analisi idrologiche e delle torbide sono state effettuate in corrispondenza di una stazione di misura installata poco a monte della città di Stradella. Gli eventi di piena primaverili e quelli autunnali, hanno evidenziato non solo diverse concentrazioni torbide, ma anche una diversa concentrazione specifica, soprattutto di taluni metalli pesanti, già riscontrati nei suoli coltivati a vite. Nel corso degli eventi di piena, sono state osservate non solo variazioni continue del contenuto mineralogico del sedimento, ma anche un arricchimento nelle classi più fini del trasporto solido, in corrispondenza dell'esaurimento delle piene. Le fasi mineralogiche più abbondanti sono i carbonati con tenori medi prossimi al 30%, cui seguono la smectite (circa 22%), altre fasi argillose (la cui sommatoria si aggira attorno al 30%), ed infine i feldspati (11%) ed il quarzo (circa 7%). La variabilità mineralogica mostrata dal trasporto solido rispetto ai suoli dipende dalla forza dell'azione erosiva delle acque superficiali, che, operando un trasporto selettivo di particelle fini, favorisce le argille ed i carbonati rispetto ai silicati.

**ABSTRACT:** Ciancetti G., Dolza G. & Pilla G.: *The solid transport of the Oltrepo Pavese minor streams: some peculiar characteristics in the bottom currents content of the T. Versa.* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

*The studies about superficial waters of Pavia's area, managed by the ICG Laboratory of the Earth Science Department, University of Pavia, led us to detect some characteristics that are common to all the little streams that flow in the mountain territory of the Oltrepo Pavese, with the exception of T. Staffora.*

*During this study we analyzed geolithological aspects, climatic conditions, the extent and morphology of basins, soil use and stability.*

*The Versa valley, located in the Oltrepo area, is devoted to vine growing since the beginning of the last century. Agricultural practises and clay-rich soils favour the accumulation of heavy metals such as copper and zinc which are present in applied pesticides.*

*The Versa valley may be divided in two different geological sectors, also reflected by the morphological characteristics of the hydrographic basin. The northern part of the valley is hilly and constituted by marls and clay-rich formations, with the sporadic presence of pebblestones, sandstones and limestones. The southern sector is instead dominated by the presence of limestones. The low permeability of the geological formations enhances rainwater runoff rather than infiltration, causing an accelerated soil erosion and a conspicuous transport of suspended matter in rivers and streams.*

*The precipitation pattern in Oltrepo shows maximum amounts in November and minimum in August, while throughout the year precipitation is evenly distributed. The Versa river discharge is closely correlated to meteoric events and is characterised by short and intense floods, generally occurring in late fall and occasionally in spring. When precipitation is scarce, discharge may decrease and completely disappear, due to a limited groundwater contribution to base flow.*

*A monitoring station for the control of hydrology and turbid sediments has been installed near Stradella. Fall and spring floods differ not only for the amount, but also for the heavy metals concentration of suspended matter. Peculiar links with the mineral phases of the sediment have been evidenced. During a flood, not only continuous changes in the mineralogical content of the solid transport were observed, but also an enrichment in the finest grain sizes during the last phase of the flood. The most abundant mineral phases are carbonates (mean content close to 30%), smectite (about 22%), other clay minerals (adding up to about 30%), feldspars (11%) and quartz (about 7%). Comparing this composition with that of the Versa valley soils, the identified phases clearly reflect the mineralogical composition of the northern sector, although carbonates are more abundant in the suspended sediment and silicates.*

**Parole chiave:** Deflusso liquido, trasporto solido, erosione dei suoli, metalli pesanti, Rame.

**Key words:** stream flow, suspended load, soil erosion, heavy metals, Copper.

## 1. INTRODUZIONE

La caratteristiche idrodinamiche dei corsi d'acqua minori dell'Oltrepo Pavese, sono da mettere in relazione con le ridotte dimensioni dei relativi bacini idrografici e con le caratteristiche geologiche e litologiche della zona. La prevalente presenza di formazioni poco permeabili, ad elevata componente argillosa, e la distribuzione dei massimi di precipitazione nei due periodi primaverile ed autunnale, determinano il regime tipicamente torrentizio dei deflussi superficiali. Ciò accomuna tutti i corsi d'acqua minori a sud del fiume Po, che sono caratterizzati da periodi di magra, anche eccezionali, concentrati nei periodi secchi (inverno e estate) e da periodi di morbida o di piena concentrati come già detto in autunno e primavera.

In particolare, le caratteristiche idrometeorologiche e orografiche del bacino del torrente Versa, che governano la trasformazione afflusso-deflusso, determinano, specialmente in situazioni di piogge di notevole intensità, o in caso di completa saturazione del bacino, risposte del corso d'acqua in tempi molto brevi, con il sopraggiungere di onde di piena anche molto significative. L'indagine sperimentale sulla risposta idrologica del bacino del T. Versa non è ancora purtroppo del tutto completa per poter permettere conclusioni qualificate. Ciò nonostante, le osservazioni di questi anni protrattesi dal 2002 ad oggi permettono di identificare alcuni momenti critici per ciò che riguarda il deflusso liquido ed il deflusso torbido.

