

## CLIMA E ATTIVITÀ UMANE COME CAUSE DEI CAMBIAMENTI FLUVIALI - IL CASO DEL FIUME PO

Mauro Marchetti

Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Modena e Reggio Emilia, Largo S. Eufemia 19, 41100 Modena, Italia.  
e-mail: mauro.marchetti@unimore.it

RIASSUNTO: Marchetti M., *Clima e attività umane come cause dei cambiamenti fluviali - Il caso del Fiume Po* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

I cambiamenti nella dinamica fluviale possono essere imputati a cause diverse; tra queste le principali sono sicuramente quelle climatiche e quelle antropiche. Spesso i cambiamenti sono repentini anche se la loro preparazione è avvenuta in tempi molto lunghi; di fatto in queste fasi preparatorie, il sistema fluviale si è avvicinato a soglie limite che una volta superate hanno provocato una brusca accelerazione nei processi di erosione o di sedimentazione fluviale. I più conosciuti effetti sull'ambiente fluviale che si manifestano in queste occasioni sono, infatti, inversioni di tendenza tra fasi di sedimentazione e fasi di erosione. L'incisione o la sedimentazione nei corsi d'acqua dipendono dal rapporto tra portata solida e portata liquida nel fiume pur non dovendosi trascurare altri fattori come ad esempio variazioni del livello di base o cause tettoniche. Quando il rapporto è spostato verso la portata solida risulta fondata la possibilità che si verifichino processi di aggradazione, mentre se il rapporto è spostato verso la portata liquida aumentano le probabilità che si manifestino processi erosivi.

Durante l'evoluzione recente della Pianura Padana si assiste a momenti contraddistinti da forte sedimentazione, ad esempio quello verificatosi durante l'Ultimo Massimo Glaciale, e da momenti di intensa erosione, come ad esempio ai nostri giorni oppure durante il Tardiglaciale. Alcuni di questi eventi sono chiaramente influenzati da cause climatiche (fasi glaciali e deglaciazione) altri da cause diverse tra cui quelle antropiche sono spesso preponderanti.

In questo lavoro si cercherà di definire alcuni di questi momenti significativi nell'evoluzione postglaciale della Pianura Padana e di analizzare anche situazioni in cui entrambe le cause si sovrappongono e si mascherano reciprocamente.

ABSTRACT: Marchetti M., *Climate and human activities as causes of fluvial modifications - The case of the Po Plain.* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

*Changes of fluvial dynamics in a plain are due to many causes. It is so difficult to evaluate one as the main cause of the environmental changes in a fluvial plain and in its hydrographic network. Rivers, in fact, can suffer rapid and significant changes in their behavior as a consequence of also moderate but extended variations of hydrological parameters that can be recognized only by instrumental measures. Perhaps the fluvial system, as many other natural systems, can maintain, between characteristic thresholds, a certain energetic inertia in its behavior. When a threshold is exceeded fluvial processes change quickly and fluvial landforms may be strongly modeled.*

*In the fluvial system events that produce more rapid and disturbing transformations there are those that induce erosion rather than sedimentation. Historically in fact, exaggerated sedimentation problems have been impossible to manage during several decades when man has constrained rivers in fixed tracks between narrow embankments. Before systematic human management of the fluvial system, aggradation phases spread out into large areas while erosion phases are always concentrated along riverbeds. Incision or aggradation depends on ratio solid/water discharge in a riverbed. The more the ratio is unbalanced towards sediment availability, the higher the sedimentation rate is; on the contrary, scarceness sediment availability induces a tendency to erosion. Obviously, total discharge and velocity play an important role. In fact a river inclined to erosion processes but characterized by scarce total discharge and velocity is not able to evacuate large gravels or large amounts of sediment in a short time.*

*The present day generalized erosion phases in northern Italy are considered the consequence of the growing human impact after the unity of Italy. On the contrary in the past, when human impact was less important, fluvial dynamic was principally controlled by natural causes. Among them, climatic changes have been the most common cause of fluvial modifications.*

*In the Po Plain, the climatic change at the end of the Last Glacial Maximum (LGM), which caused the changes in fluvial dynamics, was the last largest formative event.*

*In the northern foothills, Late Pleistocene palaeochannels indicate several cases of underfit streams among the northern tributaries of the Po River. On the other hand, on the southern side of the Po Plain no geomorphological evidence of similar discharge reduction has been found. Here stratigraphic sections, together with archaeological remnants buried under the fluvial deposits, show a reduction in the grain-size of fluvial sediments after the 10<sup>th</sup> millennium B.C. During the Holocene, fluvial sedimentation became finer, and was characterised by minor fluctuation in the rate of deposition, probably related to shorter and less intense climatic fluctuations.*

*Given the high rate of population growth and the development of human activities since the Neolithic Age, human influence on fluvial dynamics, especially since the Roman Age, prevailed over other factors (i.e. climate, tectonics, vegetation, etc.). During the Holocene, the most important changes in the Po Plain were not modifications in water discharge but in sediment supply. At present, abandonment of the mountainous region leading to reforestation and artificial control in the mountain sector of the basins but also in-channel quarrying (now illegal but very intense in the 1960s and 1970s) are causing erosion along rivers and large sectors of the Adriatic coast. These changes are comparable to those occurring in basins of other Mediterranean rivers.*

Parole chiave: Erosione fluviale, aggradazione fluviale, Pianura Padana, variazioni climatiche, impatto antropico.

Keywords: Channel degradation, fluvial aggradation, Po Plain, climatic change, human impact.

### 1. INTRODUZIONE

I problemi di erosione fluviale, sono di solito affrontati in modo puntuale, a prescindere dal contesto generale delle dinamiche in atto nell'intero bacino. Un'analisi della situazione generale dei corsi d'acqua dimostra in realtà cambiamenti generalizzati nel loro

stato idrodinamico in ben determinati momenti della storia geologica recente o ancor più negli ultimi millenni. Dagli anni '60, ad esempio, molti corsi d'acqua che scorrono in Pianura Padana, soprattutto i tributari di destra del Fiume Po, hanno fatto registrare una sensibile diminuzione del loro carico solido (CASTIGLIONI & PELLEGRINI G.B., 2001). A questo proposito, IDROSER

(1983) stima tra gli anni '40 e '70 una riduzione media della torbidità nel Po pari all'1% annuo, pur rimanendo invariato il regime dei deflussi liquidi, nonché una riduzione totale del trasporto torbido a mare tra il 1945 ( $8.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ ) e il 1972 ( $6.4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ ) del 25%. Numerosi studi realizzati nell'ultimo trentennio rilevano tra l'altro, oltre alla sensibile riduzione del trasporto solido totale (PELLEGRINI M., 1969; PELLEGRINI M. *et al.*, 1979; DAL CIN, 1983; VITTORINI, 1991), anche una variazione nello spettro granulometrico del sedimento trasportato e una significativa prevalenza del trasporto torbido su quello di fondo IDROSER (1994). La ragione di questa generalizzata diminuzione del trasporto solido nei corsi d'acqua registrata dopo la fine della seconda guerra mondiale è stata attribuita a cause prevalentemente antropiche sia dirette (estrazione di inerti dagli alvei, costruzione di dighe e traverse, etc.) sia indirette (sistemazione di bacini montani, riduzione dell'agricoltura nelle aree marginali etc.).

Le conseguenze di queste azioni si sono dimostrate particolarmente rilevanti, a volte con costi economici considerevoli; in particolare, si è notata una generalizzata tendenza all'approfondimento degli alvei (SURIAN & RINALDI, 2003) che ha compromesso la stabilità di vari manufatti, soprattutto ponti oltre a consistenti erosioni di sponda (Fig. 1).

Più indietro nel tempo, sicuramente prima del progressivo popolamento umano nella Pianura Padana (almeno dal Neolitico), quando le attività umane sul territorio potevano considerarsi trascurabili, le cause dei principali cambiamenti idrodinamici dovevano essere direttamente da ricollegarsi alle variazioni climatiche e, nelle aree più distali della pianura, in parte anche con le variazioni eustatiche comunque a loro volta in parte influenzate dalle variazioni climatiche globali. Il passaggio da condizioni climatiche glaciali a condizioni post-glaciali ha indubbiamente provocato grandi cambiamenti nel regime idraulico dei corsi d'acqua della Pianura Padana. Tali cambiamenti si possono studiare in termini di corpi sedimentari (GUZZETTI *et al.*, 1997; AVIGLIANO *et al.*, 2002; MONEGATO *et al.*, 2007), soprattutto grandi conoidi alluvionali e forme di erosione, ad esempio i vasti terrazzi in aree interne alla attuale pianura.

