

IL RUOLO SVOLTO DA PIENE STRAORDINARIE NEL RIMODELLARE LA GEOMETRIA DI UN ALVEO FLUVIALE

Ornella Turitto, Chiara Audisio & Andrea Agangi

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica
(CNR-IRPI) Strada delle Cacce, 73 - 10135 Torino
e-mail: ornella.turitto@irpi.cnr.it

RIASSUNTO: Turitto O., Audisio C. & Agangi A., *Il ruolo svolto da piene straordinarie nel rimodellare la geometria di un alveo fluviale* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

In alcuni corsi d'acqua dell'Italia centro-settentrionale è stata recentemente osservata una tendenza ad un più o meno sensibile aumento della larghezza globale del letto, subentrata dopo un lungo periodo - culminato negli anni '70 e '80 del secolo scorso - in cui si erano diffusamente manifestati fenomeni di restringimento ed incisione degli alvei. Questi ultimi fenomeni, risultati particolarmente accelerati da vari tipi di condizionamento da parte dell'uomo, avevano portato alla trasformazione dell'originario modello fluviale a più canali di deflusso, tipico del XIX secolo, verso forme ad unico canale. Ne era derivata un'acquisizione di nuovi spazi ad uso antropico, ma con gravi ripercussioni sulla vulnerabilità di beni pubblici e privati collocati all'interno o in prossimità dell'ambito fluviale.

Il caso di studio presentato si riferisce al Torrente Orco, tributario alpino del Fiume Po in territorio piemontese. Nella nota viene inizialmente fornito un quadro delle tappe evolutive (dedotte da analisi multitemporale di cartografia storica e di riprese aerofotografiche, con il supporto di applicativi GIS) che, a partire dal XIX secolo, hanno accompagnato la semplificazione dell'assetto planimetrico dell'alveo, con marcata riduzione della sua larghezza; i minimi valori di ampiezza sono stati raggiunti negli anni '70 e '80, in concomitanza della massima diffusione e intensità dell'attività estrattiva. Si descrivono quindi i meccanismi prevalenti che, in occasione di recenti piene eccezionali con valori di portata superiori ad ogni massimo precedente (nel settembre 1993 e nell'ottobre 2000), hanno indotto un'inversione di tendenza; in particolare si illustra come nel 2000 un sensibile aumento di larghezza dell'alveo sia avvenuto attraverso processi di erosione laterale o per riattivazione di originari spazi fluviali naturalmente abbandonati o artificialmente sottratti, con risultati che ripropongono, seppur localmente e forse solo temporaneamente, forme d'alveo pluricursali analoghe a quelle del passato. Brevi cenni sulle differenti variazioni morfologiche intervenute durante le gravi piene del settembre 1947 e dell'ottobre 1977, con portate tra loro confrontabili, sottolineano ulteriormente gli effetti del condizionamento imposto dall'uomo: nel 1947, con sistema di deflusso non ancora monocursale e disponibilità di sedimenti in alveo, si è prodotto in lunghi tratti un aumento della sezione d'alveo; nel 1977, con unico canale di deflusso sinuoso-meandrico in fase di incisione e massiccio depauperamento di sabbie e ghiaie, l'alveo non ha mostrato un significativo aumento di larghezza, ma un'accentuazione delle anse presenti.

Le varie situazioni vengono illustrate attraverso il confronto di immagini tratte da riprese aeree eseguite prima e dopo gli episodi di piena.

Infine, nell'ottica di una cautelativa gestione dell'ambito fluviale indagato, si sottolinea la necessità di salvaguardare gli spazi necessari alla potenziale mobilità laterale del corso d'acqua - chiaramente emersa nel corso della piena del 2000 - per garantirvi in futuro un naturale sviluppo delle componenti morfologiche e biologiche.

ABSTRACT: Turitto O., Audisio C. & Agangi A., *The role of severe floods in the adjustment of river channel geometry* (IT ISSN 0394-3356, 2008).

Numerous studies on river channel adjustments have focused on the role played by human activities in the processes of channel narrowing and incision which took place in several alluvial channels of the Italian rivers. The influence of embankments, bank protections, bridge structures and sediment mining appeared remarkable from the 1950s until the 1980s. Whereas a more or less evident process of channel widening was observed in some of these Italian rivers after the 1980s, leading to an opposite trend.

Through this note the authors mean to provide a representative example. The study case refers to the Orco River, an Alpine tributary of the Po River in the Turin territory (North-Western Italy); it drains 906 km² and its channel is 83 km long. In the study reach, corresponding to the lower 36 km of the river course (mean channel slope 0.7%), the channel is incised in the cobble and gravel deposits of the plain.

Data collected come from different sources: a) published and unpublished information derived above all from Ministero dei Lavori Pubblici official publications about Italian rivers, from technical reports and designs of fluvial defence or bridge construction (mainly produced by Genio Civile) and from Regione Piemonte Archives (as flood levels and discharges recorded at a historical hydrometric gauging station); b) historical and most recent maps dating from 1881 to 1991 (by Istituto Geografico Militare Italiano, Magistrato per il Fiume Po, Regione Piemonte) at scales ranging between 1:25.000 and 1:5.000; c) aerial photographs taken every decade since 1945 until 2003 (by Istituto Geografico Militare Italiano, CNR-IRPI di Torino, Regione Piemonte and Provincia di Torino) at scales ranging between 1:45.000 and 1:5.000. Through aerial photographs one could also verify the hydrographical configuration of the river on the maps drawn at the same date.

Through Geographical Information System (GIS) procedures, the planimetric situations of the river channel at various dates were superimposed over the Regional Technical Map of the Regione Piemonte on a 1:10.000 scale; the different channel configurations were compared and measured.

Investigations demonstrated that during the 19th century the river course showed almost everywhere a multi-thread channel with forms and numbers of ramifications variable both in space and time. However a slow and progressive simplification of fluvial configuration was observed; it was mainly produced through the abandoning of secondary ramifications and the islands joining the surrounding floodplain. This process was partly due to natural phenomena, persisting until the first half of the 20th century. In the last 50 years, however, the process was heavily accelerated by human activity, above all by channel regulation works and excessive sediment mining. These activities led to a rapid change in channel patterns, from multi-thread to wandering or single-thread configuration, favoured by a deepening of the river bed (1÷2 m on an average and a local maximum of 3.5 m).

Severe floods which occurred during the last years, in September 1993 (1500 m³/s) and in October 2000 (1650 m³/s), modified, however, the river bed geometry. In particular, the 2000 flood (the largest in the 80-year recording period) induced a remarkable increase of the mean channel width, also due to the renewed availability of sediments in the river bed due to the stop of excessive sediment mining after the 1980s.

The aim of this work is to illustrate some morphological effects triggered by these two severe floods. It also provides some examples of

the effects triggered by previous severe floods similar to each other in peak flow discharge which, however, occurred in different morphological conditions and sediment availability: with plenty of sediments the September 1947 flood (1410 m³/s, the largest before the 1993) induced a widening of the braiding/wandering channel; with lack of sediments the October 1977 flood (about 1300 m³/s) did not produce a widening of the channel (which meanwhile had turned into a narrow, incised and sinuous channel), but a bend growth. The selected cases shown in the figures point out the most frequently observed processes: reactivation of old branches naturally abandoned or artificially closed off; severe bank erosion; opening of new peripheral branches by overflowing; variation of river bed elevation; bend growth; formation of new islands dissected from the floodplain by channel avulsion; adjustment of channel geometry proposing again (maybe only temporarily) the old multi-thread morphological configuration. The study points out that the channel widening which occurred during the 2000 flood suggests the necessity to assign to the river a large space of mobility to explain fluvial dynamics. Moreover, for a more natural future river management, an undisturbed wide space of freedom will allow a restoration of both morphological and biological components of the fluvial system.

Parole chiave: Dinamica fluviale, Piena estrema, Analisi multitemporale, Torrente Orco, Italia nord-occidentale.

Keywords: Fluvial dynamics, extreme flood, multitemporal analysis, Orco River, North-Western Italy.

1. INTRODUZIONE

Ricerche condotte sulle variazioni planimetriche degli alvei, con trasformazione dell'originario modello fluviale da forme pluricursali (tipiche del XIX secolo) verso forme tendenti al monocursale, hanno sottolineato il contributo fornito dalle attività antropiche in questi processi, in particolare sul restringimento e sull'incisione del letto riscontrati in numerosi corsi d'acqua italiani. Della numerosa produzione scientifica disponibile sull'argomento si segnalano, a titolo di esempio, i lavori su corsi d'acqua dell'Italia settentrionale pubblicati da PELLEGRINI *et al.* (1979), CASTIGLIONI & PELLEGRINI (1981), MARAGA & MORTARA (1981), BEZOARI *et al.* (1984), MARAGA (1989), GOVI & TURITTO (1993), DUTTO & MARAGA (1994), CASTALDINI *et al.* (1999), SURIAN N. (1999), MARCHETTI (2002), SURIAN *et al.* (2005). Gli aspetti emersi lungo corsi d'acqua dell'Italia centro-meridionale, talora con gravi ripercussioni anche sul fenomeno di arretramento della linea di costa, sono descritti, ad esempio, nelle pubblicazioni di GENTILI & PAMBIANCHI (1987), COLTORTI *et al.* (1991), CANUTI *et al.* (1992), BIGGIERO *et al.* (1994), RINALDI & RODOLFI (1995), RINALDI & SIMON (1998), AUCELLI & ROSSKOPF (2000), RINALDI (2003), SABATO & TROPEANO (2004). In anni recenti sono state inoltre prodotte sintesi sull'argomento, sia attraverso una dettagliata analisi di casi nazionali, sia mettendo a confronto situazioni italiane ed estere (SURIAN & RINALDI, 2003; RINALDI *et al.*, 2005).