## 2. CARATTERI GEOMORFOLOGICI E GEOLOGICI

Il territorio dell'Oltrepo Pavese è solcato da numerosi piccoli corsi d'acqua che drenano la porzione di territorio collinare e montuosa e confluiscono in destra idrografica nel F. Po, dopo aver attraversato un breve tratto di pianura. Unica eccezione, per le maggiori dimensioni del bacino e per il regime idrologico è il T. Staffora (CIANCETTI et al., 2001). Al primo gruppo di corsi d'acqua appartiene il T. Versa, oggetto del presente studio, che si localizza nel settore orientale dell'Oltrepo Pavese. La valle omonima ha una conformazione allungata con direzione circa N-S e si sviluppa altimetricamente tra i 75 m s.l.m. della confluenza del T. Versa nel F. Po e i 670 m s.l.m.. Essa si sviluppa per una lunghezza totale di circa 30 km e drena, grazie ai vari affluenti, un'area di circa 60 km<sup>2</sup>. La rete idrografica risulta ben sviluppata, specialmente in presenza di terreni impermeabili o poco permeabili, in cui l'infiltrazione delle acque meteoriche è minima.

Da un punto di vista geologico (Fig. 1) nel bacino del T. Versa i terreni maggiormente rappresentati sono costituiti da flysch calcareo-marnoso-argillosi (Formazione di Val Luretta) e in subordine da terreni marnoso-argillosi localmente sabbiosi o arenaci (Marne di S. Agata Fossili, Marne di Monte Piano, Formazione di Montù Beccaria, Complesso caotico) e, nelle estreme propaggini meridionali del bacino, da arenarie e conglomerati (Arenarie di Ranzano). Nel settore settentrionale lungo le prime colline a ridosso dell'abitato di Stradella affiorano inoltre i Conglomerati di Cassano Spinola e la Formazione Gessoso-Solfifera, nella quale sono presenti anche lenti di gesso (BEATRIZZOTTI et al., 1965, 1969; PEROTTI & VERCESI, 1991).

Il fondovalle lungo cui scorre il T. Versa è costituito da una esigua coltre di depositi alluvionali che diviene sempre più potente procedendo verso nord. Oltre la città di Stradella il corso d'acqua scorre su alluvioni sabbioso-argilloso-limose, dapprima sul proprio conoide, tendendo poi ad insinuarsi nel materasso alluvionale fino alla confluenza nel F. Po.

Le caratteristiche geomorfologiche della Valle Versa sono, ovviamente, legate alle caratteristiche geolitologiche delle formazioni affioranti. L'assetto del settore meridionale (montano e collinare), è caratterizzato dall'intensità dei processi erosivi e dall'instaurarsi di estesi fenomeni gravitativi costituiti in prevalenza da frane di colamento, rototraslazionali e complesse. In particolare sono presenti fenomeni erosivi concentrati, che danno origine a vaste aree a calanchi. Nel settore più settentrionale (basso collinare e di pianura), prevale una morfologia dolce, con pendii più blandi. La degradazione del territorio è legata a cause geologiche, geomorfologiche ed antropiche. Le prime dovute alle caratteristiche geomeccaniche delle rocce, che favoriscono l'erodibilità e l'instabilità dei versanti, derivate da intrinseche ragioni lito-strutturali e da un'intensa tettonizzazione, mentre quelle antropiche sono connesse all'attività agricola prevalente e cioè alla coltura della vite che copre più del 50% del territorio (ERSAF, 2007). Lo sviluppo dei fenomeni di instabilità sui versanti, con frane che giungono, talora, fino al fondovalle, ha determinato modifiche dell'andamento originario del tracciato del torrente, con zone di restringimento e varici, o deviazioni ed anse (ROSSETTI, 1997).

## 3. ACQUE SUPERFICIALI

Le caratteristiche geolitologiche delle formazioni affioranti nel bacino, determinano un differente comportamento idrologico. Le formazioni a basso grado di permeabilità, per l'elevata componente argillosa, favoriscono il ruscellamento superficiale piuttosto che l'infiltrazione, anche per questa ragione le sorgenti idriche sotterranee del settore collinare sono esigue e limitate ad acquiferi di ridotte dimensioni e bassa capacità di immagazzinamento. Nel bacino del T. Versa sono, infatti, presenti sorgenti con portate molto variabili e normalmente modeste (< 0,5 L/s) e pochi pozzi, localizzati prevalentemente nel materasso alluvionale di fondovalle.

In conformità ai caratteri climatici dell'area (ROSSETTI & OTTONE, 1979), il torrente Versa presenta eventi di piena, generalmente in primavera e nel tardo autunno. Secondo gli autori citati, la distribuzione delle piogge nell'anno medio calcolato nel periodo 1921-1970, presenta un massimo assoluto nel mese di Novembre mentre quello relativo nel mese di Maggio. I minimi si concentrano nei mesi di Luglio, Agosto e secondariamente nel mese di Gennaio. Osservazioni ulteriori, del decennio 1971-1980, permettono di verificare che si è reso evidente, non solo un forte aumento totale degli afflussi, ma soprattutto, una diversa distribuzione nell'annata, con un aumento dei valori relativi ai mesi di Gennaio, Febbraio, Agosto, Settembre ed Ottobre, ed una marcata diminuzione nei mesi di Novembre e Dicembre. I valori cumulati su più giorni mostrano che i massimi derivano dalla somma di un giorno di precipitazioni intense con altri nella norma o addirittura sotto la norma e che il valore in assoluto maggiore nel decen-

