

Roggero, Pier Paolo; Pistelli, Enzo; Toderi, Marco (1997) *Perdite di fosforo per erosione idrica: stima della frazione biodisponibile con il "P<sub>i</sub> test"*. Rivista di agronomia, Vol. 31 (3 suppl.), p. 801-809. ISSN 0035-6034.

<http://eprints.uniss.it/4142/>

RIVISTA DI

# AGRONOMIA

ANNO XXXI - N. 3 SUPPL. - LUGLIO-SETTEMBRE 1997



A cura della Società Italiana di Agronomia  
col Contributo finanziario del Consiglio Nazionale delle Ricerche

Comitato scientifico e direttivo:

ENRICO BONARI	ATTILIO LOVATO
ANGELO CALIANDRO	MARIO MONOTTI
ANDREA CAVALLERO	PAOLO PARRINI
GINO COVARELLI	FERDINANDO PIMPINI
MAURO DEIDDA	GIUSEPPE RESTUCCIA
LUIGI GIARDINI	RICCARDO SARNO
GIUSEPPE LA MALFA	GIOVANNI TODERI
RENZO LANDI	GIANPIETRO VENTURI
FRANCO LORENZETTI	GIUSEPPE ZERBI

Direttore responsabile: PAOLO TALAMUCCI

Segretario di redazione: ROBERTO ANDERLINI

NUMERO DEDICATO AL XXX CONVEGNO ANNUALE DELLA SIA SU:  
«INNOVAZIONI NELLA RICERCA PER NUOVI ORIZZONTI DELLA SCIENZA AGRONOMICA»  
PERUGIA, 3-6 GIUGNO 1996

Consiglio Direttivo:

FRANCESCO BONCIARELLI - Presidente  
ENRICO BONARI - Vice Presidente  
ANGELO CALIANDRO - Membro  
GIULIANO MOSCA - Membro  
CARLO FAUSTO CERETI - Segretario tesoriere

© 1997 Edagricole S.p.A.

Direzione: Dipartimento di Agronomia e Produzione erbacea dell'Università di Firenze - Piazzale delle Cascine, 18 - 50144 Firenze - Redazione, Pubblicità, Abbonamenti, Amministrazione: Via Emilia Levante, 31 - 40139 Bologna - Tel. 051/49.22.11 (15 linee) - Telefax (051) 493660. Cas. Post. 2157-40139 Bologna - Ufficio di Milano: 20133 - Via Bronzino, 14 - Tel. 02/29.522.864 - Ufficio di Roma: 00187 - Via Boncompagni, 73 - Tel. 06/4288.10.98-4288.12.22.

Internet web site: [www.agriline.it/edagri](http://www.agriline.it/edagri)

Internet e-mail: [ag@edagricole.agriline.it](mailto:ag@edagricole.agriline.it)

Direttore responsabile: Prof. Paolo Talamucci - Reg. Tribunale di Bologna n. 3236 del 12-12-1966 - Spedizione in a.p. - 45% - art. 2 comma 20/b legge 662/96 - Filiale di Bologna. Abbonamenti e prezzi Italia (c/c postale 366401): Abbonamento annuo L. 82.000 - Un numero L. 21.000 - Arretrati e numeri doppi L. 42.000 - Annate arretrate L. 117.000 - Estero: Abbonamento annuo L. 95.000 - Con spedizione via aerea L. 120.000 - Rinnovo abbonamenti Italia: Attendere l'avviso che l'Editore farà pervenire un mese prima della scadenza. Per Enti e Ditte che ne facciano richiesta l'avviso verrà inoltrato tramite preventivo Iva assolta alla fonte dall'Editore ai sensi dell'art. 74, 1 comma, lett. c, D.P.R. 26.10.1972 n. 633 e successive modificazioni ed integrazioni. La ricevuta di pagamento del conto corrente postale è documento idoneo e sufficiente ad ogni effetto contabile.

Tutti i diritti sono riservati: nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta, memorizzata o trasmessa in nessun modo o forma, sia essa elettronica, elettrostatica, fotocopia, ciclostile, senza il permesso scritto dell'Editore.

Questo giornale è associato alla



Stampa: Stabilimento Tipografico «Pliniana»  
Selci-Lama (PG)

## S O M M A R I O

- 675 L'evoluzione degli obiettivi ed il ruolo della ricerca agronomica  
*Francesco Bonciarelli*
- 683 Strumenti e metodologie innovativi nella ricerca e nella pratica agronomica  
*Giuseppe Zerbi, Paolo Ceccon, Francesco Danuso, Alessandro Peressotti, Roberto Pintor e Zeno Varanini*
- 715 Ruolo e potenzialità delle curve dose-risposta nella costruzione di un sistema di lotta razionale alle malerbe  
*Andrea Onofri, Gino Covarelli e Francesco Tei*
- 726 Il pedoclima come fattore di sensibilità ambientale: esempio di metodologia applicata all'agro di Sparacia - Cammarata (AG)  
*Salvatore Raimondi, Ignazio Poma e Alfonso Salvatore Frenda*
- 734 Analisi di caratteri morfologici, biochimici e molecolari per l'identificazione varietale nelle piante coltivate  
*Valeria Terzi, Primetta Faccioli, Giampiero Valè, Paolo Baldi, Nicola Pecchioni e Giovanni Delogu*
- 741 Tecniche non convenzionali per la produzione di tubero seme di patata (*Solanum tuberosum* L.)  
*Vincenzo Vecchio, Stefano Benedettelli, Paolo Casini e Luisa Andrenelli*
- 751 Effetto delle basse temperature sul metabolismo dell'orzo (*Hordeum vulgare* L.)  
*Luigi Cattivelli, Cristina Crosatti, Maria Grossi, Fulvia Rizza, Elena Giorni e A. Michele Stanca*
- 756 Il monitoraggio della barbabietola da zucchero (*Beta vulgaris* L.) mediante l'analisi della riflettanza spettrale  
*Sergio Miele, Marco Volterrani, Marco Casucci, Nicola Grossi, Monica Gaetani, Guido Pardini*
- 762 Misura della resistenza alla trazione delle radici: un contributo alla determinazione dell'effetto delle piante sulla stabilità del terreno  
*Mariana Amato, Alessandra Pardo, Stefania Faretta e Fabrizio Quaglietta Chiarandà*
- 768 Gestione della concimazione azotata con parcelle spia («window plots»)  
*Bruno Basso, Joe Thomas Ritchie, Serena Stornaiuolo e Michele Pisante*
- 774 Messa a punto di un metodo per la stima in continuo della quantità di azoto fissato in ambiente confinato  
*Stefano Bona, Paolo Sambo e Giuliano Mosca*
- 781 Applicazione di sonde multilivello per il monitoraggio dell'umidità del suolo con la tecnica TDR  
*Carlo Fausto Cereti, Elena Pettinelli e Francesco Rossini*
- 786 Restituzione in atmosfera dell'azoto ammoniacale durante la decomposizione di una «cover crop» leguminosa  
*Marcello Mastrorilli, Gianfranco Rana, Rosa Colucci e Giuseppe Marrone*

