

VARIAZIONI IDRODINAMICHE DEI CORSI D'ACQUA DELLA PIANURA PADANA CENTRALE CONNESSE CON LA DEGLACIAZIONE

M. Marchetti

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Modena

ABSTRACT - *Hydrodynamic variations of fluvial systems in the central Po Plain (Northern Italy) in relation to deglaciation* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9(2), 1996, 465-472 - This paper studies the different fluvial system behaviours in the Alpine and Apennine plains of the central Po Plain after the last deglaciation. The dated events of the Apennine plain are related to geomorphological evidence at the top of the late Pleistocene Alpine aggradation surface. The parameters of abandoned hydrography in the Alpine plain, such as meander wavelength and curvature radius, are measured and compared to the present hydrography in order to estimate palaeodischarge in the glacial period.

RIASSUNTO - *Variazioni idrodinamiche dei corsi d'acqua della Pianura Padana centrale connesse con la deglaciazione* - Il Quaternario *Italian Journal of Quaternary Sciences*, 9(2), 1996, 465-472 - Questo lavoro studia le differenze nella risposta dei comportamenti del sistema fluviale di pertinenza alpina e di quello di pertinenza appenninica, nella Pianura Padana centrale in conseguenza dell'ultima deglaciazione. Gli eventi datati della piana a S del Po vengono infatti correlati sulla base di considerazioni geomorfologiche a quelli a N dello stesso fiume. Sulle tracce di idrografia abbandonata della superficie di aggradazione tardopleistocenica a N del Po vengono inoltre eseguite alcune misure dei parametri geometrici dei corsi d'acqua a meandri per individuarne le differenze con l'idrografia attuale e per stimare le portate in periodo glaciale.

Parole chiave: Pianura Padana, sistema fluviale, meandro, portata
Key-words: Po Plain, fluvial system, meander, discharge

1. PREMESSA

La Pianura Padana Centrale è caratterizzata da deboli gradienti di pendenza che individuano superfici convergenti verso il depocentro del bacino occupato dal corso attuale del F. Po. I depositi e le forme quaternari individuati a N e a S del Po suggeriscono differenti processi di evoluzione fluviale. Scopo di questo lavoro è di illustrare le principali fasi dell'evoluzione post glaciale nella pianura per sottolineare, in differenti regioni padane, le diverse risposte del sistema fluviale sottoposto ai medesimi cambiamenti climatici.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

La Pianura Padana nella sua zona centrale è caratterizzata da una larghezza media di 80-100 km. I bordi della pianura sono caratterizzati dalla presenza di terrazzi di dimensioni differenti, più sviluppati arealmente nel settore alpino occidentale, costantemente presenti su quello appenninico e più ridotti, quasi assenti, su quello alpino orientale (Fig. 1). In alcune località sono presenti lembi relitti di queste superfici isolate nella pianura (es. Casalpusterlengo, Romanengo, Cilverghe, etc.). Tutti questi terrazzi caratterizzati da presenza di coltri loessiche (Cremaschi, 1987) e da suoli fortemente alterati con concentrazione di patine e concrezioni ferromanganesifere nell'orizzonte B e sviluppo anche di orizzonti a fragipan o addirittura petroplintitici (Casati *et al.*, 1988) denotano una esposizione agli agenti esogeni di gran lunga più pronunciata dei sedimenti della pianura circostante. Queste superfici rappresentano la testimonianza di fasi di aggradazione e di successive erosioni

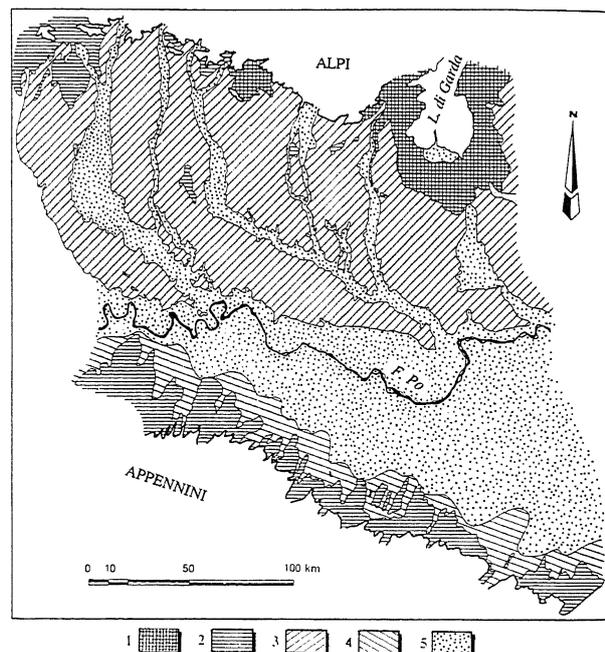


Fig. 1 - Inquadramento geografico e geologico della parte centrale della Pianura Padana. Legenda: 1) Depositi glaciali, 2) Depositi dei terrazzi precedenti l'ultimo massimo glaciale, 3) Depositi delle conoidi di pertinenza alpina ("livello fondamentale della pianura"), 4) Depositi delle conoidi di pertinenza appenninica, 5) Depositi alluvionali olocenici.

