

PROCESSI DI APPROFONDIMENTO DELL'EROSIONE IN ALVEO ED EFFETTI DELL'INQUINAMENTO NEI FIUMI DELLE MARCHE CENTRO-MERIDIONALI (ITALIA CENTRALE)

Piero Farabollini, Domenico Aringoli, Bernardino Gentili, Marco Materazzi & Gilberto Pambianchi

Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Camerino

e-mail: piero.farabollini@unicam.it

RIASSUNTO: Farabollini P. et al., *Processi di approfondimento dell'erosione in alveo ed effetti dell'inquinamento nei fiumi delle Marche centro-meridionali (Italia centrale)* (IT ISSN 0394-3356 2008).

Recenti numerosi studi geomorfologici sulla dinamica fluviale hanno permesso di verificare intensi e veloci processi di approfondimento lineare in alveo su numerosi fiumi italiani interpretandoli come il risultato dell'intervento antropico: il loro effetto morfologico è comparabile agli effetti prodotti dalle variazioni climatiche quaternarie.

L'attribuzione di tali fenomeni all'influenza più o meno diretta delle diverse attività antropiche sulla dinamica ambientale dimostra che i sistemi idrografici sono tra le componenti del paesaggio fisico che più rapidamente reagiscono ai cambiamenti ambientali.

Il presente lavoro, che ha l'obiettivo di approfondire la conoscenza su tale argomento, risulta da una serie di dettagliati rilievi geomorfologici, coadiuvati da analisi geotecniche, che hanno riguardato nel corso dell'ultimo decennio alcuni fiumi delle Marche (versante adriatico dell'Italia centrale; Marche centro-meridionali). Nonostante il breve periodo di osservazione, è stato possibile osservare considerevoli variazioni nella geometria degli alvei fluviali, le quali possono essere attribuite senza dubbio alle attività antropiche.

Recenti indagini di dettaglio su alcuni corsi d'acqua hanno evidenziato intensi processi erosivi soprattutto a valle di alcuni depuratori, dove l'erosione sembra essere innescata o accelerata dalle acque inquinate che causano la rottura di particolari legami ionici, in particolare nei minerali argillosi del substrato.

Un ulteriore contributo nei riguardi dell'approfondimento della rete idrografica, il cui tasso ha raggiunto, in quasi tutti i fiumi considerati nel presente lavoro - ma la situazione è facilmente riscontrabile nella maggior parte dei fiumi marchigiani - anche diversi metri in alcuni anni, è dato dall'intensa e sempre crescente occupazione delle pianure alluvionali da parte dell'uomo. In tale caso, deve essere evidenziato come spesso il drenaggio viene ostacolato soprattutto al raccordo tra reticolo idrografico principale (fondovalle) e secondario (versanti).

Altri processi erosivi hanno luogo anche a valle di confluenze con canali artificiali (privati e pubblici), dove si registra un incremento della portata e del carico solido che favorisce un'intensa erosione laterale e l'approfondimento dell'alveo.

Viene, infine, anche valutato come, lungo le pianure alluvionali, il notevole emungimento di acque (che nel periodo estivo avviene senza un'adeguata ricarica dell'acquifero), possa produrre vistosi fenomeni di crepacciatura nel suolo, i quali predispongono il terreno ad ulteriori fenomeni erosivi.

ABSTRACT: Farabollini P. et al., *Deepening erosional fluvial processes and effects of water pollution in the middle-southern marchean rivers (central Italy)* (IT ISSN 0394-3356 2008).

Many modern geomorphological studies on fluvial dynamics carried out on some Italian rivers highlighted that intense and showy erosion processes affect them and interpreted this mostly as the result of human intervention: their morphological effects, notwithstanding the short duration of processes, are somehow comparable with those produced by Pleistocene climatic variations.

The attribution of such phenomena to more or less direct influence of different anthropic activities on fluvial dynamics demonstrates that hydrographic systems are among the components of the physical environment that reacts more quickly to environmental changes.

This paper aims at deepening our understanding of the topic and derives from detailed geomorphological surveys, sided by geotechnical analyses, carried out during the last decade along the reaches of the marchean rivers (Central-Southern Marche, Adriatic side of Central Italy). Notwithstanding the short duration of observation, it was possible to observe relevant geometric variations of river beds that can be unquestionably attributed to human activities.

Recent detailed investigations on some streams highlighted the activity of intense erosional processes, mostly valleyward of some purifiers. There, erosion is probably triggered or accelerated by water pollution that causes the breaking of particular ionic links, especially in clay minerals.

Another contribution to stream deepening, whose rate sometimes reaches some meters in few years, is given by the strong and ever increasing occupation of alluvial plains for human purposes. In such situation, it is to be evidenced that drainage is often obstructed in links between main and secondary hydrographic network.

Another erosional process takes place downstream of confluences of artificial water channels (private or public), where discharge and solid load increase, resulting in more intense lateral erosion and downcutting.

Finally, the notable extraction of water from alluvial plains is studied since, mainly during Summer, it is not balanced by an adequate recharge, thus producing important cracking phenomena and, subsequently, leading to further fluvial deepening

Parole chiave: Processi erosivi; composizione mineralogica argillosa; antropizzazione; Potenza e Chienti; Italia centrale.

Keywords: Erosional processes, clay mineralogical composition, anthropization, Potenza and Chienti rivers, central Italy.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni, numerosi studi riguardanti gli aspetti morfodinamici dei sistemi fluviali italiani hanno messo in chiara evidenza come l'estrazione di inerti, praticata direttamente all'interno degli alvei fluviali o nelle pianure limitrofe, sia stata la principale causa di atti-

vazione di intensi e vistosi processi di erosione lineare, riconosciuti nella quasi totalità dei corsi d'acqua nella seconda metà del XX secolo. Accanto all'attività estrattiva è stato evidenziato come anche lo sbarramento fluviale per la creazione di invasi artificiali abbia innescato intensi processi erosivi, in quanto gli stessi invasi hanno funzionato da trappole sedimentarie. Ad essi si sono

associati effetti negativi anche sulle linee di riva delle corrispondenti foci, caratterizzate da generali fenomeni di arretramento. Tali intense dinamiche sono del tutto comparabili con quelle rilevate in analoghi contesti geomorfologici e socio-economici del bacino mediterraneo come di altre aree del globo (VEGGIANI, 1963; ROVERI, 1964; PELLEGRINI & ZAROTTI, 1975; TAVAGLINI, 1975; RAGLIONE & RODOLFI, 1977; COCCO *et al.*, 1978; PAREA, 1978; PETTS, 1979; PELLEGRINI *et al.*, 1980; MARAGA & MORTARA, 1981; BARNARD & MELHORN, 1982; KELLERHALS, 1982; WINKLEY, 1982; CONTI *et al.*, 1983; WILLIAMS & WOLMAN, 1984; BUCCOLINI & GENTILI, 1986; ANDREWS, 1986; GENTILI & PAMBIANCHI, 1987 cum bib.; BISI *et al.*, 1992; CANUTI *et al.*, 1992; LAMBERTI, 1993; CENCETTI *et al.*, 1994a e b; DUTTO & MARAGA, 1994; KLINGEMAN *et al.*, 1994 cum bib.; SABATO, 1994; WILSON & TURNIPSEED, 1994; COLTORTI *et al.*, 1995; LAJEZAK, 1995; RINALDI & RODOLFI, 1995; PETIT *et al.*, 1996; BILLI & RINALDI, 1997; COLTORTI, 1997; RINALDI & SIMON, 1998; SEAR & ARCHER, 1998; SURIAN, 1999; FARABOLLINI *et al.*, 2000; DECROIX & GAUTIER, 2002; MARCHETTI, 2002; ARINGOLI *et al.*, 2003; SURIAN & RINALDI, 2003 cum bib.; COLTORTI & FARABOLLINI, 2004; BRUNELLI & FARABOLLINI, 2005 cum bib.; HOOKE, 2006 cum bib.; SIMON & RINALDI, 2006; WOHL, 2006 cum bib.)

La tematica di ricerca è stata sviluppata anche nei corsi d'acqua del settore marchigiano dell'Italia centrale adriatica, in particolare nei loro tratti medio-bassi, con analisi geomorfologiche di dettaglio, ripetute su periodi diversi, i cui principali risultati ottenuti sono compendiate nella tabella 1.

Con la presente nota si intende portare un ulteriore contributo alla conoscenza dei processi di erosione in alveo, prendendo in considerazione le più recenti modificazioni morfologiche rilevate sulle sponde di tre dei principali sistemi fluviali dell'area (Potenza, Chienti e Tenna - Fig. 1), sempre connesse ad attività antropiche sviluppate in alveo, anche se diverse da quelle citate. In particolare, viene analizzato il ruolo svolto dalle caratteristiche chimiche delle acque sull'erodibilità del substrato argilloso, visto che quest'ultimo costituisce attualmente, per effetto dello smantellamento dei depositi

alluvionali, il *talweg* della maggior parte dei tratti medio-bassi dei citati fiumi. I dati ottenuti, vengono illustrati ed interpretati facendo anche riferimento alla specifica, non copiosa, letteratura scientifica internazionale (ARUNALANDAN *et al.*, 1973; OSMAN & THORNE, 1988; ESPOSITO & DIOGENE, 2002; ARINGOLI *et al.*, 2003; MATTIAS, 2004).

