

MAURO MARCHETTI (\*)

## CAMBIAMENTI IDROLOGICI NELLA PIANURA PADANA CENTRALE A NORD DEL FIUME PO: I CASI DI «UNDERFIT STREAMS» DEI FIUMI MINCIO, OGLIO E ADDA (\*\*)

**Abstract:** MARCHETTI M., *Hydrological evolution in the central-northern Po Plain - The underfit cases of Mincio, Oglio and Adda Rivers* (IT ISSN, 0391-9838, 1990).

The evolution of the main ancient rivers in the central Po Plain is presented. The study of the present and ancient hydrography shows the presence of at least three cases of underfit streams. Particularly two parameters are measured: the length and the radius of curvature of the meander belts. The data show that ancient hydrography presents geometrical parameters about five times larger than the actual hydrography. Underfit stream marks allow us to know the former discharges and to reconstruct the environmental evolution of the central Po plain in the last 15 000 years.

**KEY WORDS:** Underfit stream, Late Glacial, Olocene, Central Po Valley (Italy).

**Riassunto:** MARCHETTI M., *Cambiamenti idrologici nella Pianura Padana centrale a Nord del Fiume Po: I casi di «underfit streams» dei Fiumi Mincio, Oglio e Adda* (IT ISSN, 0391-9838, 1990).

Questo studio si propone di approfondire le attuali conoscenze nel campo dell'antica idrografia della pianura Padana centrale. Esso mette in evidenza il problema del sovradimensionamento delle valli fluviali padane in relazione ai corsi d'acqua attuali. In particolare vengono misurati ed analizzati alcuni parametri geometrici sia della idrografia fossile sia dell'idrografia attuale per valutarne i rapporti. La stima delle portate dei corsi d'acqua abbandonati permette la ricostruzione paleoambientale della Pianura Padana centrale a nord del Fiume Po negli ultimi 15 000 anni.

**TERMINI CHIAVE:** Underfit stream, Tardiglaciale, Olocene, Pianura Padana Centrale.

### PREMESSA

DAVIS (1896, 1899, 1913) riconobbe studiando corsi d'acqua di dimensioni ridotte rispetto all'ampiezza delle corrispondenti valli che la riduzione della lunghezza, della

profondità, della larghezza e del raggio di curvatura dei meandri più recenti fosse da imputare a diminuzioni di portata dei fiumi. Egli perciò introdusse per classificarli il termine «*underfit streams*», sostenendo che tale riduzione di portata era imputabile a diversioni. DURY (1964) introdusse il termine «*misfit streams*» includendo in esso due categorie di fiumi con valli anomale rispetto all'attuale corso d'acqua o perché troppo strette, «*overfit*», o perché troppo larghe, «*underfit*». Egli, inoltre, sottolineò che i fiumi riconosciuti come *misfit* sono, nella quasi totalità dei casi, *underfit* perché le tracce lasciate da un corso d'acqua rimangono più facilmente nel tempo quando questo riduce la sua portata piuttosto che quando l'aumenta. Dury sottolineava inoltre come non sia necessaria una diversione per provocare fenomeni di *underfit streams*, anzi, nella maggior parte dei casi, questi fenomeni avvengono per motivi principalmente di natura climatica. Egli calcolò che per fiumi con portata molto ridotta rispetto ai corrispondenti corsi antichi con rapporto tra le lunghezze d'onda di 9:1 o 10:1 il rapporto delle portate è di circa 50:1 o 60:1 e ancora, che per rapporto tra le lunghezze d'onda di 5:1 il rapporto delle portate deve essere di 20:1. Quest'ultimo, secondo l'autore, è anche il caso più rappresentato in natura.

L'evoluzione morfologica influenzata dai cambiamenti climatici pleistocenici ed olocenici ha portato SCHUMM (1965 e 1977) a confermare le idee di TREVISAN (1949) e JAHN (1956) che supponevano due fasi di aggradazione separate da due fasi di erosione. Tracce di *underfit streams* inoltre sono state riconosciute in tutti i paesi dell'Europa continentale; STARKEL (1977), segnala la presenza, nelle valli fluviali dei Carpazi, tagliate in depositi pleniglaciali, di scarpate alte anche più di 10 m. Tali depositi pleniglaciali presentano alla loro sommità evidenze di tracciati fluviali a canali anastomizzati; alla base delle scarpate invece, nelle valli fluviali, le scarpate di meandro osservabili nei depositi di 12 000-10 000 anni dal presente, hanno raggio di curvatura almeno 3-4 volte maggiore rispetto a quello osservabile per i meandri olocenici. KOZARSKI & ROTNICKI (1977) analizzando la Polonia centro occidentale, rico-

(\*) Dipartimento di Scienze della Terra - Università di Milano.

(\*\*) Lavoro eseguito nell'ambito del Progetto Nazionale Geomorfologia ed Evoluzione recente della Pianura Padana (Fondi M.P.I. 40%).

L'Autore è grato a M. Cremaschi e G. Orombelli per le discussioni relative alla evoluzione morfologica della pianura nonché per la lettura critica del manoscritto, a S. Belloni per la lettura della stesura finale.

noberro tre diversi livelli della pianura: il più elevato con tracce a canali intrecciati, l'intermedio con tracce di idrografia a canali meandreggianti e l'inferiore con meandri a raggio di curvatura minore e connessi con il fiume attuale. I meandri con raggio di curvatura maggiore sono attribuiti in quell'area al periodo compreso tra il Dryas antico e il Dryas recente (12 000-9 500 anni B.P.).

Durante gli studi compiuti nel quadro del Progetto Nazionale «Geomorfologia ed Evoluzione recente della Pianura Padana» (fondi M.P.I. 40%) nell'area padana centrale (Fogli a scala 1:100.000 della Carta Topografica d'Italia: 44 Novara, 45 Milano, 46 Treviglio, 61 Cremona, 60 Piacenza p.p., 62 Mantova p.p., 47 Brescia p.p. e 48 Peschiera p.p.) e tuttora in corso, sono state individuate forme legate a paleoidrografia con marcate differenze rispetto alle corrispondenti forme prodotte dall'idrografia attuale. In particolare sono evidenti tracce di paleoidrografia con parametri geometrici sovradimensionati rispetto ai corsi attuali. Questo studio si propone perciò di studiare la antica idrografia del settore centrale della Pianura Padana, di descrivere le caratteristiche geometriche dei corsi fluviali antichi ed attuali per poterne confrontare alcuni parametri idrologici, infine, fornire, se possibile, indicazioni sulla differenza di portata nel passato rispetto all'attuale, sollecitando un confronto con le eventuali conclusioni sulla paleoclimatologia olocenica o tardo pleistocenica desunte da altri tipi di studi.

#### INQUADRAMENTO GEOGRAFICO-GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio è compresa nei fogli tipografici a scala 1:100.000 N. 60 Piacenza, 61 Cremona, 62 Mantova (fig. 1). Essa è interessata da W verso E dai corsi dei Fiumi Adda, Oglio, Mella, Chiese e Mincio. I principali di questi sono emissari dei laghi pedemontani: il Fiume Adda del Lago di Como, il Fiume Oglio del Lago d'Iseo e il Fiume Mincio del Lago di Garda. Il lavoro ha interessato un'area di pianura con pendenza compresa tra l'1‰ e il 4‰. La litologia di questa porzione di Pianura Padana è in larga misura costituita da alluvioni fluvio-glaciali e fluviali del Pleistocene superiore principalmente sabbiose (fW e fgW di DESIO & alii, 1970). In prossimità dei corsi d'acqua tali formazioni sono sostituite dalle alluvioni sabbiose, sabbioso limose e sabbioso argillose oloceniche (a1, a2 di DESIO & alii, 1970). Sono inoltre da notare lembi di «sabbie calcaree quarzose» denominate fR e attribuite al fluviale Riss da DESIO & alii (1970). Tali lembi si presentano allungati in direzione N-S lungo la sponda sinistra del sistema fluviale Gambara-Oglio e nei pressi di Cremona.

