

EVOLUZIONE MORFOLOGICA DI ALVEI FLUVIALI MOBILI NEL SETTORE OCCIDENTALE DEL BACINO PADANO

Luisa Pellegrini¹, Franca Maraga², Ornella Turitto², Chiara Audisio² & Gabriele Duci¹

¹Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pavia
Via Ferrata, n. 1 - 27100 PAVIA

²Consiglio Nazionale delle Ricerche - Dipartimento Terra e Ambiente
Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Sede di Torino
Strada delle Cacce, n. 73 - 10135 TORINO
e-mail: lpellegr@unipv.it

RIASSUNTO: L. Pellegrini et al., *Evoluzione morfologica di alvei fluviali mobili nel settore occidentale del Bacino Padano* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

Nell'ambito delle ricerche riguardanti le modificazioni di alvei fluviali, sono stati selezionati alcuni corsi d'acqua significativi per confronto delle analisi di tendenza evolutiva delle forme a canali multipli o intrecciati (pluricursali). In particolare, per quanto attiene al sistema padano occidentale, sono stati individuati tre affluenti del Fiume Po: il Fiume Stura di Lanzo ed il Torrente Orco, di provenienza alpina, ed il Fiume Trebbia, di provenienza appenninica. Per il periodo considerato, che va dalla seconda metà dell'Ottocento all'inizio degli anni Duemila, tali corsi d'acqua si sono rivelati rappresentativi degli stadi di evoluzione dall'alveo pluricursale verso l'alveo a canale singolo (monocursale, quantomeno per alcuni tratti), con riduzione dello spazio fluviale, manifestatasi fino a tutti gli anni Ottanta del Novecento. La riduzione di ampiezza degli alvei, in un primo tempo moderata (da -19% in Trebbia a -36% in Stura), inizia ad essere vistosa e rapida dopo gli anni Cinquanta del secolo scorso, in concomitanza del diffondersi di massicce estrazioni di inerti dagli alvei. Il massimo restringimento (da -44% in Orco a -68% in Stura) è stato registrato intorno al 1990. A partire dagli anni Novanta, peraltro, è stata riscontrata una tendenza inversa, messa in evidenza da espansione degli alvei con valori di allargamento variabili da +15% in Trebbia a +133% in Orco. La fase di restringimento dell'alveo è stata accompagnata da fenomeni di allungamento del percorso fluviale, con valori minimi in Stura di Lanzo e in Trebbia (inferiori a 1%) e massimi in Orco (+8%). Nella successiva fase di allargamento si è riscontrata una più o meno marcata e concomitante riduzione della lunghezza dell'alveo, appena percettibile in Stura di Lanzo e Trebbia e pari a -6% in Orco.

Tale inversione di tendenza, da riduzione ad espansione dell'alveo pluricursale e da allungamento ad accorciamento del suo asse, è stata associata alla quasi totale cessazione della massiccia attività estrattiva in alveo. Per i corsi d'acqua alpini, un ruolo importante è stato attribuito anche alla rapida successione di eventi di piena avvenuti a partire dal 1993, tra i quali, in particolare, quello dell'ottobre 2000 che ha rappresentato il massimo storico su oltre 80 anni di osservazioni.

ABSTRACT: L. Pellegrini et al., *River channel adjustment in the Western Po System (Northern Italy)* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

The research on channel changes in Italian rivers has pointed out processes of incision and narrowing during the last fifty years. The definition of the causes and the practical implications of such variations has stimulated a wish to know more about this phenomenon. As study cases for analysing the trends in the western sector of the Po system, three Po River tributaries have been selected: the rivers Stura di Lanzo and Orco, both from the Alps, and Trebbia, from the Apennines, flowing into the Po River, respectively at 205 m, 177 m and 43 m a.s.l.. Through GIS procedures (for Orco and Trebbia) and digitizer elaboration (for Stura di Lanzo) and using a topographic map on a 1:10.000 scale as a base layer, the morphological changes of the river channel have been deduced comparing historical maps dating from the end of the 1880s to the 1950s (on a 1:25.000 scale), aerial photographs dating from the 1950s (at scales ranging between 1:45.000 and 1:5.000) and satellite images (70 cm resolution); topographic observation and field surveys have allowed us to verify the present situation.

The Stura di Lanzo River develops a braided reach 10.5 km long in the upper alluvial plain. The braided pattern was modelled in coarse gravels. The largest narrowing modifications took place until the 1990s, due to sediment gravel mining. This adjustment caused a width reduction of 80% (1881-1989) along the braided reach that was previously 600 m wide and a 4 m deep channel incision that locally downcuts the fine sediments of buried lacustrine deposits. A local single channel modelling has definitively started since the 1980s, due to the fact that the fine sediments in the bed are unable to maintain the former braided pattern.

The studied reach of the Orco River (25 km long, in the middle-lower plain), is incised into a fluvio-glacial fan and the Po alluvial plain. Over the 19th century the river channel showed a multi-thread morphology, with a braiding intensity variable in space and time. The progressive simplification of the pattern, already observed since the end of the 19th century, has undergone a diffuse acceleration starting from the 1950s (average reduction of 60% in width over the 1881-1990 period). The analysis of human intervention and floods pointed out two opposing roles: the role of man in starting or accelerating the process of the river pattern simplification; the role of the floods in attempting to restore the previous pattern in the plain.

The investigated reach of the Trebbia River, 31 km long, is characterized by a braided morphology. A continuous narrowing of the channel has appeared since 1877 (average reduction of 65% in width over the 1877-1990 period). This narrowing reached reductions of 58% between 1954 and 1990 (during the period of most intense gravel mining) and was accompanied by a channel incision of 2-4 meters.

In all studied rivers the channel narrowing, which occurred up to 1990, was characterized by a lengthening of the channel axis.

Starting from 1990, the rivers showed a reversal of the previous trend, because channel widening took place, concomitant to a shortening of the channel axis. In the alpine watercourses the opposite trend could be a result of the extreme flood that occurred in 2000; in Trebbia River, the almost total cutback of large-scale gravel mining must be considered.

Parole chiave: Modificazioni delle forme fluviali, Alvei ghiaiosi, Impatto antropico, Fiume Stura di Lanzo, Torrente Orco, Fiume Trebbia, Italia nord-occidentale.

Keywords: Channel changes, Gravel bed rivers, Human impact, Stura di Lanzo River, Orco River, Trebbia River, North-Western Italy.

1. INTRODUZIONE

Ricerche riguardanti le variazioni morfologiche degli alvei pluricursali, non confinati o semiconfinati, hanno messo in particolare evidenza processi di progressivo restringimento e incisione in molti corsi d'acqua italiani del sistema padano-veneto e del sistema appenninico centrale (CASTIGLIONI & PELLEGRINI, 1981; FRANCESCHETTI *et al.*, 1990; CANUTI *et al.*, 1992; MARCHETTI, 2002; RINALDI, 2003). Tali processi, già riscontrati su base cartografica d'epoca a partire dai secoli passati, si sono rivelati particolarmente intensi negli ultimi cinquant'anni, in base ad osservazioni e misurazioni derivate da indagini comparate su fotografie aeree e da rilevamenti di terreno (GOVI, 1976; PELLEGRINI *et al.*, 1979; COLTORTI *et al.*, 1991; MARAGA, 1992; GOVI & TURITTO, 1993; MARAGA *et al.*, 2003).

Il restringimento del sistema pluricursale, documentato fino agli anni Ottanta del secolo scorso, ha comportato una sensibile riduzione dello spazio di deflusso laterale degli alvei che prima competeva alle libere manifestazioni dell'attività fluviale: infatti è stata riscontrata la preclusione di rami secondari e la congiunzione al territorio rivierasco dei margini delle isole fluviali più esterne.

Spesso, tra le cause che hanno influito sui suddetti processi fluviali, sicuramente sulla loro accelerazione, sono stati riconosciuti gli interventi antropici, quali le opere di sistemazione idraulica e, ancor più, la pratica delle escavazioni di inerti in alveo, particolarmente diffusa tra gli anni Sessanta e Ottanta (SURIAN & RINALDI, 2003; RINALDI *et al.*, 2005; SURIAN *et al.*, 2005; SURIAN, 2006).

Con gli anni Novanta è stata osservata una tendenza morfologica inversa, con forme d'alveo che riprendono espansione, dando indizio di una nuova fase evolutiva diretta verso il ripristino di precedenti o nuove dimensioni fluviali (SURIAN & RINALDI, 2004).

Il riconoscimento delle attuali forme evolutive e delle interazioni fiume-territorio, in relazione all'inversione di tendenza, ha stimolato gli approfondimenti di studio su conoscenza, distribuzione spaziale ed intensità del fenomeno, ponendo a confronto una casistica di situazioni rappresentative.

Le attività della presente ricerca, sviluppate nell'ambito del Progetto di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN 2005-2007) "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali in Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative", riguardano corsi d'acqua pluricursali della rete idrografica del Fiume Po, distribuiti nella fascia pedemontana di raccordo tra il fronte alpino o appenninico e la pianura padana, costituita da depositi ghiaiosi di ampi conoidi fluvioglaciali e fluviali.

Nel settore occidentale del sistema padano l'andamento pluricursale si sviluppava in molti corsi d'acqua fino alla confluenza nel Fiume Po. Il modello pluricursale ha marcatamente ridotto nel tempo le sue forme e dimensioni, attraverso una sistematica riduzione di larghezza, documentata dall'idrografia storica e dalle forme relitte riconoscibili all'intorno degli attuali percorsi fluviali. La riduzione ha innescato locali trasformazioni dell'alveo, con deflussi contenuti in un solo canale, localmente inciso in profondità entro un corpo sedimentario sabbioso-limoso prefluviale, prima sepol-

to dai depositi ghiaiosi. In tale assetto sedimentario si è quindi prodotto un vistoso mutamento della configurazione dell'alveo stesso dalle originarie forme pluricursali in forme di transizione verso i modelli monocursali (RAMASCO & ROSSANIGO, 1988; MARAGA, 1989; DUTTO & MARAGA, 1994).

Dagli anni Novanta sono state rilevate forme di allargamento dell'alveo, con riconfigurazione di margini di sponda, con riattivazione di rami laterali abbandonati e con nuova alimentazione sedimentaria di barre. Tali indizi di rimodellamento e ripascimento naturale, tuttavia, sono ben lungi dal riproporre le originarie forme e dimensioni dello sviluppo pluricursale.

I risvolti applicativi connessi a questo recente fenomeno di allargamento degli alvei fluviali possono assumere un aspetto fondamentale nella scelta dei criteri da adottare per la futura gestione dei corsi d'acqua. Oltre a norme istituzionali dettate dalla necessità di permettere la funzionalità idraulica lungo la rete idrografica padana (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 1998; 1999; 2005), oggi l'attenzione dei geomorfologi fluviali si è più specificatamente rivolta alla individuazione dei caratteri evolutivi delle forme sedimentarie e degli spazi da destinare al corso d'acqua per garantire, attraverso l'erosione di sponda, un'importante fonte di sedimenti per il trasporto solido, elemento indispensabile alla naturale modellazione dell'alveo (DUTTO & MARAGA, 1991; MALAVOI *et al.*, 1998; PIÉGAY *et al.*, 2005; PITTALUGA *et al.*, 2006; RINALDI, 2006; HABERSACK *et al.*, 2008).

Tali presupposti rappresentano una significativa svolta nella gestione degli ambiti fluviali, in quanto orientano verso approcci tesi ad assecondare le dinamiche morfologiche piuttosto che a contrastarle con interventi di sistemazione idraulica che, spesso, si sono rivelati non idonei, se non pericolosi o dannosi per beni pubblici e privati.