In questi lavori emerge come l'influenza esercitata da arginature, da protezioni di sponda, da strutture di attraversamento fluviale ed in particolare da attività estrattiva in alveo sia risultata determinante nell'esaltare i processi di restringimento e di incisione del letto, soprattutto a partire dalla seconda metà del '900.

Per contro, in alcuni corsi d'acqua dell'Italia centro-settentrionale è stata recentemente osservata un'inversione di tendenza - documentata da fine anni '80 o da inizio anni '90, a seconda dei vari bacini - che ha portato ad un aumento di larghezza dell'alveo attraverso processi di erosione spondale o di riattivazione di originarie superfici fluviali e ramificazioni periferiche abbandonate da tempo (SURIAN & RINALDI, 2004; SURIAN *et al.*, 2005; TURITTO & AUDISIO, 2005; SURIAN, 2006). Gli incrementi di larghezza riscontrati hanno assunto valori particolarmente elevati in riferimento ad un corso d'acqua, il Torrente Orco (PELLEGRINI *et al.*, 2008), lungo il

quale nell'ultimo decennio del secolo scorso sono transitate in due occasioni (nel 1993 e nel 2000) portate superiori al massimo storico precedente.

Il risultato delle repentine modificazioni di forma e dimensione d'alveo intervenute durante questi episodi di piena (ad elevata intensità, ma bassa frequenza) non può però ritenersi duraturo, in quanto dipeso da portate ben al di sopra di quelle "efficaci" (ANDREWS, 1980) necessarie e sufficienti per una movimentazione di sedimenti in grado di mantenere nel tempo una determinata configurazione d'alveo. Tuttavia si ritiene che un'analisi di queste profonde modificazioni - illustrate nella presente nota, unitamente a cenni di confronto su quanto avvenuto anche nel corso delle piene del 1947 e del 1977 - possa fornire utili spunti di riflessione sulle potenzialità dinamiche di un corso d'acqua in occasione di eventi di estrema gravità. Ciò soprattutto nell'ottica di un ipotizzato "aumento nella frequenza di eventi intensi di precipitazione negli ultimi decenni" (ROGORA *et al.*, 2004) per effetto dei cambiamenti climatici in atto (SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE, 2004; LEBENSMINISTERIUM, 2006) anche se, a tal riguardo, sussistono motivi di incertezza (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2004).

2. IL CASO DI STUDIO

Il Torrente Orco, tributario alpino del Fiume Po, si origina dalle pendici della Becca di Moncorvè (3865 m s.l.m.) nel Massiccio Cristallino del Gran Paradiso, composto da prevalenti gneiss occhiadini. Il corso d'acqua drena una superficie di 906 km², di cui 617 km² in territorio montano, ed ha una lunghezza di 83 km dalla sorgente al Fiume Po, in cui sbocca a quota 177 m s.l.m.; percorre gli ultimi 36 km nel tratto di pianura (Fig. 1), dove presenta un alveo a fondo ciottoloso-ghiaioso con una pendenza media di 0,7%.

La nota prende spunto da una ricerca che era stata condotta su questo percorso di pianura (TURITTO & AUDISIO, 2005) per ricostruire le modificazioni avvenute durante gli ultimi due secoli nel contesto naturale e antropico. Indagini di maggior dettaglio si erano focalizzate sul tratto intermedio di 25 km, suddiviso nei sotto-tratti (OC01.02, OC02.01, OC02.02, OC03.01 in Fig. 1) che in uno studio promosso dall'Autorità di Bacino del Fiume Po venivano definiti omogenei, in funzione del modello fluviale (alveotipo) allora prevalente (AUTORITÀ DI

BACINO DEL FIUME PO, 1995). In particolare, gli alveotipi segnalati per ciascun sottotratto erano, da monte verso valle: OC01.02 - da sinuoso a subrettilineo con barre longitudinali e laterali; OC02.01 - sinuoso con barre longitudinali e laterali e isole; OC02.02 - sinuoso con caratteri pluricursali; OC03.01 - da sinuoso a meandriforme nel settore superiore e intermedio, ramificato con barre longitudinali nel settore inferiore.

Dall'analisi più approfondita erano stati esclusi i primi 10 km di monte, perchè qui la geomorfologia locale non aveva consentito al corso d'acqua di manifestare una mobilità planimetrica tale da garantire significative misure di variabilità, e il chilometro finale, perchè qui le vicende evolutive dell'Orco erano strettamente legate alle vicende del Po e ormai troppo compromesse per l'eccessivo condizionamento subito da parte dell'uomo.

La ricerca aveva preso avvio dalla consultazione di materiale bibliografico ed archivistico: monografie sul corso d'acqua e sugli eventi di piena; pubblicazioni ufficiali del Ministero Lavori Pubblici (come i "Dati caratteristici dei corsi d'acqua Italiani", editi dal 1934 al 1980); rapporti tecnici e progetti del Genio Civile, corredati da planimetrie di dettaglio, compilati in occasione di realiz-

zazioni, ricostruzioni o adeguamenti di opere di difesa o ponti; articoli di giornali a diffusione nazionale e locale; serie storica degli idrogrammi registrati alla stazione di misura di Pont Canavese (consultata presso gli archivi dell'ARPA Piemonte).

Verifiche e integrazioni del quadro acquisito erano derivate da analisi multitemporale comparata di cartografia storica e foto aeree in visione stereoscopica. Nel primo caso si era fatto uso di cartografie di inizio e metà '800 in scala 1:50.000, delle Tavole dell'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) in scala 1:25.000 (edizioni dal 1881 agli anni '60 del secolo scorso) e delle restituzioni aerofotogrammetriche, sia in scala 1:5.000 (Magistrato per il Fiume Po, 1962), sia in scala 1:10.000 (Carta Tecnica Regionale, CTR del Piemonte, 1991). Nel secondo caso si erano utilizzate riprese aeree con scala media compresa tra 1:45.000 e 1:5.000 che, a partire dal 1945, coprono l'asta fluviale indagata anche più volte nello stesso decennio, fino al 2003 (realizzate dall'IGMI, dal CNR-IRPI di Torino, dalla Regione Piemonte, dalla Provincia di Torino e da privati). Con l'ausilio di applicativi GIS (*Geographical Information System*) le configurazioni idrografiche di ciascun anno erano state sovrapposte sulla base topografica della

CTR in scala 1:10.000, consentendo confronti sulla presenza e distribuzione dei vari elementi fluviali, nonché misure di alcuni parametri, tra cui la larghezza dell'alveo.

Vengono qui di seguito sintetizzati i principali aspetti emersi nel corso della ricerca.

2.1 Semplificazione del sistema di deflusso

Per tutto il XIX secolo il Torrente Orco ha manifestato nel tratto di pianura un modello fluviale a più o meno marcata pluricursalità, variabile nello spazio e nel tempo, accompagnata da una lenta e progressiva semplificazione del sistema di deflusso. L'occasionale perdita di ramificazioni secondarie, dovuta in parte a cause naturali come le variazioni delle condizioni idrologiche a scala di bacino (MERCALLI & CAT BERRO, 2005), è perdurata fino alla prima metà del XX secolo.

Nella seconda metà del secolo, invece, tale processo di semplificazione è apparso pesantemente accelerato per motivi strettamente connessi all'attività antropica nelle sue varie forme, soprattutto per la costruzione di difese e ponti (TURITTO & AUDISIO, 2008) e per l'estrazione di inerti dall'alveo (GOVI, 1976). Ciò ha comportato un'accentuata perdita degli originali spazi fluviali periferici con