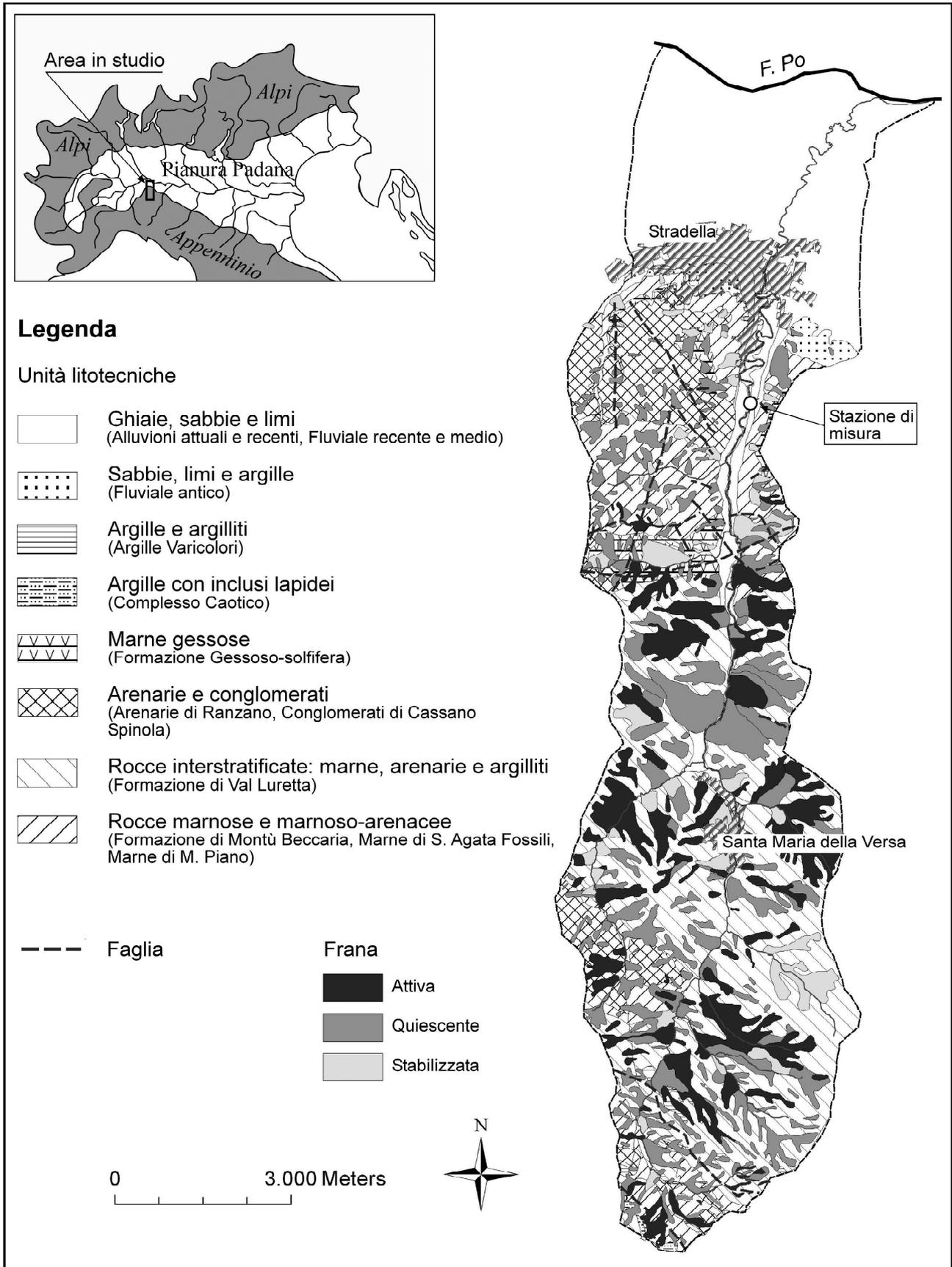


Fig. 1 - Carta geologica del bacino del torrente Versa.  
Geological map of the river Versa basin.

nio è stato registrato nel mese di Agosto 1975 (ROSSETTI, 1997). Questi elementi si riscontrano nei deflussi del T. Versa<sup>1</sup> dove la trasformazione afflusso-deflusso, specialmente in situazioni di piogge di notevole intensità, determina, in caso di saturazione del bacino già presente, risposte del corso d'acqua in tempi molto brevi, con la formazione di onde di piena anche molto significative, come sono state osservate recentemente nel mese di Agosto dell'anno 2006 e del 2007<sup>2</sup>.

Le osservazioni dei battenti idrici degli ultimi due anni hanno evidenziato che i maggiori deflussi superficiali si sono registrati in corrispondenza di forti temporali estivi o tardo estivi, mentre le piogge autunnali e primaverili hanno determinato incrementi dei battenti idrici non altrettanto elevati. Negli anni di osservazione (2002-2007) i massimi battenti idrici osservati (ad eccezione dei due eventi citati) si sono mantenuti sempre al disotto di + 1,70 m rispetto allo zero idrometrico corrispondenti a portate inferiori a circa 9 m<sup>3</sup>/s.

Gli incrementi estivi sono stati così intensi da superare quota + 2,10 m rispetto allo zero idrometrico (Q > 11 m<sup>3</sup>/s) nell'Agosto 2006 e circa quota + 3,20 m (Q > 17 m<sup>3</sup>/s), nello stesso mese dell'anno successivo, raggiungendo l'impianto di registrazione posto in un armadio a tenuta stagna, distruggendo la sonda torbidometrica e quella di misura dei battenti idrici.