2. INQUADRAMENTO DEI CASI DI STUDIO

Nel sistema padano occidentale la scelta dei corsi d'acqua da sottoporre ad indagine morfologica multi-temporale (150 anni circa), per l'individuazione delle variazioni di forma dell'alveo e per la definizione delle tendenze evolutive fluviali, ha tenuto conto di criteri relativi alla distribuzione geografica di pertinenza alpina e appenninica, alla conoscenza specifica di alvei pluricursali rappresentativi della morfodinamica attuale, alla disponibilità di documentazioni storiche e di dati pregressi, nonché di ripetute e aggiornate riprese aeree. Sono stati, quindi, selezionati tre corsi d'acqua confluenti nel Fiume Po a quote 205 m, 177 m e 43 m s.l.m., rispettivamente: il Fiume Stura di Lanzo e il Torrente Orco, tributari alpini, e il Fiume Trebbia, tributario appenninico (Fig. 1 e Tab. 1).

Il Fiume Stura di Lanzo è affluente alpino del Fiume Po in alta pianura padana (provincia di Torino), alimentato da un bacino montano di 627 km² (MINISTERO LL.PP., 1925), con quota massima di 3676 m s.l.m. (Uja di Ciamarella), con 12% di aree glaciali, chiuso 100 m a valle della stazione idrometrica di Lanzo Torinese (zero idrometrico a quota 446,86 m s.l.m.-MINISTERO LL.PP., 1980). Esce nella pianura fluviale olocenica con terrazzamento di un conoide fluvioglaciale, senza fronte

morenico, e sviluppa un percorso totale di 80 km dalla sorgente alla confluenza in Po a Torino (quota 205 m s.l.m.) di cui gli ultimi 30 km nella pianura fluviale.

Il fiume aveva modellato nei 30 km di pianura un alveo pluricursale, configurato in sequenza di tratti con maggiore e minore frequenza di isole, larghi più di 800 m nella seconda metà del 1800. Negli anni '50 del '900 il fiume presentava l'andamento pluricursale regredito a 20 km di percorso dallo sbocco in pianura, con larghezza massima ridotta a 600 m. Più vistose riduzioni di larghezza, dovute alla riduzione delle isole, si sono rilevate dopo gli anni '50, in concomitanza di una diffusa e continua campagna di estrazione d'inerti e di un periodo di piene minori. Nel 1975 il campo di attività pluricursale era ridotto a valori di larghezza massima contenuti entro i 300 m e nel 1989 era regredito ancora più verso

monte, lungo il percorso di 10,5 km dallo sbocco in pianura, dove la larghezza massima era ulteriormente ridotta entro i 200 m (Fig. 2).

Tale tratto, attualmente ancora pluricursale solo nella sua porzione di monte (1-2 in Fig. 2), è stato assunto a campione dell'evoluzione morfologica dell'alveo pluricursale a isole verso il monocursale.

Il Torrente Orco si origina nelle Alpi Graie piemontesi dalle pendici della Becca di Moncorvè (3865 m s.l.m.) e sbocca nel Fiume Po presso Chivasso (provincia di Torino) a quota 177 m s.l.m., dopo un percorso di 83 km. Drena una superficie di 906 km², di cui 617 km² in territorio montano, con 1,75% di aree glaciali (MINISTERO LL.PP., 1980), chiuso alla stazione idrometrica di Pont Canavese a quota 430 m s.l.m. (MINISTERO LL.PP., 1925). A partire dal suo sbocco in pianura fino alla confluenza in Po (36 km di lunghezza) il torrente attraversa inizialmente un conoide fluvioglaciale e, negli ultimi chilometri, la Pianura Padana. Nella prima metà circa del suo percorso in pianura l'alveo risulta semiconfinato per la presenza del terrazzo insommergiabile (alto da 30 m a 15 m e inciso nel conoide fluvioglaciale), che ne contrasta la mobilità verso la destra idrografica. Il tratto fluviale, preso a campione per analisi morfometriche nel periodo 1881-2003, si riferisce alla parte medio-inferiore del percorso di pianura, per una lunghezza di 25 km.

Il Fiume Trebbia nasce nell'Appennino ligure, alle pendici del Monte Prelà (1406 m s.l.m.) in provincia di Genova e sfocia nel Fiume Po, a ovest di Piacenza, dopo aver percorso circa 120 km. Il suo bacino ha una superficie di 1070 km², di cui l'85% in ambito collinare/montano. La quota massima del bacino si raggiunge al Monte Maggiorasca (1799 m s.l.m.) in corrispondenza dello spar-

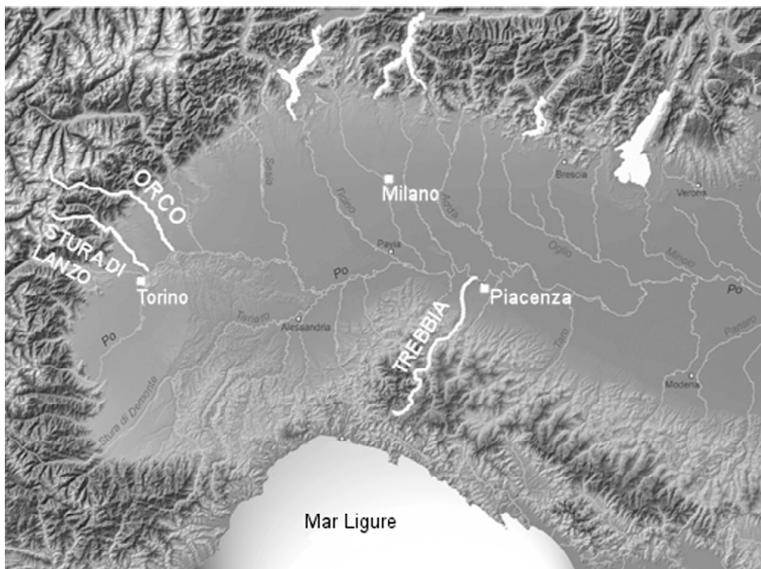


Fig. 1 - Ubicazione dei casi di studio.
Location of study cases.

Tab. 1 - Principali caratteristiche dei corsi d'acqua indagati.
Main characteristics of investigated rivers.

Fiumi	Bacino idrografico totale (a confluenza Po) km ²	Bacino montano km ²	Quota max m s.l.m.	Quota min bacino montano m s.l.m.	Quota confluenza Po m s.l.m.	Lunghezza totale km
STURA DI LANZO	928	627	3676	440	205	80
ORCO	906	617	3865	430	177	83
TREBBIA	1070	890	1799	134	43	118
Fiumi	Lunghezza tratto in pianura/tratto indagato km	Pendenza media asse fluviale in pianura %	Larghezza max m	Precipitazioni medie annue mm	Portata media annua m ³ s ⁻¹	Portata max al colmo m ³ s ⁻¹
STURA DI LANZO	30/10,5	0,78	880 (nel 1881)	1107	20	2000 (ott. 2000)
ORCO	36/25	0,70	800 (nel 1881)	1250	20	1650 (ott. 2000)
TREBBIA	22/31	0,35	1670 (nel 1877)	1400	25	3430 (sett. 1953)
Ambito geologico bacino Stura di Lanzo Cristallino Massiccio ultrabascico di Lanzo a gabbri e serpentiniti; Massiccio del Gran Paradiso a gneiss; Formazione dei Calcescisti con pietre verdi		Ambito geologico bacino Orco Cristallino Massiccio del Gran Paradiso a gneiss; Formazione dei Calcescisti con pietre verdi; Massiccio Sesia Lanzo a micascisti e paragneiss		Ambito geologico bacino Trebbia Sedimentario Unità Liguri, Subliguri e Tosco-Umbre a flysh calcareo-marnoso-arenacei, conglomerati, arenarie, argille, marne e calcari; complessi ofiolitiferi		

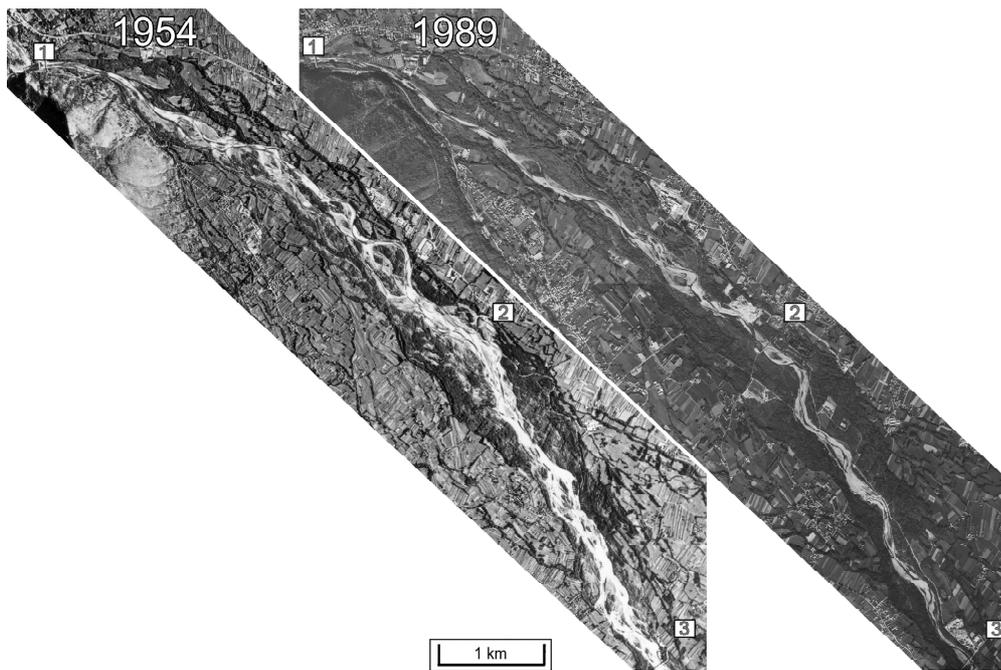


Fig. 2 - Il Fiume Stura di Lanzo nel tratto campione esaminato per l'evoluzione morfologica dell'alveo pluricursale, a testimonianza del periodo di maggiore restringimento dell'alveo (1954-1989). Legenda: 1) sbocco del fiume dal bacino montano; 2) settore di massima espansione nel 1954; 2-3) alveo in transizione verso il monocursale (1989). Nord verso l'alto.

The channel reach studied to represent the morphological evolution of the multi thread system in Stura di Lanzo River. Legend: 1) mouth from the mountain basin; 2) sector of maximum channel enlargement in 1954; 2-3) transitional channel towards a single thread system (1989). North towards up.

tiacque orientale del Torrente Aveto, maggior affluente del Fiume Trebbia. Il tratto montano, lungo circa 95 km, si presenta prevalentemente incassato e profondamente inciso nel substrato roccioso. Il tratto di pianura, compreso tra Rivergaro e il Po e lungo 22 km circa, scorre su un ampio conoide terrazzato. L'alveo pluricursale sul quale sono state eseguite le misure morfometriche per il periodo 1877-2006 si estende anche nell'ampio fondovalle a monte dello sbocco in pianura (fino al ponte di Travo) per una lunghezza complessiva di 31 km.

3. MATERIALI E METODI

L'assetto morfologico degli alvei indagati lungo i tratti rappresentativi del modellamento pluricursale è stato ricavato dall'analisi delle situazioni idrografiche riconosciute su:

- cartografia storica in scala 1:25.000 (Tavolette IGM datate 1881 per Stura di Lanzo, 1881 e 1923 per Orco, 1877 per Trebbia);
- riprese aeree in visione stereoscopica, con scale medie comprese tra 1:33.000 e 1:10.000 (Stura di Lanzo), 1:45.000 e 1:5.000 (Orco), 1:35.000 e 1:7.500 (Trebbia). Le riprese sono state eseguite a partire dal 1945 (Orco) e dal 1954 (Stura di Lanzo e Trebbia), corrispondenti ai voli con scala minore; i voli successivi sono datati 1975, 1989, 2000 e 2003 per Stura di Lanzo; 1954, 1961, 1975, 1989, 1999 e 2003 per Orco; 1976, 1980, 1990, 1996, 2000, 2002, 2003 e 2006 per Trebbia.