- 792 Impiego della tecnica degli aggregati artificiali di terreno sintetico nello studio della struttura del terreno. I. Incorporamento di materiali organici  
*Antonia Patruno, Luigi Cavazza e Cesare Accinelli*
- 801 Perdite di fosforo per erosione idrica: stima della frazione biodisponibile con il «P<sub>i</sub> test»  
*Pier Paolo Roggero, Enzo Pistelli e Marco Toderi*
- 810 Possibilità applicative dei «*ressampling methods*» nell'analisi statistica di dati agronomici  
*Marco Acutis e Savino Lotito*
- 817 Nuove metodologie per lo studio dell'interazione trattamento-ambiente e la definizione della raccomandazione tecnica  
*Paolo Annicchiarico*
- 824 Utilizzazione di insiemi di dati analitici georeferenziati relativi alle caratteristiche fisico-chimiche dei terreni agrari della provincia di Parma per la produzione di cartografia tematica  
*Stefano Bocchi, Giovanni Conforti, Lucia Baldi, Frank Möller e Tommaso Maggiore*
- 834 Applicazione dello «scaling» frattale alla suddivisione a secco degli aggregati: analisi e limitazioni  
*Annamaria Castrignanò e Matteo Stelluti*
- 842 Stima della geometria del manto vegetale mediante l'ausilio di un modello di simulazione  
*Massimo Monteleone, Fabrizio Quaglietta Chiarandà e Michele Perntola*
- 853 Problematiche aperte dall'impiego a livello aziendale di un sistema decisionale per i trattamenti di post-emergenza  
*Giuseppe Zanin, Antonio Berti e Francesco Bravin*
- 864 Analisi del rischio di degradazione del suolo in aree agricole della Basilicata: una proposta metodologica  
*Francesco Basso, Antonio Bellotti, Flora De Natale, Agostino Ferrara e Michele Pisante*
- 872 L'uso dei frattali nella caratterizzazione della rugosità superficiale di suoli sottoposti a diverse modalità di lavorazione  
*Annamaria Castrignanò, Donato De Giorgio e Matteo Stelluti*
- 880 Il rilevamento della flora potenziale: metodi e attrezzature per la separazione dei semi dal terreno  
*Mario Macchia e Adriana Cozzani*
- 884 Primi risultati sull'inserimento delle colture di copertura nella omosuccessione del mais da granella (*Zea mays* L.)  
*Marco Mazzoncini, Enrico Bonari, Stefano Menini, Marco Ginanni e Paolo Barberi*
- 894 Confronto di differenti metodi per la stima della fitomassa di arbusti di *Medicago arborea* L.  
*Francesco Rossini e Raffaele Casa*
- 901 Zonizzazione di un territorio in aree agroclimatiche omogenee utilizzando la «cluster analysis»  
*Pietro Rubino, Maurizia Catalano, Francesco Casalino e Mario Alberto Mastro*
- 908 Innovazioni nella acquisizione di informazioni in agricoltura con immagini polarimetriche radar SIR-C/X-SAR. Metodi di acquisizione di dati sulle colture, la biomassa e l'umidità del terreno  
*Fabio Domenico Vescovi, Stefano Bocchi, Francesco Tano, Mario Angelo Gomasca, Andrea Galli, Malcom Walter Junior Davidson, Roland Steingießer e Walter Kuhbauch*

**SPECIAL ISSUE DEDICATED TO THE SIA ANNUAL MEETING ON:  
«RESEARCH INNOVATION FOR NEW HORIZONS IN AGRONOMICAL SCIENCE»  
PERUGIA, 3-6 JUNE 1996**

**C O N T E N T S**

- 675 *Bonciarelli F.* - Evolution of aims and method of the research in Agronomy
- 683 *Zerbi G., Ceccon P., Damuso F., Peressotti A., Pinton R. and Varanini Z.* - Innovative instruments and methodologies in agricultural research and in the practice
- 715 *Onofri A., Covarelli G. and Tei F.* - Role and perspectives of dose-response curves in the development of an Integrated Weed Management System
- 726 *Raimondi S., Poma I. and Frenda A.S.* - Soil climate as environmental sensibility factor: a methodology example applied to Sparacia area (Cammarata - AG)
- 734 *Terzi V., Faccioli P., Valè G., Baldi P., Pecchioni N. and Delogu G.* - Morphological, biochemical and molecular markers for fingerprinting in small grain cereals
- 741 *Vecchio V., Benedettelli S., Casini P. and Andrenelli L.* - Non conventional techniques for seed tuber potato (*Solanum tuberosum* L.) production
- 751 *Cattivelli L., Crosatti C., Grossi M., Rizza F., Giorni E. and Stanca A.M.* - Low temperatures effect on barley (*Hordeum vulgare* L.) metabolism

- 756 *Miele S., Volterrani M., Casucci M., Grossi N., Gaetani M. and Pardini G.* - Sugarbeet (*Beta vulgaris* L.) monitoring by spectral reflectance analysis
- 762 *Amato M., Pardo A., Faretta S. and Quaglietta Chiarandà F.* - Root traction resistance measurements: a contribution to the determination of plant influence on soil stability
- 768 *Basso B., Ritchie J.T., Stornaiuolo S. and Pisante M.* - Management of nitrogen fertilization by window plots
- 774 *Bona S., Sambo P. and Mosca G.* - Setting a method using an hydrogen detector for estimating continuously the quantity of nitrogen fixed in controlled environment
- 781 *Cereti C.F., Pettinelli E. and Rossini F.* - Application of multilevel time domain reflectrometry probes for monitoring of the soil water content
- 786 *Mastrorilli M., Rana G., Colucci R. and Marrone G.* - Restitution into atmosphere of nitrogen as ammonia from cover crop decomposition
- 792 *Patrino A., Cavazza L. and Accinelli C.* - Artificial aggregates from syntetized soils to understand soil structure stability. I. Effect of organic materials
- 801 *Roggero P.P., Pistelli E. and Toderi M.* - Phosphorus losses in the agricultural run-off: estimate of the bioavailable fraction using the «P<sub>i</sub> test»
- 810 *Acutis M. and Lotito S.* - Application of resampling methods in statistical analysis of agronomic data
- 817 *Annicchiarico P.* - New methods for the analysis of treatment-environment interaction and the definition of farm recommendations
- 824 *Bocchi S., Conforti G., Baldi L., Möller F. and Maggiore T.* - Utilization of georeferred analytical data-set related to physical-chemical features of soils located in Parma province (Italy) for thematic mapping
- 834 *Castrignanò A. and Stelluti M.* - Application of fractal scaling to particle-size distributions: analysis and limitations
- 842 *Monteleone M., Quaglietta Chiarandà F. and Perniola M.* - Indirect sensing of crop canopy structure trough the use of a simulation model
- 853 *Zanin G., Berti A. and Bravi F.* - Problems on applicability of a farm decision support system for post-emergence weed control
- 864 *Basso F., Bellotti A., De Natale F., Ferrara A. and Pisante M.* - Analysis of soil degradation risk of agricultural lands in the Basilicata Region (Italy): a methodological proposal
- 872 *Castrignanò A., De Giorgio D. and Stelluti M.* - The use of fractals to characterize surface roughness of a soil submitted to different tillage management
- 880 *Macchia M. and Cozzani A.* - Quantitative survey of the potential flora: an automatic method for separation of seeds from soil
- 884 *Mazzoncini M., Bonari E., Menini S., Ginanni M. and Barberi P.* - Cover crops for maize (*Zea mays* L.) continuous crop: preliminary results
- 894 *Rossini F. and Casa R.* - Comparison of different phytomass estimation methods of *Medicago arborea* L. shrubs
- 901 *Rubino P., Catalano M., Casalino F. and Mastro M.A.* - Land zoning in different homogeneous agroclimatic areas by means of the «cluster analysis»
- 908 *Vescovi F.D., Bocchi S., Tano F., Gomarasca M.A., Galli A., Davidson M.W.J., Steingießer R. and Kuhbauch W.* - Improving the collection of agricultural information using polarimetric SIR-C/X-SAR Radar Images. Methods for crop, biomass and soil moisture analysis

# Perdite di fosforo per erosione idrica: stima della frazione biodisponibile con il «P<sub>i</sub> test»<sup>(1)</sup>

Pier Paolo Roggero, Enzo Pistelli e Marco Toderi<sup>(2)</sup>

## Riassunto

Obiettivo della ricerca era la verifica delle possibilità di applicazione e dei limiti di impiego del metodo delle strisce impregnate con ossido di ferro, il «P<sub>i</sub> test», per la quantificazione del fosforo biodisponibile (PB) nel deflusso idrico superficiale, in relazione al tipo di gestione del suolo e alla concimazione. Il «P<sub>i</sub> test» consente di fissare il P biodisponibile presente nel deflusso su strisce di carta che vengono immerse nel campione tal quale, e possono essere successivamente conservate a temperatura ambiente per lungo tempo. Il metodo è stato utilizzato per valutare le perdite di P relative a tre unità colturali, nella collina marchigiana: girasole coltivato con le tecniche tradizionali («alto input», 138 kg ha<sup>-1</sup> di N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); girasole concimato con dosi ridotte (basso input, 46 unità ha<sup>-1</sup> di N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>); set-aside (vegetazione spontanea non concimata e disseccata a metà maggio, come previsto dalla normativa UE). La concentrazione di PB nel deflusso è stata influenzata dalla concentrazione del sedimento (CS) ed in misura trascurabile dal contenuto in P totale del sedimento. La concentrazione di P solubile era sempre superiore alle soglie indicate dall'OECD come potenzialmente eutrofizzanti. La concentrazione di P totale nel sedimento non è stata influenzata significativamente dalla concimazione. Le perdite di P totale sono state condizionate dall'entità del deflusso e dall'erosione. Nel lavoro vengono discussi i vantaggi e i limiti dell'applicazione del «P<sub>i</sub> test», le implicazioni agronomiche e ambientali delle perdite di fosforo dai terreni agricoli e gli accorgimenti da seguire nel campionamento del deflusso.