Per quanto attiene all'area del presente studio, nonostante numerosi lavori si siano occupati della Pianura Padana in nessuno di essi si trovano precisi e dettagliati riferimenti a fenomeni di *underfit streams* anche se essi appaiono in tutta la loro evidenza in alcuni fogli geologici come ad esempio per quanto attiene il Paleo Mincio — Fossa Viva nel Foglio 62, Mantova (COZZAGLIO, 1934) o il Paleoal-

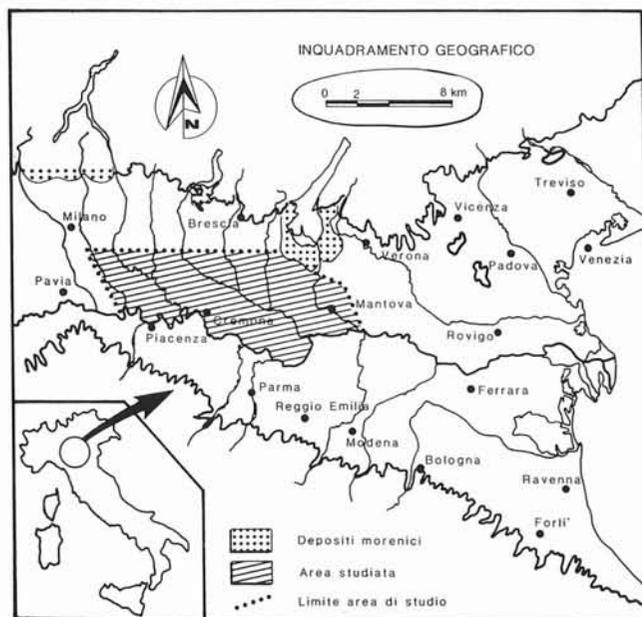


Fig. 1 - Ubicazione geografica dell'area studiata.

veo di Casalmorano segnalato nel Foglio 60 — Piacenza (ANFOSSI & alii, 1967).

Notizie preliminari alla ricostruzione paleoambientale e alla datazione delle forme della pianura possono essere tratte da autori come DE MORTILLET (1864), TARAMELLI (1894), STELLA (1895), COZZAGLIO (1934). VENZO (1957, 1961, 1965) ha studiato i depositi morenici agli sbocchi in pianura e di conseguenza i depositi fluvio-glaciali ad essi collegati. Le indicazioni sull'età di questi depositi desunti da quest'ultimo Autore hanno condizionato a lungo lo sviluppo delle ricerche.

PETRUCCI & TAVAGLIAVINI (1969) identificano il «livello fondamentale della pianura» ritenendolo l'ultima fase di esteso colmamento fluviale della pianura del Pleistocene superiore. CREMASCHI (1982 e 1987) precisa la data di formazione del «livello fondamentale della pianura». Egli suggerisce la connessione del livello fondamentale con le morene frontali del ghiacciaio gardesano (fase di Solferino) datate al tardo Pleistocene. Queste conclusioni sono supportate anche dai ritrovamenti in questi sedimenti fluvio-glaciali di resti di mammiferi tardo pleistocenici come *Elephas primigenius* e *Bison priscus* (AGOSTI & BAJETTI, 1966; SALA, 1986).

CREMASCHI (1987) segnala la sistematica presenza di alfisoli sviluppati su tali sedimenti. Egli afferma che questi suoli con orizzonte argillico si sono sviluppati principalmente durante il periodo Atlantico. CREMASCHI (1987) ritiene inoltre che lo sviluppo di tali suoli si verificò su tutto il «livello fondamentale», ma che attualmente essi si sono conservati solo in situazioni topografiche protette; molto spesso infatti sono stati erosi e sui sedimenti del «livello fondamentale» si sono successivamente sviluppati suoli meno evoluti.

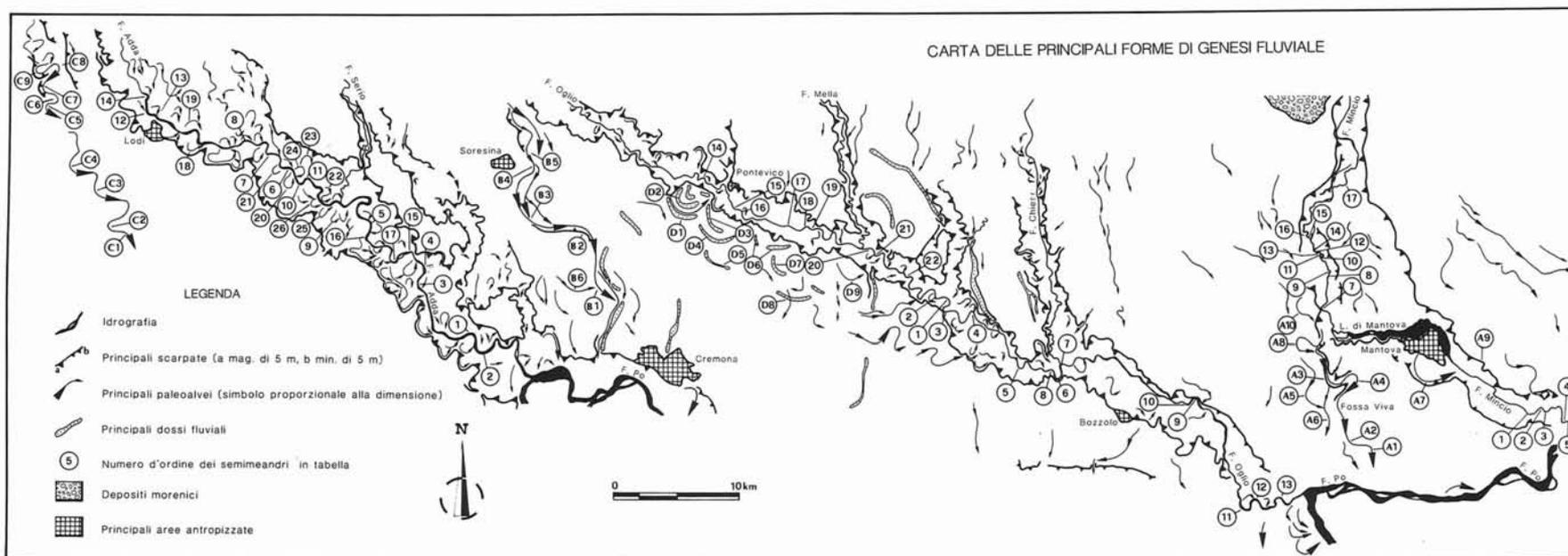


FIG. 2 - Carta geomorfologica delle principali forme di origine fluviale dell'area esaminata.

## METODI

La metodologia adottata per lo studio ed il riconoscimento delle forme fluviali si rifà a CASTIGLIONI & *alii* (1986).