Rilevamenti di campo sono stati inoltre condotti nel 1975, 1985 e dal 2004 al 2007.

Da ciascun documento cartografico ed aerofotografico è stato estratto l'alveo totale (*total channel* in THORNE, 1997, pag. 204), considerato come l'insieme dei canali occupati dalle acque basse, delle barre e delle isole, elementi fluviali descrittivi della configurazione idrografica pluricursale, espressa attraverso i para-

metri di larghezza e lunghezza dell'alveo.

Le configurazioni idrografiche di Orco (9 casi) e Trebbia (10 casi) sono state georiferite con l'ausilio di applicativi GIS (*Geographical Information System*) utilizzando come base la Carta Tecnica Regionale (CTR) del Piemonte e dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000. La larghezza dell'alveo è stata misurata lungo sezioni tracciate perpendicolarmente all'asse fluviale, con spaziatura di 100 m per Orco e 25 m per Trebbia. In particolare, relativamente a Trebbia, le sezioni sono state generate automaticamente da un asse fluviale ottenuto a partire dalla somma delle aree occupate dagli alvei nei vari anni considerati. Tale area, dopo essere stata rasterizzata, è stata sottoposta ad un'operazione di "assottigliamento" (*thinning*) e successiva vettorializzazione, fino a definire l'asse (Fig. 3).

In riferimento al grado di precisione ottenuto con queste tecniche di misura, si è valutato un margine di errore contenuto entro 20 m, in accordo con quanto riportato in letteratura (DOWNWARD et al., 1994; WINTERBOTTOM, 2000; LIÉBAULT & PIÉGAY, 2001; RINALDI, 2003; HUGHES et al., 2006). Tale margine di errore è stato ritenuto accettabile a fronte di larghezze dell'ordine delle centinaia di metri.

Per Stura di Lanzo le diverse configurazioni idrografiche (6 casi) sono state misurate con sistema elettronico di digitalizzazione planimetrica, che ha permesso di convertire il disegno da un supporto cartaceo (sulla base della CTR del Piemonte) ad una successione di coordinate comprensibili dall'elaboratore per lo sviluppo di misure automatiche. Le misure di larghezza sono state quindi ricavate con il metodo area/lunghezza, organizzando sei segmenti di alveo, definiti in progressione da monte verso valle lungo il tratto campione di 10,5 km. Con questa procedura di misurazione, l'errore è comunque da ritenersi contenuto entro i 25 m, accettabile per larghezze medie rilevate su ciascun segmento, comprese tra 100 e 800 metri, e riferite alle aree di alveo totale tra 0,053 km² e 1,850 km².

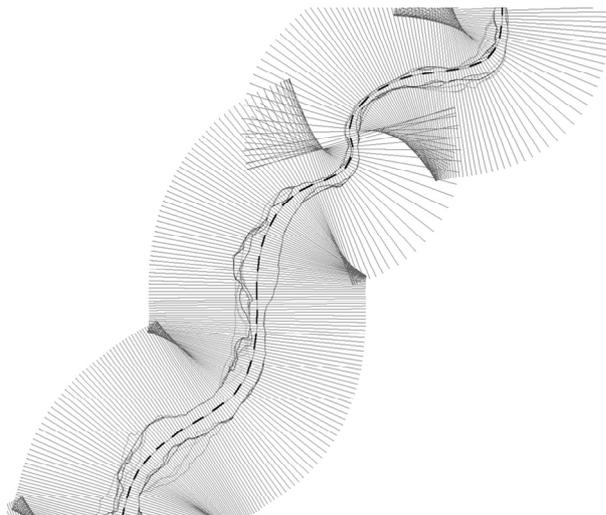


Fig. 3 - Per quanto attiene al Fiume Trebbia le misurazioni di larghezza dell'alveo sono state eseguite su tracce di sezione generate automaticamente, a partire dall'asse fluviale (linea tratteggiata), calcolato tramite "assottigliamento" dell'area occupata dagli alvei nel periodo esaminato.

Concerning Trebbia River, measurements on river-bed width were performed using automatically generated cross sections, beginning from fluvial axis (dashed line), calculated by "thinning" of river-bed areas in the examined period.

Per quanto attiene alle variazioni del parametro lunghezza dell'asse fluviale, per i tre casi indagati non sono stati ritenuti significativi valori inferiori a 20 m (talora riscontrati in Stura e Trebbia).

Con i rilevamenti di campo sono state condotte verifiche ed integrazioni relative alle modificazioni morfologiche più recenti (naturali e antropiche) soprattutto per l'individuazione plano-altimetrica speditiva delle forme fluviali di alveo attivo e non attivo e ai processi di incisione (Govi, 1976), valutati anche con rilievo topografico in Stura di Lanzo (GODONE *et al.*, 2004).

4. RISULTATI

Per ciascun corso d'acqua indagato è stato possibile ricostruire le vicende evolutive dell'assetto morfologico dell'alveo, a partire dalla configurazione planimetrica di fine '800 fino alla situazione attuale, ponendone in evidenza le tappe fondamentali e le forme descrittive dei cambiamenti, espresse dai valori misurati di larghezza dell'alveo e lunghezza dell'asse corrispondente, con indicazioni locali anche del grado di abbassamento.

4.1 Fiume Stura di Lanzo

Nel tratto campione di corso d'acqua pluricursale, con lunghezza pari a 10,5 km nel 1881, misurato dallo sbocco

montano, sul periodo di osservazione dal 1881 al 1989 è stata registrata una fase di importante restringimento, più veloce dopo gli anni Cinquanta, durante la quale la larghezza media dello sviluppo pluricursale risulta ridotta quasi dell'80%. Successivamente, negli anni Novanta si sono susseguite le piene del settembre 1993 e del novembre 1994, che hanno ridimensionato l'alveo aumentandone la larghezza. Le maggiori evidenze di ripresa dello spazio fluviale in larghezza sono state misurate in occasione dell'ultimo evento di piena, riconosciuto quale il massimo storico (1920-2007) e manifestatosi nell'ottobre 2000 con la portata di 2000 m³/s su una media annuale di 20 m³/s (1930-1980), valori ricavati dalla stazione di Lanzo Torinese, sita alla chiusura del bacino montano. La ripresa di larghezza sembra, tuttavia, specificatamente associata alla morfodinamica della piena stessa: infatti, sulle fotografie aeree del 2003 già è manifesto un leggero restringimento delle dimensioni dell'alveo, dovuto all'evoluzione di alcune barre fluviali in piana inondabile incipiente, evoluzione documentata anche dalle successive osservazioni di campo.

Gli aggiustamenti morfologici del modellamento pluricursale si riferiscono alla sequenza temporale delle larghezze medie dell'alveo, misurate per gli anni 1881, 1954, 1975, 1989, 2000 e 2003 (Fig. 4).

Tali aggiustamenti mettono in evidenza che il fiume sta manifestando, dopo il 1989, forme conservative di modellamento pluricursale ad isole verso monte (settore 1-2, anni 2000 e 2003), mentre lo sta abbandonando definitivamente verso valle (settore 2-3, anni 2000 e 2003), in corrispondenza degli affioramenti di un substrato di sedimenti fini prefluviali attribuiti al "Villafranchiano" (CERCHIO *et al.*, 1990), dove il fiume ha inciso un canale principale, unico.

La dinamica di incisione in tale settore è in atto, con valore di abbassamento valutato in 5 m dal 1954 al

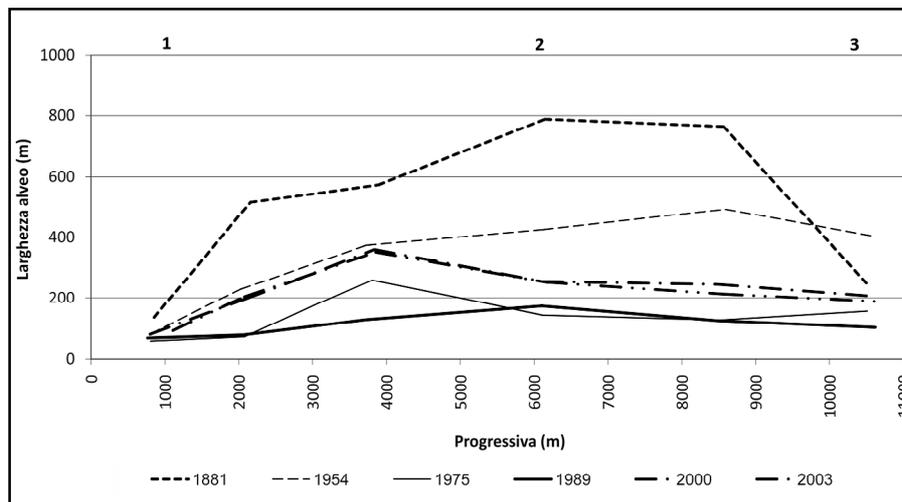


Fig. 4 - Diagramma dell'evoluzione delle larghezze medie dell'alveo, espressa in funzione delle distanze dallo sbocco in pianura per gli anni 1881, 1954, 1975, 1989, 2000 e 2003, nel tratto campione del Fiume Stura di Lanzo (10,5 km): 1, 2, 3 siti di corrispondenza con Fig. 2. Le larghezze minori sono riportate a valle del km 6 dopo il 1954 e sono riferiti all'alveo di transizione verso il monocursale (2-3 in Fig. 2).

Evolutionary graph of the mean channel widths in 1881, 1954, 1975, 1989, 2000 and 2003, as related to the downstream distances from the mouth in the plain in the sample reach of the Stura di Lanzo River (10,5 km): 1, 2, 3 corresponding sites in Fig. 2. Smaller widths are related downstream to the distance of km 6, after 1954, corresponding to the transitional channel towards a single thread system (2-3 in Fig. 2).

2004 (GODONE *et al.*, 2004), nel contesto comunque di un generale abbassamento dell'alveo già rilevato lungo tutto il percorso di pianura, variabile da 2 a 5 m per il periodo 1936-1975 (GOVI, 1976). L'incisione è dovuta alla stabilizzazione di un sistema di deflusso monocursale, mantenuto anche in occasione della piena del 2000, che si ritiene qui irreversibile a parità di future condizioni sedimentarie di trasporto (Fig. 5).

Le lunghezze dell'asse fluviale non hanno subito variazioni significative.

4.2 Torrente Orco

Nel tratto di pianura indagato (25 km) il corso d'acqua ha mostrato durante il XIX secolo un aspetto a prevalenza pluricursale, con forme e numero di ramificazioni variabili nello spazio e nel tempo; la massima espansione del sistema a più canali di deflusso ha toccato nel 1881 e ancora nel 1954 valori intorno a 800 m in corrispondenza del settore centrale.

La graduale semplificazione dell'assetto planimetrico, percepita da fine '800, proseguita fino a metà '900 (Fig. 6) e in generale regressione verso monte, ha subito un'accelerazione da metà '900, riducendo in maniera significativa la larghezza dell'alveo (Fig. 7). Tale processo, accompagnato da abbassamento del fondo - valutato più frequentemente in 1-2 m dal 1961 al 1975, con massimi locali di 3 e 4 m (GOVI, 1976) - si è tradotto a fine anni '70 in una trasformazione dei modelli fluviali originari: l'alveo a più canali di deflusso ha assunto ovunque caratteri di transizione con locali affioramenti del substrato sabbioso-limoso prefluviale a partire dagli anni '80 (Fig. 8), mentre l'alveo con forme di transizione si è ridotto ad un unico canale con andamento sinuoso-meandriforme. Nel 1989 il risultato complessivo di que-

ste variazioni di forma e dimensione ha portato la larghezza media dell'alveo a valori inferiori del 60% rispetto a quelli di fine '800.