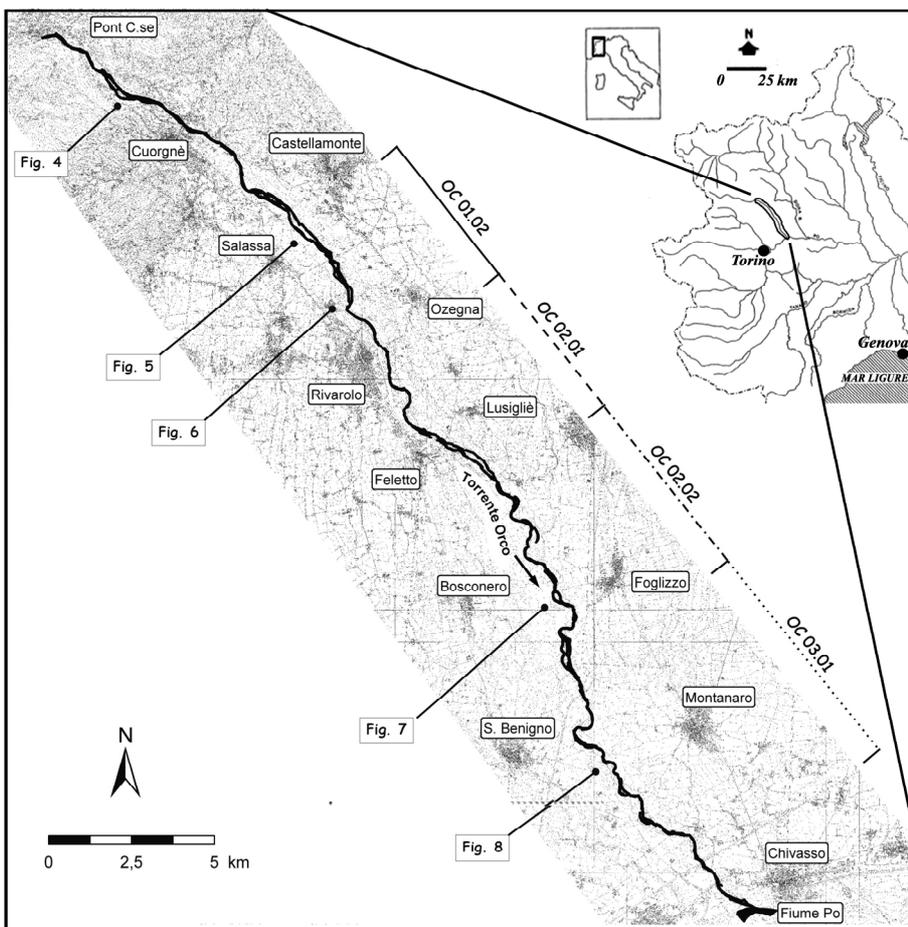


Fig. 1 - Torrente Orco nel percorso di pianura. Sono indicati i sottotratti indagati: OC01.02, OC02.01, OC02.02, OC03.01, definiti "omogenei" dall'Autorità di Bacino del Fiume Po in funzione dell'alveotipo prevalente. Sono inoltre ubicati i siti che compaiono nelle Figure da 4 a 8.

The Orco River course in the plain. The investigated sub-reaches are indicated: OC01.02, OC02.01, OC02.02, OC03.01, they have been defined "homogeneous" by Autorità di Bacino del Fiume Po on the basis of the prevalent channel pattern. The sites shown in Figures 4 to 8 are also indicated.

trasformazione della geometria dell'alveo da forme pluricursali a forme di transizione verso il singolo canale di deflusso (Fig. 2); il fenomeno si è tradotto in una riduzione della larghezza globale dell'alveo (Fig. 3A) comprensivo, oltre che dei canali occupati dalle acque, anche delle barre e delle isole, elementi fluviali intesi secondo quanto descritto da BRICE (1964) e riproposto da THORNE (1997).

Nel periodo 1881-1989 tale riduzione è risultata variabile tra il 50% e il 70% per i vari sottotratti, ma quasi ovunque particolarmente concentrata tra gli anni '60 e '80 del secolo scorso, con un massimo del 52% per il tratto intermedio OC02.02.

Contemporaneamente si è riscontrato un abbassamento del fondo alveo per incisione del canale dei deflussi ordinari, che col tempo si è trovato a prevalere rispetto ad altri rami secondari. A seguito di misure eseguite negli anni '70 con tecniche topografiche e fotointerpretative su 14 siti campione distribuiti lungo tutto il percorso di pianura (Govi, 1976), l'entità dell'approfondimento subito nel periodo 1961-1975 è stato valutato mediamente in 1-2 m, con un massimo locale di 3.50 m ottenuto pochi chilometri a monte dello sbocco di Orco in Po.

2.2 Inversione di tendenza

Analizzando la Figura 3A appare evidente come le variazioni di larghezza dell'alveo riscontrate in ciascun sottotratto considerato, pur seguendo andamenti abbastanza diversificati per il differente contesto morfologico e antropico, mostrino i minimi valori tra gli anni '60 e '80 del secolo scorso. Analogamente, in tutti i sottotratti si può notare un incremento dei valori nel periodo successivo al 1989; l'incremento minimo ha riguardato il sottotratto OC03.01 (+99%), il massimo è stato misurato in OC02.02 (+213%).

Tali picchi nei valori di larghezza dell'alveo risultano essere in gran parte connessi agli effetti morfologici prodotti dalle piene del settembre 1993 e dell'ottobre 2000 che, con portate rispettivamente di 1500 m³/s e di 1650 m³/s, hanno superato il massimo storico precedente (1410 m³/s) registrato nel settembre 1947 (Fig. 3B).

Grazie alla documentazione aerofotografica in visione stereoscopica realizzata dopo ciascun evento, è stato possibile confrontare la nuova situazione morfologica modellata dal corso d'acqua durante le piene con

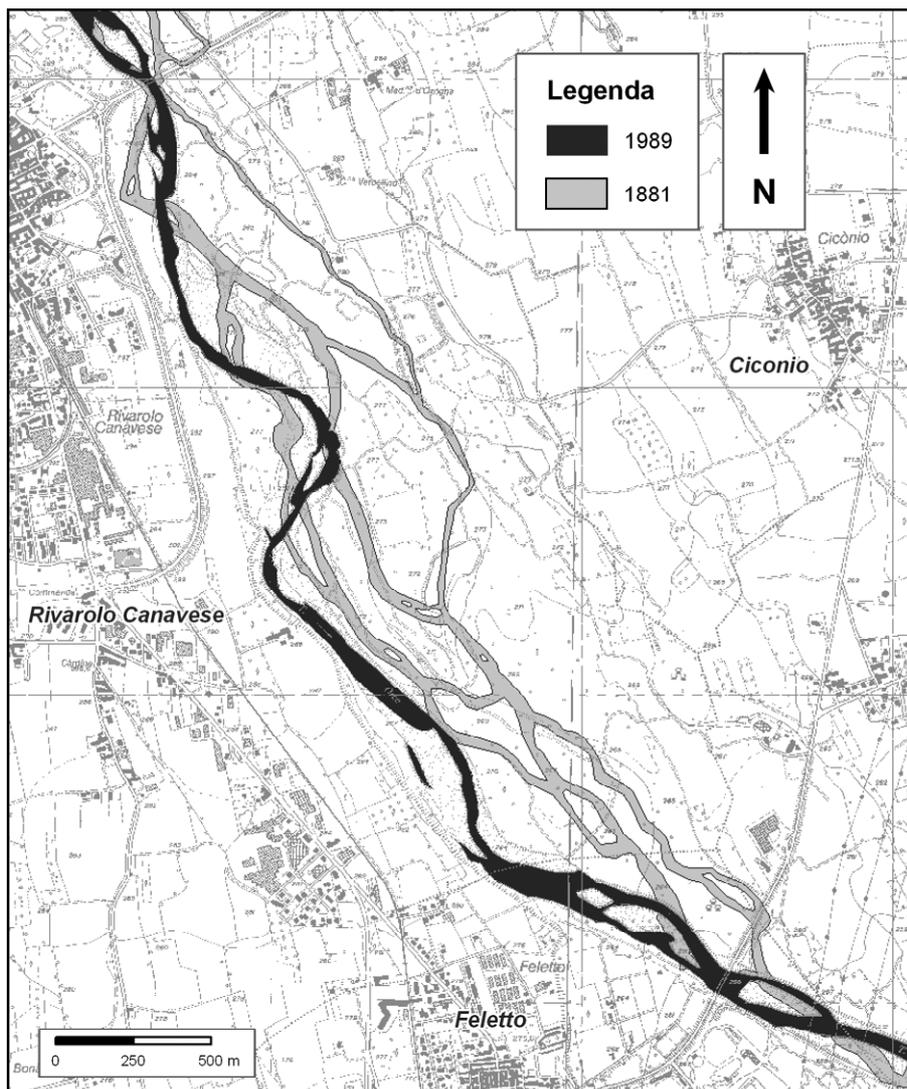


Fig. 2 - Torrente Orco tra Rivarolo e Feletto. Mobilità planimetrica manifestata dai canali di deflusso dal 1881 (da carta topografica IGMI in scala 1:25.000) al 1989 (da ripresa aerea IGMI in scala media 1:36.000) con trasformazione del modello fluviale dal pluricursale verso il monocursale.

The Orco River from Rivarolo to Feletto. Planimetric mobility of the channel between 1881 (from IGMI topographic map on a 1:25.000 scale) and 1989 (from IGMI aerial photograph on a 1:36.000 mean scale) with the pattern transformation from the multi-thread toward the single-thread configuration.

quella ripresa in precedenza, a pochi anni di distanza; ciò ha permesso di analizzare con dettaglio il risultato della molteplicità di processi innescati dalla corrente fluviale. Inoltre, la disponibilità del materiale aerofotografico realizzato con notevole ripetitività dopo il 1945 ha permesso di fornire alcuni esempi di quanto avvenuto lungo il corso d'acqua anche in occasione di analoghe gravi piene precedenti a quelle di fine secolo.