Nel periodo compreso tra il Neolitico e l'età moderna si assiste ad un sempre maggiore peso del fattore umano rispetto a quello climatico come responsabile di modificazioni entro i bacini idrografici e conseguentemente anche entro i fiumi stessi. Oltre a queste due variabili principali (clima e uomo) dobbiamo ricordare anche la situazione tettonica generale e locale nei vari bacini idrografici che comunque partecipa, seppur con minor intensità, a determinare l'evoluzione idrografica della pianura Padana. A questo proposito è sufficiente ricordare la situazione del F. Lambro che subisce un'apparente deviazione verso NE rispetto all'anda-

mento naturale degli affluenti di sinistra del F. Po verso S e SE (PELLEGRINI L. *et al.*, 2003). La presenza di analoghe culminazioni di thrust tuttora in sollevamento poco sotto la superficie della piana è anch'essa responsabile di qualche anomalia nei fiumi dell'Emilia orientale e della Romagna. In generale, l'influsso tettonico sui grandi cambiamenti idrografici della Pianura Padana non si manifesta in modo diretto, poiché l'entità dei movimenti in atto risulta lento e facilmente compensato dalle azioni dirette dei corsi d'acqua.

## 2. LE CAUSE DI EROSIONE E AGGRADAZIONE NEI CORSI D'ACQUA

I corsi d'acqua presentano condizioni energetiche estremamente variabili sia nello spazio e sia nel tempo, per questo risulta difficile identificare tratti soggetti esclusivamente ad azioni erosive o ad azioni di sedimentazione. Più spesso nello stesso tratto si alternano fasi di erosione a fasi di sedimentazione e allo stesso modo in tratti adiacenti dello stesso fiume si possono rilevare condizioni idrodinamiche anche alquanto diverse. Per questo quando si considera un tratto di corso d'acqua o una sponda dello stesso, potremo asserire che essi sono in erosione o in sedimentazione se nell'arco di un tempo sufficientemente lungo prevale un fenomeno rispetto all'altro.

Le condizioni responsabili della sedimentazione o dell'erosione in alveo sono direttamente collegate all'energia del corso d'acqua, e quindi fondamentalmente alla cosiddetta *stream power* (BAGNOLD, 1966; KNIGHTON, 1999). La potenza della corrente (*stream power*) per unità di lunghezza ( $\Omega = \gamma Qs$ ) è espressa in W/m, sapendo che:  $\gamma$  è il peso specifico dell'acqua in movimento nel canale,  $Q$  è la portata e  $s$  il gradiente di pendio.

Questa quantità rappresenta l'energia in gioco nei processi fluviali, variabile durante l'anno essenzialmente in rapporto alle diverse portate, velocità e torbidità della massa d'acqua in transito.

Gli effetti di questa disponibilità di energia si traducono in processi erosivi o deposizionali sulla base di



Fig. 1 - Erosione dell'alveo del Fiume Secchia, poco a valle di Sassuolo (Modena).  
Channel degradation in the Secchia River, downvalley Sassuolo (Modena).

un altro importante fattore costituito dalla quantità di detrito trasportabile effettivamente disponibile. Anche questo fattore, teoricamente di semplice definizione è in realtà un parametro difficile da quantificare perchè non indipendente dalla *stream power*. Esso infatti è influenzato da velocità e portata delle acque che fluiscono nel canale, da rapportarsi comunque alla granulometria dei detriti entro il canale. E' inoltre dipendente da svariati altri eventi nell'intero bacino idrografico, nel caso si considerino gli effetti della piovosità, il contributo di detrito verso il canale differisce da corso d'acqua a corso d'acqua in relazione soprattutto alla litologia prevalente, alla morfologia, all'uso del suolo, agli interventi diretti in alveo etc.

Incrementi generalizzati di portata in un corso d'acqua dovuti ad eventi di natura diversa (variazioni climatiche, azioni dell'uomo etc.) che si manifestano nel bacino di alimentazione, possono portare indistintamente a condizioni di erosione o di sedimentazione generalizzata. Allo stesso modo una diminuzione di portata può causare indifferentemente erosione o sedimentazione (STARKEK, 1983). A questo proposito, il grafico di Figura 2 consente, nella sua semplicità, di individuare condizioni di sedimentazione sia durante periodi di portata crescente e sia durante periodi di portate meno abbondanti. Allo stesso modo, anche l'erosione può verificarsi durante periodi sia di maggior portata idrica sia di scarsa disponibilità d'acqua. Ciò che determina lo spostamento da aggradazione ad erosione o viceversa è il rapporto tra disponibilità di acqua e disponibilità di detrito. Se il rapporto si sbilancia verso la portata liquida a discapito della portata solida si manifestano a processi erosivi, mentre se lo sbilancio è a favore della portata solida i processi prevalenti diven-

gono di sedimentazione (LANE, 1955).

Stream power e disponibilità di detrito trasportabile sono influenzati sia dalle variazioni climatiche sia dalle attività umane. Infatti, l'uomo può agire sulle portate dei fiumi derivando o immettendo nuovi apporti o anche solo regolando il regime degli stessi, può agire sulle pendenze con opportune opere idrauliche (es. le briglie) ma può anche intervenire direttamente sulla disponibilità di detrito ad esempio asportandolo (es. cave in alveo) o agire indirettamente modificando l'uso del suolo su vaste aree del bacino idrografico. In questo ultimo caso si producono cambiamenti che possono assumere aspetti parossistici ma che in realtà discendono da lunghi periodi di quiescenza che servono a raggiungere il disequilibrio e a superare una soglia limite (BRUNSDEN, 1993). La trasformazione di aree incolte in aree coltivate, periodicamente scoperte e libere da vegetazione, comporta generalmente un aumento di detrito in grado di affluire ai corsi d'acqua mentre l'abbandono della campagna ma ancora di più della montagna, soprattutto se accompagnato da riforestazione e risistemazione idraulica, diminuisce drasticamente il trasporto solido dei corsi d'acqua.

I cambiamenti climatici producono effetti simili essendo in grado di modificare direttamente o indirettamente le portate, la produzione di detrito e la stabilità del detrito nel bacino idrografico. I corsi d'acqua alimentati da calotte glaciali, infatti, tendono ad avere portate formative decisamente maggiori degli stessi fiumi in condizioni non glaciali (MARCHETTI, 1990). Le stesse condizioni glaciali nel bacino di alimentazione sono in grado di produrre enormi volumi di detrito non comparabili con i processi attivi in periodi di clima temperato. In aggiunta a questo, durante le fasi interglaciali,

la crescita più rigogliosa della vegetazione è responsabile di un aumento della resistenza alla mobilità dei detriti disponibili nel bacino. A questo scopo si ricordi che il trasporto solido dei corsi d'acqua tropicali si riduce a ben poca cosa, essendo il materiale coinvolto costituito prevalentemente da sostanza organica e detriti finissimi. Questi sono in genere il prodotto del dilavamento dei potenti suoli ricchi di minerali argillosi formati in conseguenza dei rilevanti processi di alterazione chimica del substrato.

### 3. I PROCESSI DI MODELLAMENTO FLUVIALE A MEDIA SCALA IN PIANURA PADANA

Di seguito saranno analizzati tre momenti di intenso disequilibrio registrati negli ultimi 12000 anni. Il primo è rappresentato dai cambiamenti ambientali conseguenti al ritiro dei ghiacciai dopo l'Ultimo Massimo Glaciale, probabilmente già

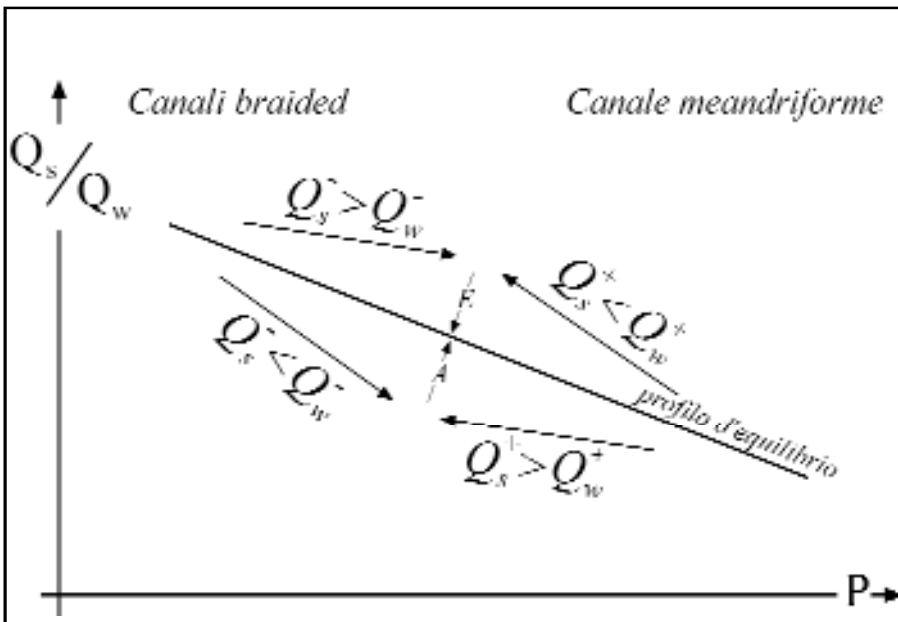


Fig. 2 - Situazioni di aggradazione (A) ed erosione (E) fluviale, su di un profilo longitudinale in condizioni di equilibrio, al variare del rapporto tra portata solida ( $Q_s$ ) e portata liquida ( $Q_w$ ), rispetto alla sinuosità ( $P$ ). L'erosione si può manifestare sia quando le portate diminuiscono ( $Q^-$ ) (cfr.  $Q_s^- > Q_w^-$ ) sia quando aumentano ( $Q^+$ ) (cfr.  $Q_s^+ < Q_w^+$ ) (modificato da STARKEK, 1983).