Per contro, a partire da inizio anni '90 si è assistito ad un'inversione di tendenza, con aumento della larghezza d'alveo risultato particolarmente accentuato a seguito delle gravi piene del 1993 e del 2000 (ciascuna delle quali ha superato in portata la massima precedente). Infatti, dopo la piena del 2000 il valore di larghezza ha raggiunto un incremento del 133% rispetto al dato del 1989.

Contemporaneamente al fenomeno di restringimento dell'alveo si è registrato un allungamento del suo asse (+8%); il fenomeno di allargamento dell'alveo è stato invece accompagnato da una riduzione della sua lunghezza (-6%).

Per questo caso di studio, recenti indagini sugli interventi antropici e sulle piene (TURITTO & AUDISIO, 2005) hanno permesso di identificare due ruoli contrastanti nei meccanismi di modellamento fluviale: quello dell'uomo nell'avviare o nell'accelerare il processo di semplificazione dell'assetto planimetrico con interventi risultati estremamente invasivi, come in occasione della costruzione di ponti (TURITTO & AUDISIO, 2008); quello delle massime piene nel rimodellare anche radicalmente la configurazione d'alveo, tentando di riproporre le forme pluricursali originarie attraverso ampliamenti di sezione (con locali arretramenti di sponda dell'ordine del centinaio di metri), riattivazione di vecchi rami periferici e formazione di nuove isole (TURITTO *et al.*, 2008).

4.3 Fiume Trebbia

Dalle analisi effettuate lungo il tratto considerato (RINALDI *et al.*, 2005; DUCI, 2007) è risultato un notevole

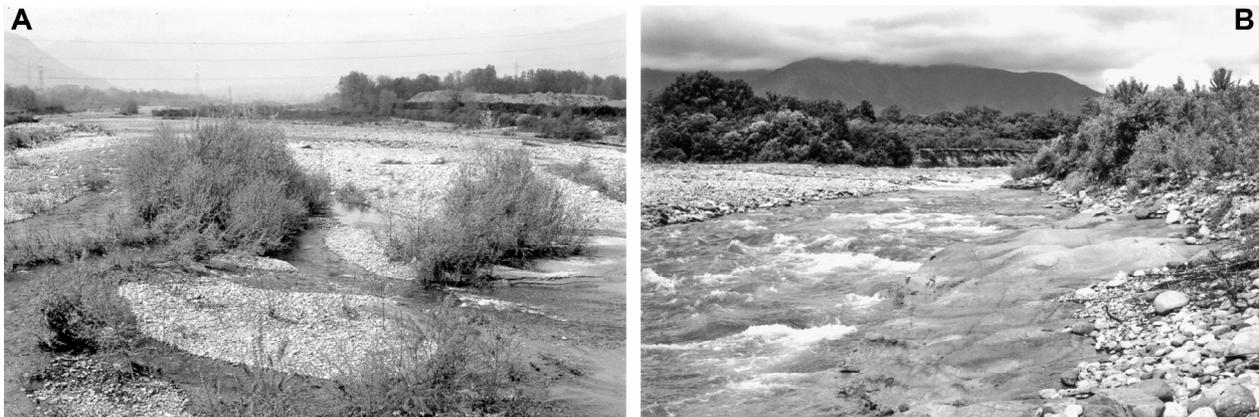


Fig. 5 - **A)** Andamento pluricursale del Fiume Stura di Lanzo (vista verso monte circa 6 km dallo sbocco in pianura, 05/04/2007). Il sito è rappresentativo della forma pluricursale conservata in un segmento di 2,3 km con larghezza media di 260 m nel 2003. In tale segmento, nel 1954, la larghezza media era di 435 m, ridotta a 145 m nel 1989 (1-2 in Fig. 2).

B) Andamento monocursale di transizione del Fiume Stura di Lanzo (vista verso monte circa 7 km dallo sbocco in pianura, 01/06/2007). Il sito è rappresentativo della forma di trasformazione dell'alveo pluricursale verso un alveo monocursale, per incisione progressiva entro sedimenti fini, prefluviali, messi a giorno dall'erosione sotto i depositi ghiaiosi dell'alveo pluricursale, in un segmento di 4,4 km con larghezza media di 200 m nel 2003. Riduzione dell'alveo pluricursale da una larghezza di 450 m nel 1954 a 115 m nel 1989 (2-3 in Fig. 2).

A) Multi thread channel of the Stura di Lanzo River (upstream view, about 6 km from the mouth, 05/04/2007). The site represents the channel form in a 2.3 km long reach with an average width of 260 m, measured on 2003 aerial photographs. The same reach in 1954 had an average width of 435 m and in 1989 the width reduced to 145 m (1-2 in Fig. 2).

B) Transitional single thread channel of the Stura di Lanzo River (upstream view about 7 km from the mouth, 01/06/2007). The site represents the channel form changing from a multi thread channel to a single thread channel, due to progressive downcutting within sedimentary rocks exposed by erosion of the gravel deposits, in a 4.4 km long reach with an average width of 200 m, measured on 2003 aerial photographs. Narrowing to 115 m in 1989 from 450 m measured in 1954 (2-3 in Fig. 2).

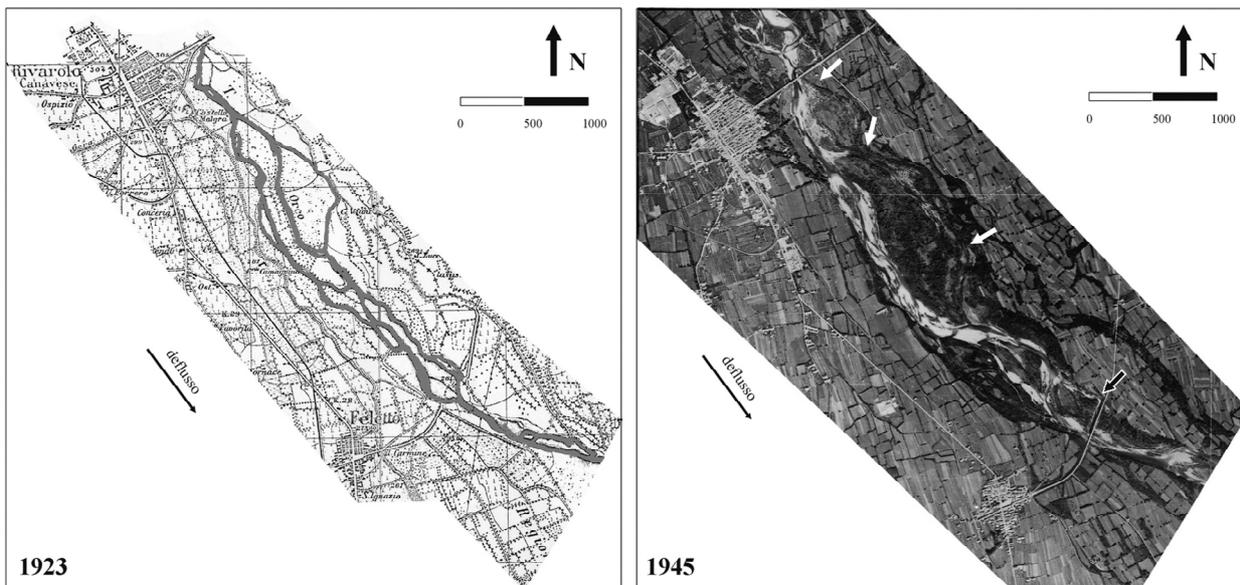


Fig. 6 - Torrente Orco nel settore di monte del tratto indagato. Le immagini mostrano la semplificazione del sistema di deflusso al passaggio dalla situazione del 1923 a quella del 1945; sulla ripresa del 1945 alcuni rami secondari appaiono già abbandonati (freccia nera) mentre altri sono in fase di abbandono (freccia bianca). La luce dei due ponti (quello di Rivarolo, a monte, costruito nel 1850 e quello di Feletto, a valle, costruito nel 1935) è chiaramente troppo esigua rispetto alla naturale larghezza dell'alveo nel sito di attraversamento e i loro lunghi rilevati di accesso invadono e riducono la sezione d'alveo.

The Orco River in the upper investigated reach. The pictures show the simplification of the river pattern from the 1923 to the 1945 configuration; in the 1945 aerial photograph some secondary branches already appear abandoned (white arrows) or are about to be abandoned (black arrow). The spans of the two bridges (the Rivarolo bridge, built upstream in 1850, and the Feletto bridge, built downstream in 1935) are clearly too small for the natural channel width at the crossing sites and their long bridge-approaches encroach and reduce the channel cross-section.

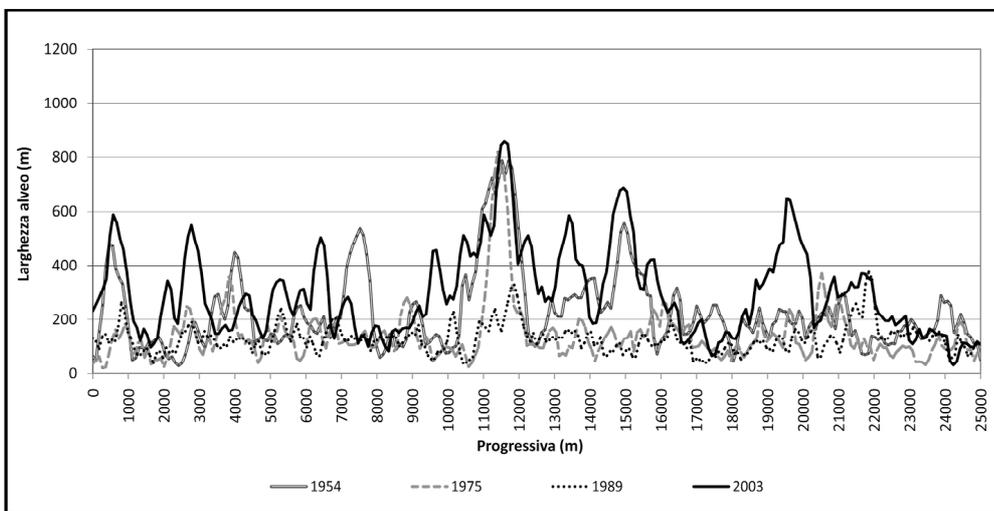


Fig. 7 - Torrente Orco: variazioni di larghezza dell'alveo lungo il tratto indagato (25 km, deflusso verso destra) nel periodo 1954-2003.

Orco River: changes in channel width along the investigated reach (25 km, downflow to the right) over the 1954-2003 period.

restringimento dell'alveo, soprattutto tra il 1877 e il 1990, che ha portato la larghezza massima dai 1670 m del 1877 ai 560 m attuali. Tale restringimento è stato accompagnato da un approfondimento dell'alveo (da 2 a 4 m) con conseguente abbandono di porzioni dello stesso, divenute progressivamente piana inondabile e, in seguito, terrazzo. Il processo di restringimento e approfondimento ha subito una notevole accelerazione a partire dagli anni '60 del secolo scorso, a seguito di un forte deficit di sedimenti nell'alveo la cui causa viene ricondotta all'importante attività estrattiva (Fig. 9) portata avanti nella seconda metà del XX secolo (BEZOARI et al., 1984). E' stato inoltre osservato che i più significativi

restringimenti si sono verificati nei tratti di maggiore ampiezza che caratterizzavano, fino agli ultimi anni '70, l'andamento planimetrico del corso d'acqua (Fig. 10). In particolare, sono state rilevate riduzioni della larghezza media (calcolata su tutto il corso d'acqua) del 19% dal 1877 al 1954 e ulteriori riduzioni del 58% dal 1954 al 1990. Questo restringimento ha portato il corso d'acqua nel 1990 a dimensioni del 66% inferiori rispetto a quelle del 1877, con un dislivello fra la sommità delle barre attuali e la sommità delle ghiaie appartenenti all'alveo del 1877 spesso dell'ordine di 3÷4 m.