3. ESEMPI DI EFFETTI MORFOLOGICI PRODOTTI DALLE PIENE

Le notevoli capacità dinamiche manifestate dal Torrente Orco a fronte dell'evento straordinario dell'ottobre 2000, sono state in grado di rimodellare profondamente la geometria dell'alveo lungo pressoché l'inte-

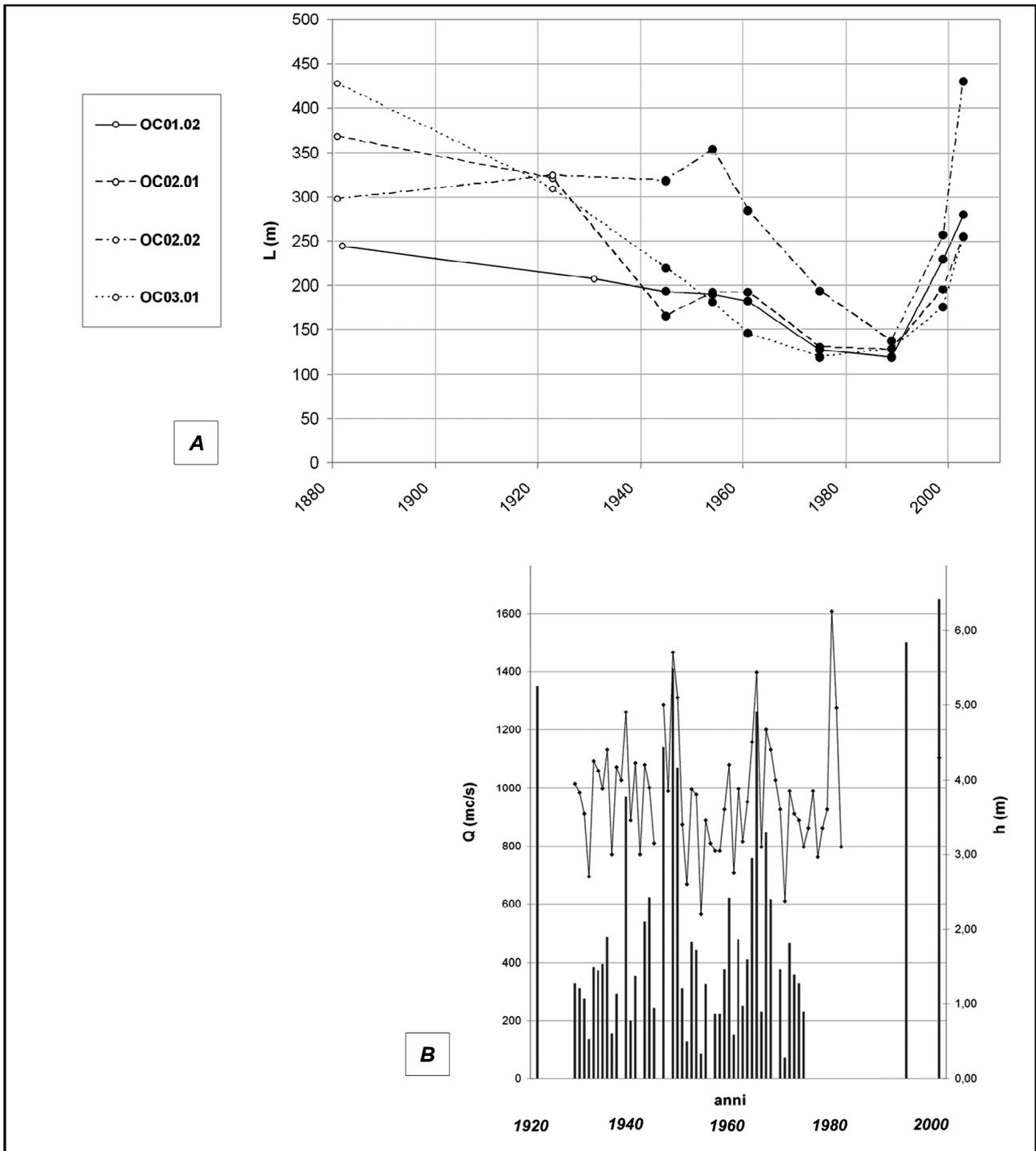


Fig. 3 - **A**: larghezza dell'alveo comprensivo delle isole fluviali (L) nel periodo 1881-2003 in ciascun sottotratto "omogeneo" per tipologia d'alveo (OC01.02: da sinuoso a subrettilineo con barre longitudinali e laterali; OC02.01: sinuoso con barre longitudinali e laterali e isole; OC02.02: sinuoso con caratteri pluricursali; OC03.01: da sinuoso a meandriforme nel settore superiore e intermedio, ramificato con barre longitudinali nel settore inferiore). La larghezza dell'alveo è ricavata da cartografia in scala 1:25.000 (cerchio vuoto) e da aerofotografie a varia scala (cerchio pieno).

B: variazione dei valori al colmo di altezza (h, linea sottile) e/o portata (Q, istogramma) registrati alla stazione di misura di Pont Canavese (617 km² di bacino sotteso) fino al 1979 e nel 1993, alla stazione di Cuornè (630 km² di bacino sotteso) nel 2000.

A: width of river channel including fluvial islands (L) over the 1881-2003 period in each sub-reach with a "homogeneous" channel pattern (OC01.02: sinuous to straight with longitudinal and lateral bars; OC02.01: sinuous with longitudinal and lateral bars and islands; OC02.02: sinuous with multi-thread features; OC03.01: sinuous to meandering in the upper and middle parts, multi-thread with longitudinal bars in the lower part). Channel width derives from maps on a 1:25.000 scale (empty circles) and from aerial photographs on various scales (full circles).

B: variation of peak levels (h, thin line) and/or discharges (Q, histogram) recorded at the Pont Canavese gauging station (617 km² of drainage basin) up to 1979 and in 1993, at the Cuornè gauging station (630 km² of drainage basin) in 2000.

ro suo percorso, riconquistando antichi spazi, acquistandone di nuovi e riproponendo in più punti il modello fluviale originario a più canali di deflusso obliterato da lungo tempo.

È apparsa evidente la relazione tra intensità dei cambiamenti morfologici e necessità della corrente di adeguare forma e dimensione dell'alveo all'eccezionalità dell'apporto liquido e del carico solido messi in gioco in corso di evento (RICHARDS, 1982). Infatti, nel caso dell'apporto liquido esso è stato nel 2000 superiore ad ogni massimo storico, come ricordato in precedenza, ed il carico solido è risultato abbondante per la capacità della corrente di autoalimentarsi con presa in carico di sedimenti dalle sponde e dal fondo, in condizioni, peraltro, di cessata attività estrattiva in alveo.

In riferimento al prelievo di inerti, si sottolinea che, per valutarne l'impatto sul sistema e non disponendo di dati sulle concessioni, si è ricorsi all'analisi delle riprese aeree in visione stereoscopica. Ne è emerso che le operazioni di prelievo, modestissime negli anni '50 e già molto diffuse negli anni '60, nel 1975 occupavano circa il 60% dell'alveo per profondità notevoli, anche se non quantificate. La situazione si è riproposta sulle riprese del 1980, mentre nel 1989 le attività apparivano molto ridotte in estensione, ma soprattutto in profondità, e condotte per lo più in prossimità degli impianti di lavorazione (TURITTO & AUDISIO, 2005). Il cambiamento è attribuibile agli effetti della Legge Regionale del Piemonte n. 69 del 22.11.1978, con cui veniva disciplinata l'attività estrattiva, prevedendo tuttavia ancora autorizzazioni, anche se con precise norme di conduzione. Successivamente, con l'istituzione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po (Legge 183/89) le norme sui prelievi nelle fasce fluviali sono divenute molto restrittive, destinando le operazioni in alveo ai soli interventi di carattere manutentivo o di emergenza (BIANCO, 1997). Tali restrizioni hanno quindi consentito di preservare gran parte dei depositi in alveo negli anni di poco precedenti agli eventi di fine secolo.

Si ritiene che la rinnovata disponibilità di sedimenti sia stata particolarmente determinante nel 2000, in quanto la presenza di sabbie, ghiaie e ciottoli mobilizzati durante la precedente piena del 1993 e nella fase del post alluvione - con profonda ed estesa movimentazione di sedimenti per operazioni di ricalibratura dell'alveo, di rimbottimento di sponde e di messa in sicurezza di beni pubblici e privati - ha ancor più favorito la presa in carico, il trasporto e la redistribuzione di elementi granulometrici eterogenei privi di coesione.

Alla luce di questi fatti è giustificato l'aspetto parossistico assunto da taluni processi di modellazione. Tra le numerose situazioni emerse, sono state selezionate e vengono qui illustrate quelle ritenute rappresentative dei vari aspetti della dinamica di piena. La casistica proposta, riferita prevalentemente agli episodi del 1993 e del 2000, ma con occasionali riferimenti a quanto avvenuto negli stessi siti durante gli eventi del 1947 e del 1977, è suddivisa secondo il meccanismo prevalente che ha dato origine alle più significative modificazioni nella globale geometria d'alveo preesistente. L'ubicazione dei siti che compaiono nelle immagini a corredo del testo è indicata in Figura 1.

3.1 Riattivazione di rami secondari preclusi

Gli elevati livelli idrometrici raggiunti durante le

piene del 1993 e del 2000 hanno permesso alle acque di imboccare e percorrere con estrema violenza ramificazioni periferiche attive nel XIX secolo e da lungo tempo precluse con opere di sbarramento. È il caso mostrato in Figura 4, in cui si nota un canale seconda-



Fig. 4 - Località Goritti di Cuorgnè, deflusso verso destra. Le frecce sottolineano il percorso seguito dalla corrente di piena nel 1993 (A) e nel 2000 (B) lungo un antico ramo di deflusso precluso a fine '800 per derivazioni a scopo industriale (C).