Aggradation (A) and erosion (E) along the longitudinal profile of a river at change of ratio between bedload ( $Q_s$ ) and discharge ( $Q_w$ ).  $P$  represents sinuosity. Erosion occurs when discharge is both lowering ( $Q^-$ ) ( $Q_s^- > Q_w^-$ ) and growing ( $Q^+$ ) ( $Q_s^+ < Q_w^+$ ) (modified from STARKEK, 1983).

durante il Tardiglaciale (RAVAZZI *et al.*, in stampa), il secondo intervenuto più gradualmente coevo alla colonizzazione umana della Pianura Padana a partire dal Neolitico e il terzo attualmente in corso e costituito dall'erosione accelerata dei corsi d'acqua a partire dal dopoguerra. L'aumento del popolamento così come i sempre più pesanti interventi umani sul territorio hanno prodotto conseguenze sui corsi d'acqua della Pianura Padana simili a quanto si può osservare anche in altre aree industrializzate dell'Europa sudoccidentale (LONDON & PIEGAY, 1994; BRAVARD *et al.*, 1997; RINALDI & SIMON, 1998).

La Pianura Padana è la più grande piana alluvionale italiana occupando un'area di circa 46000 km<sup>2</sup> (15% del territorio nazionale). E' attraversata dal Fiume Po, fiume di 652 km che drena un bacino di oltre 75000 km<sup>2</sup>. Lo studio dell'evoluzione geomorfologica della Pianura Padana ci rivela diverse fasi di aggradazione avvenute durante più momenti del Quaternario, alternate a meno durature crisi caratterizzate da intensi processi di erosione fluviale. Tali alternanze di sedimentazioni ed erosioni fluviali sono testimoniate dalla presenza di vaste unità fisiografiche costituite per lo più da estesi terrazzi fluviali di difficile datazione radiometrica

per la scarsità di campioni databili in prossimità della superficie, ma ricche di elementi in grado di chiarirne l'evoluzione generale. Le superfici più estese che compaiono rispettivamente a nord e a sud del Po presentano età differente e quella settentrionale è la più antica (CREMASCHI & MARCHETTI, 1995).

Sul bordo settentrionale della Pianura Padana centrale si affacciano larghi anfiteatri morenici (unità 5 di Figura 3) che testimoniano la discesa fino in pianura di imponenti lingue glaciali che si distaccavano dalla grande calotta alpina durante l'Ultimo Massimo Glaciale. L'ultima grande avanza glaciale si manifestò tra 24 e 18 <sup>14</sup>C ka BP (OROMBELLI, 1983; CREMASCHI, 1987; MONEGATO *et al.*, 2007; RAVAZZI *et al.*, in stampa) mentre dagli Appennini nessuna lingua glaciale riuscì a giungere fino in pianura (CASTIGLIONI *et al.*, 1997).

Lungo il bordo della pianura sono presenti superfici terrazzate quasi continue, contraddistinte da suoli rubefatti profondi e inglobanti coperture policicliche di loess (CREMASCHI, 1987; 1990). Queste superfici sono testimoni sul bordo alpino di piane fluvio-glaciali e/o fluviali più antiche e sul bordo appenninico di un penepiano coevo alle precedenti costituito da una serie continua di conoidi fluviali coalescenti (Unità 4 di Figura 3).

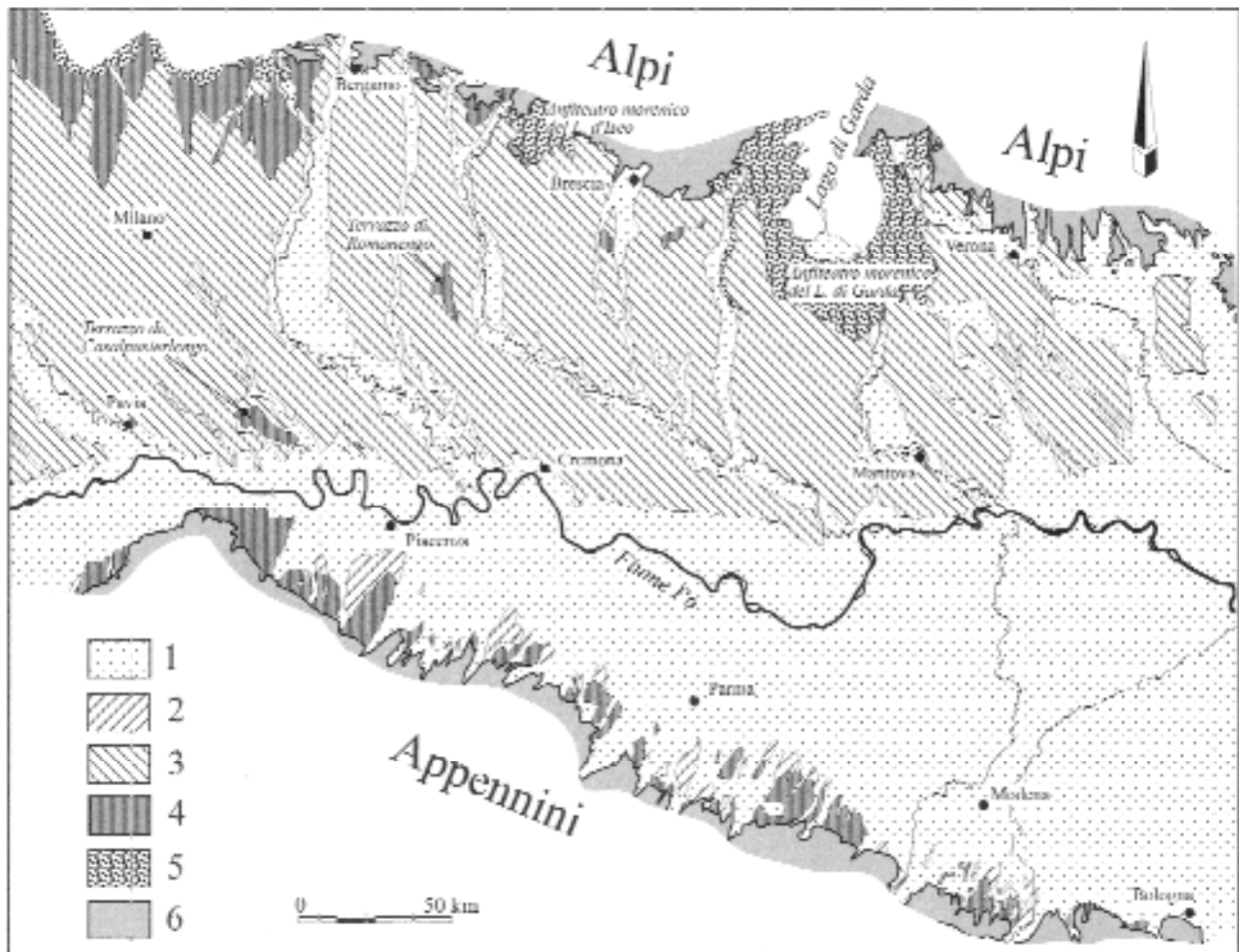


Fig. 3 - Schema delle principali unità fisiografiche presenti nella Pianura Padana centrale: 1) unità delle alluvioni oloceniche, 2) unità tardopleistocenica "bajada pedeappenninica", 3) unità tardopleistocenica "livello fondamentale della pianura pedealpina", 4) unità dei terrazzi antichi, 5) unità degli anfiteatri morenici, 6) substrato pre-Quaternario.

Map of the main physiographic units in the central Po Plain: 1) Holocene alluvial unit, 2) Late Pleistocene "bajada" at the Apennine boundary, 3) Late Pleistocene "livello fondamentale della Pianura" (main level of the plain), 4) Old terraces, 5) Moraine amphitheatres, 6) Bedrock.