*Parole chiave:* P<sub>i</sub> test, fosforo biodisponibile, fertilizzante fosforico, deflusso superficiale, concentrazione di sedimenti, *Helianthus annuus* L., set-aside, collina centro italiana.

## Summary

### PHOSPHORUS LOSSES IN THE AGRICULTURAL RUN-OFF: ESTIMATE OF THE BIOAVAILABLE FRACTION USING THE «P<sub>i</sub> TEST»

The objective of this research was to test, in a field experiment, the use of the iron oxide strips method, the «P<sub>i</sub> test», to estimate the transport of bioavailable phosphorus in the agricultural run-off in relation to the soil use and fertiliser inputs. The «P<sub>i</sub> test», allows the fixation of the soluble and labile particulate phosphorus on paper strips that are sink in the unfiltered sample, and after air-drying can be stored for long periods. The surface run-off and sediment of three cropping units was analysed: «high input» sunflower, representative of the current practice in the area (138 kg ha<sup>-1</sup> of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), «low input» sunflower (46 kg ha<sup>-1</sup> of N and P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), set-aside managed according to the current EU regulations (sprayed with non-selective herbicide, unfertilised). The concentration of bioavailable phosphorus (PB) was strongly influenced by the sediment concentration (CS), independently on the sediment texture. The concentration of soluble phosphorus (PS) was always above the threshold fixed by OECD for the eutrophication of water bodies. The concentration of total P in the sediment (PT) was not significantly influenced by the fertiliser input. The advantages and disadvantages of the «P<sub>i</sub> test» method for the estimate of the eutrophic potential of the agricultural run-off are discussed in the paper, together with the correct sampling procedures and the environmental and agronomic problems of P losses from agroecosystems.

*Key words:* P<sub>i</sub> test, bioavailable phosphorus, phosphate fertiliser, run-off, sediment concentration, *Helianthus annuus* L., set-aside, hills of central Italy.

<sup>(1)</sup> Comunicazione presentata al XXX Convegno annuale della SIA su: «Innovazioni nella ricerca per nuovi orizzonti della scienza agronomica», Perugia, 3-6 giugno 1996. Lavoro svolto con il contributo finanziario del progetto finalizzato MiRAAF PANDA Sottoprogetto 2, serie 1, pubblicazione n. 131.

<sup>(2)</sup> Rispettivamente professore associato di ecologia agraria e funzionario tecnico presso il Dipartimento di Biotecnologie Agrarie e Ambientali dell'Università degli Studi, via Breccie Bianche, 60131 Ancona, il primo e il secondo Autore; dottorando di ricerca, corso di dottorato in «Produttività delle piante coltivate», XI ciclo, presso Istituto di Agronomia generale e Coltivazioni erbacee, via De Nicola, 07100 Sassari, il terzo Autore.

## Abbreviazioni usate nel testo

CS	Concentrazione di sedimenti nel deflusso: include la frazione in sospensione e quella trascinata dal deflusso per rotolamento. <i>Concentration of the sediment in the run-off: includes the suspended solids and the soil particles that were rolled down by the run-off along the slope</i>
PS (mg l <sup>-1</sup> )	Concentrazione di fosforo solubile (frazione del P reattiva al molibdato) determinato su campioni filtrati a 0,45 µm <i>Molybdate reactive phosphorus analysed on 0,45 µm filtered samples</i>
PB	Fosforo biodisponibile determinato con il «P <sub>i</sub> test» <i>Bioavailable phosphorus analysed with the «P<sub>i</sub> test»</i>
PBP	Concentrazione di fosforo biodisponibile associato al particolato (ottenuto per differenza tra PB e PS) <i>Bioavailable particulate phosphorus (calculated by difference between PB and PS)</i>
PT	Fosforo Totale nel sedimento (metodo Ferrari) <i>Total phosphorus in the sediment (Ferrari method)</i>

## Introduzione

Le perdite di fosforo (P) dai terreni agricoli per erosione idrica possono essere causa d'eutrofizzazione dei corpi idrici superficiali e profondi. Il problema è stato più volte affrontato da vari Autori in diverse nazioni e costituisce un argomento di primario interesse per la salvaguardia delle risorse idriche (OECD, 1982). Essendo il P nel terreno per lo più adsorbito dalle particelle di argilla o parte integrante di molecole organiche, il trasporto dai terreni agricoli ai corpi d'acqua avviene prevalentemente per erosione, e può essere perciò di entità rilevante nelle aree collinari caratterizzate da elevata pendenza e precipitazioni di forte intensità (Chisci e Spallacci, 1984). Il trasporto in soluzione del P nel deflusso idrico superficiale e sotterraneo viene invece ritenuto trascurabile e comunque poco influenzato dalla concimazione fosfatica (Sequi *et al.*, 1991). La frazione di P associata al sedimento e ai composti organici trasportati in sospensione nel deflusso di fosforo biodisponibile (= PB) può rendersi disponibile in tempi più o meno lunghi agli organismi vegetali responsabili dell'eutrofizzazione delle acque (Sharpley *et al.*, 1992).

I fattori che maggiormente influenzano il trasporto di P alle acque e conseguentemente l'eutrofizzazione sono numerosi, e comprendono la forma di P trasportata (Gray e Kirkland, 1986), l'uso del suolo, incluso il grado di urbanizzazione del territorio (Sharpley *et al.*, l.c.), il tipo e le caratteristiche fisico-chimiche del suolo (Logan, 1982), il tipo di deflusso (Sharpley e Smith, 1990) e le caratteristiche dell'acqua nel quale il P si riversa (USEPA, 1990).

Le perdite di P totale (PT) assumono interesse ecologico per lo studio del ciclo di questo macroelemento nella biosfera. La frazione di P solubile (PS) e per lo più immediatamente disponibile per l'assorbimento da parte delle alghe (Peters, 1981; Vollenweider, 1968; Walton e Lee, 1972). Ai fini della eutrofizzazione dei corpi idrici, la frazione di maggiore interesse è rappresentata dal PB, che comprende PS e la frazione di P legato labilmente al particolato (PBP) trasportato in sospensione dal deflusso. Per questo motivo, nelle ricerche sul possibile inquinamento ambientale dovuto alla fertilizzazione fosfatica delle colture agrarie, il monitoraggio delle perdite può essere limitato alla quantificazione del PB e del PS. La misura del PS, corrispondente alla frazione di P reattiva al molibdato determinata sul filtrato a 0,45 µm, comprende anche una quota di P associata al particolato di dimensioni inferiori alle maglie del filtro

(Haygarth *et al.*, 1995). La determinazione del PB dovrebbe invece passare attraverso la simulazione dell'assorbimento del P dai composti organici e colloidali da parte delle alghe, che avviene in modo molto lento e progressivo. I metodi che fanno uso delle colture algali risultano perciò difficilmente utilizzabili per i lunghi tempi necessari per l'accrescimento delle colture stesse (Sharpley, 1993). Data la relazione esistente tra PS, PBP e concentrazione del sedimento trasportato con il deflusso (CS) (Sharpley *et al.*, 1981) e la dinamica del P nel suolo (Gessa, 1995), si pongono vari problemi metodologici per la quantificazione del potenziale eutrofizzante del PB, tra cui le modalità di campionamento, la conservazione dei campioni e il destino del particolato nel suo percorso dai campi coltivati ai corpi idrici (Sequi *et al.*, l.c.). A causa dell'assorbimento del PS da parte dei microrganismi e della sua possibile insolubilizzazione in presenza di carbonato di calcio, la conservazione per tempi lunghi di campioni di deflusso da sottoporre alla determinazione del PB può risultare problematica, soprattutto quando il numero di campioni da sottoporre all'analisi è molto elevato, come per esempio nel caso in cui i deflussi vengano campionati con apparecchi automatici a scansione temporale. I metodi tradizionalmente impiegati per misurare il PB (es. Olsen) dovrebbero essere perciò impiegati su campioni appena raccolti per essere attendibili. Il metodo delle strisce impregnate con sesquiossido di ferro («P<sub>i</sub> test»), messo a punto da Menon *et al.* (1989) e successivamente verificato da vari autori (Sharpley, l.c.; Sharpley *et al.*, 1994 a e b), permette di ovviare a molti di questi inconvenienti, è stato giudicato affidabile, preciso, di facile applicazione ed economico e potrebbe costituire un valido ausilio nell'approfondimento della problematica dell'inquinamento da P di origine agricola nella collina italiana, dove le condizioni ambientali e di uso del suolo prevalenti sono favorevoli all'instaurarsi di fenomeni erosivi e l'uso di fertilizzanti fosfatici è generalizzato.