Il lavoro è consistito nelle seguenti indagini:

- 1) Analisi aereofotografica compiuta su fotogrammi a colori del volo TEM. 1 (Regione Lombardia anni 1980-81) al fine di identificare le tracce di idrografia estinta legate a canali anastomizzati, rettilinei o meandreggiati.
- 2) Costruzione di un modello altimetrico mediante interpolazione grafica dei punti quotati e tracciamento di curve di livello con equidistanza di un metro.

Il documento di base da cui è stato ricavato l'elaborato altimetrico è la Carta Tecnica Regionale ridotta, a cura del Touring Club Italiano, con procedimento fotomeccanico, dalla scala 1:10 000 alla scala 1:25 000. Ovviamente, volendo ricostruire l'andamento naturale della superficie topografica non sono stati considerati tutti i punti quotati della cartografia di base, ma solo quelli non interessati da manufatti le cui quote spesso differiscono sensibilmente da quelle circostanti della superficie naturale (ad esempio argini, ponti, strade ecc.).

- 3) Misura ed elaborazione statistica dei parametri geometrici dei corsi d'acqua rappresentati nella carta dell'idrografia rimandando ad una fase successiva il lavoro di terreno.

## CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'area si articola in due unità fisiografiche: il «livello fondamentale» della pianura e le valli alluvionali incise in esso.

Il «livello fondamentale» della pianura è caratterizzato da forme al suo stesso livello, da forme convesse, in rilievo su di esso e da forme concave, incise. Nella parte settentrionale dell'area esaminata, il «livello fondamentale» della pianura è inoltre caratterizzato da evidenti tracce di corsi d'acqua a canali multipli intrecciati a basso indice di sinuosità, a contrasto con l'idrografia attigua, nelle valli attuali incise, ad andamento meandriforme. L'indagine aereofotografica ha messo in evidenza queste tracce di canali multipli intrecciati distribuite sul «livello fondamentale» solamente nel settore nordorientale dell'area esaminata. Esse sono ben evidenziate da tracce serpeggianti che si intersecano tra loro formando una tipica trama con zone infracanaliche più chiare attraversate da tracce di canali a tonalità più scura, ben evidenti ove l'aratura è fresca. Queste tracce compaiono ad E del Fiume Gambara e, più abbondanti, nel Foglio n. 62 Mantova a N dell'allineamento Goito-Roverbella, poiché in quest'area il sistema morenico del Garda ed il sandur würmiano ad esso collegato hanno lasciato influenze ben marcate. Il gradiente topografico è infatti dello 2,6‰ presso Goito, cala più a W presso Castelfoffredo, dove ancora si notano tracce di canali anastomizzati a 1,8‰; nei pressi di Casalbuttano, più a W, dove scompaiono le tracce di idrografia a canali

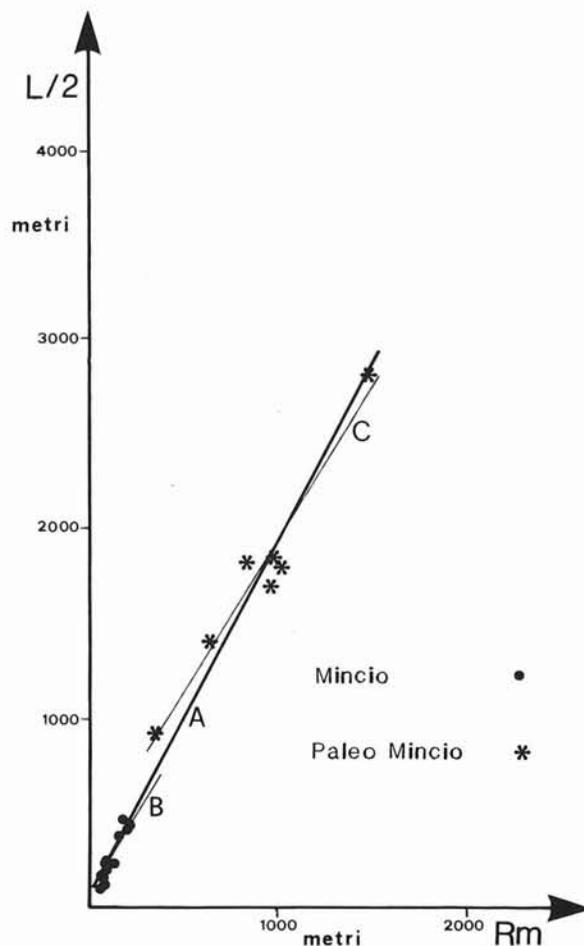


Fig. 3 - Relazioni tra  $L/2$  e  $R_m$  per l'alveo attuale del Fiume Mincio e per il Paleo Mincio. Le rette di regressione sono del tipo  $L/2 = a \times R_m + b$ . La retta A considera tutti i dati, la retta B i dati del Fiume Mincio e la retta C quelli del Paleo Mincio.

multipli intrecciati, il gradiente topografico scende all'1,2‰.

Le evidenze di canali rettilinei sono scarse, presentandosi solo nella zona centrale dell'area in esame. Queste aree sono caratterizzate da un gradiente topografico compreso tra 1,1‰ di Cremona e 1,4‰ di Casalmoro. Le evidenze di questi canali rettilinei sono costituite esclusivamente da forme di deposizione (dossi).

Le tracce di canali meandriformi sono le meglio rappresentate nell'area in esame. Esse si presentano a livello della pianura, in vallecole debolmente incise ed in rilievo con tracce convesse. Le evidenze sul livello della pianura sono rappresentate da tracce legate a colore più scuro talora nerastro per maggior grado di umidità e contenuto in sostanza organica. Rispetto alle tracce di canali multipli intrecciati queste mostrano maggiore continuità e lunghezza, presentano ovviamente una maggiore sinuosità ma, soprattutto, maggiore larghezza.

Gli alvei di tipo meandriforme sono stati individuati in tutta l'area a S della porzione con tracce di idrografia pluricursale a bassa sinuosità dove il gradiente topografico è circa l'1-2‰. La maggior parte di questi antichi corsi è inevitabilmente discontinua e in parte obliterata; tutta-

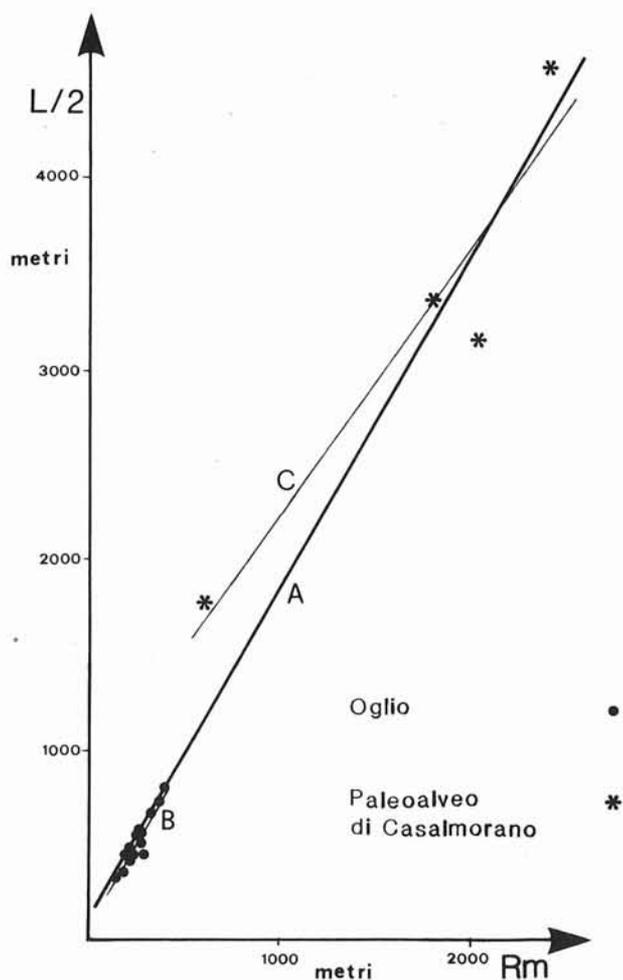


FIG. 4 - Relazioni tra  $L/2$  e  $R_m$  per l'alveo attuale del Fiume Oglio e per il Paleoalveo di Casalmorano. La retta A è riferibile a tutti i dati, la retta B ai meandri dell'alveo attuale e la retta C ai meandri del Paleoalveo.