I valori sopra menzionati si riferiscono alle variazioni dell'alveo totale comprensivo delle isole.



Fig. 8 - Torrente Orco nel settore intermedio del tratto indagato. Il processo di abbassamento del fondo alveo ha portato all'incisione del materasso alluvionale, raggiungendo i sedimenti fini di depositi lacustri.

The Orco River in the middle investigated reach. The process of bed-level lowering incised the alluvial gravel deposits reaching the fine sediments of lacustrine deposits.

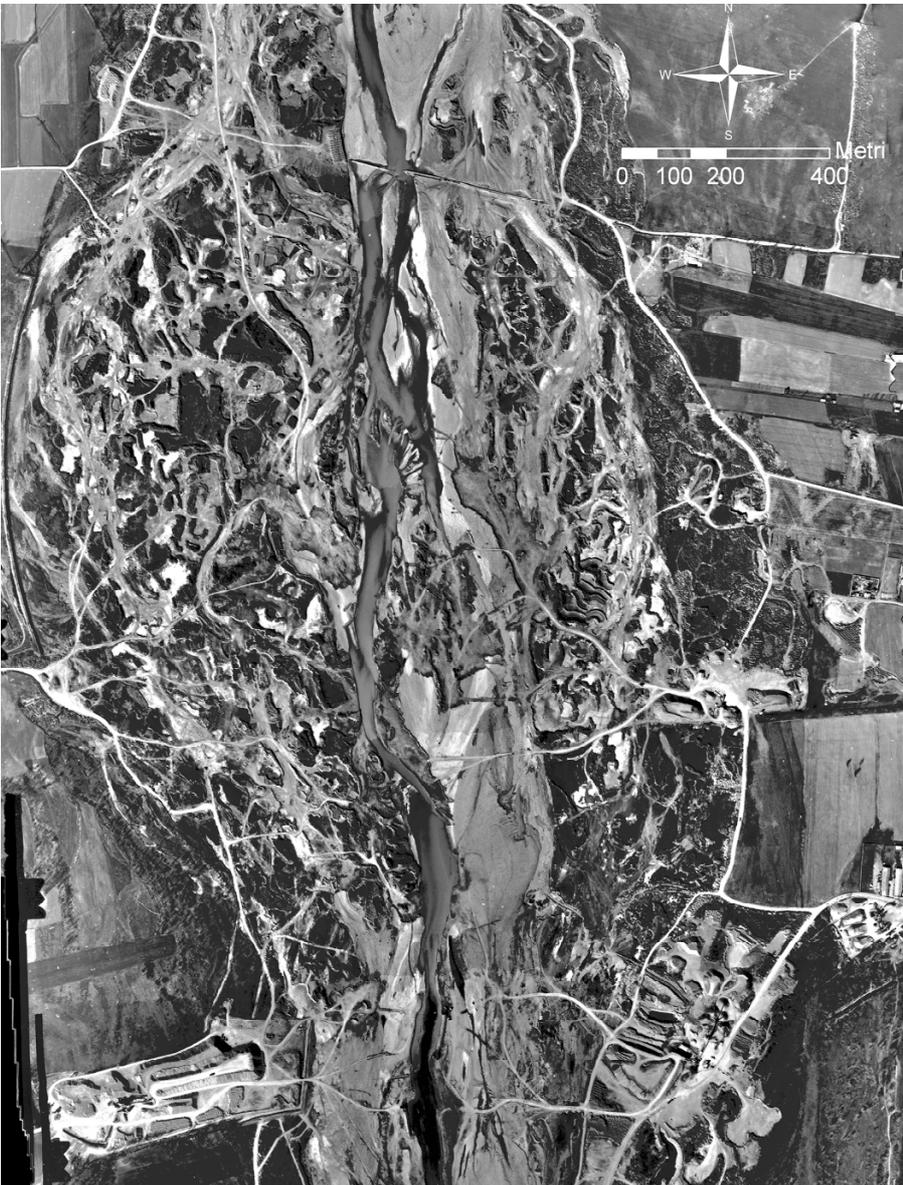


Fig. 9 - Tratto del Fiume Trebbia immediatamente a valle del ponte di Tuna (16 km circa a monte della foce in Po). L'immagine, che si riferisce al volo 1980, mostra quanto sia diffusa e invasiva l'attività estrattiva in alveo.

Trebbia River downstream of Tuna Bridge (16 km upstream to the confluence in the Po). In the aerial photo (1980) we can see the widespread gravel-mining activity in the riverbed.

Escludendo invece dalla misura la parte occupata dalle isole e prendendo in considerazione la sola larghezza dell'alveo attivo (formato solo da canali di deflusso e barre), le variazioni risultano più accentuate. Infatti, negli anni contraddistinti da minore larghezza, la superficie occupata dalle isole è stata massima, a scapito delle aree di deflusso. Tali modificazioni d'alveo derivano dalla ripresa dell'erosione verticale che ha compor-

tato un abbassamento del fondo dei canali con restringimento dell'alveo e prolungata emersione di porzioni fluviali col tempo divenute isole.

Attualmente è possibile osservare un'inversione della tendenza precedente con un allargamento dell'alveo totale del 15% tra il 1990 e il 2006. Nello stesso periodo questo fenomeno è stato accompagnato da un generalizzato smantellamento delle isole che ha prodot-

to un incremento del 29% dell'alveo attivo. La recente tendenza all'allargamento è evidente soprattutto nel tratto medio inferiore di 17 chilometri dalla foce in Po. In questo tratto il Fiume Trebbia mostra una spiccata tendenza all'erosione laterale (in alcuni punti si sono verificati arretramenti dell'ordine del centinaio di metri), che porta a far riconquistare al corso d'acqua porzioni d'alveo perse nei decenni passati. Sembra opportuno precisare, inoltre, che la suddetta erosione laterale si esplica prevalentemente in sponda destra. Qui il corso d'acqua, oltre ad aver nuovamente occupato gli spazi persi, è andato ad interessare aree non precedentemente segnalate come facenti parte dell'alveo. Al recente allargamento si è associata una marcata attività deposi-

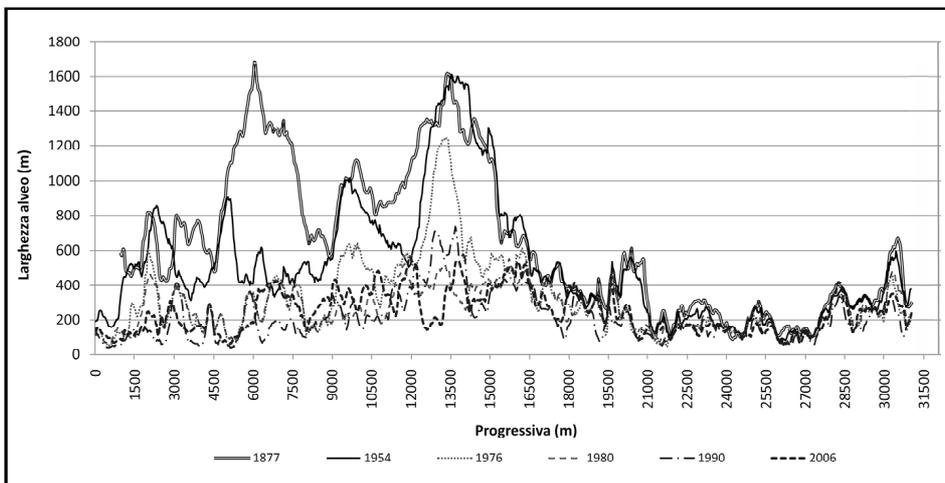


Fig. 10 - Larghezze medie dell'alveo del Fiume Trebbia negli anni 1877, 1954, 1976, 1980, 1990, 2006, in relazione alla progressiva metrica dalla foce in Po (0 m) fino a Travo (31.000 m). Per motivi grafici sono stati riportati soltanto i valori relativi alle annate maggiormente significative, escludendo le misurazioni corrispondenti al 1996, 2000, 2002, 2003. Si noti come le variazioni più rilevanti, in termini di restringimento, siano collocate in corrispondenza dei tratti più ampi situati tra le progressive 4.500 e 15.000 m.

Widths of Trebbia River channel from mouth (0 m) to Travo (31.000 m) measured in 1877, 1954, 1976, 1980, 1990, 2006. For graphical simplification, only significant years were reported, excluding 1996, 2000, 2002, 2003. The most intense narrowing occurred in the over-wide reaches (from 4.500 to 15.000 m).

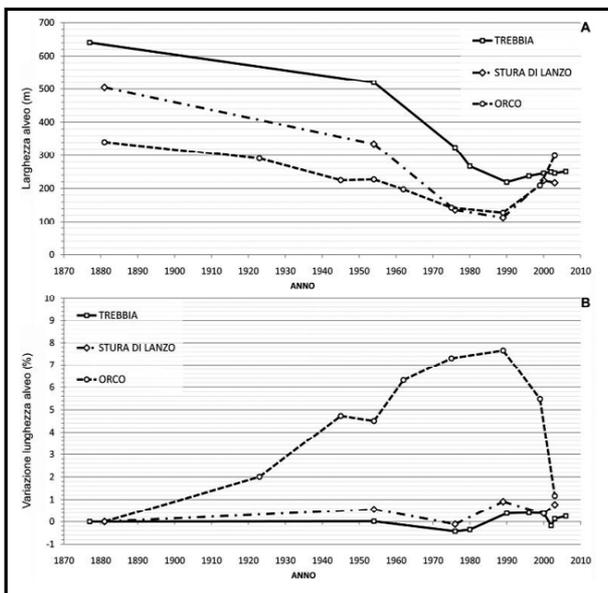


Fig. 11 - Variazioni temporali delle larghezze medie d'alveo (A) e delle corrispondenti lunghezze dell'asse fluviale (B), rilevate a confronto per il Fiume Stura di Lanzo, Torrente Orco e Fiume Trebbia nel periodo considerato di 150 anni circa (dal 1877 al 2006).

Temporal trend comparison of average channel width (A) and length (B) of Stura di Lanzo, Orco and Trebbia Rivers over the 1877-2006 period.

zionale, che ha indotto negli ultimi anni un innalzamento del fondo dell'alveo. Questa indicazione viene fornita dal confronto dei profili longitudinali e confermata dalle evidenze morfologiche riscontrate sul terreno.

In riferimento alla lunghezza dell'asse fluviale, incrementi e decrementi sono risultati molto ridotti.

5. EVOLUZIONE A CONFRONTO

Le informazioni acquisite e i dati elaborati hanno permesso di operare confronti tra i tre corsi d'acqua, da cui sono emerse indiscutibili analogie evolutive del sistema pluricursale, pur con le specifiche differenze dei valori dei parametri misurati nei singoli casi.

Per i tratti rappresentativi di Stura di Lanzo, Orco e Trebbia gli aggiustamenti morfologici degli alvei totali, definiti dalle variazioni di larghezza media del modellamento pluricursale nella sua evoluzione temporale e dalle corrispondenti variazioni di lunghezza degli assi fluviali, sono riportati di seguito, in diagrammi e figure di confronto.