In questo lavoro si è voluta verificare la possibilità di applicazione del metodo «P<sub>i</sub> test» per la valutazione del contenuto di PB nel deflusso superficiale raccolto nell'ambito di una sperimentazione di campo condotta nella collina marchigiana.

## Materiali e metodi

Per la verifica della tecnica «P<sub>i</sub> test» (tab. 1) sono stati analizzati i campioni di deflusso superficiale rela-

TABELLA 1 - Descrizione schematica del «P<sub>i</sub> test» per la misura del PB nel deflusso superficiale.

TABLE 1 - Schematic description of the «P<sub>i</sub> test» for the measurement of PB in the surface run-off.

Preparazione delle strisce impregnate di ossido di ferro
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Immersione della carta da filtro Whatman 541 in una soluzione al 10% di FeCl<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O per circa 1 ora (carta color giallo limone).</li> <li>• Asciugatura in ambiente poco luminoso.</li> <li>• Ossidazione del FeCl<sub>3</sub> assorbito dalla carta a Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con una soluzione 2,7 M di NH<sub>4</sub>OH e nuova asciugatura (carta color ruggine).</li> <li>• Taglio della carta in strisce di 2 × 10 cm.</li> </ul>
Fissazione del fosforo sulle cartine
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Immersione di una striscia in 50 ml di campione: agitazione per 16 ore a 25 °C.</li> <li>• Lavaggio della striscia con acqua distillata (eliminare tutte le particelle di terreno ad essa aderenti) ed asciugatura all'aria.</li> <li>• Eventuale conservazione delle strisce a temperatura ambiente.</li> </ul>
Quantificazione del fosforo fissato
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rimozione del P trattenuto dalla striscia mediante agitazione per 1 ora a 25 °C in 40 ml di una soluzione 0,1 M di H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.</li> <li>• Misurazione della concentrazione di P con metodo colorimetrico (Murphy &amp; Riley, 1962).</li> </ul>

tivi ad una sperimentazione di campo condotta nella collina marchigiana su suoli argilloso-limosi con pendenza del 20% (tab. 2).

TABELLA 2 - Caratteristiche fisico-chimiche del terreno nel sito sperimentale di Agugliano (AN) ubicato presso l'Azienda didattico-sperimentale dell'Università di Ancona.

TABLE 2 - Soil physical-chemical characteristics at the experimental site located in the experimental farm of the University of Ancona, at Agugliano.

Caratteristica	Unità di misura	Media (n = 3)	Errore std.
Sabbia	%	12,6	1,2
grossa	%	0,86	0,14
fine	%	11,7	1,2
Limo	%	42,8	0,4
grossolano	%	9,2	0,4
fine	%	33,6	0,3
Argilla	%	44,7	1,0
pH		8,1	0,0
Calcare totale	%	29,7	0,9
Sostanza organica	%	1,48	0,05
Azoto totale	%	0,15	0,00
C/N		5,85	0,30
C organico	%	0,86	0,03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> assimilabile	ppm	17,3	2,4
K scambiabile	ppm	1160	14
CSC		19,3	0,3
Capacità di campo (0,3 bar)	% in peso	33,2	0,1
Punto di appassimento (15 bar)	% in peso	17,7	0,1

## Varianti sperimentali

### Alto input

- girasole sottoposto alle normali tecniche colturali impiegate nella zona, concimato con 138 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 138 kg ha<sup>-1</sup> di N;

### Basso input

- girasole concimato con dosi di N e P ridotte (46 kg ha<sup>-1</sup> di P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 46 kg ha<sup>-1</sup> di N);

### Set-aside

- suolo gestito come previsto dalla normativa vigente (disseccamento della vegetazione spontanea entro il 15 maggio, nessuna concimazione).

I trattamenti sono stati replicati tre volte, secondo un disegno sperimentale a blocchi randomizzati. Per maggiori dettagli relativi alle tecniche colturali, alla realizzazione e alla gestione dei dispositivi sperimentali e alla quantificazione dei deflussi e dell'erosione si rimanda al lavoro di Rivoira *et al.*, (in corso di stampa).

Al termine di ciascun deflusso, sono stati prelevati due campioni di acqua di circa 1000 ml ciascuno durante lo svuotamento dei serbatoi di raccolta, attraverso una saracinesca posta a 3 cm di altezza dal fondo: uno per la determinazione del PS e uno per la misura della CS. Altri tre campioni sono stati raccolti dalla frazione di deflusso residua, previa energica agitazione, per la determinazione del PB (due campioni di 50 ml ciascuno) e della CS (un campione di 1000 ml). Dopo l'estrazione del PB con le strisce impregnate di ossido di ferro, avvenuta secondo la procedura descritta in tabella 1, le strisce asciutte sono state conservate in bustine di polietilene sino al momento dell'estrazione e determinazione del P per via colorimetrica (Murphy e Riley, 1962).

La concentrazione di PS è stata misurata su campioni filtrati con filtri a membrana da 0,45 µm esenti da fosfati. Per la misura sono stati impiegati kit colorimetrici e uno spettrofotometro la cui taratura è stata periodicamente verificata utilizzando soluzioni a concentrazione nota.

I dati di PB relativi ai deflussi verificatisi durante il ciclo colturale del girasole sono stati sottoposti all'analisi della regressione per verificare la natura della relazione esistente tra PB (variabile dipendente) e CS (variabile indipendente). Il test d'ipotesi sugli effetti dei trattamenti è stato condotto confrontando i parametri delle equazioni di regressione ottenute, previa verifica dell'assunto di omoscedasticità dei residui (Steel e Torrie, 1980).

La CS è stata determinata essiccando i campioni di deflusso a 40° sino a peso costante.

Per tre eventi di deflusso scelti tra i più significativi tra quelli registrati nel corso del ciclo colturale del girasole (5 luglio, 25 agosto e 8 settembre 1995) il PB è stato determinato con il «P<sub>i</sub> test» anche su campioni ottenuti riportando al volume di 50 ml con acqua distillata quantità di sedimento crescenti, corrispondenti a CS di 1, 2, 4, 8, 16, 20, 40, 60, 80, 100 g l<sup>-1</sup>. Per gli stessi

sedimenti sono state anche effettuate le analisi del P totale del sedimento (PT) con il metodo Ferrari modificato.

Gli effetti delle varianti sperimentali sulle concentrazioni di PB e PS nel deflusso e sulle perdite di PS, PB e PT, espresse in  $g\ ha^{-1}$  sono stati verificati con l'analisi della varianza. La concentrazione di PB è stata ottenuta sulla base delle equazioni di regressione calcolate entro data e trattamento e dei valori di CS effettivamente misurati ad ogni deflusso. Per differenza tra PB e PS sono state inoltre calcolate le perdite di P biodisponibile associato al particolato (PBP).

## Risultati e discussione

### Deflussi ed erosione

I deflussi oggetto dei campionamenti riguardano il periodo relativo al ciclo colturale del girasole, che nel 1995 è stato caratterizzato da precipitazioni nettamente superiori alla media pluriennale per l'area considerata (736 mm, il 65% del totale annuo, e 19 eventi di deflusso nel periodo 4 aprile - 5 ottobre). Nei tre deflussi oggetto di studi più approfonditi, dei dieci particolarmente abbondanti verificatisi nel periodo considerato, le perdite di suolo hanno raggiunto valori particolarmente elevati (tab. 3). Il 5 luglio, quando il girasole aveva raggiunto il massimo sviluppo ed era in fase di inizio fioritura, le perdite di suolo sono state più elevate sul set-aside. Il 25 agosto e l'8 settembre, l'erosione ha raggiunto valori particolarmente elevati nel girasole, con la formazione di profondi «*ribb*» nell'interfila. Negli stessi eventi le perdite di suolo relative al set-aside sono risultate trascurabili.

### Studio della relazione tra PB e CS nel deflusso superficiale

#### Nei campioni di deflusso

Il «P<sub>i</sub> test» è stato eseguito su campioni caratterizzati da un'ampia gamma di CS. Nei deflussi relativi al

periodo maggio-settembre, la relazione tra PB e CS è risultata di tipo logaritmico, statisticamente significativa nel caso del girasole e non significativa per i deflussi relativi al set-aside (fig. 1). La grande variabilità entro trattamento, che ha dato luogo ai bassi valori di  $r^2$ , può essere almeno in parte attribuita a due fattori: il diverso intervallo di tempo intercorso tra la concimazione e i vari deflussi e la tecnica di campionamento, che prevedeva la stima di PB e CS su campioni distinti. Dal confronto tra le regressioni emerge una maggiore concentrazione media di PB nei deflussi provenienti dal girasole «alto input» rispetto al «basso input», a parità di CS. In media, nel periodo considerato, la concentrazione media di PB corrispondente ad una CS pari a 5, 10 o 30  $g\ l^{-1}$  è risultata rispettivamente 0,38, 0,48 e 0,68  $mg\ l^{-1}$  nell'alto input; 0,26, 0,32, 0,44  $mg\ l^{-1}$  nel basso input e 0,45, 0,50 e 0,61  $mg\ l^{-1}$  nel set-aside.