via, permangono ben evidenti tracce per le valli del Serio Morto, per la valle di Grumello Cremonese - Fengo, per il Paleoalveo di Casalmorano - Annico - Ossolaro, per il Paleoalveo di Cella Dati - Scandolara - Torricella del Pizzo, per il Paleoalveo di Grazie - Montanara - Buscoido.

L'antica idrografia a meandri è evidenziata oltre che da variazioni di colore anche da morfologia convessa: i dossi fluviali o da morfologia concava: i paleoalvei incisi.

Le evidenze di elementi rilevati sulla superficie della pianura sono poco appariscenti, molto spesso sfuggono al fotointerprete sia per la dolcezza delle forme sia per l'esiguità del dislivello tra piede e culmine del dosso (spesso attorno a 0,5-1 m). Per il riconoscimento dei dossi sono quindi necessari i confronti con il documento altimetrico.

I dossi fluviali con strutture allungate ad alto raggio di curvatura o quasi-rettilinee, compaiono a S della porzione distale delle grandi conoidi alpine e si elevano dal «livello fondamentale della pianura» di cui fanno parte integrante. Queste strutture a debole convessità non sono infatti svincolate dal «livello fondamentale» della pianu-

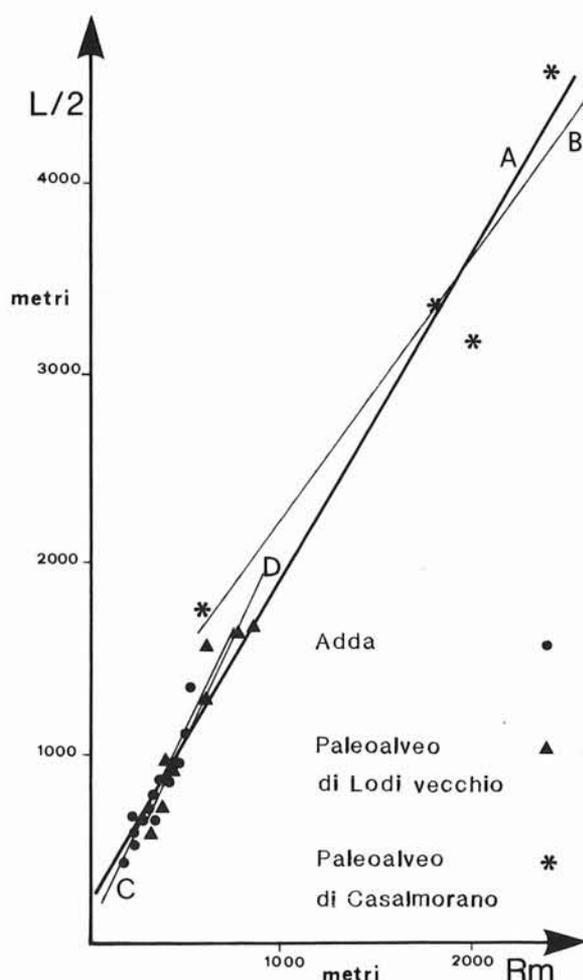


FIG. 5 - Relazioni tra  $L/2$  e  $R/m$  per l'alveo attuale del Fiume Adda, per il Paleoalveo di Casalmorano e per quello di Lodi Vecchio. La retta A è riferibile a tutti i dati, la retta B al Paleoalveo di Casalmorano, la retta C ai meandri del Fiume Adda attuale e la retta D a quelli del Paleoalveo per Lodi Vecchio.

ra, non sono cioè appoggiate al di sopra di questo, ma ne rappresentano locali elevazioni ad esso coeve. I dossi fluviali evidenziati si distinguono dal territorio circostante anche per la loro litologia che appare più francamente sabbiosa. Presentano dimensioni varie con lunghezza che può arrivare anche a diversi km e larghezza che di norma si mantiene attorno ai 100-200 m. Fino ad ora sono stati individuati due tipi di dossi fluviali (fig. 2), quelli a largo raggio di curvatura (zona di Robecco d'Oglio in destra Oglio) e quelli pseudo rettilinei (zona di Cremona e zona di Fontanella Grazioli). Ricerche sulla genesi di tali forme sono tuttora in corso.

Il primo tipo è rappresentato da una decina di dossi interpretati come tracce di *point bars* lasciate da un antico Oglio precedentemente alla sua fase di incisione. Questi dossi presentano tutti concavità rivolta verso N probabilmente perché la successiva incisione della valle dell'Oglio ha distrutto le rispettive controanse ipoteticamente localizzate in sinistra Oglio.

Il secondo tipo è rappresentato da pochi dossi, molto

N.	Rm	L/2	Note
1	150.0	350.0	MINCIO
2	225.0	450.0	MINCIO
3	150.0	375.0	MINCIO
4	175.0	475.0	MINCIO
5	250.0	450.0	MINCIO
6	225.0	450.0	MINCIO
7	200.0	425.0	MINCIO
8	75.0	137.5	MINCIO
9	50.0	112.5	MINCIO
10	125.0	237.5	MINCIO
11	112.5	312.5	MINCIO
12	87.5	212.5	MINCIO
13	62.5	175.0	MINCIO
14	82.5	150.0	MINCIO
15	62.5	187.5	MINCIO
16	87.5	225.0	MINCIO
17	287.5	550.0	MINCIO
A1	950.0	1700.0	FOSSA VIVA
A2	825.0	1825.0	FOSSA VIVA
A3	625.0	1400.0	FOSSA VIVA
A4	350.0	925.0	FOSSA VIVA
A5	1000.0	1800.0	FOSSA VIVA
A6	975.0	1850.0	FOSSA VIVA
A7	1475.0	2800.0	FOSSA VIVA
A8	575.0		FOSSA VIVA
A9	625.0		PALEOMINCIO
A10	637.5		PALEOMINCIO

Tab. I - Dati relativi alla idrografia attuale e fossile del Fiume Mincio, le misure sono in m.