2. LINEAMENTI FISIOGRAFICI E CLIMATICI E IMPATTO ANTROPICO NEI BACINI IMBRIFERI MARCHIGIANI

L'area di studio è localizzata nelle Marche centro-meridionali ed in particolare comprende diversi siti campione appartenenti a limitati tratti dei bacini idrografici dei fiumi Potenza, Chienti e Tenna. L'assetto geomorfologico complessivo dei bacini ed i loro fondamentali parametri morfometrici (Tab. 2) sono condizionati, per lo più, dal contesto geologico (CENTAMORE & DEIANA, 1986) e dal gradiente topografico regionale. Su tale base è possibile suddividere il territorio regionale in tre settori distinti (Fig.1).

Il *primo settore* è inciso nella fascia montana corrispondente alla dorsale appenninica; la morfologia del paesaggio fisico è strettamente connessa alla presenza dei litotipi più competenti della *sequenza Umbro-Marchigiana*, costituiti da calcari, calcari marnosi e marne (Lias - Oligocene), che affiorano in due ampi ed estesi anticlinori (la dorsale umbro-marchigiana s.s., occidentale e marchigiana, orientale); essi, intensamente fratturati, piegati e sovrascorsi, si fondono verso sud nel "massiccio" dei Monti Sibillini. L'assetto morfologico è caratterizzato da valli fluviali ad andamento generalmente lineare, spesso incassate in gole; il canale di magra dei fiumi è unico, largo pochi metri, inciso a tratti nel substrato roccioso ed a tratti nei depositi alluvionali di esiguo spessore. I versanti sono occupati prevalentemente dal bosco e presentano a luoghi notevoli accumuli di detrito stratificato. A causa della forte pendenza, i suoli sono poco sviluppati nelle aree boschive, mentre diminuiscono ulteriormente di spessore nelle zone di recente abbandono o dove viene praticata l'attività

Tabella 1 - Escavazione in alveo nei fiumi marchigiani e relativi effetti indotti sulle aste e sulle foci fluviali (modificato da GENTILI & PAMBIANCHI, 1987 e COLTORTI *et al.*, 1995).

Quarrying activity and related effects on fluvial axes and mouths along the Marche rivers (modified from GENTILI & PAMBIANCHI, 1987 and COLTORTI et al., 1995)

Bacino idrografico	Area (Km ²)	Durata escavazione in alveo tra il 1960 e il 1975 circa (anni)	Quantità di materiale escavato (m ³ x 10 ⁶)	Approfondimento lineare medio dell'alveo (m)	Arretramento (-) della linea di riva in corrispondenza della foce (m)
Foglia	701	10	2	3.0-4.0	27
Metauro	1405	10	3	6.0-7.0	- 75
Cesano	413	3	0.2	2.0-2.5	- 155
Misa	376	5	0.02	1.0	5
Esino	1148	6	2	3.0	- 190
Musone	642	10	0.5	3.0-3.5	- 50
Potenza	773	7	1.4	3.0	- 102
Chienti	1294	10	2.7	4.0	- 240
Tenna	484	7	0.8	5.0	- 130
Aso	280	8	0.4	2.5-3.0	- 120
Tronto	1192	7	0.8	3.5	- 465

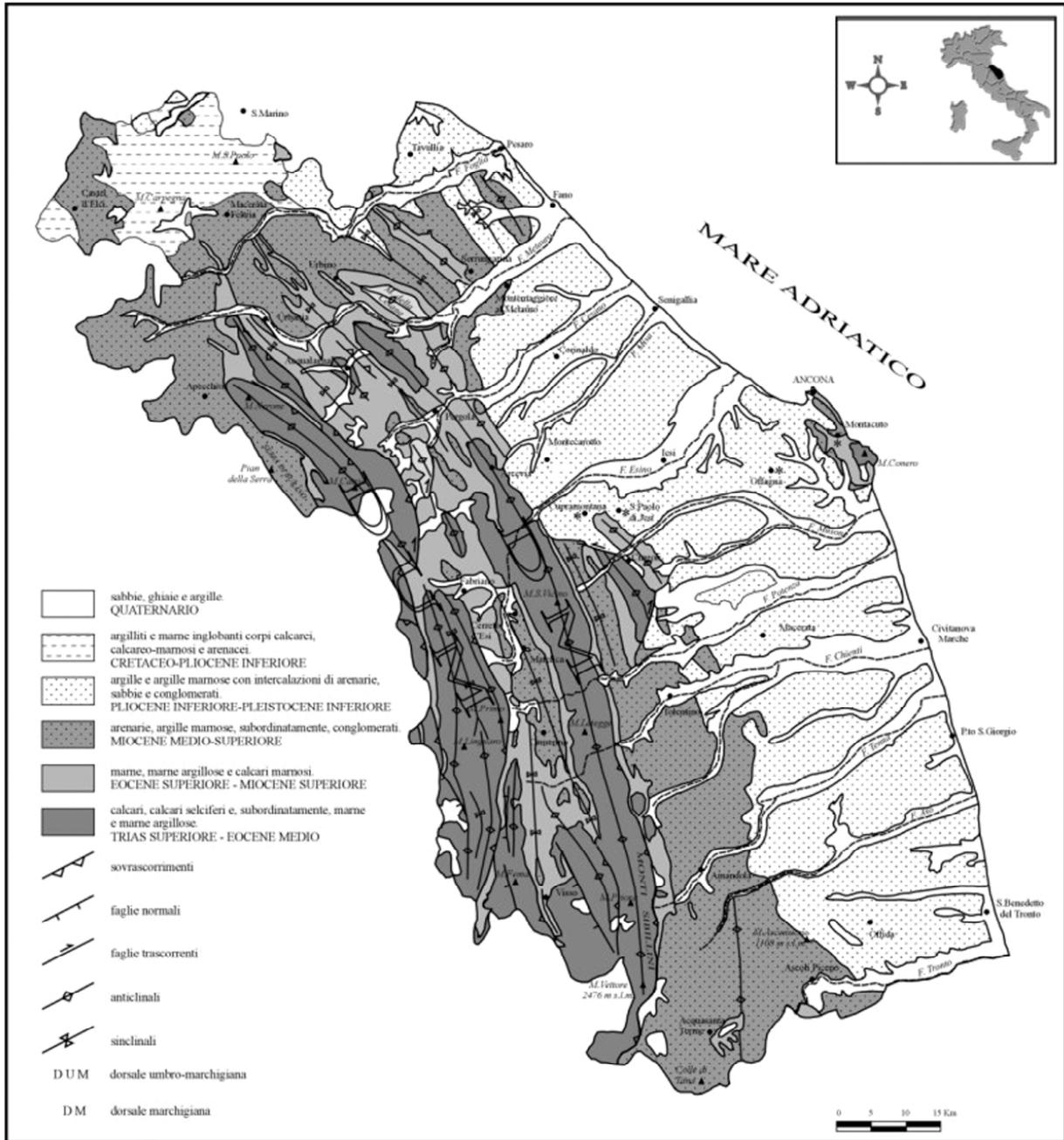


Fig. 1 - Schema delle unità fisiografiche delle Marche (da Bisci et al., 1991, modificata).
 Schematic Marcheian Physiographic units (from Bisci et al., 1991, modified).

agro-pastorale. La permeabilità è elevata, con valori di infiltrazione efficace medi di circa 550 mm/anno rapportati a precipitazioni medie dell'ordine di 1.000-1.100 mm/anno.

Il *secondo settore* è scolpito nella fascia pedemontana, data da sedimenti miocenici, costituiti da alternanze di torbiditi arenacee, arenaceo-pelitiche e pelitico-arenacee alle quali si intercalano, in subordine, gessi e torbiditi carbonato-silicatiche (Miocene medio-superiore); l'assetto strutturale, piuttosto complesso, è caratterizzato da pieghe, faglie e sovrascorrimenti, per lo più sepolti.

Le incisioni vallive del *terzo settore*, in cui ricadono i siti oggetto del presente studio, si sono realizzate

nei sedimenti marini del ciclo plio-pleistocenico della fascia peri-adriatica, in cui dominano le argille, entro le quali si alternano a vari livelli stratigrafici corpi arenaci, conglomeratici e sabbioso-conglomeratici, disposti regolarmente a monoclinale con vergenza circa orientale. I corsi d'acqua principali, cataclinali, incidono i litotipi appena descritti e disarticolano il rilievo monoclinale in una successione di rilievi alto-collinari e collinari dalla tipica morfologia a *cuesta*, con le basi rivolte ad oriente e bordate sui quadranti occidentali da elevate scarpate strutturali scolpite nelle unità litoidi più rigide. Le estese morfostrutture costiere sono limitate da falesie antiche, per lo più scolpite nei potenti corpi conglomeratici, separate dal mare da coste sabbiose di ampiezza varia-

Tabella 2 - Principali caratteristiche morfologiche e morfometriche dei fiumi delle Marche (modificato da COLTORTI et al., 1995).
Main morphologic and morphometric characteristics of the marchean rivers (modified from COLTORTI et al., 1995).