The Goritti site near Cuorgnè, downflow to the right. The arrows indicate the direction followed by the flow during the 1993 (A) and 2000 (B) floods along an old branch closed off since the end of 1800s for industrial water use (C).

rio in destra Orco a monte dell'abitato di Cuornè, sfruttato a fine '800 come derivazione a scopo industriale e già imboccato dalle acque di piena nel 1947 e nel 1948, con distruzione delle opere di presa.

3.2 Erosione spondale

L'energia della corrente ha in più punti prodotto consistenti erosioni di sponda con presa in carico di ingenti volumi di materiale. È il caso mostrato in Figura 5, avvenuto nel 2000 presso la località Rivarotta di Salassa dove, per effetto dell'erosione laterale, sono stati misurati arretramenti di sponda fino ad alcune centinaia di metri.

3.3 Apertura di nuovi canali di deflusso

I violenti disalveamenti sulla piana inondabile hanno spesso innescato processi erosivi tali da dar luogo a un nuovo percorso periferico che, negli anni successivi, ha talora assunto il ruolo di canale di deflusso principale. È quanto avvenuto in località Cascina Bianco di Salassa per la piena del 1947 con disalveamento e apertura di un nuovo ramo in sinistra (Figg. 6A e 6B) che è divenuto col tempo la sola via di deflusso per progressivo abbandono del ramo di destra (Figg. 6B e 6C). Si può però notare che questo ramo abbandonato in destra è stato nuovamente imboccato dalla corrente durante la piena del 2000 (Fig. 6D).

3.4 Variazioni di fondo

Oltre ai cambiamenti morfologici riscontrati a livello planimetrico, i processi erosivi e deposizionali hanno indotto variazioni anche nella configurazione altimetrica dell'alveo. La sezione topografica rilevata prima e dopo la piena del 2000 presso la Cascina Bianco di Salassa (Fig. 6E) rappresenta un esempio dell'effetto producibile da tali processi. In alcuni casi questi meccanismi hanno portato ad una "inversione del profilo della sezione" (MARAGA & MORTARA, 1977) per colmamento del canale dei deflussi ordinari e incisione di un nuovo canale spostato sul lato opposto dell'alveo.

3.5 Accentuazione di anse

Alla fine degli anni '70, nel periodo di massima trasformazione del modello fluviale verso forme di transizione tendenti al monocursale con andamento sinuoso-meandriforme, l'effetto di piene straordinarie si è tradotto in una marcata accentuazione delle anse. Ciò è

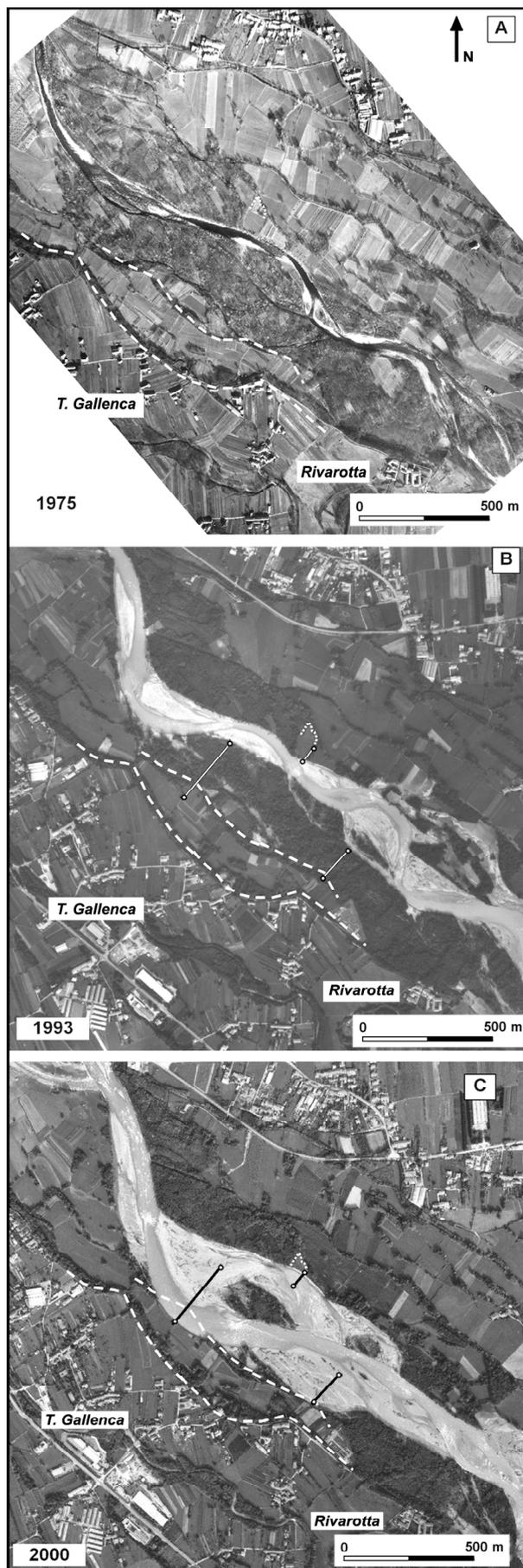


Fig. 5 - Località Rivarotta presso Salassa, deflusso verso destra. Aspetto dell'alveo nel 1975 (A), nel 1993 (B) e nel 2000 (C). Gli intensi processi di erosione laterale innescati dalla piena del 2000 hanno provocato sensibili arretramenti di sponda rispetto alla situazione modellata dalla piena 1993; l'entità dello spostamento risulta di 200 m e 300 m in destra, di 90 m in sinistra idrografica (distanze misurate lungo le linee tracciate in B e C). Sulle immagini sono evidenziati in tratteggio, come riferimento, i filari di alberi in destra e il campo in sinistra.

The Rivarotta site near Salassa, downflow to the right. The pictures show the river course in 1975 (A), 1993 (B) and 2000 (C). Severe bank erosion processes induced by the 2000 flood produced remarkable bank retreat compared with the bank position after the 1993 flood; the extent of bank retreat reached 200 m and 300 m on the right and 90 m on the left (distances measured along the lines in B and C). Broken lines drawn on the pictures indicate rows of trees and a field as reference marks.