#### Nei campioni ricostruiti in laboratorio

La natura della relazione tra CS e PB è risultata più netta e affidabile dall'analisi dei campioni ricostruiti in laboratorio aggiungendo acqua distillata a quantità note di sedimento. Sono state infatti eliminate le fonti di variabilità dovute al campionamento e all'epoca in cui si è verificato il deflusso. Il modello logaritmico è stato caratterizzato da  $r^2$  sempre maggiore di 0,95 anche per i sedimenti relativi al set-aside (fig. 2). Nei campioni relativi all'«alto input» del 5 luglio le concentrazioni di PB nell'«alto input» erano nettamente superiori rispetto al basso input e al set-aside. Nel deflusso del 5 agosto la concentrazione di PB nel deflusso relativo al girasole «alto input» era simile a quella del set-aside, per il quale è risultata invece superiore rispetto all'evento del 5 luglio.

La concentrazione di PB nei campioni relativi ai «basso input» è rimasta invariata nei tre eventi considerati. L'8 settembre non compare la curva del set-aside perché il sedimento era quantitativamente insufficiente per l'esecuzione delle analisi. Nella stessa data, le differenze di concentrazione di PB tra «alto» e «basso input» sono rimaste praticamente invariate rispetto al 25 agosto.

TABELLA 3 - Principali caratteristiche dei tre deflussi studiati in maggior dettaglio e relativa erosione del suolo (CS = concentrazione del sedimento nel deflusso).

TABLE 3 - Main characteristics of the three run-off events under detailed study and related soil erosion (CS = sediment concentration).

Data evento	Trattamento	Deflusso (mm)	Coeff. di deflusso (%)	CS ( $g\ l^{-1}$ )	Erosione ( $t\ ha^{-1}$ )
05/07/95	Alto input	8,7	12,8	13,0	1,13
	Basso input	7,8	11,5	10,8	0,85
	Set aside	36,1	53,2	24,3	8,79
25/08/95	Alto input	30,0	40,0	22,4	6,72
	Basso input	50,7	67,6	18,8	9,52
	Set aside	16,1	21,5	2,1	0,34
08/09/95	Alto input	30,8	83,2	41,3	12,7
	Basso input	33,4	90,3	41,1	13,7
	Set aside	1,9	7,1	6,8	0,1

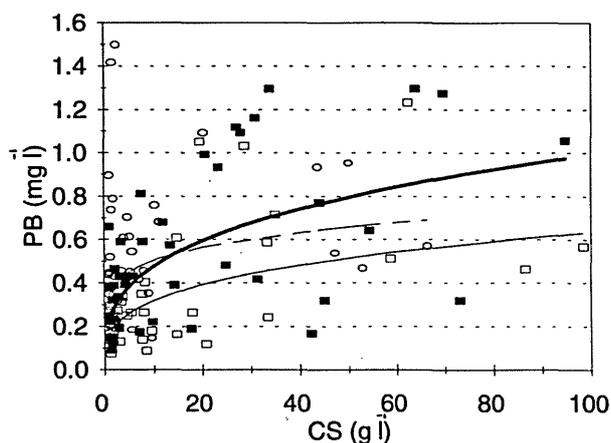


Fig. 1 - Effetti della gestione del suolo e della concimazione sulla relazione tra concentrazione del sedimento nel deflusso (CS) e la concentrazione di fosforo biodisponibile (PB) rilevato con il «P<sub>i</sub> test» nel periodo maggio-settembre 1995. Ogni punto corrisponde alla media di due campioni. Modello:  $PB = a \cdot CS^b$ . PB = mg di fosforo biodisponibile per litro di torbida; CS = concentrazione del sedimento nel campione in  $g\ l^{-1}$ .  $r^2 = 0,374$  ( $P < 0,01$ ) per «alto input» e «basso input»;  $r^2 = 0,097$  (non significativo) per «set-aside».

In questa e nelle successive figure la legenda dei simboli è la seguente: Alto input - quadrati pieni, curva in grassetto; Basso input - quadrati vuoti, curva continua; Set-aside - cerchi vuoti, curva tratteggiata.

Fig. 1 - Influence of the soil management and fertiliser input on the relationships between sediment concentration (CS) and bioavailable phosphorus (PB) concentration measured with the «P<sub>i</sub> test» in the period May-September 1995. Each point corresponds to the mean of two separate analysis. Model:  $PB = a \cdot CS^b$ . PB = mg of bioavailable phosphorus per litre of run-off; CS = sediment concentration ( $g\ l^{-1}$ ).  $r^2 = 0,374$  ( $P < 0,01$ ) for «high input» and «low input»;  $r^2 = 0,097$  (not significant) for «set-aside».

In this and in the subsequent figures the symbols have the following meaning: High input - filled squares, bold line; Low input - empty squares, continuous line; Set-aside - empty circles, dashed line.

## Discussione

La relazione descritta tra CS e PB e la conseguenza di una correlazione negativa tra CS ( $g\ l^{-1}$ ) e PB (mg per kg di suolo eroso), che illustra la capacità tampone nei confronti del PB delle acque ricche di sedimenti (Sequi *et al.*, l.c.; Sharpley e Withers, 1994). Infatti la concentrazione di PB subisce variazioni ampie per piccole variazioni di CS nell'intervallo 0-20  $g\ l^{-1}$ , limitate per CS superiori a 20  $g\ l^{-1}$  (fig. 3). Nell'intervallo di CS 0-20  $g\ l^{-1}$  il sedimento del set-aside aveva una concentrazione di PB mediamente maggiore rispetto a quello del girasole «alto input», a sua volta più alto del girasole «basso input». La concentrazione di PB del sedimento ad una CS di 50  $g\ l^{-1}$ , confrontabile con il P Olsen riportato in tabella 2 (Sharpley e Withers, l.c.), è risultata in media pari a 14, 10 e 10 ppm rispettivamente nel suolo eroso relativo ad «alto input», «basso input» e set-aside.

Nei campioni relativi ai tre eventi studiati in maggiore dettaglio, ricostruiti in laboratorio, l'andamento di PB è risultato simile a quello appena descritto (fig. 4). Anche in questo caso, le differenze tra i trattamenti emergono in modo più netto limitando il campo di variazione della CS a valori inferiori a 20  $g\ l^{-1}$ .

La concentrazione di PB misurata con il «P<sub>i</sub> test», espressa in mg per kg di terreno eroso, è stata influenzata in modo netto dalla CS. La CS dipende dalla velocità del

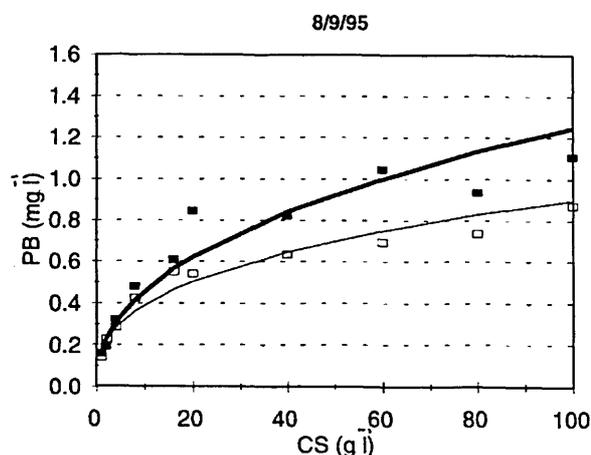
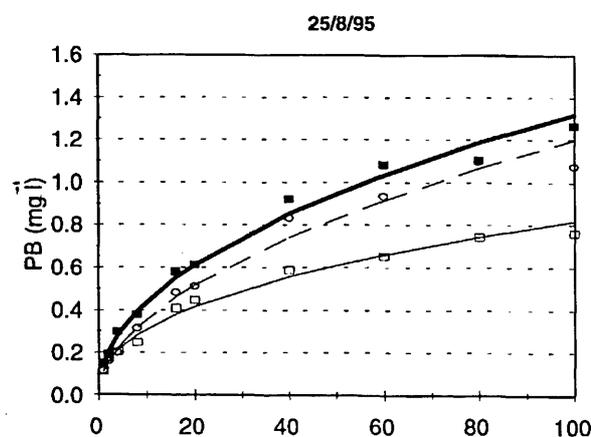
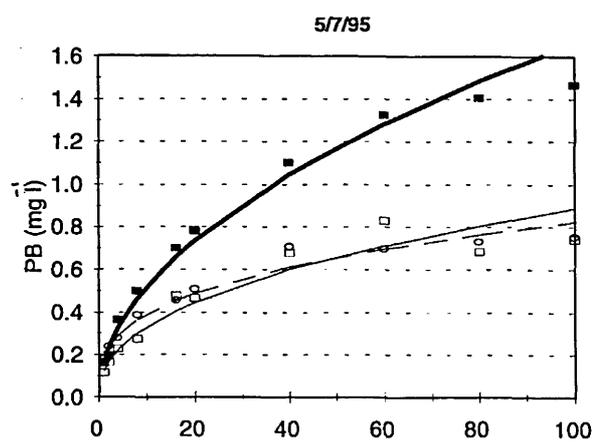