N.	Rm	L/2	Note
1	250.0	550.0	OGLIO
2	200.0	475.0	OGLIO
3	237.5	550.0	OGLIO
4	200.0	450.0	OGLIO
5	275.0	600.0	OGLIO
6	325.0	675.0	OGLIO
7	237.5	525.0	OGLIO
8	250.0	575.0	OGLIO
9	275.0	575.0	OGLIO
10	262.5	500.0	OGLIO
11	362.5	725.0	OGLIO
12	387.5	800.0	OGLIO
13	275.0	575.0	OGLIO
14	262.5	525.0	OGLIO
15	225.0	450.0	OGLIO
16	250.0	525.0	OGLIO
17	175.0	375.0	OGLIO
18	212.5	450.0	OGLIO
19	212.5	425.0	OGLIO
20	275.0	550.0	OGLIO
21	200.0	450.0	OGLIO
22	137.5	325.0	OGLIO
B1	2025.0	3150.0	CASALMORANO
B2	1787.5	3350.0	CASALMORANO
B3	2400.0	4575.0	CASALMORANO
B4	575.0	1750.0	CASALMORANO
B6	975.0		FENILETTO
B5	650.0		CASALMORANO
D1	925.0		DOSSI
D2	800.0		DOSSI
D3	1375.0		DOSSI
D4	1175.0		DOSSI
D5	2450.0		DOSSI
D6	1300.0		DOSSI
D7	937.5		DOSSI
D8	2150.0		DOSSI
D9	1100.0		GABBIONETA

Tab. II - Dati relativi alla idrografia attuale e fossile del Fiume Oglio, le misure sono in m.

N.	Rm	L/2	Note
1	362.5	850.0	ADDA
2	512.5	1350.0	ADDA
3	400.0	912.5	ADDA
4	350.0	650.0	ADDA
5	487.5	1100.0	ADDA
6	375.0	850.0	ADDA
7	275.0	650.0	ADDA
8	237.5	587.5	ADDA
9	412.5	962.5	ADDA
10	300.0	712.5	ADDA
11	225.0	525.0	ADDA
12	450.0	950.0	ADDA
13	212.5	525.0	ADDA
14	162.5	425.0	ADDA
15	350.0	875.0	ADDA
16	225.0	675.0	ADDA
17	225.0	562.5	ADDA
18	325.0	762.5	ADDA
19	225.0	512.5	ADDA
C1	600.0	1550.0	LODIVECCHIO
C2	425.0	912.5	LODIVECCHIO
C3	825.0	1650.0	LODIVECCHIO
C4	762.5	1625.0	LODIVECCHIO
C5	400.0	975.0	LODIVECCHIO
C6	362.5	725.0	LODIVECCHIO
C7	587.5	1287.5	LODIVECCHIO
C8	312.5	575.0	LODIVECCHIO
C9	425.0	912.5	LODIVECCHIO
B1	2025.0	3150.0	CASALMORANO
B2	1787.5	3350.0	CASALMORANO
B3	2400.0	4575.0	CASALMORANO
B4	575.0	1750.0	CASALMORANO
20	387.5		ADDA
21	350.0		ADDA
22	362.5		ADDA
23	400.0		ADDA
24	387.5		ADDA
25	237.5		ADDA
26	350.0		ADDA
B6	975.0		FENILETTO
B5	650.0		CASALMORANO

Tab. III - Dati relativi alla idrografia attuale e fossile del Fiume Adda, le misure sono in m.

N.	Equazioni	r <sup>2</sup>	Idrografia
1	$L/2 = 1.80 * (Rm) + 55.87$	0.90	a1
2	$L/2 = 1.59 * (Rm) + 353.18$	0.95	a2
3	$L/2 = 1.87 * (Rm) + 62.66$	0.98	a1 + a2
4	$L/2 = 1.84 * (Rm) + 69.67$	0.94	b1
5	$L/2 = 1.39 * (Rm) + 853.97$	0.89	b2
6	$L/2 = 1.75 * (Rm) + 113.54$	0.97	b1 + b2
7	$L/2 = 2.19 * (Rm) + 54.97$	0.91	c1
8	$L/2 = 2.13 * (Rm) + 19.73$	0.92	c2
9	$L/2 = 1.67 * (Rm) + 285.24$	0.96	c1 + b2
10	$L/2 = 2.16 * (Rm) + 30.77$	0.86	c1 + c2

Tab. IV - Equazioni del tipo  $L/2 = a * (Rm) + b$  per l'idrografia esaminata. a1 = F. Mincio, a2 = Paleoidrografia F. Mincio, b1 = F. Oglio, b2 = Paleovalve di Casalmorano, c1 = F. Adda, c2 = Paleovalve di Lodi vecchio.

N.	Rm	L/2	Idrografia
1	141.62	310.29	a1
2	803.75	1757.14	a2
3	249.43	529.55	b1
4	1487.5	3206.25	b2
5	1313.75		b3
6	330.29	759.87	c1
7	522.22	1134.72	c2

Tab. V - Valori medi di Rm e L/2 per l'idrografia esaminata. a1 = F. Mincio, a2 = Paleoidrografia F. Mincio, b1 = F. Oglio, b2 = Paleovalveo di Casalmorano, b3 = Dossi di Robecco d'Oglio, c1 = F. Adda, c2 = Paleovalveo di Lodi Vecchio.

N.	Rapporto	Idrografia
1	5.67	a2.1 / a1.1
2	5.66	a2.2 / a1.2
3	5.96	b2.1 / b1.1
4	5.27	b3.1 / b1.1
5	6.05	b2.2 / b1.2
6	1.58	c2.1 / c1.1
7	1.49	c2.2 / c1.2
8	4.50	b2.1 / c1.1
9	4.22	b2.2 / c1.2

Tab. VI - Rapporti tra i parametri dell'idrografia e della paleoidrografia. a1.1 = (Rm) del F. Mincio, a1.2 = (L/2) del F. Mincio, a2.1 = (Rm) della paleoidrografia del F. Mincio, a2.2 = (L/2) della paleoidrografia del F. Mincio, b1.1 = (Rm) del F. Oglio, b1.2 = (L/2) del F. Oglio, B2.1 = (Rm) del Paleovalveo di Casalmorano, b2.2 = (L/2) del Paleovalveo di Casalmorano, b3.1 = (Rm) dei Dossi di Robecco d'Oglio, c1.1 = (Rm) del F. Adda, c1.2 = (L/2) del F. Adda, c2.1 = (Rm) del Paleovalveo di Lodi Vecchio, c2.2 = (L/2) del Paleovalveo di Lodi Vecchio.

sviluppati in lunghezza, collegati geneticamente a corsi d'acqua rettilinei, depositati anch'essi precedentemente alla fase di incisione. Questa fase ha provocato la deposizione di dossi piuttosto evidenti sul livello della pianura che raggiungono anche 6-7 m in altezza a W di Cremona (Cava Tigozzi).

Le forme concave, citate anche in bibliografia, sono costituite da paleovalvei incisi nel livello principale della pianura. Esempi di tali corsi d'acqua sono: il Paleo Mincio

- Fossa Viva che, secondo VEGGIANI (1974), fu abbandonato nel VIII sec. a.C., a seguito di diversione; il Paleovalveo di Casalmorano - Annico riconducibile all'Adda che sfociava in Po presso Cremona (ROMANI, 1928; DE CHAURAND, 1932) o che scorreva nei pressi di Cremona per confluire in Po nel mantovano (PARAZZI, 1893); ed ancora il paleovalveo per Lodi Vecchio (*Laus Pompeia* dei Romani) in cui, secondo DOSSENA & VEGGIANI (1984) confluivano il Fiume Lambro e parte delle acque del Fiume Adda. Da ricordare ancora il Serio Morto che fu deviato definitivamente nel XI secolo d.C. nell'attuale Alveo di Montodine, in cui si stava già incanalando naturalmente (DOSSENA & VEGGIANI, 1984).

## CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELL'IDROGRAFIA

L'idrografia antica ed attuale identificata dalle analisi sopra esposte ha permesso lo studio di due parametri geometrici relativi ai principali corsi d'acqua attuali ed ai paleovalvei più continui e significativi. I parametri considerati sono il raggio di curvatura (Rm) e la semilunghezza d'onda (L/2) dei meandri. Un terzo parametro: la semiampiezza del meandro (A/2) anche se misurato non ha condotto a risultati apprezzabili; essa infatti risulta mal correlabile ai due sopra menzionati. Altri parametri osservabili per i corsi d'acqua attuali non sono stati presi in considerazione, per l'impossibilità di confronto con i paleovalvei ove questi non sempre sono misurabili.

Sono stati campionati tre fiumi nei loro alvei attuali: il Fiume Mincio, il Fiume Oglio ed il Fiume Adda e altrettante tracce di paleovalvei.

### Il Fiume Mincio

Ha origine dal Lago di Garda, di cui è emissario; il tratto settentrionale attraversa i depositi morenici würmiani dell'anfiteatro gardesano, più a S nell'area di studio si presenta con corso a meandri abbastanza regolari, interrotti dalla presenza dei Laghi di Mantova, formati dopo la diversione che ha provocato l'abbandono del suo corso da Grazie a Borgoforte. Del corso attuale sono state misurate diciassette curve di meandro, tralasciando quelle che apparivano anomale (ruotate, allungate o sensibilmente controllate da opere antropiche). Del Paleo Mincio sono state misurate sette curve di meandro nel corso abbandonato Fossa Viva e tre smimeandri di cui uno a monte della diversione, uno a S dei Laghi di Mantova (grande meandro abbandonato, ricco di materiali torbosi e bonificato nella seconda metà del XIX secolo) ed uno più a SE, probabilmente coevo all'insediamento etrusco del Forcello di Bagnolo San Vito (tab. I e fig. 2).

### Il Fiume Oglio

È emissario del Lago d'Iseo, e attraversa, dopo l'uscita dal lago, i depositi morenici würmiani, scorre dapprima in direzione N-S e successivamente, da Genivolta, in di-

reazione NW-SE. L'area esaminata è compresa tra Monticelli d'Oglio e lo sbocco in Po. I meandri di questo fiume sono stati analizzati e misurati come nel caso precedente del Fiume Mincio (tab. II). Oltre ai parametri geometrici del corso attuale sono stati misurati i parametri relativi ai dossi fluviali in destra Oglio tra Robecco d'Oglio e Vescovato e quelli misurati sul Paleoalveo di Casalmorano - Annico (fig. 2).

### Il Fiume Adda

Emissario del Lago di Como, come i due precedenti attraversa i depositi morenici würmiani per scorrere incassato nel «livello fondamentale» della pianura con corso a meandri in direzione N-S e, da Spino d'Adda, con direzione NW-SE. Per questo corso d'acqua, l'area esaminata è compresa tra Lodi e il suo sbocco in Po. I meandri di questo fiume sono stati analizzati come nei precedenti casi (fig. 5); inoltre, i dati desunti da queste misure sono stati confrontati sia con quelli misurati sul Paleoalveo di Casalmorano - Annico che con quelli misurati sul Paleoalveo di Lodi Vecchio - Borghetto Lodigiano (tab. III).

I valori di  $L/2$  e di  $R_m$  per i diversi corsi d'acqua hanno permesso utilizzando regressioni lineari di costruire relazioni del tipo  $L/2 = a \times R_m + b$  per ogni gruppo di dati esaminato. Le relazioni così ottenute sono elencate in tab. IV e rappresentate nei grafici di fig. 3, 4 e 5.

Successivamente sono stati calcolati i valori medi per i parametri  $R_m$  e  $L/2$  ottenendo i dati rappresentati in tab. V.

Da ultimo sono stati calcolati i rapporti tra i parametri della paleoidrografia e dell'idrografia attuale ottenendo i valori elencati in tab. VI.

## DISCUSSIONE

Le tracce di idrografia a canali multipli intrecciati sul «livello fondamentale», in posizione più meridionale rispetto ai tratti di corso attuali dello stesso tipo, evidenziano una situazione simile a quella schematizzata da KOZARSKI & ROTNICKI (1977) per la Polonia centro occidentale.

La contemporanea presenza di diversi *patterns* fluviali attribuibili a periodi diversi avvalorata l'ipotesi che siano state raggiunte nel passato, durante la fase di deglaciazione, le condizioni di soglia (soprattutto *extrinsic thresholds* di SCHUMM, 1973) al di sotto delle quali il fiume tende a trasformarsi da corso a canali intrecciati in canale meandriforme.

In base alla misura e all'elaborazione numerica dei parametri geometrici più sopra esposti possono essere tratte altre considerazioni.

In primo luogo è confermata l'ipotesi secondo cui nella Pianura Padana vi sono evidenti casi di *underfit streams* riconoscibili da semplici indagini geomorfologiche.

Nel paragrafo precedente è stato calcolato infatti il rapporto tra l'antica idrografia e l'idrografia attuale confermando il sovradimensionamento dei meandri dei corsi d'acqua antichi in ragione di 5-6 volte gli attuali.

Il Paleo Mincio — Fossa Viva è uno di questi casi e secondo le conclusioni di DURY (1965), relative alle relazioni portate — caratteristiche geometriche, possiamo supporre che le portate medie di questo Paleo Mincio fossero circa 20 volte quelle del Fiume Mincio attuale e quindi pari a circa  $1100 \text{ m}^3/\text{s}$  rispetto agli attuali  $56 \text{ m}^3/\text{s}$  (SERVIZIO IDROGRAFICO, 1976, Mincio a Monzambano). I dati permettono ancora di stabilire che il paleoalveo di Casalmorano, attribuito in bibliografia al dominio del Fiume Adda (ROMANI, 1928; DE CHAURAND, 1932), ma che morfologicamente appare più pertinente al dominio nel Fiume Oglio, presenta comunque un sovradimensionamento dei propri parametri geometrici sia rispetto a quelli dell'Adda che rispetto a quelli dell'Oglio. Il rapporto infatti tra le caratteristiche geometriche del paleoalveo e del Fiume Oglio è circa 6 volte mentre il medesimo rapporto per la paleoidrografia e il Fiume Adda è di circa 4,5 volte. In entrambi i casi le portate del passato dovrebbero, secondo le conclusioni di Dury, essere comprese tra 15 volte (Adda) e 25 volte (Oglio) le portate attuali. I dati esaminati permettono di concludere che le tracce di *point bars* lasciate da un Paleo Oglio sul «livello fondamentale» della pianura sono 5 volte circa le corrispondenti tracce dell'Oglio attuale e quindi appartenenti ad un fiume scaricatore con portate medie di circa 20 volte quelle attuali ovvero di circa  $1100 \text{ m}^3/\text{s}$ . I dati della tabella VI mostrano inoltre la discrepanza tra i rapporti 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9 e i rapporti 6, 7 ottenuti confrontando il Paleoalveo di Lodi Vecchio e il Fiume Adda attuale. Il rapporto tra le caratteristiche geometriche di questi ultimi si discosta dai valori generalmente calcolati perché tale rapporto è di circa 1,5 volte. Questo fatto può essere facilmente spiegato attribuendo il Paleoalveo di Lodi Vecchio non al Fiume Adda bensì al Fiume Lambro in cui doveva influire un ramo del Fiume Adda stesso attraverso la valle attualmente occupata dal Canale Muzza come affermato da DOSSENA & VEGGIANI (1984).