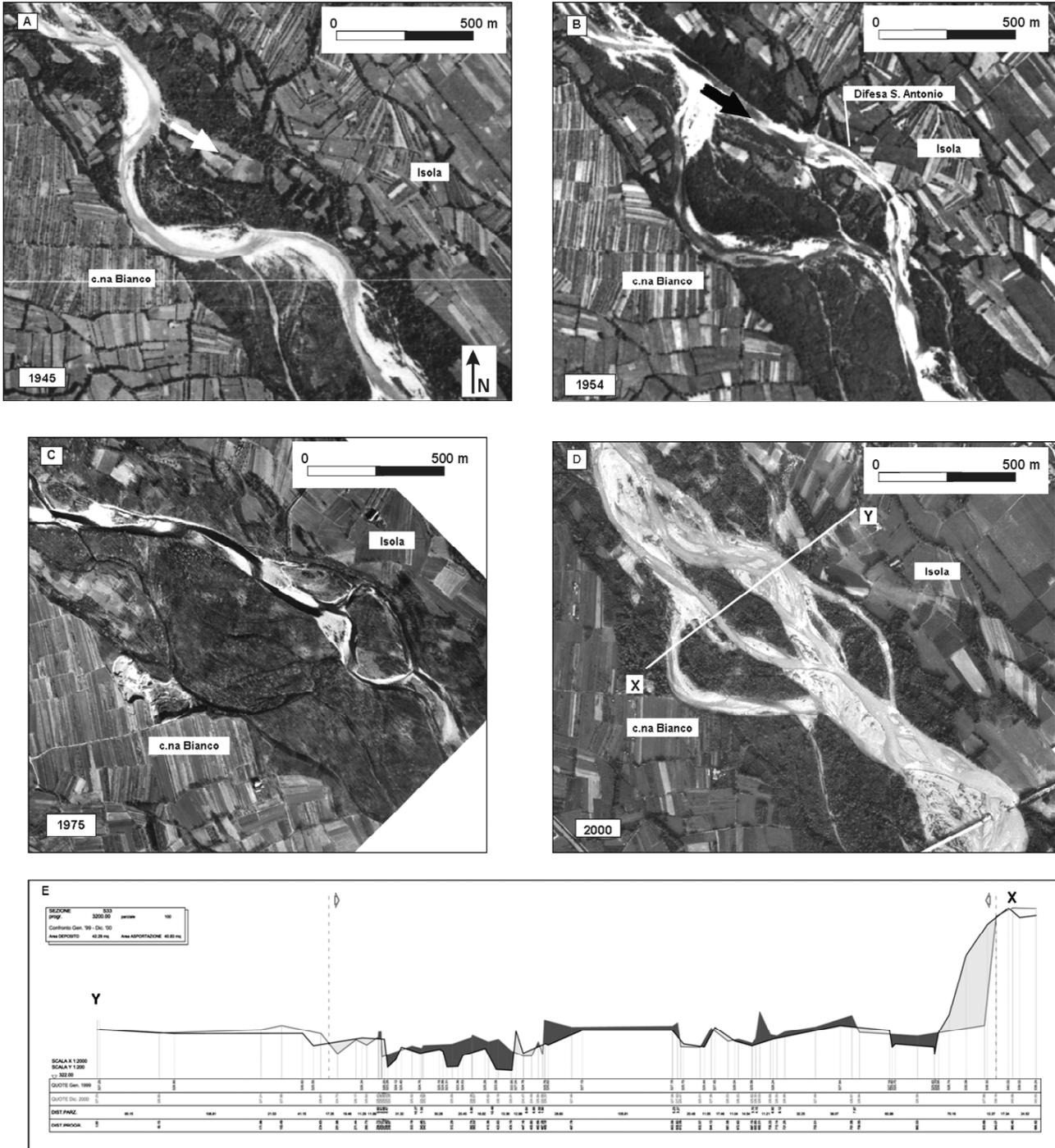


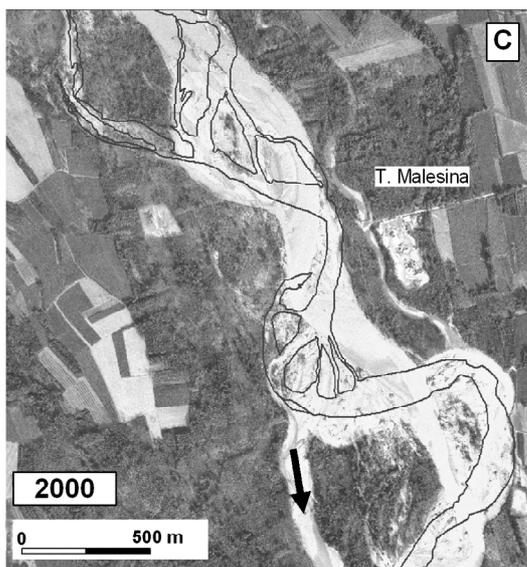
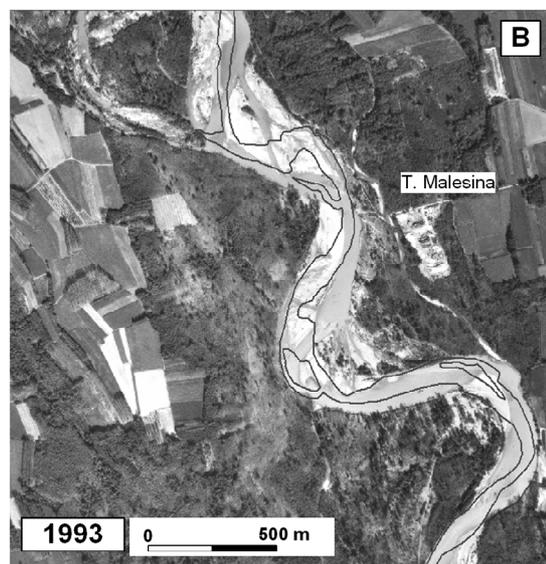
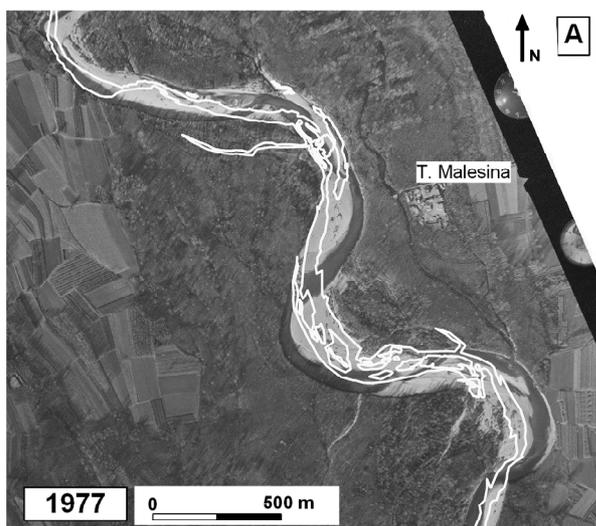
Fig. 6 - Località Cascina Bianco di Salassa, deflusso verso il basso. Il ripetersi di occasionali disallineamenti in sponda sinistra (freccia in **A**) hanno portato durante la piena del 1947 all'attivazione permanente di un nuovo ramo (freccia in **B**), costretto nella sua posizione da una difesa costruita nel 1949 (Difesa S. Antonio in **B**). Negli anni successivi questo ramo è diventato il canale di deflusso principale ed il ramo in destra è stato abbandonato (**C**). Nel 2000 (**D**) le acque di piena hanno imboccato anche il ramo disattivato in destra, scalzando al piede il terrazzo di Cascina Bianco. Sulla sezione topografica rilevata prima e dopo la piena del 2000 presso Cascina Bianco (X-Y in **E**) si notano le variazioni di fondo alveo intervenute in corso di evento: in tonalità scure le aree di deposizione, in tonalità grigie quelle di asportazione (per gentile concessione dell'Ing. Aldo Gervasio, Piemontecnica-Torino; scala originale delle lunghezze 1:2000 e delle altezze 1:200, riduzione del 73%).

The Cascina Bianco site near Salassa, downflow to the bottom. After recurrent overflows on the left side of the river (arrow in **A**) the 1947 flood activated a new branch (arrow in **B**) controlled in its position by an embankment. Afterwards the new branch on the left turned into the main channel and the old branch on the right was abandoned (**C**). During the 2000 flood (**D**) the water followed the left branch again, inducing severe bank erosion at the foot of the Cascina Bianco terrace. Topographic cross-sections plotted near Cascina Bianco before and after the 2000 flood (X-Y in **E**) show the altimetrical adjustments of river bed geometry induced by water flow: depositional areas are dark and erosional areas are grey (courtesy of Ing. Aldo Gervasio, Piemontecnica-Torino; original horizontal scale 1:2000 and vertical scale 1:200, reduction of 73%).

avvenuto nel settore medio-inferiore del tratto di pianura dell'Orco, dove aveva preso avvio ed era in fase più avanzata la trasformazione fluviale (Figg. 7A e 8B). In questo settore sono state eseguite misure in 16 siti dove, per effetto della sola piena del 1977, erano apparsi evidenti i processi di accentuazione di anse rispetto alla situazione ripresa nel 1975; gli arretramenti di sponda risultano oscillare più frequentemente su valori di 60÷80 m, con minimi di 40 m ed un unico massimo di 120 m.

3.6 Formazione di nuove isole fluviali

In alcuni settori le correnti idriche non contenute in alveo hanno attraversato ed eroso il piano campagna creando direttrici di deflusso lungo nuovi, recenti o antichi percorsi. Nel 2000 tale meccanismo ha isolato parti della piana inondabile con conseguente formazione di isole fluviali. Sono un esempio di questi effetti morfologici le immagini proposte nelle Figure 5C, 6D e 7C dove emerge che, in diverso numero ed estensione, porzioni di territorio perifluviale sono entrate a far parte del nuovo alveo sottoforma di isola vegetata.



3.7 Rimodellazione di un sistema di deflusso pluricursale

Attraverso i vari meccanismi descritti, le variazioni di forma e di dimensione del nuovo letto ricostruito dal corra d'acqua durante la sola piena del 2000 si sono localmente tradotte in un sensibile allargamento dell'alveo, accompagnato da una trasformazione del modello fluviale preesistente. Ne sono un esempio le situazioni illustrate nelle Figure 6, 7 e 8, che documentano una riconfigurazione dell'alveo con forme fluviali a più canali di deflusso, abbandonate in quelle località nella prima metà del '900.

4. DISCUSSIONE E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Con il caso presentato si è voluto fornire un contributo conoscitivo sugli effetti parossistici che possono innescarsi in occasione di piene eccezionali, portando ad un drastico rimodellamento della geometria di un alveo per accentuate erosioni laterali, per violenta invasione della piana inondabile e per neoformazione di

Fig. 7 - Confluenza Orco-Malesina presso Foglizzo, deflusso verso il basso. Sulle immagini riprese dopo le piene del 1977 (A), del 1993 (B) e del 2000 (C) è tracciato con linea bianca o nera l'andamento seguito dal corso d'acqua prima della piena. Il modello fluviale sinuoso subentrato negli anni '70 è stato esaltato nel 1977 per accentuazione delle anse, ancora mantenuto nel 1993, ma obliterato dalla piena del 2000, che ha sensibilmente ampliato l'alveo e riproposto un modello fluviale a più canali di deflusso. La riattivazione di un antico ramo (freccia in C) ha trasformato una porzione della piana inondabile in isola fluviale.

The Orco-Malesina confluence site near Foglizzo, downflow to the bottom. On the aerial photographs taken after the 1977 (A), 1993 (B) and 2000 (C) floods the white or black lines show the position of the river course before the flood. The sinuous pattern established in the 1970s persisted during the 1977 flood (with a severe bank erosion due to the bend growth) and still during the 1993 one. Whereas during the 2000 flood the river cancelled the sinuous pattern, leading again to a multi-thread configuration. The reactivation of a relic channel (arrow in C) isolated a floodplain portion, transforming it into a fluvial island.