#### 4. TRASPORTO SOLIDO

Il trasporto solido è un fenomeno dipendente da fattori climatici, geo-litologici, geomorfologici, antropici che gestiscono le trasformazioni alla scala dell'intero bacino, e quelle locali che interessano il corso d'acqua che drena il bacino. Questi fattori possono influire sul regime del trasporto solido in corrente, operando in tempi molto diversi fra loro. Per lo studio del trasporto solido spesso il limite delle analisi è determinato dalla ridotta osservazione temporale del fenomeno.

Nei piccoli corsi d'acqua, gli elementi fondamentali del bilancio relativo al trasporto torbido, sono la disponibilità del sedimento e la capacità di trasporto da parte della corrente. Questi due elementi possono agire diversamente in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino e dell'uso del suolo.

Le caratteristiche litologiche delle formazioni affioranti nel bacino del T. Versa caratterizzate da un basso grado di permeabilità, per l'elevata componente argillosa presente, favoriscono il ruscellamento superficiale, a

ciò dà un forte contributo l'uomo che con la preponderante coltura viticola a filari, e con la pratica agricola della lavorazione interfilare nei terreni declivi con il sistema di aratura e fresatura a "ritocchino", vale a dire seguendo le linee di massima pendenza, favorisce lo scorrimento dell'acqua lungo solchi, in cui si concentra l'erosione ed il successivo trasporto di grandi quantità di materiale.

Il trasporto solido del torrente Versa è stato campionato durante alcuni eventi di piena autunnale e primaverile, permettendo di determinare la concentrazione solida (g/L). I primi campionamenti, realizzati a Stradella, sono stati sporadici e puntuali, hanno pertanto potuto fornire solo stime della quantità di materiale in sospensione al momento del campionamento. L'installazione e la taratura di una stazione di misura del deflusso liquido, equipaggiata successivamente (2005) con un torbidometro (ENDRESS+HAUSER liquisys M CUM 252) per la misura in continuo della torbidità, posta in corrispondenza del ponte della S.P. 43, che collega la S.P. 201 di fondovalle all'abitato di Montù Beccaria (Fig. 1), ha consentito la valutazione del trasporto solido in sospensione in occasione di alcuni eventi di piena.

E' importante sottolineare che i campionamenti della torbidità effettuati in precedenza e durante le prime fasi dell'installazione della sonda torbidometrica, sono stati eseguiti, ad intervalli di tempo predefiniti, con un campionatore automatico.

Il periodo più significativo per il trasporto solido in sospensione, è risultato in condizioni normali, quello autunnale, caratterizzato da eventi di piena di maggiori dimensioni (Fig. 2), rispetto al periodo primaverile (Fig. 3). Questa caratteristica sembra essere legata alle scarse precipitazioni ed alla forte esposizione solare dei terreni durante la stagione estiva, che provoca una "maturatione" del suolo a cui, come già detto, fornisce un forte contributo l'attività antropica legata alla coltura della vite ed alle operazioni ad essa connesse proprio nel periodo primaverile ed estivo. Ne risulta che le piogge autunnali, soprattutto se intense ed abbondanti, riescono ad avere una maggiore efficacia erosiva, determinando nei corsi d'acqua elevati valori di concentrazione solida. I picchi di torbidità risultano circa contemporanei, o di poco successivi, al colmo dei deflussi liquidi, (Fig. 2-3) con valori variabili da 0,2 g/L a 0,4 g/L per le piene primaverili, a valori compresi tra 0,8 e circa 10,0 g/L per quelle autunnali (Tab. 1).

Malaguratamente gli eventi estivi dell'agosto 2006 e 2007 non sono stati registrati, il primo, per problemi tecnici, il secondo, per aver causato la completa distruzione della stazione.

##### 4.1 Analisi dei sedimenti

Sulla fase solida sono state effettuate delle analisi mineralogiche<sup>3</sup> mediante diffrattometria a raggi X, metodo delle polveri.

La variabilità stagionale della torbidità specifica, si riscontra anche nella composizione mineralogica.

Nella figura 4 sono riportati i valori medi, minimi e massimi, espressi in percentuale, di ciascuna fase

<sup>1</sup> Per gli studi di carattere idrologico, è stata installata nel 2002 una stazione idrometrica presso il ponte (circa 2 Km a monte di Stradella) che dalla S.P. 201 di fondovalle, porta a Montù Beccaria, in un tratto in cui il corso d'acqua presenta ancora indice di sinuosità relativamente basso.

<sup>2</sup> L'alluvione del 31 Agosto 2007, è stata determinata da una meteora estesa a buona parte del settore meridionale dell'Oltrepò pavese che "ha fatto precipitare in una sola notte 100 mm di pioggia, mettendo in ginocchio l'Oltrepò orientale con allagamenti e smottamenti". *Richiesta di stanziamenti straordinari per calamità naturali. Camera dei deputati seduta n°231*. Ne danno conferma i dati registrati dalla stazione pluviometrica situata presso il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pavia, che pur distando circa 20 Km dall'areale colpito dal centro della meteora, ha registrato l'afflusso di 64 mm in 10 ore, con punte di 22 e 25,8 mm, rispettivamente alle ore due e tre del 31 agosto.

<sup>3</sup> Le analisi mineralogiche del particellato solido, sono state effettuate presso il laboratorio "Raggi x" del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Università di Pavia, dal Prof. SETTI M.

Fig. 2 - Idrogramma e torbidogramma registrati nel mese di novembre 2003.