Fig. 2 - Effetti della gestione del suolo e della concimazione sulla relazione tra CS e PB nei campioni ricostruiti utilizzando il sedimento essiccato e reidratato con acqua distillata, limitatamente a tre deflussi significativi. Ogni punto corrisponde alla media di tre replicazioni. Modello:  $PB = a \cdot CS^b$ . Tutte le equazioni di regressione riportate in figura sono risultate altamente significative ( $r^2 > 0,95$ ;  $P < 0,001$ ).

Fig. 2 - Influence of the soil management and fertiliser input on the relationship between CS and PB in the artificial run-off samples obtained from increasing quantities of dehydrated sediment added with distilled water, at three significant run-off events. Each point corresponds to the mean of three replications. Model:  $PB = a \cdot CS^b$ . All the regression equations reported in the figure were highly significant ( $r^2 > 0,95$ ;  $P < 0,001$ ).

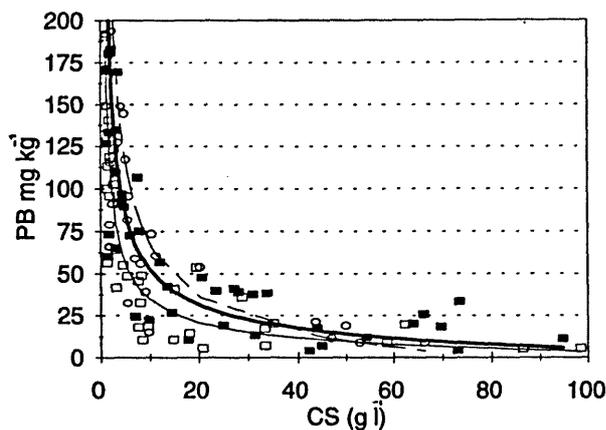


Fig. 3 - Effetti della gestione del suolo e della concimazione sulla relazione tra CS e PB nel sedimento (mg di P per kg di sedimento) rilevato con il «P<sub>i</sub> test» nel periodo maggio-settembre 1995. Ogni punto corrisponde alla media di due analisi distinte. Modello:  $PB = a + b/\ln(1 + CS)$ .  $a$  = intercetta;  $b$  = coefficiente di regressione.  $r^2 = 0,610$  («alto input»);  $0,765$  («basso input»);  $0,405$  («set-aside»). Tutte le equazioni sono altamente significative ( $P < 0,01$ ).

Fig. 3 - Influence of the soil management and fertiliser input on the relationships between CS and PB (mg of P per kg of sediment) measured with the «P<sub>i</sub> test» in the period May-September 1995. Each point corresponds to the mean of two separate analysis. Model:  $PB = a + b/\ln(1 + CS)$ .  $a$  = intercept;  $b$  = regression coefficient.  $r^2 = 0,610$  («high input»);  $0,765$  («low input»);  $0,405$  («set-aside»). All the regressions were highly significant ( $P < 0,01$ ).

deflusso e dalle dimensioni delle particelle di sedimento trasportate. Sharpley (1991) attribuisce la relazione negativa tra CS e PB all'aumento di trasporto di particelle di limo ( $> 2 \mu m$ ), caratterizzate da un minore contenuto in PB rispetto alle particelle di argilla ( $< 2 \mu m$ ), nei deflussi con alti valori di CS. Gli esperimenti condotti sui campioni ricostruiti in laboratorio, con CS crescente di sedimenti con identica composizione granulometrica, hanno però dimostrato che la diminuzione di PB (mg  $kg^{-1}$ ) con l'aumentare della CS non dipende solamente dalla tessitura del sedimento. Rimane da verificare se questo andamento sia da mettere in relazione ad un difetto del «P<sub>i</sub> test» o se derivi, con CS elevati, dall'aggregazione di particelle di sedimento in grumi di maggiori dimensioni e conseguente riduzione della superficie di scambio del PB. L'aggiunta di un deflocculante (ossalato di Na) ha determinato un aumento medio della concentrazione di PB a parità di CS, ma non ha alterato l'andamento della curva.

Sulla base dei risultati acquisiti, la concentrazione di PB rilevata con il «P<sub>i</sub> test» nei deflussi con CS inferiore a  $20 g l^{-1}$ , è stata influenzata prevalentemente dalle variazioni di CS. Ne consegue che per ridurre la concentrazione di PB di origine agricola nei corsi d'acqua è più importante contenere l'erosione attraverso la regimazione delle acque superficiali piuttosto che ridurre le dosi di fertilizzante fosforico, il cui effetto sulle perdite, nell'ambiente considerato, è risultato trascurabile.

#### Concentrazione di PB nel deflusso

Utilizzando le equazioni di regressione tra PB e CS, sono state calcolate le concentrazioni di PB nel deflusso

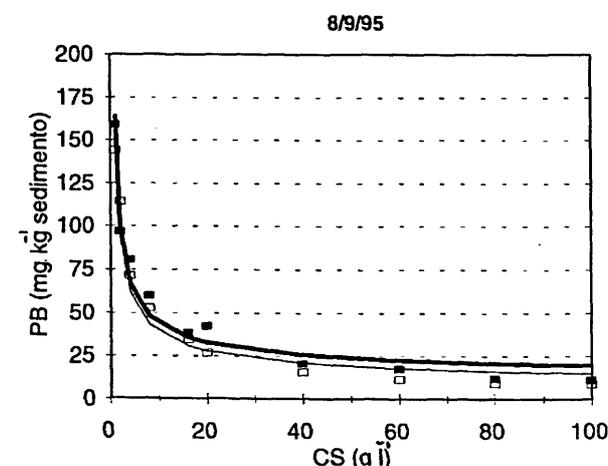
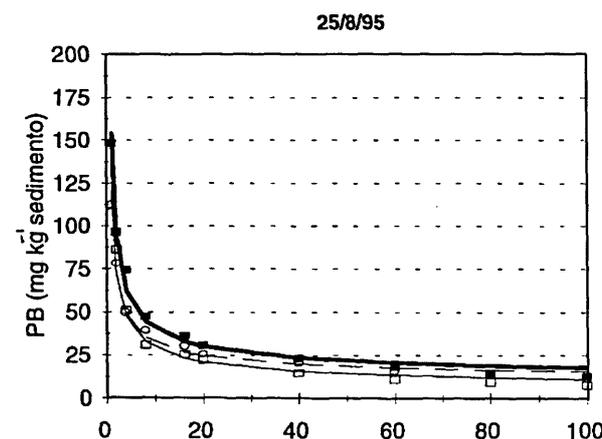
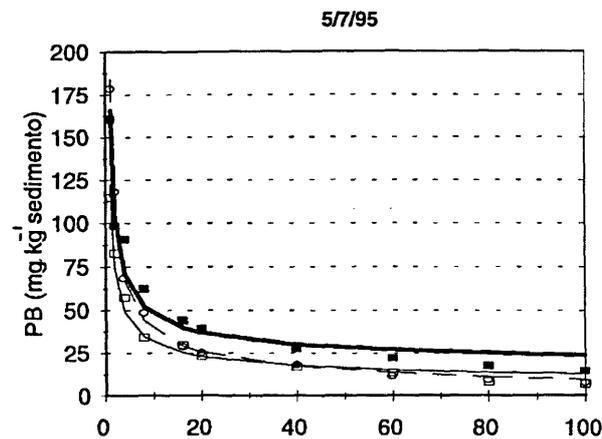


Fig. 4 - Effetti della gestione del suolo e della concimazione sulla relazione tra CS e PB nel sedimento (mg di P per kg di sedimento) rilevato con il «P<sub>i</sub> test» sulle torbide ricostruite utilizzando il sedimento essiccato e reidratato con acqua distillata, limitatamente a tre deflussi significativi. Ogni punto corrisponde alla media di tre repliche. Modello:  $PB = a + b/\ln(1 + CS)$ . Tutte le regressioni sono risultate altamente significative ( $r^2 > 0,95$ ;  $P < 0,01$ ).