Bacino Idrografico	Bacino			Rapporto di rilievo (Rh)	Asta principale		Bacino di drenaggio	
	Area (Km ²)	quota (m s.l.m.)			Lunghezza (Km)	Pendenza media (%)	F* (Km ²)	D* (Km ⁻¹)
		max	media					
Foglia	701	1049	359	0.02	71.5	1.4	0.71	0.88
Metauro	1405	1384	470	0.02	94	1	0.77	0.98
Cesano	413	1071	322	0.02	56.5	1.8	0.73	0.91
Misa	376	793	217	0.02	44	1.1	0.82	1.06
Esino	1148	1361	404	0.02	77.5	1.5	0.86	1.13
Musone	642	1479	278	0.03	65	2.2	0.78	
Potenza	773	1571	430	0.02	88	0.9	0.85	1.11
Chienti	1294	2102	508	0.03	91	1.2	0.86	1.13
Tenna	484	2233	555	0.04	69	3.2	0.93	1.24
Aso	280	2476	585		71.5	2.7	1.01	1.37
Tronto	1192	2476	784	0.03	97.5	2.1	1.12	1.55

(*) - Frequenza di drenaggio e Densità di drenaggio; valore stimato alla scala 1:100.000 (da Dramis & Gentili, 1975)

bile dal centinaio al migliaio di metri, e sono disseccate da sistemi fluvio-torrentizi di basso ordine, cataclinali, drenanti direttamente nell'Adriatico. I fondivalle sono terrazzati da più ordini di depositi alluvionali, costituiti da depositi di ghiaie calcaree poligeniche, organizzati, di norma, in tre ordini di terrazzi, di origine francamente climatica, la cui messa in posto è iniziata nel Pleistocene medio (1° ordine), è proseguita nel Pleistocene medio-finale (2° ordine) e si è conclusa, con il 3° ordine, nel Pleistocene superiore; segue un 4° ordine (Olocene), entro cui è inciso l'attuale alveo fluviale, la cui genesi viene prevalentemente associata all'antropizzazione dei versanti (BIONDI & COLTORTI, 1983; GENTILI & PAMBIANCHI, 1987; COLTORTI, 1997).

Le caratteristiche climatiche dell'area di studio, determinate sulla base dei dati riferiti al periodo 1921-2003, sono piuttosto omogenee e del tutto congruenti con quelle del più esteso settore centrale e meridionale del versante adriatico dell'Italia (FAZZINI & GIUFFRIDA, 2005). La piovosità media annua è compresa tra i 600 mm della costa ed i 1.100 mm della fascia montana; il numero dei giorni di pioggia è compreso tra 60 e 75, pur con una forte variabilità intrannuale; le intensità medie giornaliere sono di 10-12 mm. Le precipitazioni tendono in genere ad aumentare avvicinandosi al fianco orientale della dorsale appenninica, con un evidente aumento, per il prevalente effetto orografico, dei valori pluviometrici in corrispondenza delle dorsali spartiacque. Il regime pluviometrico dominante è di tipo sublitoraneo, con un massimo assoluto mensile in novembre; l'autunno risulta essere la stagione più piovosa, con un secondo massimo in primavera. La stagione estiva è piuttosto secca, ma, di norma, non siccitosa. Infatti, raramente i periodi senza precipitazioni superano i 40 giorni ed inoltre si registra una marcata differenza tra le aree pedemontane, nelle quali in estate sono più frequenti i fenomeni temporaleschi di tipo convettivo-orografico, e quelle litoranee. Le temperature medie annue variano tra i 12,5°C ed 15,5°C; il mese più freddo è gennaio (3,5-7°C) e le temperature massime si registrano in luglio ed agosto (22-25°C circa). L'escursione termica annua si attesta tra 17 e 19°C mentre quella gior-

naliera oscilla tra i 7°C della costa ed i 10°C delle conche interne. Il gradiente termico verticale annuo è di 0,54°C/100m. Le caratteristiche termo-pluviometriche dell'ottantennio considerato possono essere estese indietro nel tempo fino alla seconda metà del secolo XIX, mentre per i tre secoli precedenti (1550-1850) anche nell'area di studio si sono risentiti gli effetti della "piccola età glaciale", caratterizzata, alle latitudini medie, da un aumento complessivo delle precipitazioni e dal ripetersi di estati piovose (LE ROY LADURIE, 1971; PINNA, 1984).

Nel versante adriatico dell'Italia centrale l'impatto antropico assume valenza morfogenetica a partire dal XVI secolo, con l'avvio di attività agro-silvo-pastorali nelle aree circostanti ai primi nuclei urbani, estese ampiamente nei secoli successivi sia in relazione al progressivo incremento demografico che, soprattutto, all'assenza di uno stabile legame tra il sito messo a coltura e il colono. Infatti, quest'ultimo ricavava campi e pascoli da diboscamenti di aree ottenute in concessione, sfruttandone le massime potenzialità produttive del suolo, senza porre in essere opere tendenti alla conservazione di esso (ANSELMINI, 1971 e 1985). Veniva così favorita l'attivazione di rapidi ed intensi processi erosivi, che spintisi fino al livello regolitico, rendevano impossibile il prosieguo dell'attività agricola o pastorale, costringendo l'agricoltore a spostarsi su altre aree dove ripetere le stesse pratiche ("nomadismo", GENTILI, 2002). Un ulteriore ed importante fattore di controllo dell'intensa morfodinamica del periodo può essere individuato nel contemporaneo incremento delle precipitazioni della già citata "piccola età glaciale".

Tale assetto morfo-culturale veniva modificato a partire da circa metà del XIX secolo, in seguito all'affermazione della piccola proprietà terriera, che legando stabilmente il colono ai siti messi a coltura ha indotto quest'ultimo ad operare la preventiva o contestuale sistemazione agraria dei pendii (terrazze, fossi, siepi, ecc.), ad effettuare la continua ed attenta manutenzione degli stessi e ad attuare pratiche colturali idonee alla conservazione del suolo. Con i primi decenni del XX secolo si sono definitivamente consolidati i lineamenti

fondamentali del paesaggio rurale dell'area, caratterizzato dall'*alberata*: campo coltivato a seminativo in cui veniva coltivata contemporaneamente la vite, "maritata" ad un sostegno vivo costituito dall'acero campestre (*Acer campestre*) o dall'olmo comune (*Ulmus minor*). L'*alberata*, compresa in "campi chiusi" delimitati da siepi, scarpate e fossi di scolo (che afferivano ad una rete idrografica incassata e ben delineata), ha rappresentato l'elemento distintivo del paesaggio rurale dell'Italia centrale fino al primo decennio della seconda metà del XX secolo. Con la profonda trasformazione agraria, iniziata sul finire degli anni '50 e realizzatasi attraverso il massiccio uso di mezzi meccanici, i versanti sono stati riportati agli originari profili (producendo di conseguenza "campi aperti") nei quali si sono affermate rapidamente le colture estensive. (DESPLANQUES, 1975; SERENI, 1979; GENTILI & PAMBIANCHI, 2002; BUCCOLINI *et al.*, 2007).

Relativamente agli alvei fluviali, si segnala la presenza di importanti opere antropiche: invasi artificiali e opere di derivazione, costruiti in tempi diversi per uso irrigui o per la produzione di energia elettrica, che interrompono, talora in più punti, i corsi d'acqua principali e/o i loro maggiori affluenti. Numerose sono anche le opere di regimazione, costituite essenzialmente da briglie, soglie di fondo, pennelli ed argini artificiali a difesa spondale, costruiti per larghissima parte nella prima metà del secolo appena trascorso. Inoltre, notevoli cambiamenti nel bilancio idrico vengono prodotti anche da una fitta rete di canali artificiali e da numerose derivazioni e captazioni, presenti soprattutto nei tratti medio-finali dei corsi d'acqua (CONTI *et al.*, 1983; COLTORTI *et al.*, 1995; FARABOLLINI, 1995).

3. I FENOMENI EROSIVI NEI PRINCIPALI FIUMI MARCHIGIANI: STATO DELL'ARTE DELLE CONOSCENZE

Numerosi sono i fenomeni erosivi riscontrabili lungo gli alvei delle basse e medie valli dei fiumi marchigiani: in quasi tutti i fondivalle si evidenziano infatti vistosi processi di approfondimento dell'erosione in alveo che interessano, in particolare modo, le zone di confluenza tra i maggiori affluenti e l'asta fluviale principale (es.: Chienti-Ete Morto; Chienti-Cremone; Potenza-Monocchietta; ecc.). L'intensa attività agricola in atto sui versanti e, soprattutto, le attuali tecniche agricole ed i tipi colturali adottati, hanno ridotto fortemente i tempi di corrivazione, favorendo apporti liquidi all'asta fluviale, tanto cospicui e rapidi da attivare intensi fenomeni erosivi. A questi ultimi risultano associati, sempre più frequentemente, fenomeni franosi, che interessando soprattutto litologie pelitiche e depositi eluvio-colluviali fini, vengono rapidamente allontanati dalle acque correnti superficiali.

Numerosi sono infatti gli Autori (per citarne alcuni: CONTI *et al.*, 1983; BUCCOLINI & GENTILI, 1986; GENTILI & PAMBIANCHI, 1987; BISI *et al.*, 1992; COLTORTI *et al.*, 1995; ARINGOLI *et al.*, 2003; COLTORTI & FARABOLLINI, 2004; BRUNELLI & FARABOLLINI, 2005) che evidenziano tale diffusa situazione, peraltro confermata da ricerche più estensive effettuate dalla Regione Marche nell'ambito del cosiddetto Progetto "RIM - Reticolo Idrografico Minore".

Lungo la maggior parte degli alvei fluviali dei prin-

cipali fiumi marchigiani, in corrispondenza di opere di regimazione idraulica realizzate soprattutto per scopi irrigui, sono stati rilevati, nell'arco di tempo di circa un decennio, arretramento delle scarpate fluviali dell'ordine della decina di metri (ARINGOLI *et al.*, 2003; BRUNELLI & FARABOLLINI, 2005). Le analisi, effettuate attraverso la comparazione di di foto aeree e di documentazione cartografica di periodi diversi, anche a diversa scala (cartografia IGM del 1876, del 1955 e del 1977; alla scala 1:25.000; CTR Regione Marche alla scala 1:10.000 del 1971 e del 1999), hanno permesso di stabilire per i processi in parola una loro significativa intensificazione dopo il 1977.