Geographical and geological scheme of the central Po Plain. Legend: 1) Glacial deposits, 2) Deposits of the old terraces, 3) Deposits of the Alpine fans ("main level of the plain"), 4) Deposits of the Apennine fans, 5) Holocene alluvial deposits.

più antiche dell'ultimo massimo glaciale. Quest'ultima avanzata ha lasciato tracce dirette nella Pianura Padana centrale testimoniate dagli apparati glaciali che scendevano dalle Alpi (verbano, lariano, sebino, benacense) mentre nel settore meridionale della pianura non sono noti ghiacciai che durante l'ultimo massimo glaciale abbiano raggiunto la pianura aperta.

La pianura a N del Po è costituita da una superficie, il cosiddetto "livello fondamentale della Pianura" (Petrucci & Tagliavini, 1969), non più interessata da idrografia principale e caratterizzata da tracce di idrografia abbandonata che testimoniano portate ben maggiori delle attuali (Marchetti, 1990). I fiumi attuali infatti, scorrono entro larghe valli incassate nel "livello fondamentale della pianura", occupandone spesso una porzione estremamente ridotta (Fig. 1). Questa superficie rappresenta a piccola scala, escludendo quindi processi geomorfologici di minor entità, attivi localmente, una forma non attiva. I processi che produssero la formazione di questa superficie sono indubbiamente polifasici e il corpo sedimentario è attribuibile a più eventi ma la superficie continua ed arealmente estesa del "livello fondamentale della pianura" testimonia l'arresto di ogni fase di aggradazione fluviale su di essa, verificatosi un momento prima dell'instaurarsi di condizioni fortemente erosive negli affluenti di sinistra del Fiume Po.

La pianura a S del Po è invece costituita da una superficie debolmente pendente verso N e NE su cui scorrono gli attuali affluenti di destra del Po e su cui sono ben visibili anche i corsi abbandonati, spesso caratterizzati da forme convesse in rilievo sulla superficie (dossi fluviali) (Bondesan *et al.*, 1989).

Per capire le differenze riscontrabili a N e a S del Po è necessario analizzare la struttura della Pianura Padana. Questa è costituita da un bacino bordato a N e a S da due catene montuose a differente evoluzione. Il sollevamento delle catene ha avuto la massima intensità durante il Miocene, proseguendo intenso anche durante il Pliocene nell'Appennino Settentrionale. Durante il Pleistocene i movimenti tettonici pur di intensità limitata continuarono. Le differenti attività sono testimoniate dalle strutture sepolte nella Pianura Padana. A S del Po sono ben noti in letteratura le strutture a grandi thrusts a vergenza alpina che a tratti emergono anche dai depositi Pleistocenici (es. S. Colombano al Lambro). A N del Po invece la struttura immerge debolmente verso S apparentemente poco disturbata da movimenti recenti (Pieri & Groppi, 1981; Gasperi, 1995) (Fig. 2).

La più accentuata attività tettonica dell'Appennino

Settentrionale rispetto alle Alpi Meridionali, associata con i fenomeni di subsidenza della pianura al margine appenninico, hanno favorito per tutto il Quaternario un maggior apporto di detrito dai bacini in destra Po. A queste considerazioni si deve aggiungere che le litologie presenti sul versante N dell'Appennino settentrionale (argille, marne e arenarie) risultano di gran lunga più erodibili di quelle rilevabili nelle Alpi meridionali dove abbondano calcari, porfidi, granitoidi e dolomie. A tutto ciò va infine sommato l'effetto della presenza di grandi laghi agli sbocchi vallivi alpini che hanno funzionato, dalla deglaciazione in poi, come trappole per i sedimenti fluviali. Questi fattori hanno perciò determinato evidenti differenze nelle portate solide dei corsi d'acqua alpini e appenninici e nelle loro azioni di erosione o di sedimentazione.

I corsi d'acqua appenninici sono infatti caratterizzati da portata solida di gran lunga maggiore (Fig. 3 da Servizio idrografico, 1981). Conseguenza di questo elevato trasporto torbido degli affluenti di destra del Po è la sedimentazione generalizzata, durante l'Olocene, di ingenti depositi di materiale limoso-argilloso appena a N degli apici dei conoidi tardo pleistocenici appenninici.

3. GLI EFFETTI GEOMORFOLOGICI DELLA DEGLACIAZIONE

3.1 Considerazioni generali

Durante l'ultimo massimo glaciale, le condizioni ambientali erano tali da favorire l'instaurarsi di grandi portate sia solide che liquide. In particolare nelle aree alpine l'estesa superficie dei ghiacci limitava l'evapotraspirazione mentre la presenza di suolo gelato impediva l'infiltrazione; come conseguenza di ciò la quasi totalità delle precipitazioni veniva concentrata alla chiusura dei bacini (agli scaricatori fluvioglaciali). Le azioni dei ghiacciai inoltre favorirono la produzione di sedimenti trasportabili dalle acque superficiali.