Isolati nella piana, emergono inoltre alcuni lembi relitti di tali superfici (terrazzi isolati di Romanengo, Casalpusterlengo e, poco ad ovest dell'area rappresentata in Figura 3, Novara).

Esternamente alle superfici terrazzate delle unità antiche, si presenta nelle aree della pianura pedemontana una grande unità costituita da *megafan* coalescenti (GUZZETTI *et al.*, 1997) prodotti dalla sedimentazione durante l'Ultimo Massimo Glaciale (MARCHETTI, 1992; 1996). La superficie sommitale di tale unità (unità 3 di Figura 3), conosciuta in letteratura con il nome di "livello fondamentale della pianura" (PETRUCCI & TAGLIAVINI, 1969), è interessata dalla presenza di tracce di antica idrografia sovradimensionata rispetto all'attuale (Fig. 4) e da tracce di idrografia abbandonata *braided* localizzate ben più a meridione di quanto si può riscontrare per l'attuale idrografia (MARCHETTI, 1996; 2001). Lungo il bordo appenninico (unità 2 di Figura 3), può essere identificata una superficie meno estesa e correlabile in età a quella del "livello fondamentale della pianura" dovuta alla coalescenza di conoidi alluvionali (*bajada*) accresciutisi principalmente durante le fasi fredde e secche dell'Ultimo Massimo Glaciale.

Entrambe queste unità risultano interessate da profonde incisioni generate durante il Tardiglaciale che hanno costretto i principali affluenti del Po entro "valli a cassetta" caratterizzate da versanti subverticali, costituiti da scarpate di altezza decrescente da monte a valle (Fig. 5). Gli affluenti alpini permangono tuttora in tale situazione mentre gli affluenti appenninici, dopo aver subito fasi di sedimentazione olocenica che hanno favorito il colmamento delle precedenti incisioni vallive, hanno cominciato a divagare sulla piana caratterizzando quest'ultima con una fitta rete di dossi fluviali a testimoniare frequenti cambi di tracciato durante l'Olocene più recente (CASTALDINI, 1989; MARCHETTI, 2001). Le modalità della fase di incisione fluviale Tardiglaciale devono essere state rapide e drammaticamente intense poiché gli orli di scarpata delle valli a cassetta presentano intatte le curvature di corsi d'acqua sovradimensionati rispetto agli attuali, in generale congruenti con le tracce abbandonate presenti alla superficie del "livello fondamentale della pianura". Le fasi di rapida incisione possono giustificarsi solamente ammettendo un brusco calo di portata solida in concomitanza con scarse variazioni di portata liquida dei fiumi avvenuta durante la deglaciazione. Tale

situazione deve essersi sviluppata in occasione della liberazione da parte dei ghiacci dei grandi bacini lacustri pedemontani. Tali bacini accolsero in questa fase la maggior parte dei sedimenti provenienti dalle aree alpi-

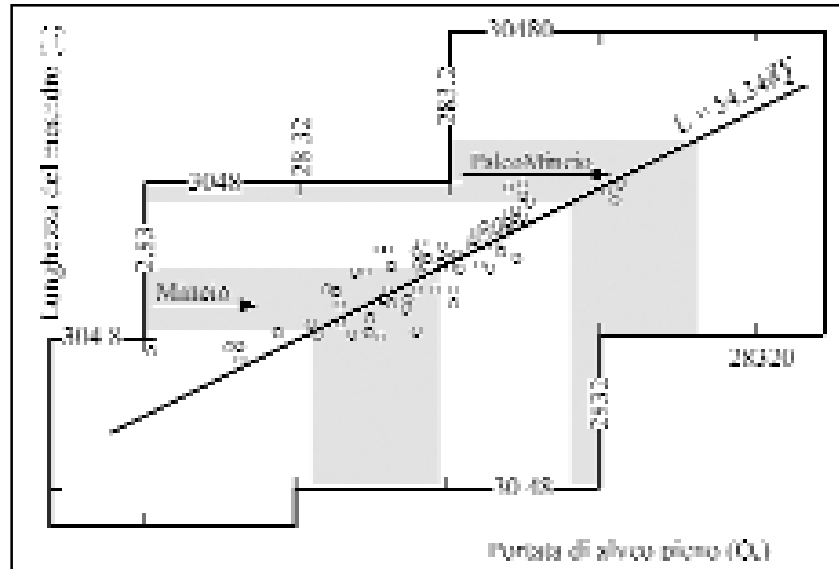


Fig. 4 - Relazione tra la lunghezza d'onda dei meandri ( $L$ ) espressa in metri e la portata di alveo pieno ( $Q_b$ ) espressa in  $m^3/s$ . Le aree grigie indicano il campo di variazione delle portate e delle lunghezze d'onda dei meandri dell'attuale Fiume Mincio e delle tracce di un suo tracciato tardopleistocenico (modificato da MARCHETTI, 2002). I cerchi rappresentano misure tratte da SCHUMM (1977) mentre la retta è frutto di un'interpolazione proposta da DURY (1964).

Relation between length (metres) of meanders and discharge (cubic metres per second). Gray areas represent range of length and discharge of the present R. Mincio and of its Late Pleistocene palaeocourse (modified from MARCHETTI, 2002). Dots are measures from SCHUMM (1977) while the line is an interpolation due to DURY (1964).

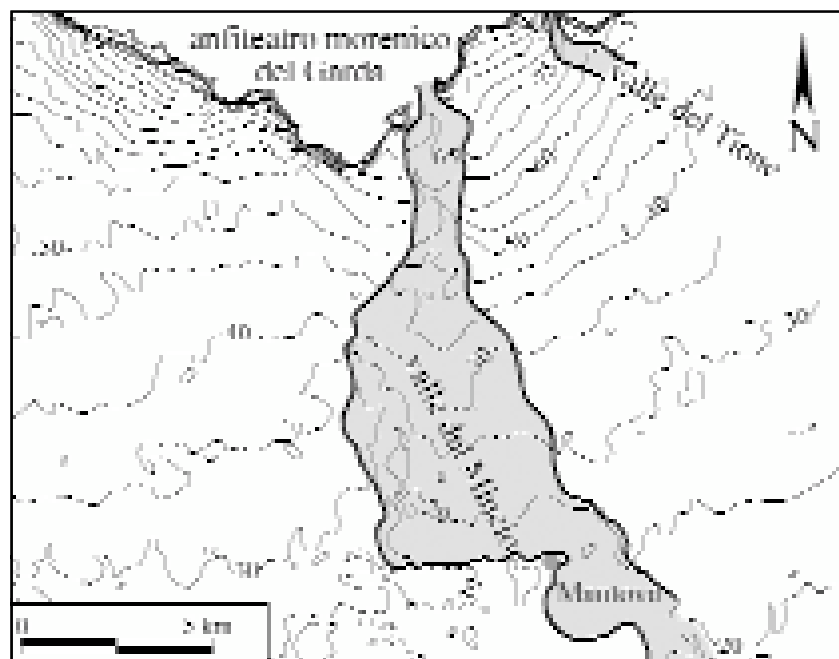


Fig. 5 - Rappresentazione della pianura mantovana a sud dell'anfiteatro morenico benacense. In evidenza le aree grigie delimitate da scarpate plurimetrie che contraddistinguono la valle a cassetta del Mincio e la più piccola valle del Tione.

Map of the northern Mantova plain, south of the moraine amphitheatre of L. Garda. Gray areas, bounded by metric scarps, are the deep valleys of the R. Mincio (larger) and R. Tione (narrower).

ne, abbattendo a valle degli stessi la quantità di detrito trasportabile. Per tale motivo tutti i corsi d'acqua che defluiscono da un grande lago prealpino scorrono entro queste profonde valli a cassetta (a volte veri e propri canyon nell'alta pianura) ancora definite a pochi chilometri dalla confluenza in Po. I corsi d'acqua che non hanno mai avuto relazione diretta con un bacino lacustre (ad esempio il Serio e il Mella) non evidenziano tracce evidenti di tale fase d'incisione, similmente a quanto si può intravedere sul lato appenninico della Pianura Padana. Tale situazione si accorda in buona parte con le fasi di aggradazione oloceniche della pianura, fino ad ora ben evidenziate sul lato appenninico (CASTALDINI, 1989; GASPERI *et al.*, 1989; BONDESAN *et al.*, 1995) e da poco individuate anche su quello alpino (DE ADDIS *et al.*, 2007).