I parametri geometrici e le forme analizzate, permettono il confronto e la classificazione delle tre tipologie principali identificate:

- 1) idrografia connessa con forme di aggradazione sul «livello fondamentale» della pianura (dossi di Robecco d'Oglio).
- 2) idrografia connessa con forme di erosione sul «livello fondamentale» della pianura (alvei di Casalmorano - Annico e Paleo Mincio).
- 3) idrografia connessa con forme concave sull'unità fisiografica delle valli attuali, fortemente incassate.

I primi due casi mostrano idrografia con parametri geometrici simili, legati conseguentemente a portate simili. Entrambi i casi sono poi sovradimensionati in ragione di 5-6 volte rispetto al terzo tipo di idrografia.

La presenza di alfisoli sulle forme di aggradazione fornisce indicazioni sull'età del «livello fondamentale» della pianura (CREMASCHI, 1987) e sui dossi sviluppatasi su tale livello. I dossi attualmente osservabili rappresentano le ultime fasi di aggradazione del «livello fondamentale». Quest'ultimo, infatti, doveva accrescersi per giustapposizione di forme di aggradazione che venivano seppellite in segui-

to a diversioni. I dossi individuati, si sono quindi conservati poiché si è interrotta la fase di aggradazione.

Le grandi forme concave sul «livello fondamentale» della pianura, si rinvengono quasi sempre in combinazione con le forme convesse, per questo motivo, le tracce di antica idrografia, sia concave (facies di canale) che convesse (facies di *point bar* e di argine naturale) sono da ascrivere allo stesso evento idrologico. Queste forme legate ad antica idrografia sono quindi attribuibili all'ultima fase di aggradazione della pianura durante la fase di deglaciazione würmiana.

La terza tipologia è fortemente incassata nelle valli attuali. Questa idrografia scorre in valli profonde anche 15 m con scarpate a tratti subverticali. È importante notare che le valli attuali dei Fiumi Adda e Oglio, presentano, in pianta, andamento delle scarpate, ai bordi dell'unità fisiografica (fig. 2), con raggi di curvatura delle ripe d'erosione comparabili ai raggi di curvatura degli attuali corsi d'acqua. Queste osservazioni permettono di concludere che l'incisione delle valli attuali si è verificata in questi due casi dopo l'instaurarsi di idrografia con portata ridotta. Nel caso del Fiume Mincio invece, sia la valle che le ripe d'erosione delle scarpate non sono assolutamente correlabili all'attuale corso d'acqua poiché probabilmente l'evoluzione della valle è stata caratterizzata, in una prima fase, da portate idriche del Mincio più simili a quelle del Pleistocene sup. che a quelle attuali.

## CONCLUSIONI

Il riconoscimento del sovradimensionamento degli alvei descritti permette di ipotizzare una portata più elevata nel periodo di formazione dei dossi e dei grandi alvei e meandri. La presenza, per l'idrografia esaminata, di ghiacciai nelle aree di alimentazione ci porta a concludere che la portata così imponente, rispetto all'attuale fosse da attribuire alle condizioni glaciali. In particolare possono essere sottolineate la scarsa evapotraspirazione dovuta sia a ridotta evaporazione sia ad assenza di traspirazione per mancanza di vegetazione nel bacino di alimentazione. Da sottolineare ancora la ridotta infiltrazione nel bacino di alimentazione dovuta alle condizioni termiche, alla estesa presenza dei ghiacciai e alla predominanza di precipitazioni solide. Il bilancio idrico al limite meridionale degli apparati glaciali era quindi rispetto alle condizioni attuali, condizionato da maggior ruscellamento superficiale. Queste condizioni tipiche della fase glaciale probabilmente si continuarono anche nella fase di deglaciazione (tardo Pleistocene). Probabilmente durante la fase di deglaciazione si ebbe inizialmente un aumento della portata solida soprattutto perché si resero disponibili grandi quantità di detriti sciolti prodotti dalle condizioni glaciali e periglaciali e non più trattenuti dai ghiacci. Questo aumento di portata solida dovuto principalmente all'innescio di fenomeni erosivi in prossimità dei ghiacciai modificò le condizioni di equilibrio contribuendo all'aggradazione del «livello fondamentale» a valle del nuovo punto neutro. Le condizioni di re-

sistasia, provocate dal clima rigido, protrattesi anche durante la fase di deglaciazione, favorirono l'asportazione dei detriti nelle aree di alimentazione (assenza di vegetazione) contribuendo perciò all'aumento delle portate solide. L'aggradazione del *sandur* e la formazione dei dossi fluviali continuò perciò anche nella fase di deglaciazione, anzi dapprima questo processo assunse un maggior vigore.

In un periodo successivo (ancora non esistono prove dirette per stabilirne l'età), si ebbe la formazione dei bacini lacustri pedalpini. Questi ebbero un ruolo fondamentale nell'evoluzione dell'idrografia tardopleistocenica ed olocenica. Essi influenzarono direttamente le portate solide dell'idrografia ma non quelle liquide perché una volta entrati a regime non avrebbero avuto nessuna influenza sulle portate. L'aumentato volume occupato dall'acqua nei bacini lacustri con il diminuire dello spazio occupato dai ghiacci dovrebbe invece avere agito sul regime dei corsi d'acqua ritardando e mitigando gli effetti delle piene e quindi influendo sulla capacità erosiva dei corsi d'acqua, accelerando probabilmente il raggiungimento dell'equilibrio per l'intero sistema. Il passaggio da aggradazione ad erosione fu inoltre accentuato dal passaggio da condizioni di resistenza a condizioni di biostasia, soprattutto per l'impedimento all'asportazione dei detriti sciolti da parte della vegetazione. La fase di incisione accompagnata da erosione laterale che portò alla costituzione dell'unità fisiografica delle valli attuali, si sviluppò prima dell'Atlantico. Da quest'ultimo momento, infatti, l'idrografia era sicuramente più simile all'attuale che non a quella sopra descritta. Il ritrovamento lungo le attuali valli fluviali di insediamenti neolitici (BIAGI, 1981) conferma questa ipotesi.

La riduzione delle portate sia liquide che solide e l'instaurarsi di una fase di incisione non fu contemporanea nei domini fluviali esaminati ma procedette asincrona in funzione soprattutto della diversa morfologia del bacino di alimentazione e della dimensione dell'apparato glaciale a monte.