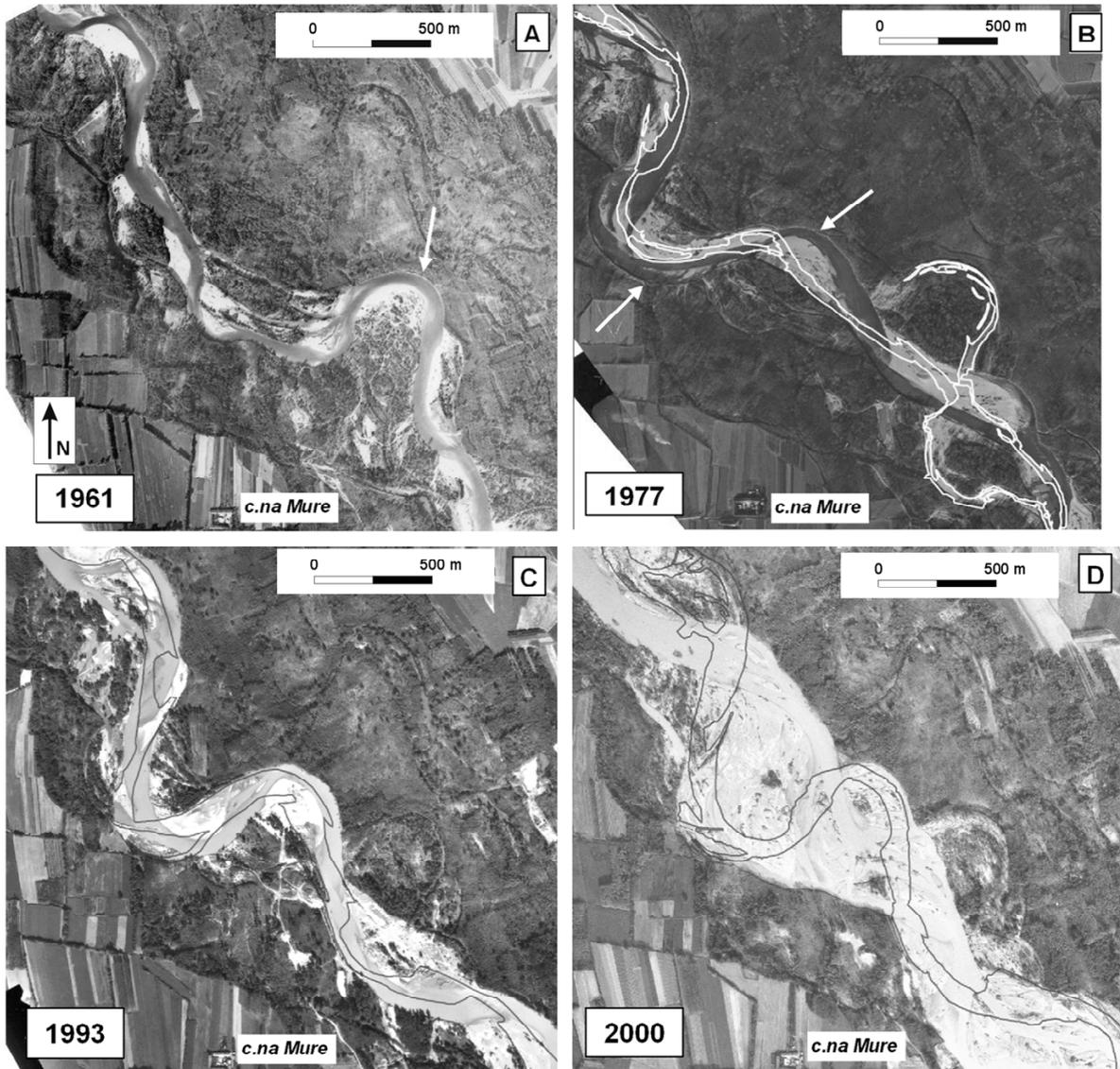


Fig. 8 - Località Cascina Mure presso San Benigno, deflusso verso il basso. Il modello fluviale di inizio anni '60 (A) appare in trasformazione verso forme monocursali sinuose, sottolineate dalla presenza di una grande ansa (freccia). Sulle riprese successive, scattate dopo le piene del 1977 (B), del 1993 (C) e del 2000 (D), è tracciato con linea bianca o nera l'andamento seguito dal corso d'acqua prima della piena. Dopo il taglio della grande ansa del 1961, avvenuto a fine anni '60, la piena del 1977 ha notevolmente accentuato le sinuosità a monte del taglio (freccie in B). La piena del 1993 (C) non ha modificato molto questo andamento, mentre la piena del 2000 (D) ha sensibilmente ampliato l'alveo, impostando un sistema articolato in più canali di deflusso.

The Cascina Mure site near San Benigno, downflow to the bottom. In the beginning of the 1960s (A) the fluvial pattern was going to change into the single-thread configuration, with a large bend (arrow). On the following aerial photographs taken after the 1977 (B), 1993 (C) and 2000 (D) floods the white or black lines show the position of the river course before the flood. After the cut-off of the 1961 bend, occurred at the end of 1960s, the 1977 flood increased the river sinuosity upstream the cut-off (arrows in B). During the 1993 flood (C) the channel configuration was not much modified, but after the 2000 flood (D) the river channel appeared considerably widened and transformed into the old multi-thread system.

rami secondari o riattivazione di quelli abbandonati nel passato. È stato documentato come durante la piena del 2000 tali processi abbiano riproposto anche solo localmente - e forse solo temporaneamente - il modello fluviale originario a più canali di deflusso, obliterato da tempo per cause naturali o per motivi antropici.

Dagli studi condotti è emerso come la configurazione d'alveo imposta al Torrente Orco negli anni '70 e '80 del secolo scorso (stretto canale di deflusso ad andamento sinuoso-meandriforme) abbia indotto a un falso concetto di sicurezza, suggerendo condizioni di

equilibrio dinamico duraturo. L'indagine storica, basata su una lunga serie di documentazione multitemporale e sulla lettura delle forme fluviali presenti sul territorio a testimonianza dei percorsi abbandonati nel passato, hanno invece permesso di capire che quella configurazione d'alveo era stata in gran parte artificialmente indotta e non corrispondeva pertanto alle reali potenzialità dinamiche del corso d'acqua.

Nel produrre le sensibili modificazioni nel letto fluviale, è apparsa determinante l'intensità dei processi di erosione spondale, unitamente alla rinnovata disponibili-

lità di materiale alluvionale in alveo (per cessazione del prelievo incontrollato) che le notevoli portate in transito sono state comunque in grado di ridistribuire con diffusi processi di presa in carico, di trasporto e di deposito.

Anche in occasione della piena del 1947 (1410 m³/s, la massima storica prima del 1993), avvenuta in condizioni di disponibilità di sedimenti per assenti o scarsissimi prelievi di inerti, si è prodotto un rimodellamento delle forme fluviali con ampliamento dell'alveo nel settore intermedio del percorso analizzato, dove era ancora sviluppato il modello a più canali di deflusso. Ciò è emerso dal confronto delle riprese aeree precedenti (1945) e successive (1954) all'evento (cfr. ampiezza 1945 e 1954 dei tratti OC02.01 e OC02.02 in Fig. 3A) e supportato da documenti d'archivio.

Per contro, nello stesso settore ma in periodo di massimo approvvigionamento di inerti ed in presenza di un unico canale ad andamento sinuoso in fase di incisione, la piena del 1977 (valutata intorno a 1300 m³/s) non ha dato luogo a significativi fenomeni di ampliamento dell'alveo, ma ad un'accentuazione delle anse presenti (cfr. Figg. 7A e 8B). È ragionevole supporre che ciò sia avvenuto a seguito di un deficit di carico solido, compensato con autoalimentazione a scapito delle sponde concave del percorso sinuoso, associato ad una maggior capacità contenitiva del canale di deflusso soggetto ad erosione di fondo per gli intensi e incontrollati prelievi di sabbie e ghiaie.

Si ritiene pertanto che questi diversi effetti morfologici prodotti lungo l'Orco dagli eventi del 1947 e del 1977 - con elevati valori di portata registrati alla stessa stazione di misura, ma in differente contesto di gestione dei sedimenti in alveo - pongano ulteriormente in evidenza due aspetti: la capacità delle piene nel rimodellare forme fluviali secondo una tipologia d'alveo a più canali di deflusso, se ai volumi idrici si associa una disponibilità di sedimenti da movimentare (come nel 1947 e nel 2000); l'interferenza operata dall'uomo sulle morfodinamiche di piena, privando il sistema di un elemento fondamentale quale il carico solido (come nel 1977).

Tale ultimo aspetto è stato peraltro ricorrentemente richiamato in molti lavori, tra cui quelli citati in introduzione, come concausa o addirittura causa prevalente dei rapidi processi di restringimento e incisione degli alvei osservati tra gli anni '60 e '80 del secolo scorso.

Sotto questo aspetto, quindi, si può affermare che quanto avvenuto in Orco in quei decenni rispecchi con buona contemporaneità e analogia di effetti e cause quanto avvenuto in numerosi corsi d'acqua della rete idrografica nazionale.

Anche il fenomeno di allargamento della sezione d'alveo, che ha riguardato l'Orco dopo gli anni '80, è stato segnalato pressoché contemporaneamente in buona parte dei corsi d'acqua recentemente indagati nell'Italia centro-settentrionale, proprio in concomitanza dell'applicazione di norme più restrittive in materia di estrazione di inerti (SURIAN *et al.*, 2008). Il valore di allargamento è stato tuttavia più elevato in Orco, rispetto agli altri casi analizzati, per il carattere di singolarità derivato dal manifestarsi della piena estrema del 2000.