Fig. 4 - Influence of the soil management and fertiliser input on the relationships between CS and PB (mg of P per kg of sediment) in the artificial run-off samples obtained from increasing quantities of dehydrated sediment added with distilled water, at three significant run-off events. Each point corresponds to the mean of three replications. Model:  $PB = a + b/\ln(1 + CS)$ . All the regressions were highly significant ( $r^2 > 0,95$ ;  $P < 0,01$ ).

corrispondenti alle CS misurate nei tre eventi considerati (tab. 4). Se il PB viene espresso in peso per unità di volume di deflusso ( $\text{mg l}^{-1}$ ), le differenze tra i trattamenti sono risultate significative solo il 25 agosto, nel quale il deflusso del set-aside aveva una concentrazione di PB inferiore rispetto al deflusso del girasole. Se il PB viene espresso in peso per unità di peso di terreno eroso ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), le differenze tra i trattamenti dipendono maggiormente dalle variazioni di CS, a causa della relazione illustrata in figura 4. Infatti il 5 luglio il deflusso del set-aside aveva una CS maggiore e quindi una concentrazione di PB più bassa rispetto al girasole, indipendentemente dalla concimazione. Il 25 agosto invece, il deflusso del set-aside aveva una CS minore e quindi una concentrazione di PB per unità di suolo eroso più alta rispetto al deflusso dal girasole.

#### Concentrazione di PS e PT nel deflusso

Le concentrazioni di PS misurate nei tre deflussi del 5 luglio, 25 agosto e 8 settembre sono risultate sempre superiori ai valori soglia raccomandati dall'OECD (l.c.); l'effetto della concimazione è risultato significativo solamente per il deflusso del 5 luglio. Il contenuto di PT del sedimento è risultato mediamente basso e non influenzato significativamente dai trattamenti.

#### Perdite di P

Le perdite di P, espresse in  $\text{g ha}^{-1}$ , sono state influenzate dalla concentrazione di P del sedimento e dalle perdite di suolo per erosione. La CS del deflusso ha avuto invece effetto sulla quota di PB del PT. Nei tre eventi considerati le perdite di PT, PB e PBP sono state particolarmente elevate sul set-aside il 5 luglio e sul gi-

rasole il 25 agosto e l'8 settembre, e rispecchiano l'andamento dell'erosione (tab. 5).

Le perdite di PS hanno rappresentato una frazione relativamente bassa delle perdite di PT (1-9%), e dal 16 al 67% del PB. L'incidenza del PS sul PT e sul PB è aumentata infatti al diminuire dell'erosione. Il PB ha rappresentato una frazione modesta del PT (4-13%), con percentuali più alte nei deflussi caratterizzati da bassa CS.

#### Considerazioni conclusive

##### Applicazione del metodo $P_i$ test

La preparazione delle strisce impregnate di ossido di ferro è stata realizzata in laboratorio in tre giornate di lavoro per l'intera stagione di campionamento senza particolari difficoltà operative. Le strisce di carta da filtro attivate con ossido di ferro non subiscono alterazione se conservate in luogo fresco e asciutto, anche dopo la fissazione del PB. Ciò offre dei notevoli vantaggi nell'applicazione del metodo al campionamento del deflusso superficiale:

- possibilità di conservare per un tempo praticamente illimitato numerose strisce in uno spazio molto ridotto;
- possibilità di smaltire in un unico passaggio numerosi campioni, che possono poi essere analizzati a distanza di tempo anche da altri laboratori, (minori carichi di lavoro istantanei, migliore organizzazione dell'attività di laboratorio e migliore precisione di stima del PB per la possibilità di effettuare un elevato numero di repliche);
- possibilità di applicare il metodo al campione tal quale, eliminando così i tempi di filtrazione;
- eliminazione della frigo-conservazione dei campioni

TABELLA 4 - Effetti del tipo di gestione del suolo e della concimazione del girasole sulla concentrazione di fosforo solubile (PS), biodisponibile riferito alla torbida e al sedimento (PB) e totale riferito al sedimento (PT), relativamente a tre deflussi. I valori di PB sono stati ottenuti sulla base delle CS medie di ciascun evento e delle regressioni riportate in figura 2. Le differenze tra varianti sperimentali sono risultate non significative fatta eccezione, entro ciascuna data, per i valori seguiti da lettera diversa (test di Fisher protetto condotto sui dati trasformati in logaritmi), nr = non rilevato perché la quantità di sedimento era insufficiente.

TABLE 4 - Influence of the soil management and fertilisation of sunflower on the soluble phosphorus (PS), bioavailable phosphorus per unit run-off volume and per unit sediment weight (PB) and total phosphorus per unit sediment weight (PT) at three run-off events. The values of PB were calculated on the basis of the mean sediment concentration of each run-off and the regressions reported in figure 2. The differences between treatments at each date were not significant, apart from those means followed by a different letter (Fisher's protected test performed on log data). nr = not available because the amount of sediment was not sufficient for a reliable analysis.

Data evento	Varianti sperimentali	PS ( $\text{mg l}^{-1}$ )	PB ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	PB ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) sedimento	PT ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) sedimento
05 lug. 1995	Alto input	0,22 a	0,59	43 a	520
	Basso input	0,15 b	0,34	30 ab	510
	Set aside	0,13 b	0,52	23 b	520
25 ago. 1995	Alto input	0,11	0,65 a	29 b	480
	Basso input	0,11	0,40 a	22 b	480
	Set aside	0,10	0,16 b	70 a	500
08 set. 1995	Alto input	0,17	0,85	25	510
	Basso input	0,14	0,65	21	520
	Set aside	0,22	nr	nr	nr

TABELLA 5 - Perdite di fosforo totale (PT), biodisponibile (PB), biodisponibile adsorbito al sedimento (PBP) e solubile (PS) espresse in g ha<sup>-1</sup> relativi a tre deflussi e rapporti percentuali tra le diverse frazioni di fosforo. Entro ogni data, le medie seguite da lettera uguale non sono significativamente diverse fra loro per P < 0,05 (test di Fisher protetto condotto sui logaritmi naturali dei dati).

TABLE 5 - Total (PT), bioavailable (PB), bioavailable particulate (PBP) and soluble (PS) phosphorus losses (g ha<sup>-1</sup>) for the three run-off events and percentage ratios between the different phosphorus fractions. At each date, the means followed by the same letter are not significantly different (P < 0.05; Fisher's protected test performed on natural log data).

Evento	Variante sp.	PT	PB	PBP	PS	PB/PT	PS/PT	PS/PB
05/07/95	Alto input	607 b	48 b	29 b	19 b	8%	3%	40%
	Basso input	445 b	25 b	14 b	12 b	6%	3%	46%
	Set aside	4618 a	203 a	156 a	47 a	4%	1%	23%
25/08/95	Alto input	3259 a	195 a	162 a	33 a	6%	1%	17%
	Basso input	4625 a	207 a	151 a	56 a	4%	1%	27%
	Set aside	186 b	24 b	8 b	16 b	13%	9%	67%
08/09/95	Alto input	6529 a	323 a	271 a	52 a	5%	1%	16%
	Basso input	7171 a	286 a	239 a	47 a	4%	1%	16%

di torbida; questa fase potrebbe alterare la ripartizione del P tra le diverse frazioni a diversa biodisponibilità.

Questi vantaggi sono parzialmente controbilanciati dai tempi relativamente lunghi necessari per garantire che tutto il PB venga fissato sulle strisce (16 h), ciò che potrebbe far propendere verso test convenzionali più rapidi per un numero di campioni limitato. L'affidabilità del metodo, peraltro già segnalata da numerosi Autori (es.: Sharpley *et al.*, l.c.; Indiatì 1995) è stata ulteriormente confermata. Il coefficiente di variabilità relativo all'errore di campionamento, calcolato tra le due ripetizioni entro parcella ed entro data per i tre eventi considerati, ha oscillato tra il 9 e il 27%, con una media del 16%. La metodologia «P<sub>i</sub> test» si è rivelata quindi un efficace strumento di analisi per la valutazione del PB dei deflussi di origine agricola. I risultati indicano però che la misura della concentrazione di PB non può prescindere dalla misura accurata della CS. Ai fini sperimentali, per il confronto tra trattamenti a diversi livelli di «input» agronomici, è indispensabile dunque effettuare un accurato campionamento, che non alteri la CS nel deflusso. In alternativa è necessario procedere all'analisi del sedimento ricostruendo in laboratorio campioni a CS note per studiare la relazione tra CS e PB. Questa procedura vanifica però almeno in parte i vantaggi offerti dal metodo P<sub>i</sub> test. La stretta relazione esistente tra PB e CS fa sì che il risultato dell'analisi possa risentire della grande variabilità della CS nei piccoli campioni oggetto della misura, che sono necessariamente distinti da quelli nei quali viene misurata la CS. Per questo motivo è importante aumentare il numero di campioni su cui effettuare le analisi di PB e CS e uniformare il più possibile le tecniche di campionamento.