L'influsso antropico comincia ad essere apprezzabile con il Neolitico risultando considerevole già a partire dal Bronzo medio, da quando la Pianura Padana comincia a subire disboscamenti sempre più intensi (SCHNEIDER, 1985). Durante il periodo Romano circa il 60% dell'area padana era già deforestata e convertita alle coltivazioni e a partire dal secondo secolo a.C. iniziava la suddivisione agraria centuriale (Tozzi, 1972). Come conseguenza di questa intensa colonizzazione, i suoli della Pianura Padana subirono importanti fasi di erosione e infatti la maggior parte di quelli olocenici sono profondi meno di un metro. Essi risultano troncati dall'erosione, mostrando a volte i resti basali dell'orizzonte B<sub>t</sub> argillico più antico su cui si è evoluto un più recente orizzonte A, mentre nella maggior parte dei casi tale orizzonte A è direttamente sovrapposto agli originali depositi non pedogenizzati (Fig. 6). L'intensa e generalizzata erosione nei bacini di alimentazione (anche nella parte montana) è registrata anche nei corrispondenti depositi correlativi presenti nel delta del Po e nei litorali dell'alto Adriatico in progradazione più spinta rispetto ai secoli precedenti (FAVERO, 1984; BONDESAN *et al.*, 1995).

La sedimentazione, forse interrotta o rallentata per un breve periodo in seguito allo spopolamento post romano, riprese intensa in concomitanza di una sopraggiunta fase di maggior umidità (VEGGIANI, 1974). Tale fase di sedimentazione si manifestò soprattutto nelle aree depresse di bassa pianura delimitate da dossi che ne rendevano difficile il drenaggio. Alcune aree precedentemente centuriate subirono il seppellimento (CREMASCHI *et al.*, 1980; RAVAZZI, 1989).

Nella pianura modenese, le tracce di centuriazione romana appaiono perciò discontinue, ben

rappresentate in alcune aree e completamente cancellate dalla superficie in altre ma presenti a profondità variabile, fino a diversi metri (CARDARELLI *et al.*, 2003; 2004). In questa fase storica la causa climatica e quella antropica si distinguono con difficoltà, spesso, infatti, agiscono simultaneamente interagendo e mascherandosi vicendevolmente. L'inerzia del sistema fluviale inoltre favorisce il proseguire dei processi in atto anche per molto tempo dopo eventuali variazioni sopraggiunte entro il bacino. Ciò contribuisce a rendere ancora più problematica una piena comprensione, non tanto degli effetti, quanto delle cause che regolano la dinamica dei sistemi fluviali nel tempo.

E' a partire dal XVI secolo, con l'inizio dell'età moderna che i processi fluviali subiscono pesanti condizionamenti da parte dell'uomo. I fiumi della media e bassa pianura sono infatti tutti costretti entro stretti corridoi arginati che causano una generale aggradazione localizzata e una amplificazione della magnitudine delle piene. Ad esempio, la predisposizione di un sistema di argini continuo del Fiume Po iniziata nel XII secolo si concluse nel XIX secolo e prosegue tuttora con continui lavori di sopraelevazione.

Durante la piccola età glaciale (1550-1850) i processi di aggradazione in pianura divennero più intensi a causa di una maggior quantità di detrito disponibile. La maggior disponibilità di detrito era in parte dovuta ad una seppur lieve maggiore produzione dello stesso in ambiente montano e in modo più significativo ad una maggior capacità degli agenti del modellamento di trasferire i detriti distribuiti lungo le aste fluviali dalle aree più distali, ancora ricche di sedimenti accumulatisi nella maggior parte dei casi durante l'Ultimo Massimo Glaciale (UMG), verso i tratti intermedi e prossimali dei corsi d'acqua. A questo proposito si consideri la maggior estensione delle aree glacializzate alpine, l'effetto

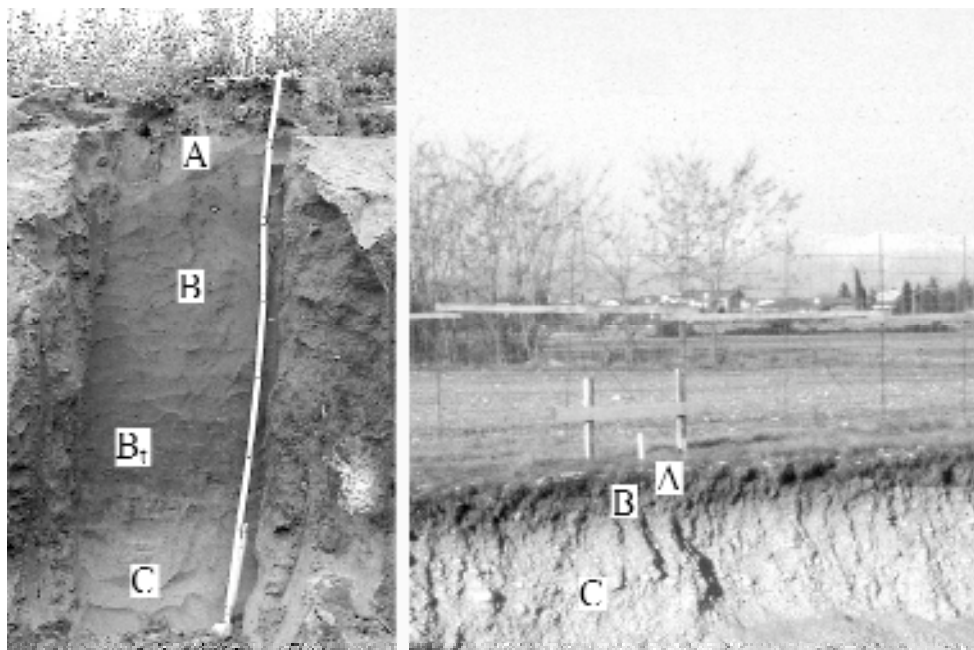


Fig. 6 - A sinistra alfisolo di età tardopleistocenica nell'area di Fontanella Grazioli (Cremona), caratterizzato da un orizzonte argillico di circa 20 cm. A destra suolo di recente formazione sul livello fondamentale della pianura nei pressi di Udine.

On the left, Late Pleistocene alfisol near Fontanella Grazioli (Cremona). The argillic horizon is about 20 centimetres. On the right a young soil on the "main level of the plain" near Udine.

di processi crionivali più intensi e in aree montane più vaste (soprattutto valanghe e frane su ghiaccio), la maggior portata idrica e probabilmente più numerosi processi gravitativi incanalati o sui versanti, assimilabili a *debris flow*.

Attualmente molte delle forme individuabili sulla superficie della piana olocenica sono costituite da forme di aggradazione (CASTALDINI, 1989) non più in equilibrio con le attuali condizioni morfoclimatiche. I casi più evidenti sono costituiti dagli attuali corsi d'acqua in forte erosione che percorrono dossi pensili sulla piana circostante. Il Po ne è l'esempio più significativo poiché negli ultimi decenni ha subito un'incisione di alcuni metri come testimoniato anche dai dati ricavabili dalle sezioni Brioschi (Fig. 7). In Italia centro-settentrionale la tendenza all'approfondimento dei corsi d'acqua è divenuto un serio problema per la gestione dei fiumi a partire dagli anni '60 (PELLEGRINI M. *et al.*, 1979; IDROSER, 1983; VITTORINI, 1991; RINALDI & SIMON, 1998). In particolar modo tutti i tributari di destra del Fiume Po risentono di una forte erosione in alveo, similmente ai corsi d'acqua dell'Emilia Romagna e delle Marche che sfociano direttamente in Adriatico (COLTORTI, 1997). La scarsità di trasporto solido, responsabile dell'erosione in alveo, si riflette ovviamente anche nei processi costieri. A loro volta, infatti, anche le spiagge dell'Adriatico settentrionale risultano in situazione di generalizzata erosione (SIMEONI & BONDESAN, 1997).

#### 4. CONCLUSIONI

L'alternarsi di momenti di aggradazione e di erosione in Pianura Padana è testimoniata dalla presenza di grandi forme di accumulo di età tardopleistocenica interessate da evidenze di intensa erosione durante la deglaciazione. Tali forme sono testimonianza di eventi dominati da cause climatiche. A partire dall'Olocene medio i processi fluviali sono influenzati oltre che dalle condizioni climatiche anche all'azione dell'uomo le cui azioni divengono col tempo sempre più intense. La letteratura tende a privilegiare le cause antropiche rispetto a quelle climatiche per spiegare i processi fluviali intervenuti nell'ultimo secolo, probabilmente confondendo cicli evolutivi di medio periodo legati al clima con cicli meno estesi, in grado di mascherare in un lasso di tempo breve gli effetti del ciclo più duraturo.