5.1 Variazioni nei valori di larghezza

Dal grafico di Figura 11A appare evidente che, in differente contesto geografico/morfologico (orientazione e superficie dei bacini, lunghezza dei tratti indagati), ambito geolitologico (rocce cristalline o carbonatiche nel bacino montano di pertinenza) e ambiente idrologi-

co (precipitazioni e portate), per i tre corsi d'acqua le larghezze medie degli alvei diminuiscono progressivamente nei primi 70 anni. Infatti, dalla configurazione del XIX secolo a quella dell'anno 1954 emerge un restringimento del 36% in Stura di Lanzo, 33% in Orco, e 19% in Trebbia, a partire da valori medi iniziali rispettivamente di 500, 300 e 600 metri.

Dalle situazioni del 1954 fino a quelle degli anni 1989/1990 (circa 35 anni, la metà del periodo prece-

dente), la diminuzione di larghezza assume un andamento più accelerato contemporaneamente per i tre casi, toccando valori di restringimento pari a 68% in Stura di Lanzo, 44% in Orco e 58% in Trebbia (Fig. 12).

Con gli anni '90 del secolo scorso ciascun corso d'acqua ha invece fatto registrare un'inversione di tendenza con aumento di larghezza dell'alveo che, in poco più di 10 anni, è risultato notevole per Stura con +98% al 2000 (Fig. 13), eccezionale per Orco con +133% al

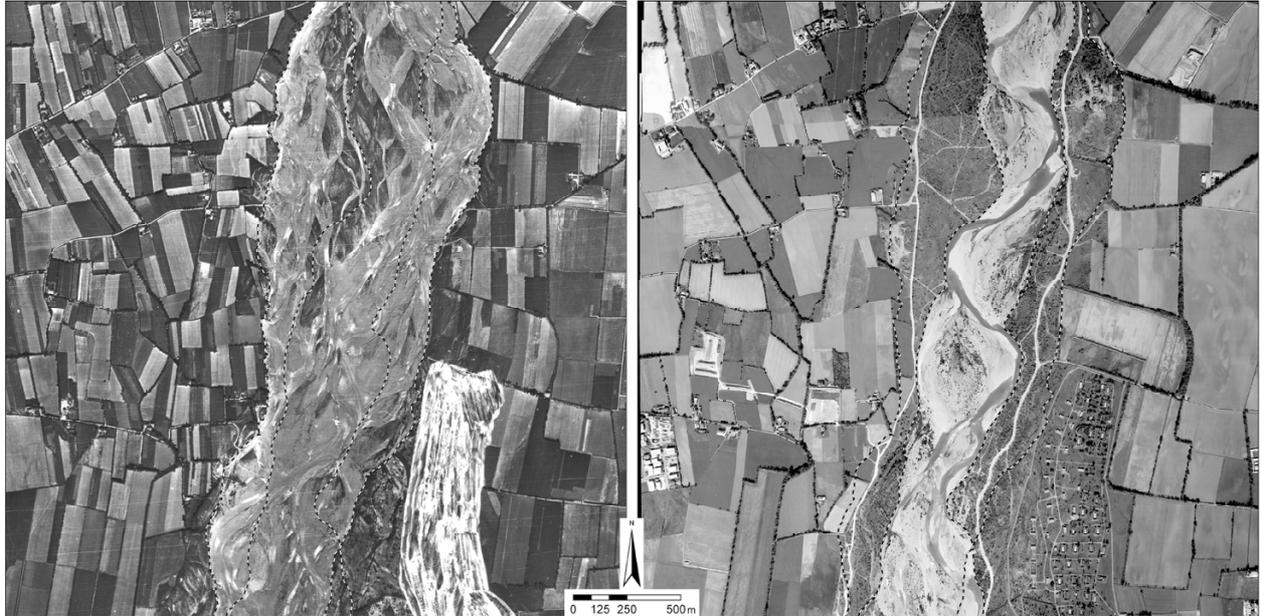


Fig. 12 - All'altezza di Gragnano-Case di Trebbia (10 km circa a monte della foce in Po) il confronto tra le riprese del 1954 (a sinistra) e del 2006 (a destra) evidenzia, oltre alla riduzione di larghezza dell'alveo (sottolineata dal tratteggio), la variazione di configurazione d'alveo che da pluricursale diviene monocursale a barre alternate (alta sinuosità). A quest'ultima configurazione si associano palesi processi di erosione in corrispondenza delle sponde concave delle anse.

The Trebbia River near Gragnano-Case Trebbia (about 10 km upstream to the confluence in the Po). The comparison between the 1954 (on the left) and 2006 (on the right) aerial photographs shows the channel narrowing and the pattern variation, which, from braided, becomes single-thread with alternated bars. Bank erosion occurs in this last configuration.

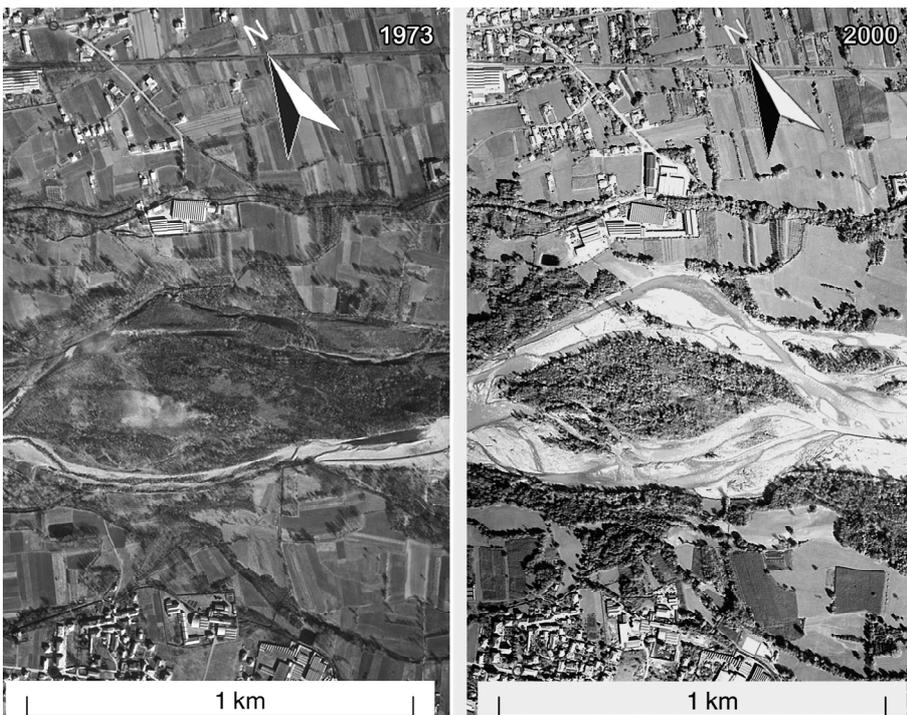


Fig. 13 - Particolarità degli effetti della piena dell'ottobre 2000 in Stura di Lanzo sull'allargamento del sistema pluricursale con isola. A sinistra: situazione 1973 con isola in fase di congiunzione con la piana, per abbandono del ramo laterale sinistro (circa 3 km dallo sbocco del fiume in pianura, deflusso verso destra). A destra: riconfigurazione 2000 dell'isola per riattivazione del ramo laterale sinistro.

Widening flood effects in Stura di Lanzo River due to the 2000 large flood in the multi-thread channel and island. Left: 1973 reduced water flow in the left old channel surrounding an island that is joined to the plain (about 3 km from the river mouth in the plain, river flows towards the right). Right: new configuration in 2000 due to the reactivation of the left channel.

2003 (raggiungendo valori prossimi a quelli di inizio '900) e moderato per Trebbia con +15% al 2006.

In riferimento all'evoluzione attuale va segnalato che misure di larghezza dell'alveo eseguite sui corsi d'acqua piemontesi, a pochi anni di distanza dalla massima piena storica dell'ottobre 2000 (dopo tre anni su Stura e dopo sei anni su un sottotratto campione di Orco) hanno fatto registrare valori che indicano un rinnovato, seppur contenuto, processo di restringimento dell'alveo.

5.2 Variazioni nei valori di lunghezza

Dal grafico di Figura 11B emerge che, nonostante un diverso andamento delle curve in ciascun corso d'acqua indagato, il maggior valore di lunghezza dell'asse fluviale risulta quello riferito agli anni 1989/1990.

Rispetto ai dati del 1877/1881, l'incremento è stato rilevato ovunque e con maggiore entità per Orco (+8%).

L'allungamento dell'asse fluviale è giustificato dalla variazione geometrica di distribuzione delle acque dall'alveo pluricursale verso un alveo monocursale, concentrata lungo un ramo preferenziale di deflusso con andamento sinuoso, che ha generato erosioni ed avanzamenti laterali di sponda. Ciò ha prodotto una modificazione dell'andamento dei limiti dell'alveo totale entro un percorso ad anse, una conseguente variazione planimetrica dell'asse fluviale e, quindi, della sua lunghezza. Infatti, in questo processo evolutivo, ben rappresentato in Orco (Fig. 14, 1954 e 1975), il ramo dominante si è trovato a prevalere rispetto alle altre ramificazioni secondarie, non più connesse al canale principale per fenomeni di abbassamento del suo fondo e per

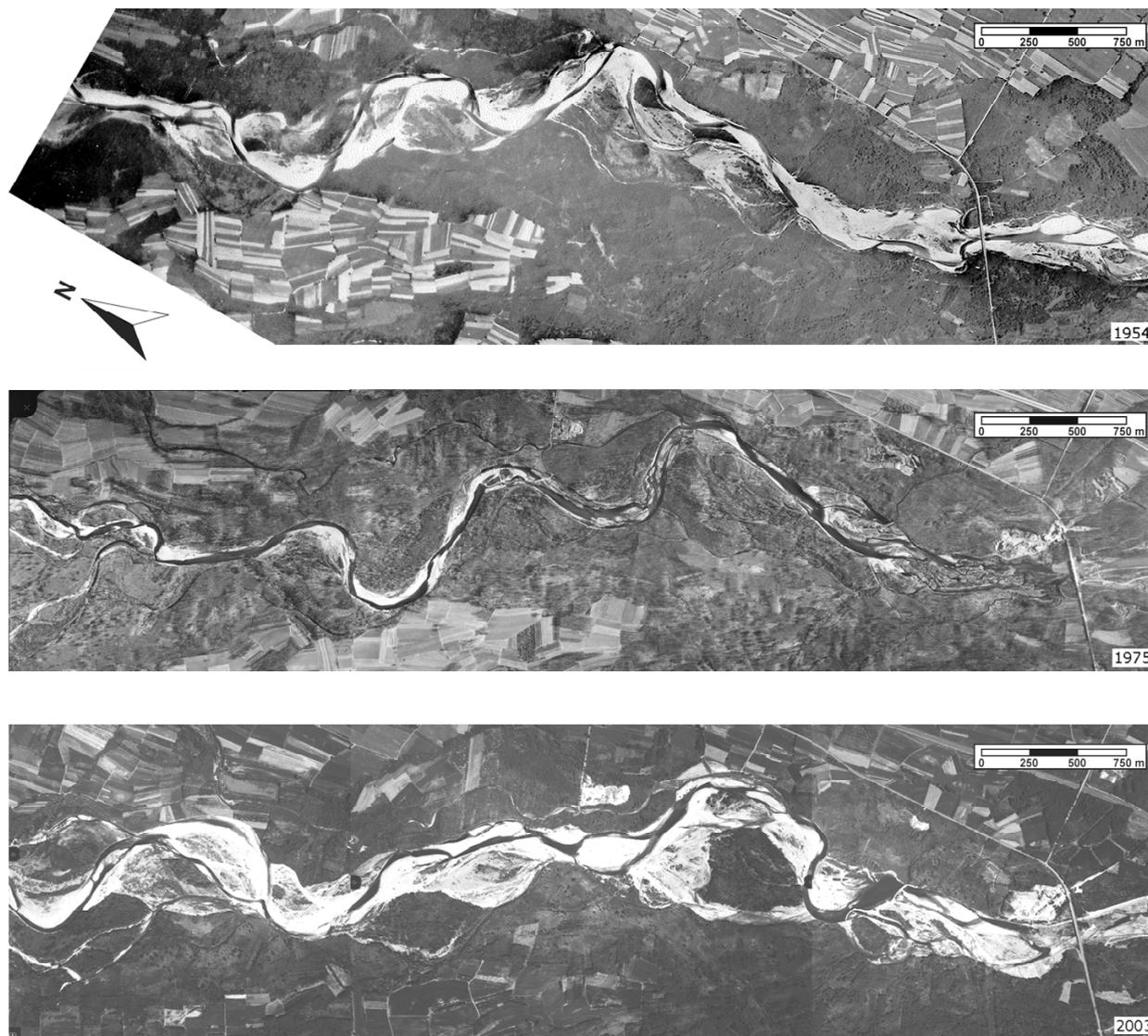


Fig. 14 - Torrente Orco nel settore intermedio del tratto indagato. Le fotografie aeree del 1954 e del 1975 mostrano la trasformazione del modello fluviale verso forme ad unico canale di deflusso, con restringimento dell'alveo totale ed allungamento del suo asse mediante. L'immagine del 2003 documenta le modificazioni di forma e dimensione dell'alveo prodotte dalla piena del 2000, che ha riproposto un modello fluviale analogo a quello del 1954.