Nelle aree appenniniche i ghiacciai erano relegati alle quote più elevate e le condizioni generali erano caratterizzate dalla presenza di una larga fascia in cui prevalevano condizioni periglaciali (Panizza, 1977). Il prevalere di queste condizioni estreme, diverse dalle attuali, favorirono sicuramente grande disponibilità di materiale non fissato dalla vegetazione che i corsi d'acqua potevano facilmente assumere in carico.

Entrambe le situazioni a N e a S della Pianura Padana risultarono perciò favorevoli durante l'ultimo

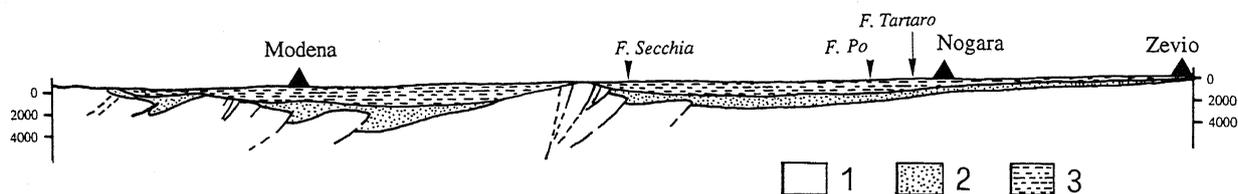


Fig. 2 - Sezione N-S attraverso la Pianura Padana centrale, la profondità è in metri (da Pieri & Groppi, 1981 modificata e semplificata). Legenda: 1) Formazioni più antiche del Pliocene medio-superiore, 2) Formazioni del Pliocene medio-superiore, 3) Formazioni quaternarie.

N-S section crossing the central Po Plain, depth is in metres (modified and simplified from Pieri & Groppi, 1981). Legend: 1) Formations older than medium-upper Pliocene, 2) Medium-upper Pliocene formations, 3) Quaternary formations.

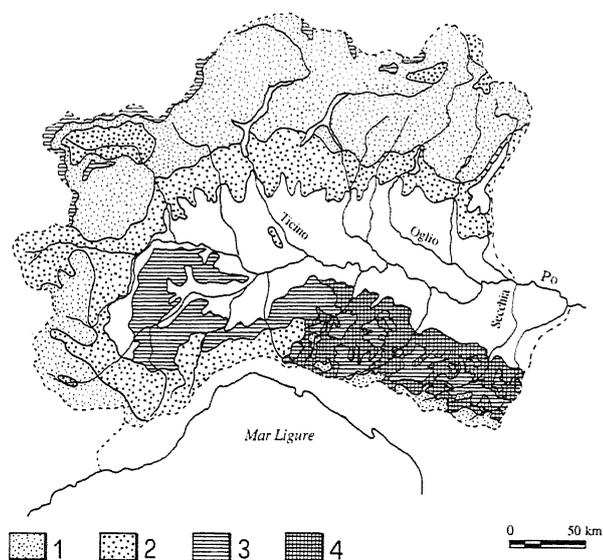


Fig. 3 - Carta del probabile trasporto solido medio annuo di fondo. Legenda: 1) 50-200 m³/km², 2) 150-250 m³/km², 3) 150-300 m³/km², 4) 400-700 m³/km² (semplificato da Servizio Idrografico, 1981).

Probable mean annual bottom discharge. Legend: 1) 50-200 m³/km², 2) 150-250 m³/km², 3) 150-300 m³/km², 4) 400-700 m³/km² (simplified from Servizio Idrografico, 1981).

massimo glaciale alla formazione di potenti superfici di aggradazione. Al limite settentrionale e meridionale della pianura si formarono perciò due zone di accumulo formato dalla coalescenza dei conoidi alluvionali a formare quella che gli anglosassoni definiscono bajada (Eckis, 1928).

3.2 Gli effetti sulla piana di pertinenza appenninica

I conoidi tardopleistocenici appenninici sono costituiti da ghiaie grossolane (prevalentemente arenarie e calcari) depositate dai corsi d'acqua durante l'ultimo massimo glaciale. Le successive condizioni climatiche, non più glaciali, favorirono l'approfondimento del canale nella parte prossimale e mediana delle conoidi appenniniche e sulla superficie delle ghiaie cominciò quindi l'azione pedogenetica (Cremaschi, 1979).

I depositi ghiaiosi della fase tardopleistocenica sono spesso caratterizzati da un suolo sepolto che ha permesso datazioni dirette (C¹⁴ su resti vegetali) (Alessio *et al.*, 1981) o indirette mediante interpretazione di ritrovamenti archeologici (Cremaschi, 1985; Alessio *et al.*, 1981).