I motivi addotti in letteratura ad esempio per giustificare l'insorgere di intense erosioni post belliche dei corsi d'acqua padani sono stati negli anni passati imputati al prelievo diretto di inerti dall'alveo dei fiumi (ROVERI, 1960; ROSSETTI, 1970; PELLEGRINI M., 1978) e in misura altrettanto importante al cambiamento d'uso del suolo nel periodo post bellico (MARCHETTI, 2002). Tali modelli si adattano a quanto è avvenuto nel periodo post-bellico in molti paesi dell'Europa occidentale in cui oltre ad una diminuzione di trasporto torbido si produsse anche una generalizzata attenuazione delle portate di piena (PIEGAY & BRAVARD, 1997). Tale effetto fu presumibilmente la conseguenza di un progressivo spopolamento della montagna con progressiva riforestazione dei bacini di ordine inferiore (RODOLFI, 1988; VITTORINI, 1991) e in misura minore per la realizzazione di bacini montani per la produzione di energia elettrica e per la regimazione delle acque. Processi erosivi analoghi,

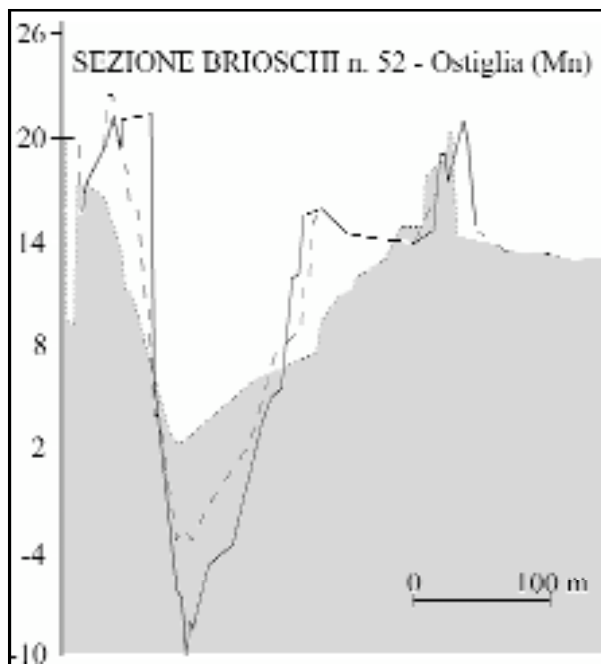


Fig. 7 - Sezione di livellazione lungo l'alveo del Fiume Po presso Ostiglia (Mantova). Le quote sono espresse in metri e l'esagerazione verticale è di 25 volte. La linea puntinata si riferisce alla livellazione del 1873, la tratteggiata a quella del 1954 e la linea continua quella del 1979.

*Topographic sections through the Po River near Ostiglia (Mantova). Altitude is exaggerated 25 times and expressed in metres. The dotted line is referred to the 1873 measure, the segmented line to the 1954 measure and continuous line to the 1979 measure.*

dovuti in gran parte all'intesa azione dell'uomo sono iniziati con qualche decennio di ritardo anche in paesi in cui lo sviluppo economico si sta manifestando impetuosamente in questi anni (RAWAT & RAWAT, 1994; SHARMA, 1996; LU & HIGGIT, 1998).

Le spiegazioni fino ad ora addotte per giustificare le recenti fasi di incisione fluviale hanno perciò privilegiato fino ad ora la causa antropica su quella climatica. Quest'ultima alla luce delle imponenti trasformazioni del territorio e dell'uso del suolo da imputare all'uomo è stata trascurata fino quasi a scomparire dall'elenco delle possibili cause dei processi erosivi entro i fiumi padani. Nella realtà le cause antropiche hanno sicuramente accelerato e aggravato una situazione precaria forse già oltre la soglia critica oltre la quale i processi deposizionali si devono tramutare in erosivi.

I forti prelievi in alveo sono sicuramente documentati, si pensi ad esempio ai volumi di inerti che in seguito alla ricostruzione post bellica vennero estratti nell'alta pianura mantovana (BARALDI & ZAVATTI, 1990; AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE MANTOVA, 1996), passando da  $0,17 \times 10^6$  metri cubi anno circa nel decennio 1940-50 a  $1,15 \times 10^6$  metri cubi anno nel decennio 1980-90 (Fig. 8), fino ad una quantità superiore a  $2 \times 10^6$  metri cubi anno stimati attualmente.

Analizzando i processi fluviali olocenici in pianura padana appare comunque interessante notare che la ripresa di sedimentazione nella parte distale della piana si attua a partire dal periodo del Bronzo, prosegue con

maggior intensità durante il periodo romano e permane attiva ma meno vigorosa fino al periodo bellico. Tale situazione si colloca in periodi di intenso popolamento e gestione della pianura durante fasi di miglioramento climatico oltre che nei periodi di spopolamento e mancata gestione post romana del territorio, accoppiata a peggioramenti climatici culminati con la piccola età glaciale. Tali momenti di sedimentazione si accordano con quanto documentato anche nei fiumi marchigiani (COLTORTI, 1997) che appaiono meno soggetti al controllo antropico rispetto a quelli padani. Nei fiumi marchigiani si rivela inoltre una tendenza al progressivo approfondimento del profilo longitudinale nonostante si alternino ad intense fasi di erosione anche prolungate fasi di stabilità e/o sedimentazione (Fig. 9). In pratica, i momenti di sedimentazione potrebbero definirsi periodi di correzione di un trend erosivo molto più duraturo (millenario) che episodi di sedimentazione plurisecolare non sono

in grado di invertire. In tal modo si assiste dalla deglaciazione ad un progressivo deficit di detrito trasportabile che ciclicamente si attenua durante fasi ben definite ma che si traduce nel medio periodo in erosioni generalizzate dei corsi d'acqua. Ciò induce a ritenere la supremazia delle cause climatiche come motore dei processi di sedimentazione e d'erosione influenzati fino ad ora solo marginalmente da cause antropiche. La supposta supremazia delle cause antropiche sulle altre è giustificata dal desiderio di assegnare all'uomo un ruolo chiave in grado di condizionare o addirittura sovvertire i processi naturali. In questo caso probabilmente si è rinunciato ad analizzare i processi fluviali in pianura come effetti di cicli di periodo maggiore. I processi condizionati dalle azioni dell'uomo con cicli decennali e secolari hanno perciò mascherato i ben più duraturi cicli naturali. Tale situazione potrebbe riconoscersi anche in molti altri processi di modellamento tipici della aree montane dove il detrito accumulato lungo i principali bacini si deve essere principalmente formato durante le fasi fredde dell'Ultimo Massimo Glaciale e da quel momento redistribuito da monte verso valle entro tali bacini. In tal modo si può ipotizzare che la produzione di detrito durante l'Olocene è limitata e comunque non in grado di compensare i volumi che

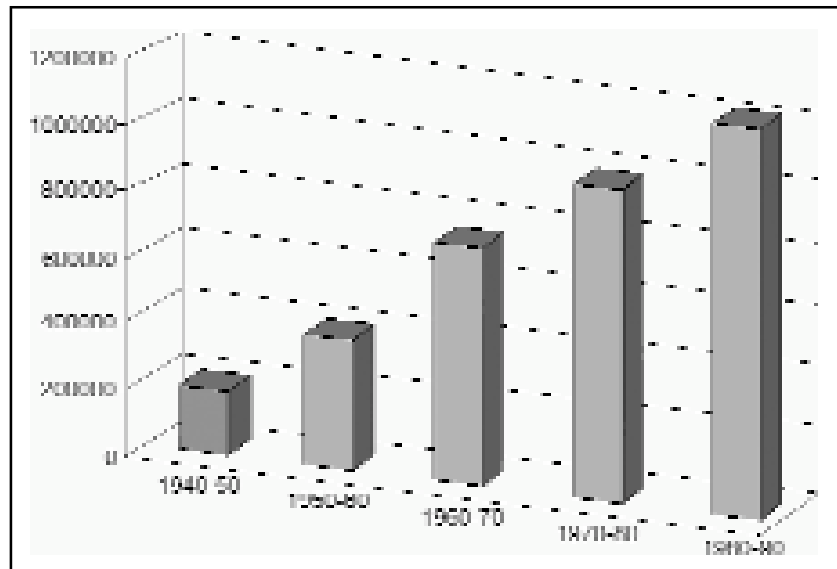


Fig. 8 - Quantità di inerti estratti nell'alta pianura mantovana nei decenni dal 1940 al 1990 in metri cubi anno.

*Amount of gravels and sands extracted in the higher Mantova plain from 1940 to 1990 (cubic metres per year).*

vengono costantemente evacuati dai vari bacini ad opera dei diversi agenti di modellamento. A tal proposito si auspica uno studio di dettaglio degli accumuli gravitativi che costituiscono le falde e i coni di detrito delle aree più elevate dei bacini idrografici o delle aree soggette all'accumulo dei coni da *debris flow* per verificare il bilancio di massa nelle aree sorgente durante l'Olocene finale.