The Orco River in the middle investigated reach. The 1954 and 1975 aerial photographs show the pattern transformation towards the single-thread configuration, with total channel narrowing and lengthening. The 2003 picture shows the variation of planimetric forms and dimensions induced by the 2000 flood, similar to those of 1954.

mancanza di piene con livelli tali da mantenerle ricorrentemente attive, escludendo porzioni di alveo dal modellamento fluviale.

Pertanto, gli anni che presentano i valori maggiori di lunghezza coincidono con gli anni del maggior restringimento.

In corrispondenza dell'inversione di tendenza caratterizzata dalla morfogenesi di allargamento degli alvei, avvenuta dopo gli anni 1989/1990 e preceduta da un lungo periodo di restringimento, si rileva anche una riduzione di lunghezza degli alvei, particolarmente significativa in Orco (-6, %). Tale risultato è la conseguenza diretta dell'espansione dell'alveo associata ad una più o meno evidente rettifica del suo asse fluviale (Fig. 14, 1975 e 2003).

6. DISCUSSIONE

L'attività di ricerca condotta sull'evoluzione morfologica dei corsi d'acqua Stura di Lanzo, Orco e Trebbia, appartenenti al settore occidentale del Bacino Padano e rappresentativi del sistema pluricursale, ha posto in evidenza i principali cambiamenti di forma e dimensione intervenuti sulla scala temporale degli ultimi 150 anni. In essi è stata riscontrata una generale riduzione di sviluppo longitudinale dell'alveo con caratteri pluricursali, in regressione verso monte, a partire dalle confluenze in Po. Per Stura di Lanzo tale regressione è risultata particolarmente accentuata con una perdita del 65% di sviluppo longitudinale dell'originario pluricursale di pianura osservato nel 1881.

Misurati per i tre corsi d'acqua i parametri morfologici larghezza e lunghezza dell'alveo totale nei tratti indagati e messe successivamente a confronto nel tempo le loro sequenze evolutive, ne è emersa contemporaneità e analogia di variazioni, quindi di tendenza.

Gli anni in cui compaiono queste variazioni consentono di suddividere l'intervallo di tempo considerato in tre distinti periodi in cui le differenti espressioni evolutive (tipo di variazione ed intensità del processo) sono associate anche a diversi contesti socio-economici e a possibili cause. Se ne illustrano qui di seguito gli aspetti salienti.

a) Il primo periodo (dal 1877 al 1954) è caratterizzato da un fenomeno di riduzione della larghezza media dell'alveo pluricursale contenuto entro valori variabili tra -19% in Trebbia e -36% in Stura di Lanzo. In riferimento al parametro lunghezza, l'ampio alveo di Trebbia ha mantenuto un valore costante, quello di Stura di Lanzo ha fatto registrare un lieve allungamento, mentre quello di Orco appare in progressiva crescita.

In merito alle possibili cause si fa rilevare che, pur non potendo escludere che queste variazioni fossero inizialmente collocate in un contesto evolutivo naturale, sicuramente l'uomo le ha favorite e indirizzate per acquisire spazi fluviali ad uso antropico. Infatti è documentata, quantomeno per Stura e Orco, la fruizione di rami secondari più esterni per irrigazione o per produzione di forza motrice. Ricade in questi anni anche la costruzione delle prime importanti opere viarie, dei primi interventi di sistemazione idraulica a cura del Genio Civile e dell'avvio dell'e-

scavazione di inerti, con occupazione ed alterazione, ancora circoscritte, degli spazi fluviali.

b) Il secondo periodo (dal 1954 al 1990) è contraddistinto da accelerazione del processo evolutivo precedente con più rapida riduzione dei valori medi di larghezza, minore per Orco (-44%), più accentuato per Trebbia (-58%) e soprattutto per Stura (-68%). I dati di lunghezza non variano in modo significativo per Stura e Trebbia, mentre crescono ancora per Orco. Il comune aspetto saliente è la contemporaneità del minimo valore di larghezza e del massimo valore di lunghezza al passaggio dagli anni Ottanta agli anni Novanta, che segna la fine del secondo periodo e corrisponde all'esaurimento delle riduzioni di larghezza.

A differenza di quanto segnalato per il periodo precedente in merito alle possibili cause, si sottolinea che, proprio a partire dagli anni '50, l'intervento dell'uomo nelle sue varie forme è stato estremamente invasivo ed ha portato ad una drastica rottura degli equilibri originari. Ne è derivata la brusca accelerazione della riduzione di larghezza degli alvei, favorita da processi di abbassamento del loro fondo, con palesi ripercussioni negative sull'assetto ambientale del territorio: sottoescavazione delle pile dei ponti e delle difese di sponda, inofficiosità delle opere di derivazione, abbassamento dei livelli di falda, locale messa a giorno di corpi sedimentari prefluviali, con trasformazione morfologica dell'alveo pluricursale verso forme monocursali. Questo secondo periodo corrisponde ai tempi della grande ricostruzione post bellica e della successiva intensa antropizzazione per il diffuso sviluppo abitativo, viario e industriale, che hanno comportato sia una notevole richiesta di inerti, sia locali artificializzazioni degli alvei.

c) Il terzo periodo (successivo al 1990) fa registrare un'inversione di tendenza con fenomeni di allargamento d'alveo, anche se con valori differenti per i tre corsi d'acqua (+15% in Trebbia, +98% in Stura e +133% in Orco), e di riduzione della sua lunghezza. Questo terzo e più breve periodo si caratterizza per la maggior sensibilizzazione ai problemi del territorio da parte della comunità e dei servizi tecnici locali e nazionali, tradotta recentemente in riscontri normativi (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 1999; 2005). In particolare, le restrizioni imposte sulle modalità di estrazione di inerti (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 1998) - con pressoché totale azzeramento della loro asportazione dal letto dei corsi d'acqua - hanno portato ad una rinnovata, seppur non quantificata, disponibilità di sedimenti in alveo, che ha garantito per Stura, Orco e Trebbia un più naturale equilibrio tra portate liquide e carico solido per il modellamento pluricursale. Infatti, l'adeguamento morfo-dinamico al nuovo equilibrio ha favorito la riconfigurazione dell'alveo, recuperando parte degli spazi fluviali abbandonati o sottratti nel passato, oppure acquisendone di nuovi attraverso l'erosione laterale. Nel caso di Stura di Lanzo e di Orco, in aggiunta, il manifestarsi di un evento di piena, quello dell'ottobre 2000, il massimo conosciuto degli ultimi 80 anni, ha reso immediati e più evidenti questi effetti morfologici. In Trebbia non sono stati riscontrati effetti così

repentini ed intensi per mancanza di episodi di piena con analoghe caratteristiche estreme. Per quest'ultimo corso d'acqua, pertanto, il fenomeno di allargamento dell'alveo è essenzialmente imputabile alla drastica riduzione di prelievo di inertici.

Inoltre, lungo l'Orco gli effetti del rimodellamento dovuto alla piena del 2000 sono apparsi particolarmente esaltati con più marcato aumento di larghezza dell'alveo, associato a riduzione della sua lunghezza. Si ritiene che tale effetto possa essere in buona parte dovuto al minor abbassamento medio di fondo subito da questo corso d'acqua negli anni di massimo restringimento del suo letto.

Occorre tuttavia sottolineare che, comunque, nei tre corsi d'acqua considerati, dopo il 2000 le larghezze d'alveo misurate risultano stazionarie e persino in debole diminuzione su Stura e Orco, quantomeno a carattere locale. Ciò induce a considerare, almeno per i corsi d'acqua piemontesi, un ulteriore quarto periodo caratterizzato da variazioni tendenti a riaggiustare forma e dimensione dell'alveo, su larghezze più contenute rispetto a quelle modellate dalla piena del 2000.

7. CONCLUSIONI

Sulla base dei dati messi a confronto per i corsi d'acqua Stura di Lanzo, Orco e Trebbia (Bacino Padano occidentale), è stato possibile individuare tre ben definiti e contemporanei periodi di evoluzione del sistema fluviale a canali multipli (pluricursale): il primo si colloca tra fine Ottocento e metà Novecento ed è caratterizzato da restringimento dell'alveo; il secondo è compreso tra metà Novecento e fine anni Ottanta ed è contrassegnato da accelerazione del processo di restringimento; il terzo prende avvio nei primi anni Novanta e si manifesta con un allargamento dell'alveo, introducendo dunque un'inversione di tendenza.

I primi due periodi, caratterizzati da diverso grado di restringimento (fine '800-1954 e 1954-1990), corrispondono, a grandi linee, ai due intervalli di tempo (1850-1950 e 1950-1970) in cui è stato riscontrato prima un graduale, poi un rapido restringimento dell'alveo anche lungo numerosi corsi d'acqua del versante alpino francese (LIÉBAULT & PIÉGAY, 2002).

Inoltre in relazione ai tre periodi individuati per i corsi d'acqua indagati - di cui il più recente si riferisce all'inversione di tendenza dal restringimento all'allargamento dell'alveo - analoghe e contemporanee modificazioni sono state riscontrate lungo corsi d'acqua con tipologia pluricursale presenti nel territorio del Triveneto, afferente al settore orientale dell'Arco Alpino (SURIAN, 2006).

Ancora, gli stessi tre periodi trovano buona corrispondenza nelle tre "fasi" definite rispettivamente di "restringimento e incisione parziale", "restringimento e incisione più intensi", "inversione di tendenza e parziale recupero", riconosciute per alvei fluviali della rete idrografica che compete all'Appennino centro-settentrionale (RINALDI *et al.*, 2008).

Dall'insieme di queste diffuse, molteplici e concordanti situazioni di cambiamento fluviale sembrano dunque profilarsi circostanze evolutive comuni in molti corsi d'acqua afferenti a sistemi idrografici dell'Arco Alpino e dell'Arco Appenninico.

La successione dei cambiamenti di forma e dimensione del modello d'alveo pluricursale, appare chiaramente manifestata per tappe contemporanee e cronologicamente distinte, che ne hanno scandito il processo evolutivo degli ultimi 150 anni con risposta morfologica conforme a scala regionale.

RINGRAZIAMENTI

Pubblicazione finanziata con fondi del Progetto MIUR-PRIN 2005, Unità di Ricerca di Pavia (Responsabile scientifico Luisa PELLEGRINI) "Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali nel settore occidentale del sistema padano: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative" (prot. 2005044240_002); Coordinatore nazionale Nicola SURIAN dell'Università di Padova.