*Water and suspended sediment discharges, recorded in November 2003.*

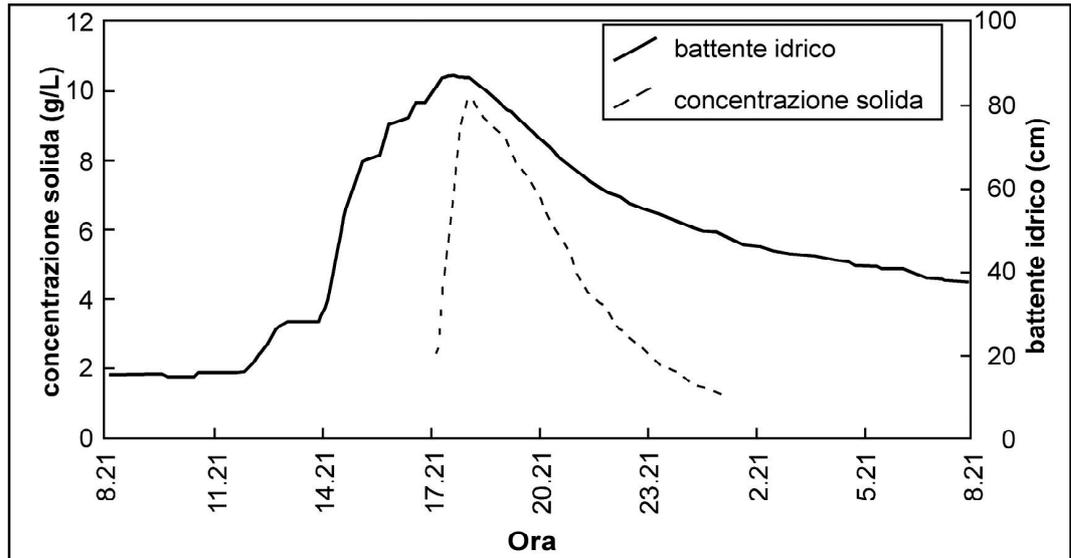


Fig. 3 - Idrogramma e torbidogramma registrati nel mese di aprile 2004.

*Water and suspended sediment discharges, recorded in April 2004.*

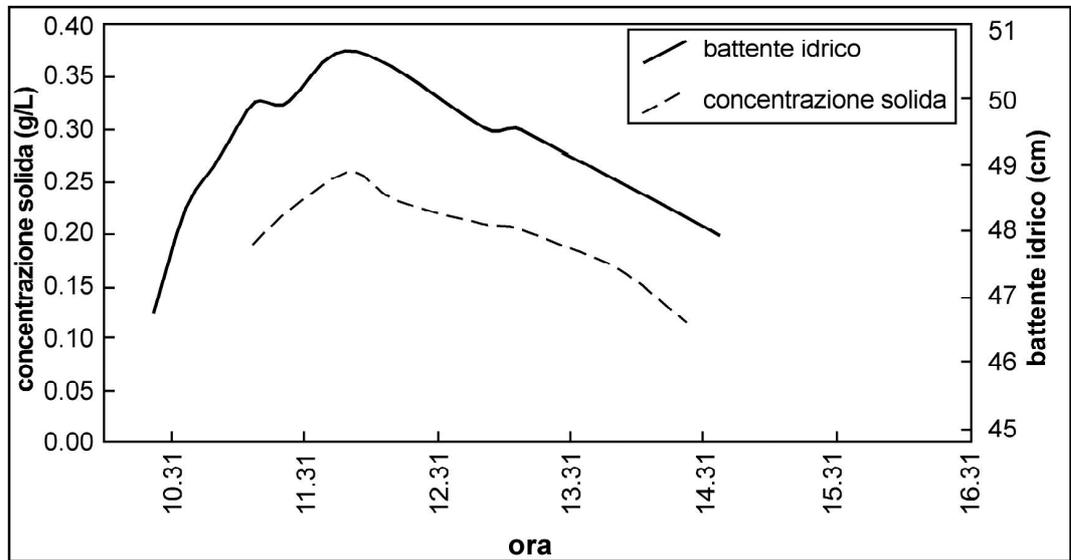
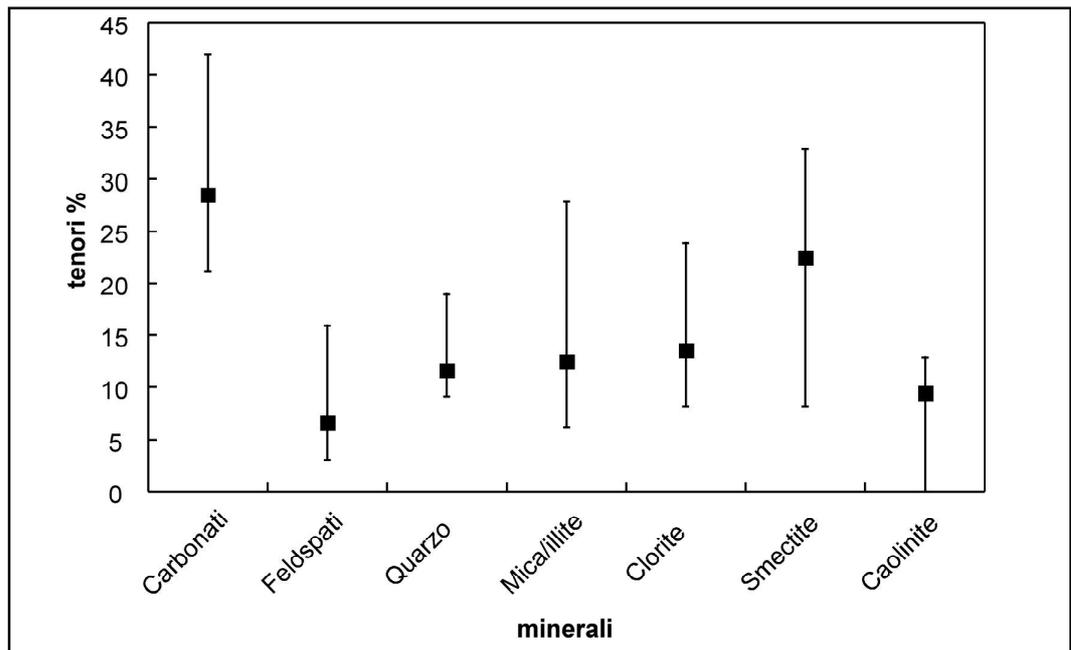