Consistenti modificazioni morfologiche sono state rilevate anche per quanto riguardano le configurazioni d'alveo dei corsi d'acqua, con intensificazioni di particolari processi (migrazioni di meandri; accentuazione di sinuosità; arretramento di scarpate; ecc.) che hanno portato alla realizzazione di numerosi interventi di consolidamento, molti dei quali attraverso gabbionate e interventi di ingegneria naturalistica, i primi dei quali, realizzati da circa 10 anni, non hanno dato, al momento, i risultati attesi.

Il restringimento delle sezioni di deflusso, prodotto dall'incisione ha attivato processi di erosione delle sponde, anche di qualche metro (Fig. 2), soprattutto a valle delle opere idrauliche (briglie, traverse, pennelli, ecc.), producendo seri danneggiamenti, a volte di difficile recupero funzionale, dei manufatti posti lungo i corsi d'acqua. Ulteriori fenomeni erosivi si rilevano nei tratti fluviali posti immediatamente a valle delle confluenze di canalizzazioni realizzate per uso idrico, dove il repentino aumento di portata liquida e la ristretta sezione di deflusso del canale confluyente esalta la capacità erosiva delle acque dando luogo a processi di erosione laterale e verticale. Situazioni eclatanti, con scalzamento al piede e genesi di scarpate di altezze dell'ordine della decina di metri, vengono riscontrate nella maggior parte dei fiumi marchigiani (Esino, Musone, Potenza, Chienti, Tenna, Aso, Tronto). In particolare, tali fenomeni vengono esaltati dal forte sfruttamento dell'acquifero di subalveo che, soprattutto durante i mesi estivi, contribuendo significativamente al drastico abbattimento delle portate di magra, favorisce la genesi nello stesso letto fluviale di fenomeni di "crepacciatura" delle argille, determinanti per l'attivazione di successivi processi erosione (FARABOLLINI *et al.*, 2000; ARINGOLI *et al.*, 2003).

Sul fiume Tenna e sul fiume Aso si registrato i più alti valori dell'approfondimento dell'erosione in alveo, tanto che in molte parti, per contrastare tale fenomeno, sono state costruite, negli anni '70, briglie e traverse (CONTI *et al.*, 1983; BUCCOLINI & GENTILI, 1986; GENTILI & PAMBIANCHI, 1987; BISI *et al.*, 1992; COLTORTI *et al.*, 1995). In molti casi tali interventi hanno innescato una serie di processi erosivi che hanno esaltato ancor di più l'erosione in alveo. A seguito dell'erosione regressiva innescata dalla realizzazione di tale opere, si sono prodotti intensi fenomeni di scalzamento al piede delle stesse opere in alveo (Fig. 3), ed in alcuni casi si sono prodotti cedimenti e crolli di infrastrutture viarie, realizzate a valle delle briglie e traverse (Grottazzolina, Servigliano, ecc.).

Nelle zone di raccordo tra l'asta fluviale principale e la rete idrografica di basso ordine, si rilevano forti diffi-



Fig. 2 - Fenomeni franosi connessi con l'approfondimento dell'incisione in alveo, in un tratto del fiume Chienti (a Tolentino) con evidente allargamento della sezione fluviale.

Landslides due to downcutting in the river Chienti (at Tolentino), with enlargement of fluvial section.

coltà di deflusso per le acque di versante, legate alle opere connesse alla diffusa e continua espansione delle attività antropiche (estensione delle aree coltivate, sviluppo di nuovi nuclei abitati ecc.), che tendono a ridurre le sezioni di deflusso dei tratti terminali dei canali della rete idrografica minore, modificandone le condizioni di permeabilità di superfici di estensione significativa. A tale assetto della rete idrografica sono connessi gli intensi e frequenti fenomeni di esondazione e/o allagamento delle piane alluvionali della maggior parte dei sistemi fluviali marchigiani, verificatisi di recente anche in periodi di precipitazioni meteoriche non eccezionali (Potenza 1998, 1999, 2001; Chienti, 1999, 2000 e 2001; Tenna, 1999, 2001, 2002; Tronto, 2000, 2002; Aspio, 2006).

Lungo l'asta fluviale del fiume Tronto, interessata nell'aprile del 1992 da una disastrosa piena che ha causato ingenti danni (Bisci *et al.*, 1999), è stato possibile verificare come l'intensa antropizzazione del territorio, iniziata fin dai primi anni del 1900, modificando notevolmente sia la configurazione di alveo del fiume stesso che le caratteristiche idrauliche dell'alveo, sia stata la principale responsabile dell'evento calamitoso (FARABOLLINI, 1995; FARABOLLINI *et al.*, 2000; BRUNELLI & FARABOLLINI, 2005; COLTORTI & FARABOLLINI, 2007).

4. I FENOMENI EROSIIVI NEI FIUMI POTENZA, CHIEN TI E TENNA: DATI E DISCUSSIONE

Il presente lavoro illustra ed interpreta i dati acquisiti da recenti osservazioni condotte principalmente lungo gli alvei dei fiumi Chienti, Potenza e Tenna (Marche centrali) soprattutto nel loro tratto intermedio. Indagini di dettaglio, svolte sia sul terreno che attraverso la documentazione storica, hanno messo in particolare evidenza intensi processi erosivi in corrispondenza dei tratti di alveo situati a valle di impianti di depurazione delle acque reflue. Le analisi di laboratorio eseguite su campioni di argille del substrato affioranti in alveo nei pressi di detti impianti, evidenziano alcune importanti modificazioni sulla struttura cristallina dei minerali argillosi.

Nell'alveo del Chienti, nel tratto compreso tra l'abitato di Tolentino e la corrispondente zona industriale, l'approfondimento dell'erosione lineare in alveo ha raggiunto valori di 10-12 metri all'interno del substrato pelitico. Rispetto alle osservazioni effettuate nel 1987 (GENTILI & PAMBIANCHI, 1987), tale approfondimento nel substrato sembra essere attualmente regredito verso monte provocando lo scalzamento al piede dei piloni della superstrada "Valdichienti".



Fig. 3 - Evidenti fenomeni di scalzamento al piede: A) briglia nel fiume Tenna; B) traversa nel fiume Chienti.

Erosion phenomena at the foot of the slope. Small dam: A) in the river Tenna; B) in the river Chienti.

Nei pressi del depuratore di Tolentino (località La Rancia) l'incisione dell'alveo, appena abbozzata nel 1987, attualmente risulta molto profonda. Il confronto tra i dati derivanti da osservazioni dirette di campagna, su strutture ed infrastrutture antropiche, testimonianze orali e documenti cartografici di periodi diversi, permettono di valutare un incrementato dell'erosione lineare in alveo 1,5-2 m in circa 10 anni.

Per effetto di tale approfondimento si è registrata, nei pressi della centrale elettrica di Pianarucci, posta poco a monte dello scarico del depuratore: la distruzione della soglia in cemento armato che collegava il canale artificiale all'alveo fluviale; la propagazione verso monte dell'erosione, per circa 50 m; una profonda incisione che ha modificato la geometria del piede del versante attivando sullo stesso processi gravitativi che

hanno coinvolto strutture abitative.

Il confronto tra le foto aeree del 1978 e del 1999, permette di rilevare significative variazioni del tracciato fluviale del Chienti. Il tracciato fluviale del 1978 oltre ad apparire molto più regolare e rettilineo, risultava delimitato da scarpate poco elevate. La "penisola" delimitata in sinistra idrografica dal fiume Chienti ed in destra dal canale di irrigazione, risultava allungata in direzione NNE-SSW e dalla forma regolare; attualmente invece tale forma risulta erosa per circa 20 m rispetto alla situazione del 1978 e presenta una forma fortemente sinuosa derivante dallo spostamento verso Sud dell'alveo del Chienti, proprio in corrispondenza del tratto in cui è stato realizzato il depuratore (Fig. 4). Le sponde che delimitano attualmente il letto fluviale, presentano acclività molto più accentuata del passato con versanti