Indagini ed elaborazioni a cura di PELLEGRINI e DUCI per il Fiume Trebbia, MARAGA per il Fiume Stura di Lanzo (con la collaborazione di G. RIVELLI e C. PELISSERO), TURITTO e AUDISIO per il Torrente Orco.

Si ringraziano i Revisori del testo per le precise osservazioni e gli utili suggerimenti.

I fotogrammi a corredo del testo sono resi liberi per gli usi consentiti dalla Legge (D.P.R. 367 del 29.09.2000).

BIBLIOGRAFIA

- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (1998) - *Direttiva in materia di attività estrattive nelle aree fluviali del bacino del Po* - Allegato 4 al "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali", Parma, 5 pp.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (1999) - *Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B"* - Art. 15 delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, Parma, 43 pp.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2005) - *Programma generale di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del Fiume Po-Stralcio confluenza Tanaro confluenza Arda* - Parma, 127 pp.
- BEZOARI G., BRAGA G., GERVASONI S., LARCAN E. & PAOLETTI A. (1984) - *Effetto dell'estrazione di inertici sull'evoluzione dell'alveo del fiume Trebbia* - 2° Conv. Idraulica Padana. Parma, 15-16 giugno 1984, pp. 163-182.
- CANUTI P., CENCETTI C., CONVERSINI P., RINALDI M. & TACCONE P. (1992) - *Dinamica fluviale recente di alcuni tratti dei Fiumi Arno e Tevere* - Atti del Convegno "Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali", Università di Ancona, 14-15 ottobre 1991, pp. 21-35.
- CASTIGLIONI G.B. & PELLEGRINI G.B. (1981) - *Geomorfologia dell'alveo del Brenta nella pianura tra Bassano e Padova* - In: ZUNICA M. (Ed.) Il territorio della Brenta, Amministrazione Provinciale di Padova e Università di Padova, pp. 12-32.
- CERCHIO E., COCCOLINI G.B.L., FORNELLI A., FOZZATI L. & TROPEANO D. (1990) - *Per una archeologia forestale in Piemonte. Il giacimento "Villafranchiano" della Stura di Lanzo* - Quaderni della Soprintendenza

- Archeologica del Piemonte, pp. 1-25.
- COLTORTI M., NANNI T. & VIVALDA P. (1992) - *La bassa valle del Fiume Musone (Marche): geomorfologia e fattori antropici nell'evoluzione della pianura alluvionale* - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **14**, pp. 101-111.
- DOWNWARD S.R., GURNELL A.M. & BROOKES A. (1994) - *A methodology for quantifying river channel planform change using GIS* - IAHS Publ. 224, pp. 449-456.
- DUCCI G. (2007) - *Analisi delle variazioni morfologiche recenti dell'alveo del F. Trebbia da Perino alla foce. Metodi d'indagine* - Tesi di Laurea Specialistica in Scienze Geologiche Applicate. Università di Pavia, 217 pp., 7 tav.f.t.
- DUTTO F. & MARAGA F. (1991) - *Valutazione dei sedimenti mobilizzati nel periodo 1955-1988 lungo le sponde del Fiume Po* - Cnr-IRPI, Torino, Rapporto interno MI/91.1, 24 pp.
- DUTTO F. & MARAGA F. (1994) - *Variazioni idrografiche e condizionamento antropico. Esempi in pianura padana* - Il Quaternario, **7**(1), pp. 381-390.
- FRANCESCHETTI B., STOPPATO M. & TURITTO O. (1990) - *Le modificazioni del corso della Dora Riparia tra Susa e Alpignano dal 1881 al 1977. Fattori naturali e antropici e riflessi ambientali* - Rivista Geografica Italiana, **XCVII**(4), pp. 475-505.
- GODONE F., BALDO M. & MARAGA F. (2004) - *Una foresta nell'alveo del F. Stura di Lanzo (TO): Rilevamenti topografici, Cartografia e GIS* - Atti 8ª Conferenza Nazionale ASITA, Roma 14-17 Dicembre 2004, pp. 1219-1224.
- GOVI M. (1976) - *Ricerche sui processi di riattivazione delle capacità erosive negli alvei dei torrenti Stura di Lanzo e Orco* - La Ricerca Scientifica, **46**(2), pp. 332-334.
- GOVI M. & TURITTO O. (1993) - *Processi di dinamica fluviale lungo l'asta del Po* - Acqua Aria, **6**, pp. 575-588.
- HABERSACK H., PIÉGAY H. & RINALDI M. (Eds.) (2008) - *Gravel-bed rivers VI. From process understanding to river restoration* - Elsevier B.V., 817 pp.
- HUGHES M.L., McDOWELL P.F. & MARCUS W.A. (2006) - *Accuracy assessment of georectified aerial photographs: Implication for measuring lateral channel movement in a GIS* - Geomorphology, **74**, pp. 1-16.
- LIÉBAULT F. & PIÉGAY H. (2001) - *Assessment of channel changes due to long-term bedload supply decrease, Roubion River, France* - Geomorphology, **36**, pp. 167-186.
- LIÉBAULT F. & PIÉGAY H. (2002) - *Causes of 20th century channel narrowing in mountain and piedmont rivers of southeastern France* - Earth Surface Processes and Landforms, **27**, pp. 425-444.
- MALAVOI J.R., BRAVARD J.P., PIEGAY H., HEROIN E. & RAMEZ P. (1998) - *Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau* - Agence de l'Eau-Bassin Rhône Méditerranée Corse, Guide Technique n. 2, Lyon, 39 pp.
- MARAGA F. (1989) - *Ambiente fluviale in trasformazione: l'alveo-tipo pluricursale verso un nuovo modellamento nell'alta pianura padana* - Proceeding of the International Congress on Geoengineering "Suolosottosuolo", Turin, 27-30 September 1989, **1**, pp. 119-128.
- MARAGA F. (1992) - *Riduzione del campo di attività fluviale e disponibilità di sedimento nei tratti d'alveo pluricursali: casi di studio nella pianura padana* - Atti "Fenomeni di erosione e alluvionamenti degli alvei fluviali", Ancona 14-15 ottobre 1991, Università degli studi di Ancona, pp. 51-62.
- MARAGA F., MASINO A. & VIOLA E. (2003) - *Evoluzioni idrografiche del Fiume Po nel tempo ultrasecolare* - Atti 7ª Conferenza Nazionale ASITA, Verona 28-31 Ottobre 2003, pp. 1415-1420.
- MARCHETTI M. (2002) - *Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities* - Geomorphology, **44**, pp. 361-373.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI-SERVIZIO IDROGRAFICO-UFFICIO IDROGRAFICO DEL PO DI PARMA (1925) - *Statistica delle aree dei bacini idrografici, Volume III: Grana-Maira-Varaita-Alto Po-Pellice-Chisone-Dora Riparia-Stura di Lanzo-Orco* - Parma, 76 pp.
- MINISTERO LAVORI PUBBLICI-SERVIZIO IDROGRAFICO (1980) - *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani* - Roma, 362 pp.
- PELLEGRINI M., PEREGO S. & TAGLIAVINI S. (1979) - *La situazione morfologica degli alvei affluenti emiliani del Po* - Estratto dagli Atti del Convegno di Idraulica Padana, Parma, 19-20 ottobre 1979, 9 pp.
- PIÉGAY H., DARBY S.E., MOSSELMAN E. & SURIAN N. (2005) - *A review of techniques available for delimiting the erodible river corridor: a sustainable approach to managing bank erosion* - River Research and Applications, **21**, pp.773-789.
- PITTALUGA F., PAITA R., MAZZALI A., CASSINELLI P., REDOANO L., GIUNTINI D. & PANTERA L. (2006) - *Il piano Stralcio "Asetto Idrogeologico" del bacino del Fiume Magra. Aspetti innovativi e prospettive future* - Atti Giornate di Studio "Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti", Autorità di bacino interregionale del Fiume Magra, Sarzana, 24-25 ottobre 2006, pp. 7-22.
- RAMASCO M. & ROSSANIGO P. (1988) - *Evoluzione morfologica dell'alveo del T. Cervo nel tratto di pianura e studio fotointerpretativo dell'inondazione verificatasi il 2-3 novembre 1968* - Provincia di Vercelli e Regione Piemonte, 24 pp.
- RINALDI M. (2003) - *Recent channel adjustment in alluvial rivers of Tuscany, central Italy* - Earth Surface Processes and Landforms, **28**, pp. 587-608.
- RINALDI M. (2006) - *La prospettiva geomorfologia e le applicazioni nella gestione degli alvei fluviali* - Atti Giornate di Studio "Nuovi approcci per la comprensione dei processi fluviali e la gestione dei sedimenti", Autorità di bacino interregionale del Fiume Magra, Sarzana, 24-25 ottobre 2006, pp. 39-58.
- RINALDI M., SIMONCINI C. & SOGNI D. (2005) - *Variazioni morfologiche recenti di due alvei ghiaiosi appenninici: il fiume Trebbia ed il fiume Vara* - Geogr. Fis. Din. Quat., suppl. **VII**, pp. 313-319.
- RINALDI M., TERUGGI L.B., SIMONCINI C. & NARDI L. (2008) - *Dinamica recente ed attuale di alvei fluviali: alcuni casi di studio dell'Appennino Settentrionale* - in questo volume.
- RINALDI M., WYZGA B. & SURIAN N. (2005) - *Sediment*

- mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives* - River Research and Applications, **21**, pp. 805-828.
- SURIAN N. (2006) - *Effects of human impact on braided river morphology: examples from northern Italy* - In: SAMBROOK SMITH G.H., BEST J.L., BRISTOW C.S. & PETTS G.E. (Eds.). "Braided Rivers: Process, Deposits, Ecology and Management", Blackwell Publishing, pp. 327-338.
- SURIAN N., PELLEGRINI G.B. & SCOMAZZON E. (2005) - *Variazioni morfologiche dell'alveo del Fiume Brenta indotte da interventi antropici* - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, Suppl. VII, pp. 339-345.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2003) - *Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy* - Geomorphology, **50**, pp. 307-326.
- SURIAN N. & RINALDI M. (2004) - *Channel adjustments in response to human alteration of sediment fluxes: examples from Italian rivers* - Proceedings of a Symposium "Sediment Transfer through Fluvial System", Moscow, August 2004, IAHS Pubbl. n. 288, pp. 276-282.
- THORNE C.R. (1997) - *Channel types and morphological classification* - In: THORNE C.R., HEY R.D. & NEWSON M.D. (Eds.). "Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management", Wiley, Chichester, pp. 175-222.
- TURITTO O. & AUDISIO C. (2005) - *Analisi dei motivi naturali e antropici all'origine di modificazioni planimetriche riscontrate lungo l'alveo del Torrente Orco negli ultimi due secoli* - Convenzione tra Regione Piemonte-Direzione Difesa del Suolo e CNR-IRPI di Torino nell'ambito del Progetto "Monitoraggio e manutenzione del Fiume Orco", CNR-IRPI Torino R.I. 05/36, 61 pp.
- TURITTO O. & AUDISIO C. (2008) - *Ponti e dinamica fluviale. Effetti di reciproca interferenza* - L'Acqua, **2**, pp. 7-16.
- TURITTO O., AUDISIO C. & AGANGI A. (2008) - *Il ruolo svolto da piene straordinarie nel rimodellare la geometria di un alveo fluviale* - in questo volume.
- WINTERBOTTOM S.J. (2000) - *Medium and short-term channel planform changes on the Rivers Tay and Tummel, Scotland* - Geomorphology, **34**, pp.195-208.

Ms. ricevuto il 21 dicembre 2007
 Testo definitivo ricevuto il 9 maggio 2008

Ms. received: December 21, 2007
 Final text received: May 9, 2008