Per quanto riguarda gli aspetti economici, ai prezzi attuali il costo di un'analisi eseguita con il metodo «P<sub>i</sub> test» è pari a circa mille lire di materiale di consumo, escluso quindi l'ammortamento delle apparecchiature, il lavoro e la vetreria.

#### Relazioni tra PB e CS

Le relazioni tra PB e CS rilevate sperimentalmente sono in parziale accordo con quanto riportato da

Sharpley *et al.* (1981 l.c.) e da Sharpley e Smith (l.c.), e confermano che la misura delle perdite di PB non può prescindere dalla misura dell'erosione e della CS. Un aumento di CS nel deflusso corrisponde in genere ad una maggiore erosione, i cui effetti negativi sull'ambiente sono ben noti. Alla luce dei risultati ottenuti nell'ambiente collinare marchigiano, l'inquinamento da P di origine agricola sembra essere un problema di secondaria importanza rispetto al problema dell'erosione del suolo e della regimazione delle acque superficiali. L'attuale regolamentazione dell'UE (reg. 2078/92) appare a questo proposito insufficiente a garantire la salvaguardia ambientale degli agroecosistemi collinari, mira più alla riduzione dell'impiego di fertilizzanti che alla efficace regimazione delle acque superficiali.

Le complesse relazioni esistenti tra PBP, PS, CS, deflusso e erosione rendono trascurabile l'effetto del contenuto di PB nel sedimento, che dipende anche dalla concimazione, sulle perdite di P. Per questo motivo, se la concimazione avesse benefici effetti sul contenimento del ruscellamento e dell'erosione, ad esempio attraverso l'aumento dei consumi idrici o una copertura vegetale più fitta, si potrebbe anche verificare una riduzione dell'inquinamento da fosforo all'aumentare delle dosi di concime.

#### Ringraziamenti

Si ringrazia il prof. Nino Rossi e il relativo staff dell'Istituto di Chimica Agraria di Bologna per l'assistenza e i suggerimenti forniti nella fase di apprendimento del «P<sub>i</sub> test»; il prof. Paolo Sequi e il dott. Roberto Indiatì, dell'Istituto Sperimentale per la Nutrizione delle Piante del MiRAAF di Roma, per i suggerimenti forniti in fase di stesura del presente lavoro. Si ringrazia inoltre il dott. Leonardo Balestra, del Dipartimento di Biotecnologie agrarie ed ambientali dell'Università di Ancona, che ha coordinato in campo il campionamento del deflusso e la Dott.ssa Roberta Farina, dello stesso Dipartimento, che ha eseguito le analisi di fosforo totale sui sedimenti.

## Bibliografia

- CHISCI, G., SPALLACCI, P., 1984. *Nutrient losses by leaching and run-off and possibilities of their control*. In «Nutrient balances and fertiliser needs in temperate agriculture», Proceedings 18<sup>th</sup> IPI Colloquium, Gardone Riviera, 137-155.
- GESSA, C., 1995. *Tecnologie chimiche avanzate nello studio del fosforo nel suolo*. Atti del Convegno PANDA, sottoprogetto III Tecnologie chimiche avanzate per l'agricoltura, Roma, CNR 10-11 aprile 1995, 267-274.
- GRAY, C.B.J., KIRKLAND, R.A., 1986. *Suspended sediment phosphorus composition in tributaries of the Okanagan Lakes, BC*. Water Res., 20, 1193-1196.
- HAYGARTH, P.M., WARWICK, M.S., HOUSE, W.A., 1995. *Biogeochemical significance of membrane and ultrafilter separation of low molecular weight molybdate reactive phosphorus in soil and river waters*. In «Phosphorus loss to water from agriculture», International Workshop 27-29 Sept. 1995, Teagasc, Johnstown Castle Research & Development Centre, Wexford, 65-66.
- INDIATI, R., 1995. *Un nuovo metodo per la determinazione del fosforo assimilabile nel suolo*. Atti del convegno PANDA, sottoprogetto III Tecnologie chimiche avanzate per l'agricoltura, Roma, CNR 10-11 aprile 1995, 275-280.
- LOGAN, T.J., 1982. *Mechanisms for release of sediment-bound phosphate to water and effects of agricultural land management on fluvial transport of particulate and dissolved phosphates*. Hydrobiologia, 92, 519-530.
- MENON, R.G., CHIEN, S.H., HAMMOND, L.L., 1989. *Comparison of Bray I and  $P_i$  test for evaluating plant-available phosphorus from soils treated with different partially acidulated phosphate rocks*. Plant and Soil, 114, 211-216.
- MURPHY, J. e RILEY, J.P., 1962. *A single-solution method for the determination of phosphate in natural waters*. Anal. Chim. Acta, 27, 31-36.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), 1982. *Eutrophication of waters. Monitoring, assessment and control*. Paris, 154 pp.
- PETERS, R.H., 1981. *Phosphorus availability in Lake Memphremagog and its tributaries*. Limnol. Oceanogr., 26, 1150-1161.
- RIVOIRA, G., BALESTRA, L., ROGGERO, P.P., SANTILOCCHI, R. (in stampa). *Impatto ambientale dei sistemi colturali nella fascia costiera adriatica: primi risultati sull'erosione e sulla qualità del deflusso superficiale e sottosuperficiale*. Agricoltura e Ricerca, 000-000.
- SEQUI, P., CIAVATTA, C., VITTORI ANTISARI, L., 1991. *Concimazione fosfatica e apporti di fosforo alle acque*. Acqua-Aria, 6, 577-583.
- SHARPLEY, A.N., 1991. *Soil phosphorus extracted by iron-aluminium-oxide-impregnated filter paper*. Soil Science Society of America Journal, 55, 1038-1041.
- SHARPLEY, A.N., 1993. *An innovative approach to estimate bioavailable phosphorus in agricultural run-off using Iron-Oxide-Impregnated Paper*. Journal of Environmental Quality, 22, 597-601.
- SHARPLEY, A.N., INDIATI, R., CIAVATTA, C., ROSSI, N., SEQUI, P., 1994 a. *Interlaboratory comparison of iron oxide-impregnated paper to estimate bioavailable phosphorus*. Journal of Environmental quality, 23, 14-18.
- SHARPLEY, A.N., SIMS, J.T., PIERZYNSKI, G.M., 1994 b. *Innovative soil phosphorus availability indices: assessing inorganic phosphorus*. Soil Science Society of America Journal, 115-142.
- SHARPLEY, A.N., SMITH, S.J., 1990. *Phosphorus transport in agricultural runoff: the role of soil erosion*. In Boardman, J., Foster, I.D.L. and Dearing, J.A. (eds.): Soil erosion on agricultural land. Wiley & Sons Ltd., 351-366.
- SHARPLEY, A.N., SMITH, S.J., JONES, O.R., BERG, W.A., COLEMAN, G.A., 1992. *The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff*. Journal of Environmental Quality, 21, 30-35.
- SHARPLEY, A.N., WITHERS, P.J.A., 1994. *The environmental-sound management of agricultural phosphorus*. Fertilizer Research, 39, 139-146.
- SHARPLEY, A.N., AHUJA, L.R., MENZEL, R.G., 1981. *The kinetics of phosphorus in run-off sediments*. Journal of Environmental Quality, 11, 555-563.
- STEEL, R.G.D., TORRIE, J.H., 1980. *Principles and procedures of statistics. A biometrical approach*. 2<sup>nd</sup> edition, McGraw Hill.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1990. *National Water Quality Inventory. 1988 report to Congress*. Office of water, Washington, DC. US Govt. Printing Office.
- VOLLENWEIDER, R.A., 1968. *Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrofication*. Tech. Rep. Da 5/sci/58.27.OECD, Paris.
- WALTON, C.P., LEE, G.F., 1972. *Abiological evaluation of the molybdenum blue method for orthophosphate analysis*. Verth. Int. Verein. Limnol., 18, 676-684.