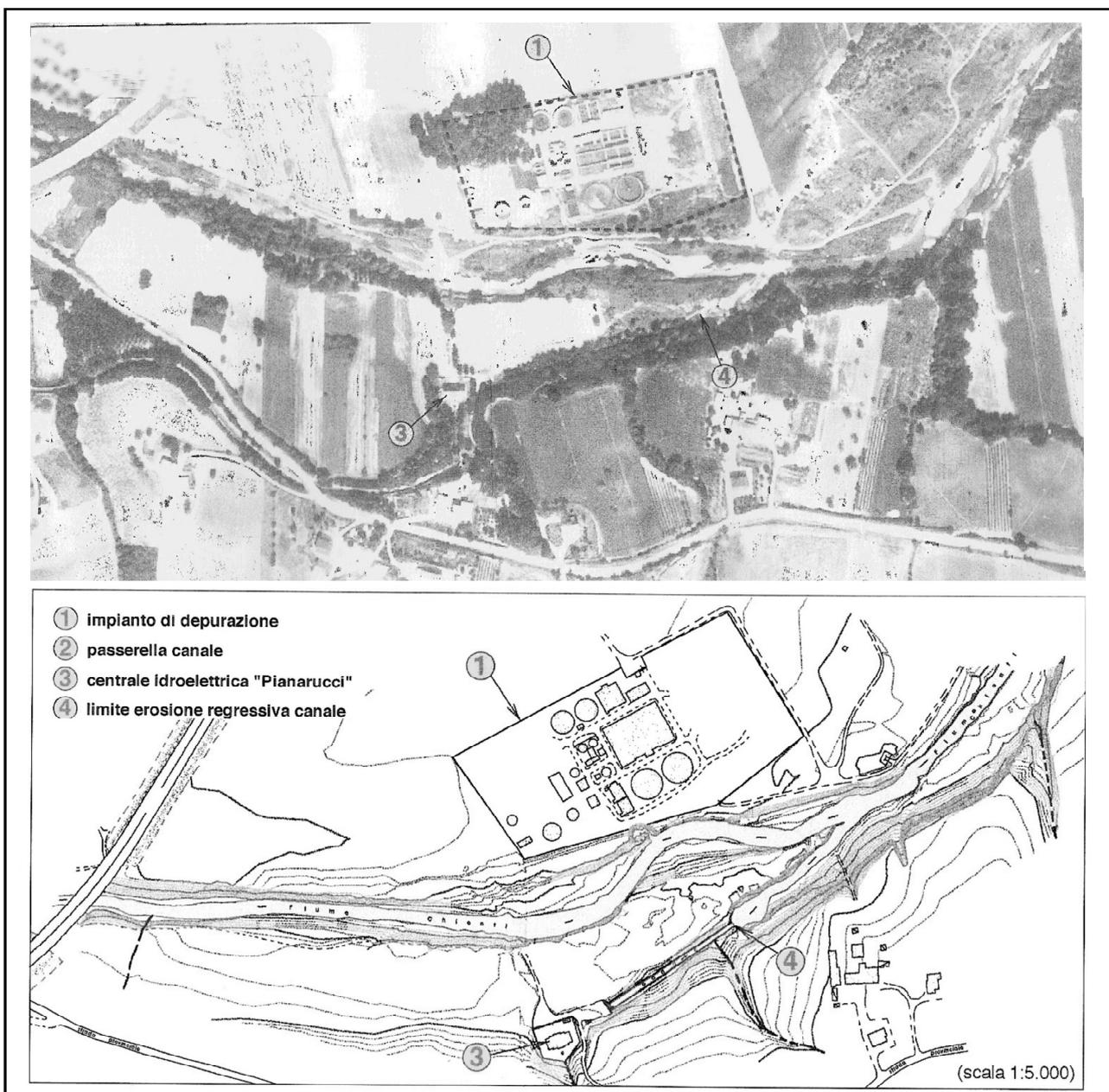


Fig. 4 - Confronto tra le situazioni morfologiche dell'alveo del fiume Chienti nei pressi di Tolentino: sopra nel 1992, sotto nel 2002. Comparison among several morphologies in the river Chienti, near Tolentino: upper, in 1992; lower, in 2002.

ripidi e la larghezza della sezione fluviale appare più ampia per effetto dell'arretramento delle stesse sponde; l'entità del fenomeno può essere valutata, in alcuni punti, anche in qualche metro. I periodici sopralluoghi effettuati negli ultimi anni, con cadenza semestrale, hanno permesso di verificare come il letto di magra del fiume sia in approfondimento, i cui tassi sono prossimi ai 10 cm/anno. Attualmente l'intera area è oggetto di interventi di risanamento effettuati attraverso opere di riprofilatura dei versanti e di ingegneria naturalistica.

Ulteriori fenomeni erosivi si rilevano nei tratti fluviali posti immediatamente a valle delle confluenze di canalizzazioni realizzate per uso idrico, dove il repentino aumento di portata liquida e la ristretta sezione di deflusso del canale confluyente esalta la capacità erosiva delle acque dando luogo a processi di erosione laterale e verticale. Particolarmente vistoso è il processo in atto a valle della citata centrale ENEL-Pianarucci, dove, soprattutto in sinistra idrografica, è in corso lo scalzamento al piede di una scarpata dell'altezza di oltre 15 metri.

Analogo fenomeno si rileva in località Rocchetta (nell'alveo fluviale del Potenza), dove opere di regimazione idraulica realizzate soprattutto per scopi irrigui, hanno provocato, nell'arco di tempo di circa un decennio, un arretramento decametrico delle scarpate fluviali. Il confronto dei dati derivanti dall'esame di foto aeree e documenti cartografici di periodi compresi tra il 1955 e il 1999, permette di stabilire per i processi in parola una loro significativa intensificazione dopo il 1977. Il canale artificiale della centrale ENEL di Rocchetta, già esistente nel 1955, che correva in sinistra idrografica al fiume Potenza, ad una quota di circa 180 m s.l.m., poco prima del 1977 è stato spostato verso monte di circa 200 m, alla quota di circa 185 m s.l.m., a causa dei processi gravitativi che stavano interessando il versante tra il canale artificiale e la sponda di sinistra del fiume Potenza, in conseguenza della creazione del gradino di raccordo del canale artificiale stesso con il fiume Potenza (Fig. 5).

Consistenti modificazioni morfologiche sono state

rilevate anche per il meandro ubicato poco a monte dell'abitato di Rocchetta, la cui scarpata esterna è arretrata con un tasso di circa 0,5 m/anno (24 m nel periodo compreso il 1955 e il 1999). Tale scarpata è stata oggetto di diversi interventi di consolidamento (median-te gabbionate), i primi dei quali, realizzati da circa 10 anni, non hanno dato positivi risultati; nuove opere sono state eseguite nel 1998, più estese e meglio intestate nel substrato geologico. Inoltre, in questo tratto fluviale, soprattutto a valle della confluenza del canale di scarico delle acque che alimentano la centrale, sono in atto fenomeni di approfondimento dell'erosione in alveo, che per il periodo 1987-1999 vengono valutati in 8-9 m (circa 0,7 m/anno); vi si possono apprezzare anche modificazioni planimetriche del tracciato del letto fluviale ordinario (Fig. 6). Infatti i processi di erosione laterale ed i connessi fenomeni franosi attivati alternativamente sulle sponde destra e sinistra, hanno prodotto una complessiva migrazione verso valle del meandro.

4.1 - Analisi chimica delle acque

A causa del suo altissimo potere solvente, l'acqua, oltre a contenere le diverse sostanze naturali contiene anche quelle prodotte dall'attività umana. Queste sostanze si trovano, in forma ionica, in un ampio range di concentrazione (da pochi nanogrammi per litro - ng/L) a diverse centinaia di milligrammi per litro - mg/L) in funzione della loro abbondanza in natura, della loro solubilità e dei processi chimico-fisici cui sono sottoposte. I principali elementi e/o composti disciolti nell'acqua sono i cationi Ca^{++} , Na^+ , Mg^{++} , gli anioni HCO_3^- , SO_4^- , Cl^- , e la silice (SiO_2). Il contenuto e la percentuale dei principali ioni dipende, certamente, dalla composizione chimica delle rocce e dei terreni presenti nell'area di drenaggio (FETTER, 1999).

Le sostanze che più frequentemente è possibile trovare, soprattutto derivanti dalle attività umane, e quindi come traccia di inquinamento, sono: *acidi e alcali*, *cloro* (vari tipi di cloruri), *ammoniaca* (NH_3 e sali ammoniacali), *idrogeno solforato*, *solfati* (SO_4^{--}) soprattutto se

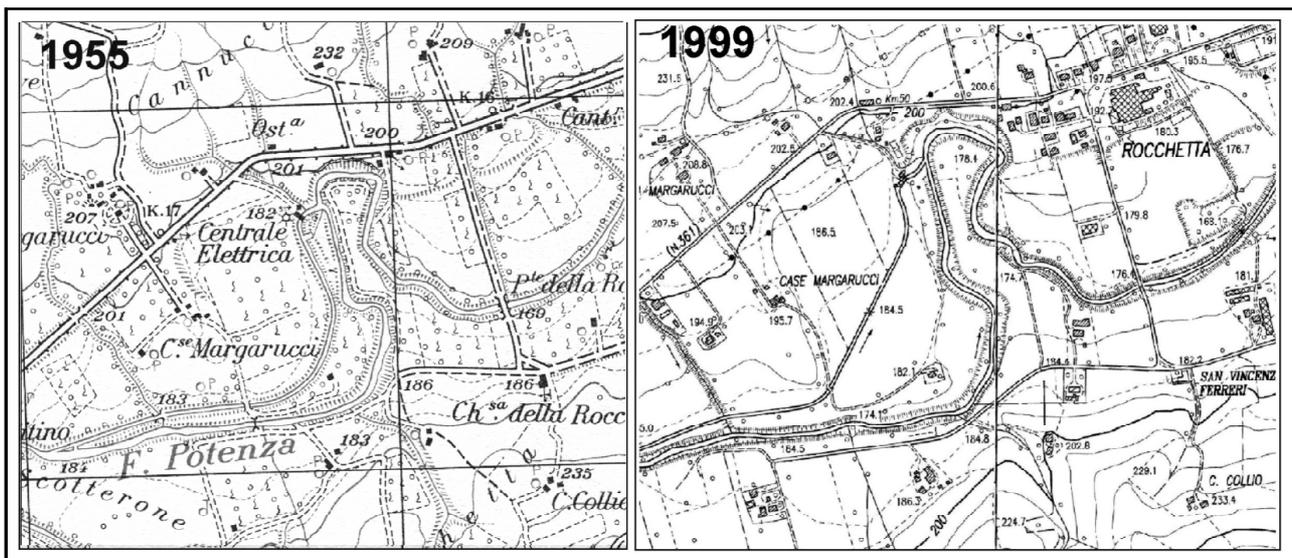


Fig. 5 - Confronto tra le situazioni morfologiche dell'alveo del fiume Potenza nei pressi di La Rocchetta dalla cartografia topografica del 1978 e del 1999.