## BIBLIOGRAFIA

- AGOSTI F. & BAJETTI M. (1966) - *Su alcuni resti di mammiferi fossili (note di paleontologia quaternaria)*. Natura Bresciana, 2-3, 29-36.
- ANFOSSI G., BONI A., COMIZZOLI G., DESIO A., GELATI R., LAURIERI S., PASSERI L.D., PETRUCCI F. & VENZO S. (1967) - *Carta Geologica d'Italia, F. 60 «Piacenza»*. Serv. Geol. It., Roma.
- BARALDI F., CARTON A., CASTALDINI D., PANIZZA M., PELLEGRINI P. & SORBINI L. (1980) - *Neotettonica di parte dei Fogli Peschiera del Garda (48), Verona (49), Mantova (62) e di tutto il Foglio Legnago (63)*. C.N.R.-Prog. Fin. Geodinamica, Pubbl. 356, 643-655.
- BIAGI P. (1981) - *Preistoria nel cremonese e nel mantovano. Culture e stazioni dal paleolitico all'età del rame*. Grafo edizioni, 69 pp.
- CASTALDINI D. & PANIZZA M. (1988) - *Contributo alla definizione del limite tra evidenze di neotettonica e fenomeni dovuti ad altre cause*. Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1, 11-23.
- CASTIGLIONI G.B., BIANCOTTI A., BONDESAN M., CASTALDINI D., CIABATTI M., CREMASCHI M. & FAVERO V. (1986) - *Criteri informativi del progetto di una carta geomorfologica della Pianura Padana*. «Materiali», Dip. Geogr. Univ. Padova, 7, 1986, 31 pp.
- CASTIGLIONI G.B. & CAVALLIN A. (1987) - *La carta geomorfologica della Pianura Padana: metodologia, risultati ed applicazioni*. I Conv. Intern. Geoidrologia, Firenze 1987, 12 pp.

- COZZAGLIO A. (1934) - *Carta Geologica delle Tre Venezie* - F. 62 «*Mantova*». Ministero LL.PP. - Ufficio Idrografico del R. Magistrato delle Acque, Padova.
- CREMASCHI M. (1982) - *Strutture Neolitiche e suoli olocenici nella pianura mantovana e cremonese*. In: La stazione di Casatico di Marcaria nel quadro Paleambientale ed Archeologico dell'Olocene antico nella Valle Padana Centrale. *St. Archeologia*, 2, Istituto Univ. di Bergamo, 7-19.
- CREMASCHI M. (1987) - *Paleosols and Vetosols in the Central Po Plain (Northern Italy)*. Ed. Unicopli, Milano, 306 pp.
- DAVIS W.M. (1896) - *La Seine, La Meuse, et La Moselle*. *Ann. Geogr.*, 6, 25-49.
- DAVIS W.M. (1899) - *The drainage of cuestas*. *Geol. Assoc. London Proc.*, 16, 75-93.
- DAVIS W.M. (1913) - *Meandering valleys and underfit rivers*. *Am. Assoc. Geogr. Annals*, 3, 3-28.
- DE CHAURAND F. (1932) - *Le variazioni nel tronco medio del Po e dei suoi affluenti durante gli ultimi millenni*. *L'Universo*, 13, 1-22.
- DE MORTILLET G. (1864) - *L'epoque quaternaire dans la vallee du Po*. *Bull. Soc. Geol. de France*, ser. II, 22, 138-151.
- DESIO A., LAURIERI S., PASSERI L.D., PETRUCCI F., TAGLIAVINI S. & VENZO S. (1970) - *Carta Geologica d'Italia, F. 61 «Cremona»*. *Serv. Geol. It., Roma*.
- DOSSENA G. & VEGGIANI A. (1984) - *Variazioni climatiche e trasformazioni ambientali in epoca storica nel Cremasco: il Moso e il lago Gerundo*. *Insula Fulcheria*, 14, 27-42.
- DURY G.H. (1964) - *Principles of Underfit Streams*. *Geol. Survey Prof. Paper 452-A*, 67 pp.
- DURY G.H. (1965) - *Theoretical Implications of Underfit Streams*. *Geol. Survey Prof. Paper 452-C*, 41 pp.
- DURY G.H. (1977) - *Underfit Streams: retrospect, prospect and prospect*. In: GREGORY K.J., *River channel changes*, Wiley, 281-296.
- JAHN A. (1956) - *The action of rivers during the Glacial Epoch and the stratigraphic significance of fossil erosion surfaces in Quaternary deposits*. *Przegląd Geograficzny, Suppl.* 28, 101-104.
- KOZARSKI S. & ROTNICKI K. (1977) - *Valley floors and changes of river channel patterns in the north Polish Plain during the Late Würm and Holocene*. *Questiones Geographicae*, 4, 51-93.
- PANIZZA M., CASTALDINI D., CREMASCHI M., GASPERI G. & PELLEGRINI M. (1990) - *Ricostruzione paleogeografica e geodinamica tardo-pleistocenica ed olocenica dell'area centropadana tra Verona e Modena*. ENEL, Roma.
- PARAZZI A. (1893) - *Sul corso antico dei fiumi Po, Oglio e Adda nel distretto di Viadana secondo le ultime ricerche*. Mantova, 18 pp.
- PARAZZI A. (1896) - *Obbiezioni sul corso antico dell'Adda*. *Mem. letta alla Acc. Virgiliana di Mantova il 15-12-1894*, 3-28.
- PETRUCCI F. & TAGLIAVINI S. (1969) - *Note illustrative della carta geologica d'Italia, F. 61 - Cremona*. *Serv. Geol. It., Roma*, 43 pp.
- ROMANI G. (1828) - *Dell'antico corso del Po, Oglio e Adda negli agri cremonesi, parmigiano, casalasco e basso mantovano*. Milano, 85 pp.
- SALA B. (1986) - *Resti di Mammuthus primigenius (Blumenb.) in provincia di Cremona*. *Nat. Bresciana*, 22, 134-187.
- SCHUMM S.A. (1985) - *Quaternary paleohydrology*. In: *The Quaternary of the United States*. Princeton University Press, 783-794.
- SCHUMM S.A. (1973) - *Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems*. In: *Fluvial Geomorphology. 4th Annual Geomorphology Symposium*, S. U. of New York, 299-310.
- SCHUMM S.A. (1977) - *The fluvial system*. Wiley-Interscience, New York, 388 pp.
- SCHUMM S.A. (1979) - *Geomorphic thresholds: the concept and its applications*. *Trans. Inst. British Geogr.*, n. ser. 4, 4, 485-515.
- SERVIZIO IDROGRAFICO (1976) - *Annali idrologici 1976*. *Serv. Idr. It., Roma*.
- STARCKEL L. (1977) - *Last glacial and Holocene fluvial chronology in the Carpathian valleys*. *St. Geomorph. Carpatho-Balcanica*, 11, 33-51.
- STELLA A. (1895) - *Sui terreni quaternari della valle del Po*. *Mem. Descr. Carta Geol. It.*, 17, 1-151.
- TARAMELLI T. (1894) - *La valle del Po nell'Epoca Quaternaria*. *Atti I Congr. Geogr. It.*, 1, 405-444.
- TREVISAN L. (1949) - *Genese des terrasses fluviales en relation avec les cycles climatiques*. *C.C. Congr. Intern. Geogr.*, Lisbon, 2, 24-36.
- VEGGIANI A. (1974) - *Le variazioni idrografiche del basso corso del Po negli ultimi 3000 anni*. *Padusa* 1-2, 22 pp.
- VENZO S. (1957) - *Rilevamento geologico dell'Anfiteatro morenico del Garda. Parte I: Tratto occidentale Gardone - Desenzano*. *Mem. Soc. It. Sc. Nat.*, 12 (2), 75-140.
- VENZO S. (1961) - *Rilevamento geologico dell'Anfiteatro morenico del Garda - Parte II: Tratto orientale Garda-Adige e anfiteatro Atesino di Rivoli Veronese*. *Mem. Soc. Geol. It. Sc. Nat.*, 13, 3-64.
- VENZO S. (1965) - *Rilevamento geologico dell'Anfiteatro Morenico del Garda dal Chiese all'Adige*. *Mem. Soc. It. Sc. Nat.*, 14, 3-82.