Raggiunto il profilo d'equilibrio un nuovo segmento del conoide si iniziò a formare nella parte distale. Conseguenza di tale successione di eventi è che i grandi conoidi sono costituiti da un segmento di ghiaie nelle aree prossimali, incise da un corso d'acqua con profilo meno pendente del cono che dall'intersezione con la superficie topografica defluisce su un segmento di conoide caratterizzato da depositi più fini. Questa evoluzione ricalca quanto suggerito da Bull (1964) e ampiamente riconosciuto in bibliografia.

Gli eventi succedutisi contribuirono al seppellimento di abbondante materiale organico e alla distruzione delle forme di aggradazione fluviale.

Numerose datazioni individuano l'arresto dell'aggradazione grossolana e l'inizio di quella fine tra la fine dell'ultimo massimo glaciale e l'Olocene iniziale. Durante l'Olocene numerosi ritrovamenti archeologici intervallati da consistenti depositi alluvionali testimoniano che le fasi di aggradazione limoso-argillosa sono proseguite più o meno intense fino ad oggi (Cremaschi & Marchetti, 1995).

3.3 Gli effetti sulla piana di pertinenza alpina

A N del Po, dall'ultima deglaciazione, l'evoluzione geomorfologica è caratterizzata principalmente da eventi di erosione fluviale. Questa sequenza di processi geomorfologici, al contrario di quanto avvenuto a S del Po, ha conservato molte delle preesistenti forme sulla superficie topografica. La quasi totale assenza di processi di deposizione a N del Po ha però impedito il seppellimento di materiale databile, abbondante a S del Po, e gli stessi insediamenti archeologici di epoche successive giacciono o lateralmente sulla medesima superficie o in diretta sovrapposizione stratigrafica. Non è quindi possibile datare direttamente il cosiddetto "livello fondamentale della pianura" ma può essere ipotizzata la correlazione tra le forme presenti su di esso e quanto riscontrabile sui conoidi pedeappenninici. Ovvero, può essere ipotizzata contemporaneità per il generalizzato arresto di aggradazione avvenuto in tutta la Pianura Padana Centrale. La trasformazione da condizioni di aggradazione a condizioni erosive ha ragionevolmente prodotto l'incisione degli alvei sia sulla piana alpina che appenninica. A supporto di queste considerazioni si può constatare che i suoli sviluppati sulla piana appenninica hanno età minime congruenti con il cambiamento climatico relativo alla deglaciazione.

Sul "livello fondamentale della pianura" sono ben visibili abbondanti tracce di idrografia braided ben più a S di quanto si spingano gli attuali corsi a canali intrecciati (Fig. 4). Dove le tracce di canali *braided* si trasformano in tracce di canali monocursali a meandri abbandonati, questi ultimi presentano delle dimensioni di gran lunga sovradimensionate se confrontate con gli attuali meandri (Fig. 5). Questo fenomeno conosciuto in letteratura con il termine di *Underfit stream* è generalmente correlato a forti diminuzioni di portata nei fiumi ed è connesso con la deglaciazione in tutto l'emisfero boreale (Davis, 1913; Dury, 1964; Starkel, 1991).

3.3.1 Le geometrie dei meandri abbandonati

Lo studio di alcuni parametri geometrici ha permesso di individuare un rapporto tra le dimensioni dell'idrografia abbandonata sul "livello fondamentale della pianura" e quella dell'attuale idrografia di circa 5-6 a 1 (Marchetti, 1990; 1992). Questo dato è in accordo con quanto riscontrato in Europa Centrale e in America Settentrionale. Le misure sui parametri geometrici dei meandri fluviali ha permesso di ricavare equazioni che mettono in relazione le caratteristiche geometriche con le portate. Dury (1964) ad esempio suggerì una relazione tra la portata di piena (l'anglosassone *bankfull discharge*) (Q) e la lunghezza dei meandri (L) che mostrava come all'aumento di L, Q aumentava più rapidamente.

Tabella 1 - Misura in metri delle emilunghezze e dei raggi di curvatura dei meandri dei Fiumi Mincio (M), Oglio (O), Lambro (L) e dei rispettivi paleocorsi (m, o, l).

Half-length and radius of curvature values (in metres) of the Mincio (M), Oglio (O) and Lambro (L) Rivers and their corresponding abandoned courses (m, o, l).