Comparison among several morphologies in the river Potenza near La Rocchetta obtained from topographic maps of 1978 and 1999.



Fig. 6 - Processi gravitativi interessanti la sponda in destra idrografica del fiume Potenza (a valle di San Severino Marche).
Gravitational phenomena affecting the right side of river Potenza (valleyward of San Severino Marche).

presenti delle cartiere, solfiti (SO_3^{--}), cianuri (CN^-), nitriti (NO_2^-), nitrati (NO_3^-), fosfati, sali di ferro e manganese, residui vari di idrocarburi, olii vegetali, composti organici e metalli pesanti, fino anche a radioisotopi.

L'equilibrio chimico e fisico dell'ambiente idrico è importante non solo per gli effetti diretti che può avere sulla salute dell'uomo, ma anche per gli effetti meno evidenti che può avere sul sistema naturale. Un esempio è dato dalle soluzioni acquose che interagiscono con il materiale adsorbente, sia organico che inorganico,

che adsorbe una parte dei solidi in soluzione, sia dissociato che non dissociato. Tale adsorbimento è dovuto all'attrazione fisica tra due particelle solide, ma anche all'attrazione elettrostatica di due cariche elettriche di segno contrario (adsorbimento selettivo o chimico); in questo ultimo caso gli ioni non vengono adsorbiti solo sulla superficie del minerale, ma alcuni di essi possono entrare nel reticolo cristallino, attraverso il processo dello scambio ionico (CHIESA, 1998).

Nella tabella sottostante, vengono riportati i risul-

Tabella 3 - Elementi chimici (in mg/l) e conducibilità elettrica calcolati per le acque campionate.

Concentration of ions (mg/l) and electric conductivity of water samples.

	Tenna a valle	Camerino a monte	Camerino a valle	S. Severino a monte	S. Severino a valle	Tolentino a monte	Tolentino a valle
Calcio (mg/l)	108,8	109,2	109,2	80,5	86,2	81,6	83,9
Magnesio (mg/l)	22	7,4	8,6	4,7	4,2	5,7	5,7
Sodio (mg/l)	28,6	12,5	15,2	16,8	15,8	12,6	14
Potassio (mg/l)	8,4	5,6	6,8	7,2	7,3	6,8	6,6
Bicarbonato (mg/l)	322	330	338	275	280	258	264
Cloruri (mg/l)	58,8	20,6	22,4	15,5	17,1	19,3	23,4
Solfati (mg/l)	86,2	36,7	41,3	17,8	23,2	23,3	22,6
Conducibilità elettrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	930	578	582	413	423	463	475

tati delle analisi chimiche, effettuate presso il Dipartimento di Scienze Igienistiche dell'Università di Camerino, delle acque campionate in corrispondenza degli impianti di depurazione, sia a monte che a valle dello scarico. Tali valori sono stati anche messi a confronto con i risultati di ricerche effettuate dallo stesso laboratorio negli anni precedenti (BRANCA, 1976)

4.2 - Caratteristiche fisico-meccaniche e mineralogiche delle argille plioceniche

Al fine di verificare se la presenza di inquinanti nelle acque reflue degli impianti di depurazione potesse produrre variazioni mineralogiche e fisico-meccaniche nelle argille del substrato (ESPOSITO & DIOGENE, 2000), tali da favorire i fenomeni di incisione rilevati e descritti, sono stati prelevati tre campioni (uno a monte e due a valle del depuratore di Tolentino, identificati con Tol. 1, Tol. 2 e Tol. 3) sottoposti ad analisi geotecniche e mineralogiche

I risultati iniziali delle analisi del primo tipo sono riportati in tabella 4. Sono tuttora in corso ulteriori analisi per la valutazione della resistenza al taglio, della capacità di scambio cationico, e del chimismo delle acque di depurazione, al fine di giungere ad una più diretta ed esauriente interpretazione e valutazione dei meccanismi di alterazione. Tuttavia, da tali prime anali-

si, si può già verificare come tra il campione di monte ed i campioni di valle vi sia una evidente diminuzione nel contenuto di acqua naturale e nel valore del limite di liquidità a cui corrisponde un aumento nell'indice di plasticità.

Sugli stessi campioni citati sono state successivamente eseguite analisi diffrattometriche ai Rx sulla sola frazione argillosa passante al setaccio ASTM 270 (\varnothing 0,064mm). Tale analisi è stata eseguita attraverso la preparazione di vetrini su cui è stata fatta decantare una miscela di acqua e argilla raccolta attraverso una pipetta, in modo tale da avere campioni orientati (AON) per avere una migliore risoluzione della componente mineralogica argillosa.

I tracciati diffrattometrici, derivanti dall'analisi ai Rx (condizioni strumentali: 40Kv x 20 mA; 1 cm/min; 1°/min; ct = 4"; R = 4 x 10²; da 2° a 35°), sono stati quindi interpretati e confrontati tra loro in modo da evidenziare le eventuali differenze nella composizione mineralogica tra il campione prelevato a monte del depuratore (Tol. 1) ed i campioni prelevati a valle dello stesso (Tol. 2 e Tol. 3). Tale comparazione evidenzia una sostanziale uniformità composizionale dei campioni (Tab. 5), ma d'altra parte permette anche di verificare che esistono notevoli differenze da un punto di vista delle percentuali di contenuto delle singole componenti

Tabella 4 - Caratteristiche fisico-meccaniche del substrato argilloso pliocenico nelle varie località prese in considerazione (CM= Camerino monte; CV= Camerino valle; SSM= San Severino monte; SSV= San Severino valle; TOL1= Tolentino monte; TOL2 e TOL3= Tolentino valle; W (%) = contenuto naturale d'acqua; Y (gr/cm³) = peso volume; LL (%) = limite di liquidità; LP (%) = limite di plasticità; IP = indice di plasticità; IC = indice di consistenza)

Geotechnical characteristics of the clayey bedrock sampled in the study areas (CM= Camerino, mountainward of the purifier; CV= Camerino, valleyward of the purifier; SSM= San Severino, mountainward of the purifier; SSV= San Severino, valleyward of the purifier; TOL1= Tolentino, mountainward of the purifier; TOL2 e TOL3= Tolentino, valleyward of the purifier; W (%) = natural water content; Y (gr/cm³) = specific gravity; LL (%) = liquidity limit; LP (%) = plasticity limit; IP = plasticity index; IC = consistence index)

CAMPIONE	Calcare totale % CaCO ₃	W (%)	Y (g/cm ³)	pH	LIMITI DI ATTERBERG			
					LL (%)	LP (%)	I.C.	I.P.
CM	43.70	25.40	1.919	8.74	31.10	17.73	0.43	13.37
CV	38.60	32.44	1.873	8.41	37.3	19.66	0.27	17.60
SSM	42.00	22.49	1.822	8.64	26.97	19.98	0.64	6.991
SSV	37.40	29.16	1.821	8.60	26.47	20.19	N.P.	6.29
TOL 1	49	15.35	2.23	9	49	26	N.P.	23
TOL 2	42	4.76	2.27	8	61	25	N.P.	36
TOL 3	48	10.12	2.30	8	68	27	N.P.	41

Tabella 5 - Composizione mineralogica ricavata dall'interpretazione dei tracciati diffrattometrici.

Mineralogical composition from XRD pattern interpretation.

Contenuto mineralogico	Tol. 1	Tol. 2	Tol. 3
Smectite	++	+++	+++
Illite	+	Non valutabile	Non valutabile
Interstrati I-Mo	++	+++	+++
Clorite + Caolinite	++	+	+
Calcite	+++	+	+
Quarzo	++	+	+
Plagioclasti	+	+/-	+/-
Minerali in tracce	Dolomite	Gesso; Dolomite	Gesso; Dolomite

mineralogiche; particolarmente evidenti tra il campione di monte rispetto a quelli di valle. Piccole differenze si riscontrano anche tra i due campioni di valle, ma tali differenze, anche sulla base delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi, sembrano imputabili a variazioni litologiche e/o granulometriche.

In particolare è da notare come nei campioni di valle vi sia un netto aumento del contenuto di smectite e minerali interstratificati di tipo smectite-illite a scapito della clorite-caolinite. Analogamente sia il contenuto di calcite che di quarzo sembrano diminuire sensibilmente, soprattutto per quanto riguarda quest'ultimo, anche se allo stato attuale non è ancora possibile attribuire tale modificazione a scambio cationico, cui può essere stato sottoposto il substrato argilloso, a seguito dell'inquinamento delle acque di scarico del depuratore.

Le analisi diffrattometriche eseguite, testimoniano una differenza composizionale dei campioni prelevati a valle del depuratore, imputabile, in accordo con ESPOSITO & DIOGENE (2002), a modificazioni legate alla presenza di sostanze inquinanti nelle acque di scarico che provocherebbero la rottura di particolari legami ionici. Tali modificazioni sono inoltre testimoniate dal valore dell'indice di plasticità dei campioni di valle rispetto a quelli di monte.