Fig. 4 - Composizione mineralogica media, minima e massima delle torbide.

*Average, minimum and maximum mineralogical composition of the suspended sediment discharge.*



mineralogica individuata.

Le fasi mineralogiche più abbondanti sono rappresentate dai carbonati con valori medi pari a circa al 28%, cui seguono la smectite (circa 22%), seguiti dalle altre fasi. Confrontando questa composizione con quella dei suoli della Valle Versa, si osserva che le fasi identificate sono ben rappresentate nella media-bassa valle, anche se i carbonati risultano più abbondanti nelle torbide che nei suoli, mentre i silicati, come il quarzo ed i feldspati, sono invece, maggiormente presenti nei suoli. Nella porzione più meridionale della valle, la smectite risulta essere la fase dominante con quantitativi maggiori del 60% (ERSAF 2007; CIANCETTI et al., 2007).

La diversa abbondanza mineralogica riscontrata nelle torbide in generale rispetto ai suoli, o all'interno delle varie fasi delle torbide stesse, dipende dalla capacità erosiva delle acque di corrivazione, che operano un trasporto selettivo delle parti più fini (*wash load*), determinando maggiori concentrazioni dei minerali argillosi e dei carbonati rispetto ai silicati, durante la fase di esaurimento dell'evento, quando l'energia diminuisce progressivamente.

Nella figura 5 sono state inserite le analisi sul contenuto in rame dei campioni di materiale prelevato durante la piena, che permettono di effettuare ulteriori considerazioni.

Come si può osservare, la concentrazione in rame nei vari campioni, segue abbastanza fedelmente la grafica del contenuto dei carbonati, mentre le argille ed i silicati presentano andamenti diversi. Il grafico suggerisce quindi (ERSAF 2007) che parte del rame possa essere trasportato come fase fissata ai carbonati. Il ruolo dei carbonati nel fissare il rame, appare in altre circostanze (campionamenti non inclusi nella presente nota), meno marcato, assumendo maggior rilievo quello delle argille, in particolare della smectite.

I risultati delle analisi chimiche realizzate sul materiale campionato durante eventi di piena sono riportati in tabella 1.

I primi due campionamenti pur essendo stati eseguiti in momenti non precisati delle piene, prelevando una notevole quantità di torbida, sono stati inseriti nella tabella, in quanto indicativi del diverso contenuto solido fra le piene primaverili e quelle autunnali, come reso evidente dai successivi campionamenti effettuati in continuo.

Nel trasporto solido, il Cu raggiunge gli stessi valori osservati nei suoli adibiti alla coltivazione della vite, a testimoniare come una parte di questi suoli venga stagionalmente erosa (ERSAF 2007).

Inoltre, come già evidenziato, sono le piene autunnali quelle più importanti sia in termini di quantità di acqua che di solido trasportato. Analogamente a quanto osservato nel paragrafo del trasporto solido, le piene che si succedono in tempi molto brevi, a distanza di pochi giorni, mostrano non solo una minore concentrazione solida, ma anche un progressivo abbassamento del tenore in rame.

La figura 6 evidenzia un ulteriore ed interessante elemento, che conferma quanto già espresso, e cioè che all'aumentare della concentrazione solida corrisponde una progressiva diminuzione del contenuto in rame nel trasporto solido, la cui concentrazione aumenta invece, nelle acque (deflusso liquido). Questo fenomeno è giustificato dalla diversa energia del mezzo, infatti alla maggiore capacità di trasporto corrisponde non solo una maggiore quantità di sedimento ma anche maggiori dimensioni dello stesso. Ne consegue una proporzionale diminuzione del metallo nel trasporto solido in quanto esso risulta di preferenza fissato alle taglie più fini (ad elevata superficie specifica) del *wash load* (CIANCETTI et al., 2007; ERSAF 2007).