N	L/2	Rm	N	L/2	Rm	N	L/2	Rm	N	L/2	Rm	N	L/2	Rm	N	L/2	Rm
m1	1700	950	M1	350	150	o1	3150	2025	O1	550	250	l1	1550	600	L1	225	100
m2	1825	825	M2	450	225	o2	3350	1788	O2	475	200	l2	913	425	L2	175	75
m3	1400	625	M3	375	150	o3	4575	2400	O3	550	238	l3	1650	825	L3	175	75
m4	925	350	M4	475	175	o4	1750	575	O4	450	200	l4	1625	763	L4	175	62,5
m5	1800	1000	M5	450	250	o5	----	975	O5	600	275	l5	975	400	L5	200	87,5
m6	1850	975	M6	450	225	o6	----	650	O6	675	325	l6	725	363	L6	225	50
m7	2800	1475	M7	425	200	o7	----	925	O7	525	238	l7	1288	588	L7	125	50
m8	----	575	M8	138	75	o8	----	800	O8	575	250	l8	575	313	L8	150	62,5
m9	----	625	M9	113	50	o9	----	1375	O9	575	275	l9	913	426	L9	87,5	37,5
m10	----	638	M10	238	125	o10	----	1175	O10	500	263	l10	----	----	L10	125	50
			M11	313	113	o11	----	2450	O11	725	363	l11	----	----	L11	125	42,5
			M12	213	87,5	o12	----	1300	O12	800	388	l12	----	----	L12	150	50
			M13	175	62,5	o13	----	938	O13	575	275	l13	----	----	L13	450	250
			M14	150	82,5	o14	----	2150	O14	525	263	l14	----	----	L14	100	75
			M15	188	62,5	o15	----	1100	O15	450	225	l15	----	----	L15	150	62,5
			M16	225	87,5				O16	525	250	l16	----	----	L16	150	87,5
			M17	550	288				O17	375	175	l17	----	----	L17	150	37,5
									O18	450	213	l18	----	----	L18	125	62,5
									O19	425	213	l19	----	----	L19	150	50
									O20	550	275	l20	----	----	L20	125	50
									O21	450	200	l21	----	----	L21	200	75
									O22	325	138	l22	----	----	L22	163	62,5

Tabella 2 - Medie del raggio di curvatura e delle emilunghezze dei meandri dell'idrografia studiata (le misure sono in metri).

Mean of radius of curvature and half-length of the meanders of the studied hydrography (values are in metres).

Raggio curvatura	Emilunghezza	Idrografia
141.62	310.29	Mincio
803.75	1757.14	Paleo-Mincio
249.43	529.55	Oglio
1487.50	3206.25	Paleo-Oglio
70.68	168.18	Lambro
522.22	1134.72	Paleo-Lambro

Tabella 3 - Rapporti tra paleoidrografia e corrispondente idrografia.

Ratio between abandoned hydrography and corresponding active hydrography.

RAPPORTO	IDROGRAFIA
5.67	Raggio curv. Paleo-Mincio/Mincio
5.66	Emilunghezza Paleo-Mincio/Mincio
5.96	Raggio curv. Paleo-Oglio/Oglio
5.27	Emilunghezza Paleo-Oglio/Oglio
6.05	Raggio curv. dossi Paleo-Oglio/Oglio
7.38	Raggio curv. Paleo-Lambro/Lambro
6.74	Emilunghezza Paleo-Lambro/Lambro

Nell'area in esame sono stati considerati i corsi d'acqua Mincio (M1-17), Oglio (O1-22), Lambro (L1-22) e i grandi alvei abbandonati morfologicamente attribuibili ai medesimi bacini: il Paleo-Mincio (m1-10), conosciuto come Fossa Viva, il Paleo-Oglio (o1-15) che portava l'Oglio a confluire in Po a W di Cremona (Fig. 5) e il Paleo-Lambro (l1-9) o alveo di Lodivecchio.

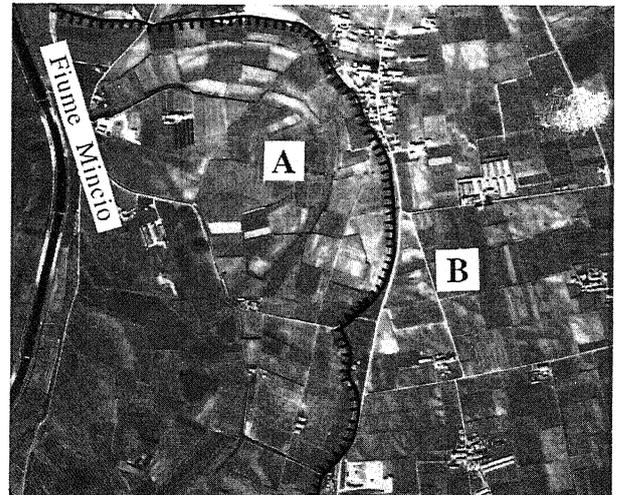


Fig. 4 - Fotografia aerea dell'area a S di Valeggio sul Mincio (Regione Veneto VR/2 1983, strisciata 3, fotogramma 5312). Sulla sinistra sono visibili i meandri abbandonati subattuali (A); a destra della scarpata sono evidenti le tracce di idrografia braided sul "livello fondamentale della pianura" (B).

Aerial photograph of the area S of Valeggio sul Mincio (Regione Veneto VR/2 1983, strip 3, picture 5312). On the left the holocene abandoned meanders (A) are visible; to the right of the scarp, braided abandoned channels can be observed (B) on the "main level of the plain".

La misura delle lunghezze e dei raggi di curvatura dei meandri (Tab. 1) mostra chiare differenze come risulta nelle Tabelle 2 e 3 dove sono espresse rispettivamente le misure medie e i rapporti tra paleoidrografia e idrografia attuale.