## RINGRAZIAMENTI

Lavoro eseguito con finanziamento FAR (Fondi Ateneo per la Ricerca) 2006 dell'Università di Modena e Reggio Emilia: *Ricerche geomorfologiche nelle Alpi Orientali, nell'Appennino Emiliano, nella Pianura Padana centrale e nell'isola di Malta. Responsabile prof. Mauro Marchetti.*

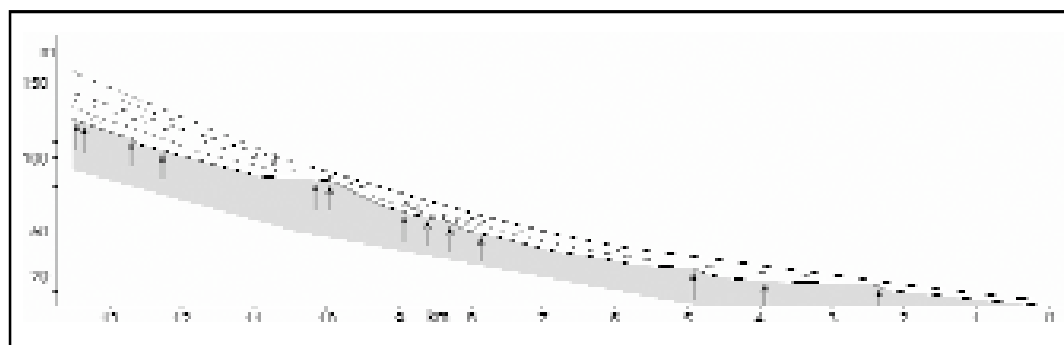


Fig. 9 - Profili longitudinali del tratto finale del Fiume Musone. La linea continua più marcata rappresenta il profilo al 1997. La linea continua sottile si riferisce al profilo del Pleistocene superiore. Il tracciato punteggiato è relativo al profilo alla fine del XIX secolo, quello a piccolo tratteggio i profili di età romana o precedenti. Le frecce indicano la posizione di briglie (modificato da COLTORTI, 1997).

*Longitudinal profiles of the terminal R. Musone (Marche Region). Continuous larger line represents profile of 1997. Continuous narrower line represents the profile of Late Pleistocene. Dotted lines represent profiles at the end of 19<sup>th</sup> Century, segmented lines represent profiles of Roman Age or older. Arrows show the location of checkdams (modified from COLTORTI, 1997).*



## BIBLIOGRAFIA

- AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI MANTOVA (1996) - *Revisione del piano cave provinciale* - Mantova: Assessorato Programmazione.
- AVIGLIANO R., CALDERONI G., MONEGATO G. & MOZZI P. (2002) - The late Pleistocene-Holocene evolution of the Cellina and Meduna alluvial fans (Friuli, NE Italy) - *Mem. Soc. Geol. It.*, **57**, pp. 133-139.
- BAGNOLD R.A. (1966) - An approach to the sediment transport problem from general physics - *Geological Survey Prof. Paper*, **422** (1), pp. 11-137.
- BARALDI F. & ZAVATTI A. (1990) - *Carta di vulnerabilità degli acquiferi a media scala: II. La provincia di Mantova*. In A. ZAVATTI (ed.): *Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi*. Pitagora, Bologna, pp. 83-94.
- BONDESAN M., FERRI R. & STEFANI M. (1995) - *Rapporti fra lo sviluppo urbano di Ferrara e l'evoluzione idrografica, sedimentaria e geomorfologica del territorio* - In VISSER TRAVAGLI A.M. (ed.): *Ferrara nel Medioevo - Topografia storica e archeologia urbana*. Grafis, Bologna, pp. 27-42.
- BRAVARD J.P., AMOROS C., PAUTOU G., BORNETTE G., BOURNAUD M., CREUZE DES CHATELLIERS M., GIBERT J., PEIRY J.L., PERRIN J.F. & TACHET H. (1997) - *River incision in south-east France: morphological phenomena and ecological effects* - *Regulated rivers: Research & Management*, **13**, pp. 75-90.
- BRUNSDEN D. (1993) - *The persistence of landforms* - *Zeitschrift für Geomorphologie*, **93**, pp. 13-28.
- CARDARELLI A., CATTANI M., GIORDANI N., LABATE D., MUSATI R. ZANASI C. (2003) - *Atlante dei Beni Archeologici della Provincia di Modena, vol. I, Pianura*. All'Insegna del Giglio, Firenze, 227 pp.
- CARDARELLI A., CATTANI M., LABATE D. & PELLEGRINI S. (2004) - *Archeologia e Geomorfologia. Un approccio integrato applicato al territorio di Modena* - In: MAZZERI C. (ed.): *Per un Atlante Storico Ambientale Urbano*. Comune di Modena, Ufficio Ricerche e Documentazione sulla Storia Urbana. Nuovagrafica, Carpi, pp. 65-77.
- CASTALDINI D. (1989) - *Evoluzione delle rete idrografica centropadana in epoca protostorica e storica* - *Proceedings: Insediamenti e viabilità nell'alto ferrarese dall'Età Romana al Medioevo*, Cento 8-9 May 1987, pp. 115-134.
- CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (2001) (eds.) - *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana* - *Suppl. Geg. Fis. Din. Quat.*, **IV**, 207 pp.
- CASTIGLIONI G.B., AJASSA R., BARONI C., BIANCOTTI A., BONDESAN A., BONDESAN M., BRANCUCCI G., CASTALDINI D., CASTELLACCIO E., CAVALLIN A., CORTEMIGLIA F., CORTEMIGLIA G.C., CREMASCHI M., DA ROLD O., ELMI C., FAVERO V., FERRI R., GANDINI F., GASPERI G., GIORGI G., MARCHETTI G., MARCHETTI M., MAROCCO R., MENEGHEL M., MOTTA M., NESCI O., OROMBELLI G., PARONUZZI P., PELLEGRINI G.B., PELLEGRINI L., RIGONI A., SOMMARUGA M., SORBINI L., TELLINI C., TURRINI M.C., VAIA F., VERCESI P.L., ZECCHI R. & ZORZIN R. (1997) - *Carta Geomorfologica della Pianura Padana* - 3 sheets, 1:250.000 scale. SELCA, Firenze.
- COLTORTI M. (1991) - *Modificazioni morfologiche olocene nelle pianure alluvionali marchigiane: alcuni esempi nei fiumi Misa, Cesano e Musone* - *Geog. Fis. Dinam. Quat.*, **14** (1), pp. 73-86.
- COLTORTI M. (1997) - *Human impact in the Holocene fluvial and coastal evolution of the Marche region, Central Italy* - *Catena*, **30**, pp. 311-335.
- CREMASCHI M. (1987) - *Paleosols and Vetosols in the Central Po Plain (Northern Italy)* - Ed. Unicopli, Studi e Ricerche sul Territorio, Milano, **28**, 305 pp.
- CREMASCHI M. (ed.) (1990) - *The loess in northern and central Italy: a loess basin between the Alps and the Mediterranean region* - *Quad. Geodinamica Alpina e Quaternaria*, **1**, 187 pp.
- CREMASCHI M. & MARCHETTI M. (1995) - *Changes in fluvial dynamics in the Central Po Plain (Italy) between Lateglacial and Early Holocene* - In: FRENZEL B. (ed.): *European river activity and climatic change during the Lateglacial and early Holocene*. Palaeoclimate Research / Paläoklimaforschung, **14**, pp. 173-190.
- CREMASCHI M., BERNABÒ BREA M., TIRABASSI J., D'AGOSTINI A., DALL'AGLIO P., MAGRI S., MARCHESINI A. & NEPOTI S. (1980) - *L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del Bronzo, l'età romana e l'alto medioevo: geomorfologia ed insediamenti - Padusa*, **16** (1), pp. 53-158.
- DAL CIN R. (1983) - *I litorali del Delta del Po e alle foci dell'Adige e del Brenta: caratteri tessiturali e deposizione dei sedimenti, cause dell'arretramento e previsioni sull'evoluzione futura* - *Boll. Soc. Geol. It.*, **102**, pp. 9-56.
- DALL'AGLIO P., MARCHETTI G., PELLEGRINI L., NESCI O., SAVELLI D. & CALDERONI G. (2004) - *Geomorfologia e popolamento antico nella media valle del Fiume Cesano (Marche - Italia)* - *Il Quaternario*, **17**(2/1), pp. 213-220.
- DEADDIS M., DONEGANA M., PINI R., RAVAZZI R., WICK L., DE AMICIS A., MARCHETTI M. & MONEGATO M. (2007) - *The onset of the Last Glacial Maximum in northern Italy: chronostratigraphical and palaeoecological evidences from alluvial plain and lacustrine successions* - *Geophysical Research Abstracts*, **9**, 11648.
- DURY G.H. (1964) - *Principles of underfit streams* - *US Geol. Surv. Prof. Paper*, **452-A**, pp. 1-67.
- FAVERO V. (1984) - *Evoluzione delle linee di costa dell'Alto Adriatico* - In: *Aspes A. (ed.)*. Banca Pop. Verona, 53-68.
- GASPERI G., CREMASCHI M., MANTOVANI UGUZZONI M.P., CARDARELLI A., CATTANI M., & LABATE D. (1989) - *Evoluzione Plio-Quaternaria del margine appenninico modenese e dell'antistante pianura. Note illustrative alla carta geologica* - *Mem. Soc. Geol. It.*, **39**, pp. 375-431.
- GUZZETTI F., MARCHETTI M. & REICHENBACH P. (1997) - *Large alluvial fans in the north-central Po Plain (Northern Italy)* - *Geomorphology*, **18**, pp. 119-136.
- IDROSER (1983) - *Il trasporto solido fluviale nei bacini tributari dell'Adriatico* - Regione Emilia Romagna, Piano progettuale per la difesa della costa Emiliano-Romagnola, 429 pp.
- IDROSER (1994) - *Aggiornamento e integrazione del Piano progettuale per la difesa della costa adriatica emiliano-romagnola* - Regione Emilia-Romagna