Il maggior contenuto in minerali di tipo smectitico o di tipo interstratificati I-Mo, riscontrato nei campioni di valle rispetto a quelli di monte (Tab. 5), a scapito dei minerali argillosi di tipo illitico e cloritico-caolinitico, permetterebbe quindi una più facile ed efficace aggressione da parte dei processi erosivi fluviali, favorendo la più accentuata incisione dell'alveo. Infatti, le analisi mineralogiche preliminari (ARINGOLI *et al.*, 2003) permettono di ipotizzare come il passaggio illite-interstratificati I-Mo-smectite sia alla base della maggiore facilità alla rottura dei legami ionici delle argille del substrato. A questo, inoltre, si aggiunge la possibilità che gli strati più superficiali di terreno, subendo cicli stagionali di essiccamento ed umidificazione, a seguito di maggiori emungimenti della falda di subalveo, soprattutto in condizioni di periodi siccitosi lunghi, possano aumentare la "crepacciatura" e quindi il maggior degrado del substrato argilloso.

5. CONCLUSIONI

I risultati presentati in questo lavoro si riferiscono a 15 anni di osservazioni e monitoraggi eseguiti soprattutto nei tratti medio-bassi degli alvei dei fiumi Chienti e Potenza dove, a seguito della forte e crescente antropizzazione della piana alluvionale, sono stati realizzati restringimenti della sezione dell'alveo, impermeabilizzazioni della piana alluvionale, impianti di depurazione, scarichi di sostanze inquinanti, con conseguente considerevole modificazione della dinamica idrologica.

Lo stato generale dei fenomeni di erosione in alveo mostra dal 1987, quando iniziarono le prime osservazioni di dettaglio, ad oggi, un aumento considerevole dei fenomeni di approfondimento sia nel materasso alluvionale che, soprattutto, nel substrato pelitico dei tratti medi dei corsi d'acqua considerati.

Nel caso dei depuratori, studi intrapresi di recente hanno messo in luce come, a valle degli stessi, i processi erosivi si manifestano con una maggiore intensità e

con approfondimenti del corso d'acqua maggiori che a monte dell'impianto: analisi mineralogiche e geotecniche, eseguite su campioni di substrato, che in tutti i casi era dato da argille plioceniche, affioranti in alveo nei pressi dei depuratori evidenziano alcune importanti modificazioni della struttura cristallina dei minerali argillosi. Con molta probabilità la presenza di sostanze inquinanti nelle acque di scarico dei depuratori, provocherebbero la rottura di alcuni legami ionici, favorendo una maggiore e più intensa erosione del substrato pelitico.

Analogamente, le opere idrauliche (canale di derivazione, ecc.) costruite lungo il fiume Potenza, in corrispondenza di La Rocchetta, sono alla base degli intensi approfondimenti e soprattutto dell'evidente arretramento della scarpata esterna dell'ansa del fiume Potenza che, con un arretramento superiore ai 20 metri in 40 anni, ha interessato anche la strada statale della valle del Potenza.

Gli esempi sopra riportati rappresentano casi emblematici e comuni per la quasi totalità delle piane alluvionali delle Marche che hanno subito, soprattutto nei loro tratti medio-bassi una rapida antropizzazione particolarmente intensa negli ultimi decenni. Gli alvei fluviali già particolarmente compromessi da: attività estrattive in alveo degli anni '60-'70; interventi di regimazione degli anni successivi, talvolta non adeguatamente dimensionati; entrata in funzione degli impianti di depurazione delle acque reflue nella metà degli anni '80, hanno mostrato una intensa e altrettanto rapida risposta agli squilibri indotti dall'antropizzazione testimoniando, con ogni probabilità, il superamento della soglia di sostenibilità dell'ambiente fluviale.

RINGRAZIAMENTI

Gli Autori desiderano ringraziare i due revisori anonimi per i consigli ed i suggerimenti utili a migliorare la versione originale del manoscritto.

Questo lavoro è stato eseguito con i finanziamenti dell'Università degli Studi di Camerino (FAR 2006 e 2007 - Farabollini e Materazzi).

BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS E.D. (1986) - *Downstream effects of Flaming Gorge Reservoir on the green River, Colorado and Utah*. Boll. Geol. Soc. Am., 97, pp. 1012-1023.
- ANSELMINI S. (1971) - *Economia e vita sociale in una regione italiana tra Sette e Ottocento*. Argalia, pp. 224.
- ANSELMINI S. (1985) - *Una storia dell'agricoltura marchigiana*. Cassa di Risparmio di Jesi, Consorzio librai marchigiani, Ancona.
- ARINGOLI D., BISCI C., FARABOLLINI P., FAZZINI F., GENTILI B., MATERAZZI M. & PAMBIANCHI G. (2003) - *Recent observation on erosional processes in the Potenza and Chienti river alluvial plains (central Marche, Italy)*. In: Castaldini *et al.*, Eds, "Geomorphological sensitivity and system response", Proc. VIII Italian-Romanian Workshop on Geomorphology, Camerino-Modena 4-9 luglio 2003, pp. 21-34.
- ARUNALANDAN K., SARGUNAM A., LOGANATHAN P., KRONE R.B. (1973) - *Application of chemical parameters to prediction erodibility*. In Soil erosion: causes

- and mechanism; prevention and control: Special report HRB n. 135, National Academy of Science, Washington D.C.
- BARNARD R.S. & MELHORN W.N. (1982) - *Morphologic and morphometric response to channelization: the case history of Big Pine Creek Ditch, Benton County, Indiana*. In: Craig, R.G., Craft, J.L. (Eds.), *Applied Geomorphology, Proc., 11th Binghamton Geomorphology Symposium*, pp. 224-239.
- BILLI P. & RINALDI M. (1997) - *Human impact on sediment yield and channel dynamics in the Arno river basin (central Italy)*. In: Walling et al., Eds., *Human impact on erosion and sedimentation*. Proc. Of Rabat Symp., IAHS, publ. 245, pp. 301-311.
- BIONDI E. & COLTORTI M. (1983) - *The Esino flood plain during the Holocene*. XI INQUA Congress, Moscow.
- BISCI C., DRAMIS F. & GENTILI B. (1992) - *Recent and present geomorphological evolution of river beds and mouths in central-southern Marche (Italy)*. *Geooko Plus*, **3**, pp. 83-96.
- BISCI C., FARABOLLINI P., FAZZINI M. & MARZIALETTI V. (1999) - *Influenza di fattori naturali ed antropici sull'evento alluvionale del 1992 del fiume Tronto (Italia centrale adriatica)*. Studi Geol. Camerti, Vol. Spec. "Workshop Nazionale sulle Acque: il ciclo dell'acqua", pp. 61-68.
- BRAGA G. & GERVASONI S. (1989) - *Evolution of the Po River: an example of the application of historic maps*. In: Petts, G.E., Moller, H., Roux, A.L. (Eds.), *Historical change of large alluvial rivers: Western Europe*, Wiley, pp. 113-126.
- BRANCA G. (1976) - *Studi sull'inquinamento dei fiumi Chienti e Potenza*. Amm. Prov. Macerata, pp. 198.
- BRUNELLI M. & FARABOLLINI P. (2005) - *Fenomeni di erosione e dinamica fluviale in alcuni fiumi delle Marche centro-meridionali*. In: Brunelli & Farabollini, Eds., *Dinamica Fluviale*. Ordine dei Geologi delle Marche, Tip. Bellabarba, pp. 31-64.
- BUCCOLINI M. & GENTILI B. (1986) - *Variazioni della foce in relazione all'evoluzione morfodinamica recente dei fiumi Chienti e Tenna (Marche centro-meridionali)*. Mem. Soc. Geol. It., **42**, pp. 343-349.
- BUCCOLINI M., GENTILI B., MATERAZZI M., PAMBIANCHI G. & PIACENTINI T. (2007) - *Human impact and slope dynamics evolutionary trends in the monoclinial relief of Adriatic area of central Italy*. Catena, **71**, pp. 96-109.
- CANUTI P., CENCETTI C., CONVERSINI P., RINALDI M. & TACCONI P. (1992) - *Dinamica fluviale recente di alcuni tratti dei fiumi Arno e Tevere*. In: "Fenomeni di erosione ed alluvionamento degli alvei fluviali", Ancona, pp. 21-36.
- CENCETTI C., TACCONI P. & VIGLIONE F. (1994a) - *Effetti di sistemazione d'alveo sulla dinamica fluviale di un torrente ghiaioso*. Atti Conv. "Man & Mountain '94", Ponte di Legno, 20-24 giugno 1994, pp. 221-229.
- CENCETTI C., TACCONI P. & CONVERSINI P. (1994b) - *Attività antropica e dinamica fluviale nell'alta Val Tiberina*. Atti Conv. "Man & Mountain '94", Ponte di Legno, 20-24 giugno 1994, pp. 631-656.
- CENTAMORE E. & DEIANA G. (1986) - *La geologia delle Marche*. Studi Geologici Camerti, vol. spec., pp. 145.
- CHIESA G. (1998) - *Inquinamento delle acque sotterranee. Metodi di indagine e di studio per la bonifica e la gestione delle acque inquinate*. Ulrico Hoepli Ed., Milano, pp. 696.
- COCCO E., DE MAGISTRIS M.A. & DE PIPPO T. (1978) - *Studi sulle cause dell'arretramento della costa lucano-ionica: 1- L'estrazione degli inerti lungo le aste fluviali*. Mem. Soc. Geol. It., **19**, pp. 421-428.
- COLTORTI M. (1997) - *Human impact in the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche region*. Catena, **30**(4), pp. 311-335.
- COLTORTI M. & FARABOLLINI P. (2004) - *Fluvial sedimentation in the marchean river valleys*. Field trip Guidebook, FLAG-SEQS 2004 Meeting, Siena, 7-11 september 2004, pp. 41-57.
- COLTORTI M. & FARABOLLINI P. (2007) - *Geomorphological Changes and Human Impact in the Fluvial-Coastal System of the River Tronto (Italy)*. *Quat. Int.*, in stampa.
- COLTORTI M., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1995) - *Evoluzione geomorfologica ed impatto antropico nei sistemi idrografici delle Marche: riflessi sull'ambiente fisico*. Mem. Soc. Geol. It., **LIII**, pp. 271-292.
- CONTI A., DI EUSEBIO L., DRAMIS F. & GENTILI B. (1983) - *Evoluzione geomorfologica recente e processi in atto nell'alveo del Tenna (marche meridionali)*. Atti XXIII Congr. Geogr. It., **2**(3), pp. 53-56.
- DESCROIX L. & GAUTIER E. (2002) - *Water erosion in the southern French Alps: climatic and human mechanism*. Catena, **50**, pp. 53-85.
- DESPLANQUES H. (1975) - *Campagne ombre: contributo allo studio dei paesaggi rurali dell'Italia centrale*. Quaderni Regionali dell'Umbria, Perugia, **1**, pp. 135.
- DRAMIS F. & GENTILI B. (1975) - *La frequenza areale di drenaggio ed il suo impiego nella valutazione quantitativa dell'erosione lineare di superfici con caratteristiche omogenee*. Mem. Soc. Geol. It., **14**, pp. 337-349.
- DUTTO F. & MARAGA F. (1994) - *Variazioni idrografiche e condizionamento antropico. Esempi in pianura padana*. Il Quaternario, **7**, pp. 381-390.
- ESPOSITO L. & DIOGENE G. (2002) - *Effetti dell'inquinamento sul comportamento meccanico dei terreni*. Quad. Geol. Appl., **9**(2), pp. 5-22.
- FARABOLLINI P. (1995) - *Evoluzione geomorfologica quaternaria della fascia periadriatica tra Ancona e Vasto*. Tesi di dottorato inedita, Università di Perugia, pp. 155.
- FARABOLLINI P., GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (2000) - *Impatto antropico e dinamica fluviale nei bassi fondivalle delle Marche centro-meridionali e dell'Abruzzo settentrionale*. Atti Conv. "Le pianure. Conoscenza e salvaguardia", Ferrara, 9-11 novembre 1999, pp. 51-55.
- FAZZINI M. & GIUFFRIDA A. (2005) - *Une nouvelle proposition quantitative des regimes pluviométriques dans le territoire de l'Italie: premiers resultats*. In : Climat Urbain, Ville et Architecture, Actes XVIII Colloque Internationale de Climatologie, Genes, pp. 361-365.
- FETTER C.W. (1999) - *Contaminant Hydrogeology*. Prentice Hall, pp. 500.
- GENTILI B. (2002) - *Note di Geomorfologia del Parco*