La relazione generalmente accettata che lega il

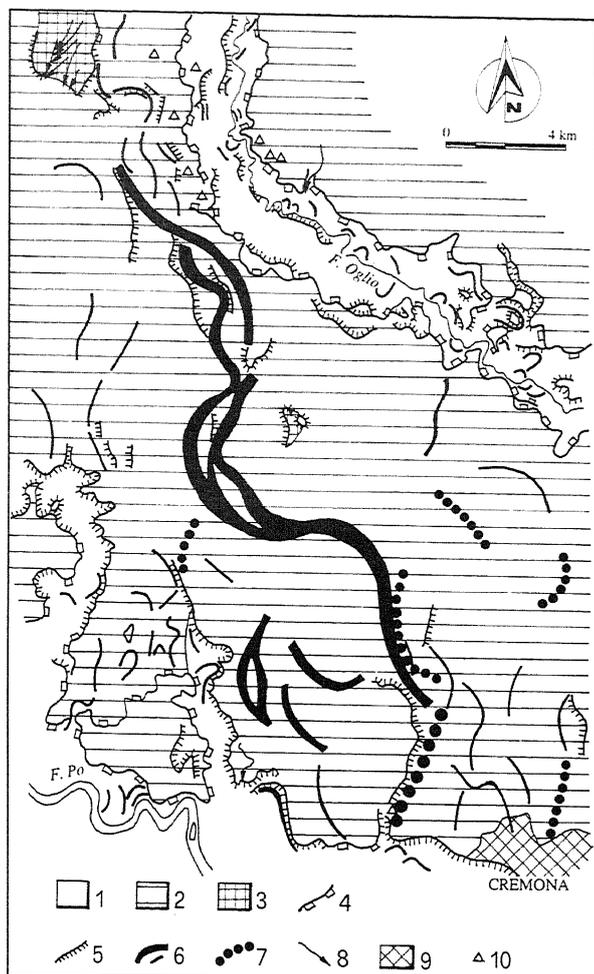


Fig. 5 - Carta geomorfologica schematica dell'area a NW di Cremona. Legenda: 1) Depositi alluvionali olocenici, 2) "Livello fondamentale della pianura", 3) Depositi dei terrazzi antichi, 4) Orlo di terrazzo fluviale con dislivello superiore a 5 metri, 5) Orlo di terrazzo fluviale con dislivello inferiore a 5 metri, 6) Paleovalve, 7) Dosso fluviale, 8) Incisione fluviale, 9) Area urbanizzata, 10) Cava.

Schematic geomorphological map of the northwestern portion of the Cremona area. Legend: 1) Holocenic alluvial deposits, 2) "Main level of the plain", 3) Deposits of old terraces, 4) Edge of terrace more than 5 m high, 5) Edge of terrace less than 5 m high, 6) Palaeo river, 7) Alluvial ridge, 8) Fluvial incision, 9) Built-up area, 10) Quarry.

parametro L a Q è del tipo $L = a \times Q^b$. Dury (1964) suggerì in base ai dati in suo possesso che $a = 30$ e $b = 0.5$ (Fig. 6). Ipotizzando che il parametro b possa variare in situazioni geografiche differenti (a è di interesse limitato in questa discussione poiché è una costante) del 10% in più o in meno $0.45 < b < 0.55$, si nota immediatamente che per meandri con lunghezza 5-6 volte maggiori le portate dovrebbero risultare tra circa 20 e 50 volte maggiori.

Nei casi in esame, ad esempio per il Mincio, dove il rapporto tra le lunghezze della paleo idrografia e dell'attuale corso d'acqua è 5.66, il rapporto tra le corrispondenti portate di piena dovrebbe variare tra 23 [$Q = (5.66L/30)^{1.82}$] e 47 [$Q = (5.66L/30)^{2.22}$] volte. Le portate di piena del attuale F. Mincio secondo questa equazione si dovrebbero aggirare attorno a $(2036/30)^{1.82+2.22} = 2156 \div 11649$ piedi cubi al secondo ovvero circa $61 \div 329$ m³/sec mentre per il

corso abbandonato e sovradimensionato le portate di piena dovrebbero essere comprese tra 1432 e 15482 m³/sec. In realtà la portata di piena per il F. Mincio non è disponibile come dato direttamente misurato. Considerando che la portata massima durante il decennio 1951-1960 è stata di 163 m³/sec (Servizio Idrografico, 1963) mentre la portata media di 59,7 m³/sec, la portata di piena calcolata risulta compatibile con l'equazione adottata. Supponendo che la portata di piena si aggiri sui 100 m³/sec, tenendo sempre arbitrariamente fisso e pari a 30 il parametro a , l'equazione adottata diverrebbe $Q = (L/30)^{1.94}$. Utilizzando la stessa equazione la paleo portata di piena potrebbe essere pari a 2925 m³/sec.