- gna. Relazione generale, 276 pp.
- KNIGHTON A.D. (1999) - *Downstream variation in stream power* - *Geomorphology*, **29**, pp. 293-306.
- LANDON N. & PIEGAY H. (1994) - *L'incision d'affluents méditerranéens du Rhône, la Drôme et l'Ardèche* - Riv. Géogr. Lyon, **69(1)**, pp. 63-72.
- LANE E.W. (1955) - *The importance of fluvial morphology in Hydraulic engineering* - Am. Soc. Civil Eng. Proc., **81 (1)**, pp. 1-17.
- LU X. & HIGGIT D.L. (1998) - *Recent Changes of Sediment Yield in the Upper Yangtze, China* - *Environmental management*, **22**, pp. 697-709.
- MARCHETTI M. (1990) - *Cambiamenti idrologici nella Pianura Padana Centrale a Nord del Fiume Po - I casi di "Underfit Streams" dei Fiumi Mincio, Oglio e Adda* - *Geog. Fis. Dinam. Quat.* **13(1)**, pp. 53-62.
- MARCHETTI M. (1992) - *Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana Centrale a Nord del Fiume Po* - PhD thesis, Milano University, 164 pp.
- MARCHETTI M. (1996) - *Variazioni idrodinamiche dei corsi d'acqua della Pianura Padana centrale connesse con la deglaciazione* - *Il Quaternario*, **9(2)**, pp. 465-472.
- MARCHETTI M. (2001) - *Forme e depositi fluviali, fluvio-glaciali, lacustri*. In: CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (eds.): *Note illustrative della carta geomorfologica della Pianura Padana* - *Suppl. Geg. Fis. Din. Quat.*, **IV 2001**, pp. 73-104.
- MARCHETTI M. (2002) - *Environmental changes in the central Po plain (Northern Italy) due to fluvial modifications and man's activities* - *Geomorphology*, **44(3-4)**, pp. 361-373.
- MONEGATO G., RAVAZZI C., DONEGANA M., PINI R., CALDERONI G. & WICK L. (2007) - *Evidence of two-fold glacial advance during the last glacial maximum in the Tagliamento end moraine (eastern Alps)* - *Quaternary Research*, **68(2)**, pp. 284-302.
- OROMBELLI G. (1983) - *Il Pleistocene superiore in Italia* - *Geog. Fis. Dinam. Quat.*, **6**, pp. 174-195.
- PELLEGRINI L., BONI P. & CARTON A. (2003) - *Hydrographic evolution in relation to neotectonics aided by data processing and assessment: some examples from the Northern Apennines (Italy)* - *Quaternary International*, **101-102**, PP. 211-217.
- PELLEGRINI M. (1969) - *La Pianura del Secchia e del Panaro* - *Atti Soc. Nat. e Mat. di Modena*, **100**, pp. 1-50.
- PELLEGRINI M. (1978) - *Riflessi idrogeologici dell'attività estrattiva di materiali inerti in alveo ed extra-alveo nelle aree di conoide* - *Proc. Conf. On*, pp. "Attività estrattive dei materiali inerti da costruzioni; effetti sugli ambienti e risorse alternative, Cavriago, 6 pp.
- PELLEGRINI M., PEREGO S. & TAGLIAVINI S. (1979) - *La situazione morfologica degli alvei degli affluenti emiliani del Po*. Mucchi, Modena, 9 pp.
- PETRUCCI F. & TAGLIAVINI S. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 61, Cremona* - *Geol. Surv. of Italy, Roma*, 43 pp.
- PIEGAY H. & BRAVARD J.P. (1997) - *Response of Mediterranean riparian forest to a 1 in 400 year flood, Ouveze River, Drome-Vaucluse, France* - *Earth Surf. Processes and Landforms*, **22**, pp. 31-43.
- RAVAZZI C. (1989) - *Analisi polliniche del riempimento del fossato. Dati paleoecologici sulle variazioni ambientali* - In: BERNABÒ BREA M. & CREMASCHI M. (eds.): *La terramara di Poviglio*. Coopsette, Reggio Emilia, pp. 31-36.
- RAVAZZI C., PERESANI M., PINI R. & VESCOVI E. (in stampa) - *Il Tardoglaciale nelle Alpi e in Pianura Padana. Evoluzione stratigrafica, storia della vegetazione e del popolamento antropico*. *Il Quaternario*, **10(2)**.
- RAWAT J.S. & RAWAT M.S. (1994) - *Accelerated erosion and denudation in the Nana Kosi watershed, central Himalaya, India. Part I: sediment load* - *Mountain Research and Development*, **14**, pp. 25-38.
- RINALDI M. & SIMON A. (1998) - *Bed-level adjustments in the Arno River, central Italy* - *Geomorphology*, **22**, pp. 57-71.
- RODOLFI G. (1988) - *Geomorphological mapping applied to land evaluation and soil conservation in agricultural planning. Some examples from Tuscany (Italy)* - *Z. Geomorph. N.F.*, **68**, pp. 155-174.
- ROSSETTI M. (1970) - *La decadenza morfologica degli alvei dei corsi d'acqua della regione padana* - *Il Frantoio*, **4**, pp. 29-42.
- ROVERI E. (1960) - *Indagine sulle cause che hanno provocato il cedimento del ponte sul Secchia della Via Emilia a Rubiera* - *Asfalti, Bitumi, Catrami*, **29(6)**, pp. 7-9.
- SCHNEIDER R. (1985) - *Palynologic research in the southern and Souteastern Alps between Torino and Trieste* - *Dis. Bot.*, **87**, pp. 83-103.
- SCHUMM S.A. (1977) - *The fluvial system* - Wiley & Sons, New York.
- SHARMA K.D. (1996) - *Soil erosion and sediment yield in the Indian arid zone* - In: WALLING D.E. & WEBB B.W. (eds.): *Erosion and sediment yield: global and regional perspective*. *Proceedings of Intern Ass. Hydrol. Sciences*, 15-19 July 1996. IAHS, **236**, pp. 175-182.
- SIMEONI U. & BONDESAN M. (1997) - *The role and responsibility of man in the evolution of the Italian Adriatic coast* - *Bull. Inst. Oceanographique*, **18**, pp. 111-132.
- STARKEL L. (1983) - *The reflection of hydrologic changes in the fluvial environment of the temperate zone during the last 15.000 years* - In GREGORY K.J. (ed.) *Background to palaeohydrology*. Wiley & sons, pp. 213-235.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2003) - *Morphological response to river engineering and management i alluvial channels in Italy* - *Geomorphology*, **50**, pp. 307-326.
- TOZZI P. (1972) - *Storia padana antica, il territorio fra Adda e Mincio* - *Geschina Ed.*, Milano, 173 pp.
- VEGGIANI A. (1974) - *Le variazioni idrografiche del basso corso del fiume Po negli ultimi 3000 anni* - *Padusa*, **1-2**, pp. 39-60.
- VITTORINI S. (1991) - *La diminuzione del trasporto torbido nei fiumi italiani tra il periodo prebellico e quello attuale* - *Geog. Fis. Dinam. Quat.*, **14(2)**, 251-258.

Ms. ricevuto il 23 novembre 2007  
 Testo definitivo ricevuto il 18 aprile 2008

Ms. received: November 23, 2007  
 Final text received: April 18, 2008