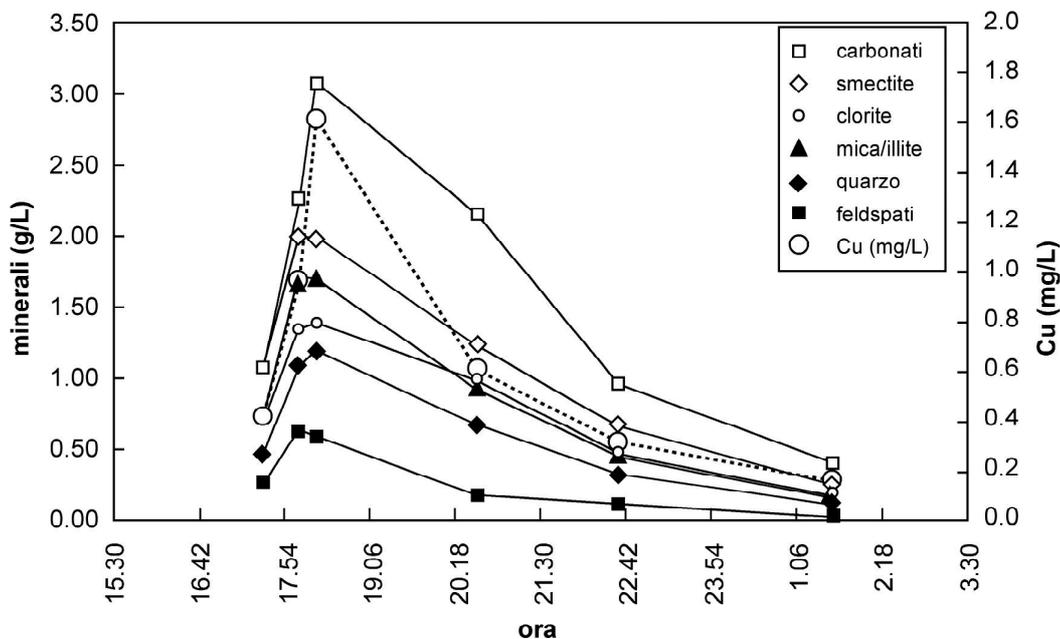


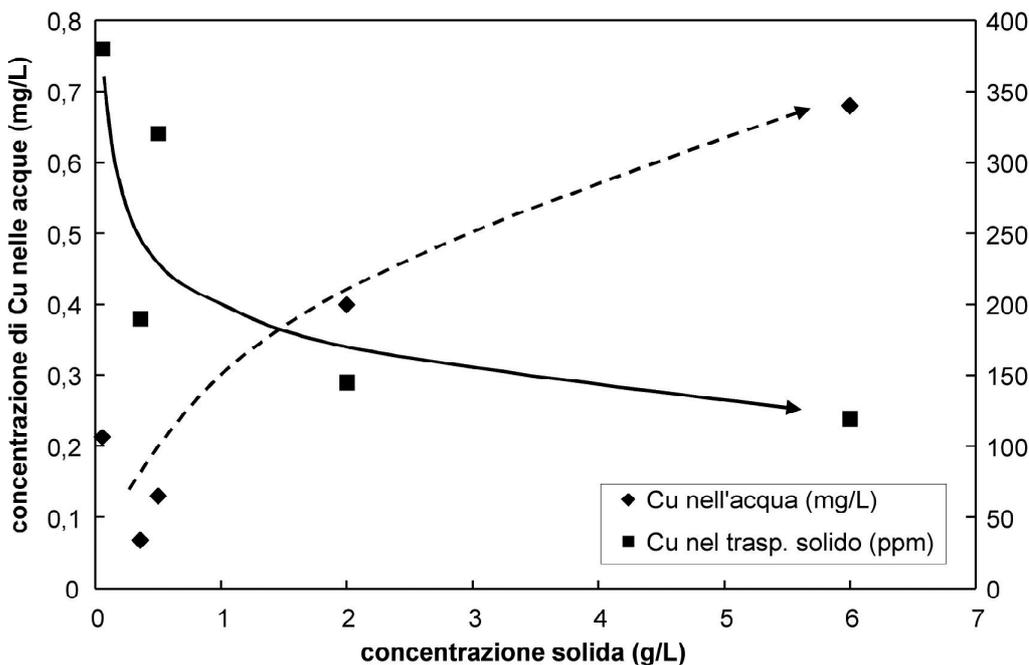
Fig. 5 - Contenuto mineralogico della piena del novembre 2003, il cui torbidogramma è rappresentato nella figura 2. Le variazioni del contenuto nei diversi minerali sono confrontate con il contenuto in rame legato ai solidi.

Mineralogical content of November 2003, flood event in, whose suspended sediment discharge is shown in figure 2. Changes in the content of the different minerals are compared with the copper content related to solids.

Tab. 1 - Contenuto solido e concentrazione del rame nelle acque di alcune piene.  
*Solid content and copper concentrations of the waters of some flood events.*

Data	Località	Campionamento	Torbida (mg/L)	Cu nelle acque (mg/L)
nov-02		Puntuale durante la	810	0,308
apr-03	Ponte Stradella	piena	360	0,068
24-nov-03			1200 - 10000	0,16 - 1,6
25-nov-03	Ponte	Continuo		
27-nov-03	<u>Montù Beccaria</u>		600 - 5400	0,09 - 0,871
28-nov-03				
19-apr-04			190 - 290	<u>n.d.</u>
29-nov-04	Ponte	Continuo	200 - 1400	0,003 - 0,336
30-nov-04	<u>Montù Beccaria</u>			

Fig. 6 - Variazioni della concentrazione del rame nelle torbide e nelle acque, in relazione alla concentrazione solida.  
*Copper concentration in water and in suspended sediment discharge, related to the solid concentration.*



**5. CONCLUSIONI**

Il bacino del T. Versa, può essere considerato rappresentativo dei bacini minori (escludendo pertanto la Valle Staffora) dell'Oltrepo Pavese.