4. CONCLUSIONI

Le variazioni delle condizioni climatiche che favorirono la deglaciazione hanno causato cambiamenti nelle caratteristiche idrodinamiche sia negli affluenti di destra che di sinistra del F. Po. Queste variazioni hanno prodotto una rapida diminuzione delle portate sia liquide che solide dei corsi d'acqua. La preponderanza della riduzione della portata solida rispetto a quella liquida in accordo con quanto avvenuto in tutta l'Europa continentale e in Nord-America causò il passaggio da corsi d'acqua di tipo braided a corsi d'acqua monocursali di tipo meandriforme e da condizioni di aggradazione a condizioni di erosione (Fig. 7). Condizioni locali legate alla presenza, durante l'ultimo massimo glaciale, di sistemi morfogenetici dominanti differenti sulle Alpi (glaciale) e sugli Appennini (periglaciale), unitamente ad altre cause come la formazione di grandi laghi prealpini, le differenze nelle litologie dominanti e dei movimenti tettonici, causarono una risposta di intensità differente del sistema fluviale al medesimo cambiamento climatico. Questa risposta ha comunque prodotto l'incisione dei depositi di conoide tardopleistocenici che può essere datata con sufficiente approssimazione nei ritrovamenti organici od archeologici nei suoli sviluppatasi sulle conoidi ghiaiose pedeappenniniche. Lo stesso fenomeno, difficilmente databile nella pianura di pertinenza alpina, ma correlabile a quanto avvenuto nell'area appenninica (Cremaschi & Marchetti, 1995), permette invece di stimare l'entità del fenomeno di riduzione della portata. È importante infatti notare non tanto il valore assoluto, determinato attraverso l'utilizzo di funzioni di potenza, quanto l'ordine di grandezza dello stesso che indica un primo tentativo di misura delle portate fluviali durante la fase di aggradazione finale dell'ultimo massimo glaciale.

Questo studio rappresenta quindi un primo tentativo di chiarimento dei meccanismi che indussero le variazioni idrodinamiche connesse alla deglaciazione. Tuttavia, la discussione concernente questo problema rimane aperta e per trovare una soluzione definitiva altri aspetti e discipline dovranno fornire dati che possano ulteriormente sviluppare il modello. Tra queste indagini sono senz'altro auspicabili ricerche morfometriche dei conoidi di pertinenza sia alpina sia appenninica e lo studio dell'interazione tra gli effetti del sistema fluviale e di quello marino con la relativa ricostruzione della linea di costa dall'ultimo massimo glaciale ad oggi.

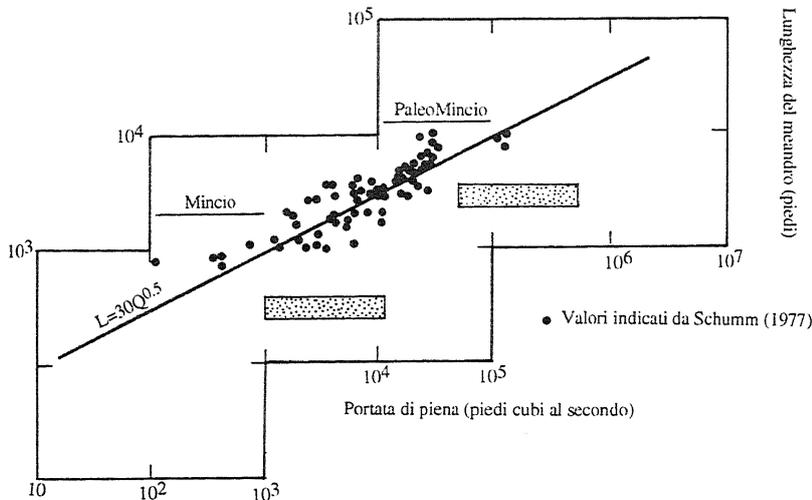


Fig. 6 - Relazioni tra le lunghezze dei meandri e la portata di piena (modificato da Schumm, 1977). Le aree puntinate rappresentano il possibile campo delle portate di piena per il F. Mincio e per il PaleoMincio con variazioni del parametro b del 10%.

Relations between meander wavelength and bankfull discharge (modified from Schumm, 1977). The dotted areas represent the variation fields of Mincio's and PaleoMincio's bankfull discharge at the b parameter change of 10%.

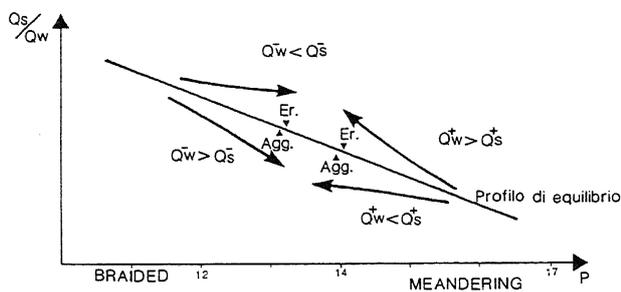


Fig. 7 - Schema che chiarisce le relazioni esistenti tra il rapporto portata solida (Q_s)/portata liquida (Q_w) e il pattern di drenaggio al variare della portata totale (da Starkel, 1983, modificato).

Scheme showing the relations between sediment load discharge ratio (Q_s) vs. water discharge (Q_w) and the drainage pattern as the total discharge varies (modified from Starkel, 1983).