Va infine sottolineato che negli anni futuri, in assenza di eventi eccezionali confrontabili con quelli di fine secolo, l'assetto planimetrico modellato dal

Torrente Orco nel 2000 potrà essere rielaborato per dare nuove forme di equilibrio dinamico, in funzione delle portate in transito e della disponibilità di materiale in alveo, ferma restando una situazione di erodibilità delle sponde (PIÉGAY *et al.*, 2005; SURIAN & CISOTTO, 2007). Gli elementi fluviali periferici ubicati a quote maggiori potranno essere risparmiati da violente correnti e solo occasionalmente sommersi dalle acque con modesti battenti. Ne potrà derivare col tempo una loro mancata connessione con il canale di deflusso principale, una rapida colonizzazione da parte della vegetazione ed una progressiva esclusione dall'ambito dell'alveo, riducendone in qualche misura i valori di larghezza globale raggiunti dopo la piena del 2000. A tal proposito si fa rilevare che recenti verifiche effettuate sulle ortofotocarte del 2006 lungo un tratto campione di circa 2 km presso il ponte di Feletto hanno fatto registrare un valore di larghezza dell'alveo inferiore a quello del 2003 (-27%), tuttavia ancora superiore a quello del 1989 (+11%).

Anche se nel prosieguo delle indagini verrà confermata sull'intero percorso indagato una generale tendenza alla riduzione della notevole larghezza d'alveo raggiunta nel 2000, ai fini di una cautelativa gestione degli ambiti fluviali occorrerà sicuramente tener conto degli spazi necessari alla "funzionalità della dinamica evolutiva del corso d'acqua" e fondamentali per la "tutela della biodiversità acquatica e ripariale" (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO, 2000), senza tuttavia sottovalutare i possibili effetti di futuri eventi di piena estremi.

RINGRAZIAMENTI

Ricerca iniziata nell'ambito del progetto "Monitoraggio e manutenzione del Fiume Orco" promosso dalla Regione Piemonte-Direzione Difesa del Suolo (Responsabile Scientifico: Ing. Giorgio LOLLINO del CNR-IRPI di Torino) e proseguita con fondi del Progetto MIUR-PRIN 2005 "Dinamica recente e attuale di alvei fluviali nell'Italia centro-settentrionale: tendenze evolutive, cause ed implicazioni applicative" (Responsabile nazionale: Dott. Nicola SURIAN dell'Università di Padova; Responsabile locale: Dott.ssa Luisa PELLEGRINI dell'Università di Pavia). Si ringraziano gli anonimi revisori per gli utili commenti e suggerimenti, nonché il Prof. Daniel HARTLEY per la revisione delle parti di testo in lingua inglese. I fotogrammi a corredo del testo sono stati resi liberi per gli usi consentiti dalla Legge (D.P.R. 367 del 29.09.2000).

BIBLIOGRAFIA

- ANDREWS E.D. (1980) - *Effective and bankfull discharges of streams in the Yampa River basin, Colorado and Wyoming* - Journal of Hydrology, **46**(3/4), pp. 311-330.
- AUCELLI P.P.C. & ROSSKOPF C. (2000) - *Last century valley floor modifications of the Trigno River (Southern Italy): a preliminary report* - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **23**, pp. 105-115.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (1995) - *Caratterizzazione geometrica, geomorfologica ed idraulica del reticolo idrografico delle aree soggette ad alla-*

- gamento - Attività 2 della Fase 1a (stralcio Piemonte) del Sottoprogetto SP1 (Piene e naturalità alvei fluviali), Parma.
- AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2000) - *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali-Relazione* - Parma, 143 pp.
- BEZOARI G., BRAGA G., GERVAISONI S., LARCAN E. & PAOLETTI A. (1984) - *Effetto dell'estrazione di inerti sull'evoluzione dell'alveo del fiume Trebbia* - Atti del 2° Convegno di Idraulica Padana, Parma, 15-16 giugno 1984, parte II, pp. 163-182.
- BIANCO G. (1997) - *Attività estrattiva nelle fasce di pertinenza fluviale* - Atti della Giornata di Studio su "Aspetti tecnici e normativi nell'estrazione di inerti e pietre calcaree per uso industriale", Torino, 13 novembre 1997, Politecnico di Torino, pp. 61-67.
- BIGGIERO V., FIORENTINO M. & PIANESE D. (1994) - *Evoluzione d'alveo del Fiume Volturno* - XXIV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, vol. II, T4, pp. 233-246.
- BRICE J.C. (1964) - *Channel Patterns and Terraces of the Loup Rivers in Nebraska* - Geological Survey Professional Paper 422-D, 41 pp.
- CANUTI P., CENCETTI C., CONVERSINI P., RINALDI M. & TACCONI 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.
- CASTALDINI D., PIACENTE S. & MALMUSI S. (1999) - *Evoluzione del F. Secchia in pianura nel XIX e nel XX secolo (Province di Reggio Emilia, Modena e Mantova, Italia settentrionale)* - In: OROMBELLI G. (Ed.) Studi geografici e geologici in onore di Severino Belloni, Brigati, Genova, pp. 169-187.
- 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.
- COLTORTI M., NANNI T. & VIVALDA P. (1991) - *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.
- DUTTO F. & MARAGA F. (1994) - *Variazioni idrografiche e condizionamento antropico. Esempi in pianura padana* - Il Quaternario, **7**(1), pp. 381-390.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2004) - *Impacts of Europe's changing climate, an indicator-based assessment* - EEA Report n. 2/2004, Copenhagen, 100 pp.
- GENTILI B. & PAMBIANCHI G. (1987) - *Morfogenesi fluviale e attività antropica nelle Marche centro-meridionali* - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **10**, pp. 204-217.
- 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.
- LEBENSMINISTERIUM (2006) - *Cambiamenti climatici nella Regione Alpina: conseguenze e sfide* - Wien, 43 pp.
- MARAGA F. (1989) - *Ambiente fluviale in trasformazione: l'alveo-tipo pluricursale verso un nuovo modellamento nell'alta pianura padana* - Proceedings of the IV Geoengineering International Congress "Suolosottosuolo", Turin, 27-30 September 1989, **1**, pp. 119-128.
- MARAGA F. & MORTARA G. (1977) - *Modificazioni dell'alveo e trasporto solido al fondo nel T. Pellice in riferimento alla piena del 19-20 maggio 1977* - Atti del Congresso "Misura del trasporto solido al fondo nei corso d'acqua: problemi per una modellistica matematica", Firenze, 13-14 ottobre 1977, C2, pp. 1-16.
- MARAGA F. & MORTARA G. (1981) - *Le cave di inerti lungo i corsi d'acqua: rapporti con la dinamica fluviale* - Bollettino dell'Associazione Mineraria Subalpina, **18**(3-4), pp. 385-395.
- MARCHETTI M. (2002) - *Environmental changes in the central Po Plain (northern Italy) due to fluvial modifications and anthropogenic activities* - Geomorphology, **44**, pp. 361-373.
- MERCALLI L. & CAT BERRO D. (2005) - *Climi, acque e ghiacciai tra Gran Paradiso e Canavese* - Società Meteorologica Subalpina, Bussoleno (To), 755 pp.
- PELLEGRINI L., MARAGA F., TURITTO O., AUDISIO C. & DUCI G. (2008) - *Evoluzione morfologica di alvei fluviali mobili nel settore occidentale del Bacino Padano* (in questo volume).
- 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.
- RICHARDS K. (1982) - *Rivers: form and process in alluvial channels* - Methuen, London, 358 pp.
- RINALDI M. (2003) - *Recent channel adjustments in alluvial rivers of Tuscany, central Italy* - Earth Surface Processes and Landforms, **28**, pp. 587-608.
- RINALDI M. & RODOLFI G. (1995) - *Evoluzione olocenica della pianura alluvionale e dell'alveo del Fiume Sieve nel Mugello (Toscana)* - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **18**, pp. 57-75.
- RINALDI M. & SIMON A. (1998) - *Bed-level adjustment in the Arno River, central Italy* - Geomorphology, **22**(1), pp. 57-71.
- 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.
- ROGORA M., ARISCI S. & MOSELLO R. (2004) - *Recent trends of temperature and precipitation in alpine and subalpine areas in North Western Italy* - Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, **27**, pp. 151-158.
- SABATO L. & TROPEANO M. (2004) - *Fiumara: a kind of high hazard river* - Physics and Chemistry of the Earth, **29**(10), pp. 707-715.
- SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE (2004) - *Étiages et crues extrêmes régionaux en Europe: perspectives historiques* - Colloque d'Hydrotechnique,

- Lyon, 28-29 Janvier 2004, 166 pp.
- SURIAN N. (1999) - *Channel changes due to river regulation: the case of the Piave River, Italy* - *Earth Surface Processes and Landforms*, **28**, pp. 587-608.
- 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. & CISOTTO A. (2007) - *Channel adjustment, bedload transport and sediment sources in a gravel-bed river, Brenta River, Italy* - *Earth Surface Processes and Landform*, **32**, pp. 1641-1656.
- 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.
- SURIAN N., RINALDI M., PELLEGRINI L., AUDISIO C., MARAGA F., TERUGGI L., TURITTO O. & ZILIANI L. (2008) - *Channel adjustment in northern and central Italy over the last 200 years* - (in stampa su *Geological Society of America Special Paper*).
- 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 Programma "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*, 2/2008, pp. 7-16.

Ms. ricevuto il 29 novembre 2007
 Testo definitivo ricevuto il 18 aprile 2008

Ms. received: November 29, 2007
 Final text received: April 18, 2008