Le dimensioni, le caratteristiche geo-litologiche, la morfologia, l'uso del suolo, con la coltura della vite che interessa più del 50% del territorio, costituiscono

infatti caratteri comuni. Lo studio idrologico sviluppato può rappresentare la complessità dei fenomeni che avvengono in questo settore dell'area oltrepadana.

Lo studio, mirato alla definizione degli elementi di base delle conoscenze territoriali (comprensione dei processi idrologici ed erosivi) ha cercato di definire la trasformazione afflussi-deflussi, confrontandola con le caratteristiche climatiche (storiche ed attuali) dell'area,

mettendo in evidenza come l'uso del suolo determini il valore ed il contenuto del trasporto solido in sospensione. Ulteriori ricerche in corso mirano a definire nei suoi valori totali il deflusso torbido, consentendo di valutare il coefficiente di erosione a cui il bacino è sottoposto (perdita di suolo). I caratteri climatici, restringono al periodo autunnale il momento di maggior rischio idrologico dell'area, anche se le osservazioni presentano taluni eventi critici, in seguito ad afflussi meteorici di particolare rilevanza, avvenuti nei mesi estivi (nel 1975 e poi nel 2006 e nel 2007).

Per quanto riguarda il trasporto solido, alla capacità erosiva dell'acqua di corrivazione sui terreni coltivati a vitigno del bacino, si deve aggiungere la notevole quantità di materiale resa disponibile dai dissesti. L'area è infatti interessata da estesi movimenti franosi, molto comuni in tutto l'Oltrepo Pavese, la cui causa è da ricondursi principalmente alle caratteristiche geomecchaniche delle formazioni più diffusamente affioranti, costituite in prevalenza da litotipi argillosi, che in condizioni di forte saturazione, si vengono a trovare in breve tempo in situazioni di elevata instabilità. Il materiale mobilizzato dai dissesti, subisce più intensi fenomeni di erosione diffusa e/o concentrata, particolarmente in corrispondenza dei versanti più acclivi. Queste condizioni di degradazione del territorio, naturali e antropiche, favorendo l'erosione del suolo, determinano, specie durante le piene autunnali, elevate concentrazioni torbide. La concentrazione dei solidi sospesi (torbida), misurata durante alcuni eventi, ha raggiunto valori prossimi a 10 g/L. L'analisi mineralogica e chimica del particolato, ha messo in luce il particolare contenuto delle torbide, in cui, agli elementi presenti come costituenti mineralogici dei terreni, si aggiunge un elevato contenuto in metalli pesanti, in particolare il rame, proveniente dalle porzioni superficiali dei suoli asportati dalle acque di corrivazione nelle aree coltivate a vite.

## BIBLIOGRAFIA

- BEATRIZZOTTI G., BELLINZONA G., BELTRAMI G., BONI A., BRAGA G. & MOSNA S. (1965) - *Carta Geologica d'Italia scala 1:100000, F. 59 Pavia. II edizione, Servizio Geologico d'Italia, Roma.*
- BEATRIZZOTTI G., BELLINZONA G., BELTRAMI G., BONI A., BRAGA G., MARCHETTI G. & MOSNA S. (1969) - *Carta Geologica d'Italia scala 1:100000, F. 71 Voghera. II edizione, Servizio Geologico d'Italia, Roma.*
- BELLINZONA G., BONI A., BRAGA G. & MARCHETTI G. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 71 Voghera. Nuova Tecnica Grafica, Roma.*
- BONI A. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 59 Pavia.* Nuova Tecnica Grafica, Roma.
- CIANCETTI G., GALLINA A., PENNACCHIONI E. & PILLA G. (2001) - *Sul trasporto solido e sulle variazioni morfologiche del T. Staffora (Appennino Pavese).* Mem. Soc. Geol. It., **56**, pp. 265-274.
- CIANCETTI G., DOLZA G., PILLAG., SACCHI E. & SETTI M. (2007) - *I metalli pesanti nel trasporto solido del T. Versa. Geitalia 2007.* Sesto Forum Italiano di Scienze della Terra; Rimini, 12-14 settembre 2007.
- ERSAF (2004) - *Suoli e paesaggi della Provincia di Pavia. Regione Lombardia, Milano.*
- ERSAF (2007) - *Analisi del contenuto in rame ed altri metalli nei suoli agricoli lombardi.* RAMET. AA.VV. Quaderni della ricerca, **61**, Milano.
- PEROTTI C.R. & VERCESI P.L. (1991) - *Assetto tettonico ed evoluzione recente della porzione nord-occidentale dell'Appennino emiliano.* Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **46**, pp. 313-326.
- ROSSETTI R. & OTTONE C. (1979) - *Esame preliminare delle condizioni pluviometriche dell'Oltrepò Pavese e dei valori critici delle precipitazioni, in relazione ai fenomeni di dissesto franoso.* Geol. Appl. e Idrogeologia, **14/3**, pp. 83-99.
- ROSSETTI R. (1997) - *Centri Abitati Instabili della Provincia di Pavia.* C.N.R. - G.N.D.G.C.I., Linea di Ricerca 2, Progetto Speciale S.C.A.I. Resp. R. ROSSETTI; G. CIANCETTI (dal 1997).

Ms. ricevuto il 1° marzo 2008  
 Testo definitivo ricevuto il 20 aprile 2008

Ms. received: March 1, 2008  
 Final text received: April 20, 2008