RINGRAZIAMENTI

Lavoro eseguito con finanziamento del fondo per la ricerca M.U.R.S.T. ex 60%, *Geomorfologia climatica nell'Appennino emiliano, nella pianura modenese-reggiana e nell'alta pianura mantovana - Applicazioni didattiche*, responsabile Prof. S. Piacente.

BIBLIOGRAFIA

- Alessio M., Allegri L., Bella F., Calderoni G., Cortesi C., Cremaschi M., Improta S., Papani G. & Petrone V., 1981 - *Le datazioni ^{14}C della pianura tardowürmiana ed olocenica nell'Emilia occidentale*. In: Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'Italia, Pubb. n° 356, P.F. Geodinamica, 1411-1435.
- Bondesan M., Castiglioni G.B. & Gasperi G., 1989 - *Geomorphological map of the Po Plain: progress report of the Working Group*. Materiali, Dip. di Geografia, Univ. di Padova, 1989/8, 1-23.
- Bull W.B., 1964 - *Geomorphology of segmented alluvial fans in western Fresno County, California, U.S.* Geol. Surv. Prof. Paper 352-E, 89-129.
- Casati E., Olivieri M. & Previtali F., 1988 - *Caratteristiche paleopedologiche dei suoli del pianalto pleistocenico di Romanengo (Cremona). Il fragipan e la petroplintite*. Pianura, 1987/1, 7-42.
- Cremaschi M., 1979 - *Alcune osservazioni sul paleosuolo delle conoidi "würmiane", poste al piede dell'Appennino emiliano*. Geog. Fis. Dinam. Quat., 2, 187-195.
- Cremaschi M., 1985 - *Situazione stratigrafica e paleo-ambientale del mesolitico nel territorio bolognese*. In: *Materiali e documenti per un nuovo Museo della Preistoria*. S. Lazzaro di Savena e il suo territorio. Nuova Alfa Edit., 195-198.
- Cremaschi M., 1987 - *Paleosols and Vetusols in the Central Po Plain (Northern Italy)*. Ed. Unicopli, Studi e Ricerche sul Territorio, 28, 1-306.
- Cremaschi M. & Marchetti M., 1995 - *Changes in fluvial dynamics in the Central Po Plain (Italy) between Lateglacial and Early Holocene*. In: Frenzel B.(ed.): *N.s. Palaeoclimate Research / Paläoklimaforschung*, 14, 173-190.
- Davis W.M., 1913 - *Meandering valleys and underfit rivers*. Am. Ass. Geogr. Annals, 3, 3-28.
- Dury G.H., 1964 - *Principles of Underfit Streams*. Geol. Surv. Prof. Paper 462-A, 67 pp.
- Eckis R., 1928 - *Alluvial fans in the Cucamonga district, southern California*. J. Geology, 36, 11-141.
- Gasperi G., 1995 - *Geologia Regionale: Geologia dell'Italia e delle Regioni circummediterranee*. Pitagora Editrice Bologna, 464 pp.
- 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), 53-62.
- Marchetti M., 1992 - *Geomorfologia ed evoluzione recente della Pianura Padana Centrale a Nord del*

- Fiume Po*. Tesi di dottorato, Univ. Milano, IV ciclo, 200 pp.
- Panizza M., 1977 - *Héritage Périglaciaires würmiens dans l'Apennin Emilien*. Colloque sur le Périglaciaire d'altitude du domaine Méditerranéen et abords, Strasbourg, 205-208.
- Petrucci F. & Tagliavini S., 1969 - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia, Foglio 61, Cremona*. Servizio Geologico d'Italia, 43 pp.
- Pieri M. & Groppi G., 1981 - *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy*. CNR P.F. Geodinamica, pubb. 414, 1-23.
- Schumm S.A., 1977 - *The fluvial system*. Wiley Interscience Publication, 338 pp.
- Servizio Idrografico, 1963 - *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani*. Istituto poligrafico dello Stato, pubb. 17, Roma, 379 pp.
- Servizio Idrografico, 1981 - *Idrografia e idrologia del Po*. Istituto poligrafico e Zecca dello Stato (Cati L., a cura di), pubb. 19, Roma, 310 pp.
- Starkel L., 1983 - *The reflection of hydrologic changes in the fluvial environment of the temperate zone during the last 15.000 years*. In: *Background to palaeohydrology* (Gregory K.J., ed.), Wiley & Sons Ltd., 213-235.
- Starkel L., 1991 - *The Vistula River Valley: A Case Study for Central Europe*. In: *Temperate Paleohydrology* (Starkel L., Gregory K.J. & Thornes B., eds.). Wiley & Sons Ltd, 171-188.

Ms. ricevuto: 14 marzo 1996
Inviato all'A. per la revisione: 17 sett. 1996
Testo definitivo ricevuto: 29 sett. 1996

Ms received: March 14, 1996
Sent to the A. for a revision: Sept. 17, 1996
Final text received: Sept. 29, 1996