- Nazionale dei Monti Sibillini. Quaderni scientifico-divulgativi, Parco Nazionale dei Monti Sibillini, n.6, Anibaldi, Ancona, pp. 50.
- GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - *Morfogenesi fluviale ed attività antropica nelle Marche centro-meridionali*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **10**, pp. 204-217.
- GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (2002) - *La dégradation géomorphologique dans quelques régions viticoles et vinicoles des Marches (Italie centrale)*. Géologues, **135**, pp. 107-113.
- HOOKE J.M. (2007) - *Human impacts on fluvial systems in the Mediterranean region*. Geomorphology, **79**, pp. 311-355.
- KELLERHALS R. (1982) - *Effects of river regulation on channel stability*. In: Hey et al., Eds., *Gravel bed rivers*. Wiley, Chichester, pp. 685-715.
- KLINGEMAN P.C., BRAVARD J.P. & GIULIANI Y. (1994) - *Les impact morphodynamiques sur un cours d'eau soumis à un aménagement hydroélectrique à dérivation: le Rhone en Chautagne (France)*. Rev. Geogr. Lyon, **69**(1), pp. 75-89.
- LAMBERTI A. (1993) - *Le modificazioni recenti verificatesi nell'asta principale del Po e problemi connessi*. Acqua-Aria, **6**, pp. 589-592.
- LAJECZAK A. (1995) - *The impact of river regulation, 1850-1990, on the channel and floodplain of the upper Vistula river, southern Poland*. In: HICKIN, Ed., *River geomorphology*. John Wiley, New York, pp. 209-233.
- LE ROY LADURIE E., (1971) - *Times of Feast, Times of Famine: A History of Climate since the Year 1000*. Trans. B. Bray, New York, Doubleday, 426 pp.
- MARAGA F. & MORTARA G. (1981) - *Le cave per inertii lungo i corsi d'acqua: rapporti con la dinamica fluviale*. Bollettino Associazione Mineraria Subalpina, **18**(3-4), pp. 385-395.
- MARCHETTI M. (2002) - *Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities*. Geomorphology, **44**, pp. 361-373.
- MATTIAS P. (2004) - *Appunti di Mineralogia nei problemi ambientali di inquinamento*. Quaderni della Facoltà di Scienze MM.FF.NN., pp. 66.
- OSMAN A.M. & THORNE C.R. (1988) - *River bank stability analysis*. Jour. Of Hydraulics Dvn., A.S.C.E., **114**(2).
- PAREA G.C. (1978) - *Trasporto dei sedimenti ed erosione costiera lungo il litorale tra il Tronto e il Fortore (Adriatico centrale)*. Mem. Soc. Geol. It., **19**, pp. 361-367.
- PELLEGRINI M. & ZAROTTI L. (1975) - *Un esempio di erosione accelerata in alveo: il torrente Tiepido presso Maranello (Modena)*. Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, **106**, pp. 145-156.
- PELLEGRINI M., PEREGO S. & TAVAGLINI S. (1980) - *La situazione morfologica degli alvei degli affluenti emiliani del Po*. Min. Lav. Pubbl., Magistrato del Po, Parma.
- PETIT F., POINSART D. & BRAVARD J.P. (1996) - *Channel incision, gravel mining and bedload transport in the Rhone river upstream of Lyon, France ("canal de Mirabel")*. Catena, **26**, pp. 209-226.
- PETTS G.E. (1979) - *Complex response of river channel morphology subsequent to reservoir construction*. Progr. Phys. Geogr., **3**, pp. 329-362.
- PINNA M. (1984) - *La storia del clima: variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età post-glaciale*. Mem. Soc. Geogr. It., **36**, pp. 264.
- RAGLIONE M. & RODOLFI G. (1977) - *Osservazione sui processi morfogenetici in atto nel basso corso del fiume Soleo (Calabria)*. Ann. Ist. Sper. Studio Difesa del Suolo, **8**, pp. 37-63.
- RINALDI M. & RODOLFI G. (1995) - *Evoluzione olocenica della pianura alluvionale e dell'alveo del fiume Sieve nel Mugello (Toscana)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **18**, pp. 57-75.
- RINALDI M. & SIMON A. (1998) - *Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy*. Geomorphology, **22**, pp. 57-71.
- ROVERI E. (1964) - *Sul ciclo di erosione rinnovatosi lungo i corsi d'acqua dell'Appennino emiliano*. Boll. Soc. Geol. It., **84**, pp. 289-309.
- SABATO L. (1994) - *Human impact on alluvial environments in Calabria (Southern Italy)*. Mem. Soc. Geol. It., **48**, pp. 935-941.
- SEAR D.A. & ARCHER D. (1988) - *Effects of gravel extraction on stability of gravel-bed rivers: the Woole Water, Northumberland, UK*. In: KLINGEMAN et al., Eds., *Gravel-bed Rivers in the Environment*. Water Resources Publications, LLC, pp. 415-432.
- SERENI E. (1979) - *Storia del paesaggio agrario italiano*. Laterza, Bari, 484pp.
- SIMON A. & RINALDI M. (2006) - *Disturbance, stream incision, and channel evolution: The roles of excess transport capacity and boundary materials in controlling channel response*. Geomorphology, **79**, pp. 361-383.
- SURIAN N. (1999) - *Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy*. Earth Surf. Proc. Land., **24**, pp. 1135-1151.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2003) - *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy*. Geomorphology, **50**, pp. 307-326.
- TAGLIAVINI S. (1975) - *Aspetti e problemi geomorfologici connessi con l'attività estrattiva dell'Emilia occidentale*. Atti Conv. "Cave e assetto del territorio", Bologna, 17 maggio 1975.
- VEGGIANI A. (1963) - *Ancora un esempio dei danni causati dalla ripresa del ciclo erosivo dei fiumi appenninici*. Boll. C.C.I.A.A., **17**, pp. 17.
- WILLIAMS G.P. & WOLMAN M.G. (1984) - *Downstream effects of dams on alluvial rivers*. U.S. Geological Survey Professional Paper, 1286, pp. 83.
- WILSON K.V. & TURNIPSEED D.P. (1994) - *Geomorphic response to channel modifications of Skuna River at the State Highway 9 crossing at Bruce, Calhoun County, Mississippi*. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, vol. 94-4000, pp. 43.
- WINKLEY B.R. (1982) - *Response of the lower Mississippi to river training and realignment*. In: HEY et al., Eds. *Gravel-bed rivers*. Wiley, Chichester, pp. 652-681.
- WOHL E. (2006) - *Human impacts to mountain streams*. Geomorphology, **79**, pp. 217-248.

Ms. ricevuto il 21 dicembre 2007
 Testo definitivo ricevuto il 18 marzo 2008

Ms. received: December 21, 2007
 Final text received: March 18, 2008

