

EFFETTI DEL PERCORSO FLUVIALE ARGINATO SUL CONTROLLO DEI DEFLUSSI DI PIENA: RISULTATI DI UNA MODELLAZIONE APPLICATA AD UN CASO DI STUDIO NELLA PIANURA PADANA

E. Caroni⁽¹⁾- F. Maraga⁽²⁾ - O. Turitto⁽³⁾

⁽¹⁾Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Ingegneria Civile, Trieste.

⁽²⁾CNR, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nel Bacino Padano, Torino.

RIASSUNTO - *Effetti del percorso fluviale arginato sul controllo dei deflussi di piena: risultati di una modellazione applicata ad un caso di studio nella pianura padana* - Il Quaternario, 7(1), 1994, 415-424 - In relazione a idrosistemi fluviali che presentano l'alveo composto da un canale di deflusso principale ed un campo d'inondazione contenuto entro argini artificiali, gli autori presentano un caso di studio per l'analisi delle caratteristiche di propagazione delle onde di piena. Il caso di studio si riferisce al F. Taro, affluente destro del F. Po 257 km dalla sua foce in mare e arginato fino a 31 km dalla confluenza per difesa dalle inondazioni, che sono state particolarmente ricorrenti nel XIX secolo. La forma del canale di deflusso è monocursale di transizione e meandriforme su sezioni con area a piene rive dell'ordine di 500 m². L'influenza del campo d'inondazione arginato è apparsa evidente dall'analisi della propagazione delle onde di piena, condotta per mezzo di calcolo idraulico semplificato sotto forma diffusiva a parametri variabili. La funzione "celerità di propagazione" ha mostrato una diminuzione al crescere della portata, con l'ingresso dei deflussi nel campo d'inondazione arginato. Il conseguente aumento dei tempi di propagazione dell'onda ed il contributo alla diffusione dell'idrogramma comportano un aumento dei tempi di permanenza ed una sensibile attenuazione dei colmi.

ABSTRACT - *Embanked river courses: effects on flood discharge control. Results of mathematical modelling as applied to a case study in the River Po plain (Northern Italy)* - Il Quaternario, 7(1), 1994, 415-424 - In the present paper an analysis of the characteristics of flood wave propagation in rivers with composite cross section is presented. In particular the lower section of the River Taro is described. The river is a right-hand side affluent of the River Po (Northern Italy), joining the latter 257 km upstream from its mouth. Along the final 31 km long stretch, the River Taro flows within a single main channel surrounded by flood ways, which were embanked to prevent inundation in the outer plain. Events of extensive inundation were recorded with particular frequency throughout the 19th Century. The channel pattern is typical of single channel type forms, changing from transitional to meandering, with bankfull cross-sections approximately 500 m². Features of flood routing are analyzed as shown using a simplified parabolic (convection-diffusion) mathematical modelling scheme, with variable parameters. The celerity function shows a rapid decrease as soon as the flood way is occupied by the flow. Attenuation in wave propagation and diffusion of higher discharges produce an increase in residence times and sensible attenuation of peak discharges.

Parole chiave: Dinamica fluviale, inondazioni storiche, modellazione idraulica, F. Taro, Italia settentrionale

Key words: Fluvial dynamics, historical inundations, hydraulic modelling, Taro River, Northern Italy

1. INTRODUZIONE

L'idrosistema fluviale della pianura padana, dove la diffusa presenza antropica pone l'uomo residente in condizioni d'interazione stretta e spesso antagonistica con l'ambiente fluviale, ha subito trasformazioni legate alla necessità per l'uomo di salvaguardare dalle inondazioni il territorio acquisito a bene d'uso. I deflussi di piena sono stati contenuti entro opere arginali che, dalla media pianura padana, costituiscono una difesa continua lungo l'asse del F. Po e dei suoi affluenti (Govi *et al.*, 1990). Si è così venuto a definire un sistema di deflussi superficiali artificialmente composito, dove le acque di piena che eccedono la capacità di portata dell'alveo originario vengono contenute entro i limiti del campo d'inondazione controllato dagli argini, chiamato golena (Zanchi, 1957, p. 31).

Gli effetti idrodinamici prodotti dal controllo degli argini sulla propagazione delle onde di piena vengono illustrati e discussi per un caso di studio nella media pianura padana, con l'applicazione di un modello di calcolo idraulico semplificato, utilizzato per la riproduzione delle caratteristiche della propagazione di un idrogramma documentato di piena secolare, avendo note le caratteristiche planimetriche e altimetriche del percorso fluviale.

2. IL CASO DI STUDIO: FIUME TARO IN PIANURA

Le caratteristiche della propagazione di onde di piena sono state analizzate lungo il percorso medio-basso del F. Taro, affluente del F. Po alla quota sul piano campagna di 29 m sul livello medio del mare ed alla distanza di circa 257 km dalla foce del Po in mare (Min. LL.PP., 1968), controllato per gli ultimi 31 km da arginature continue su entrambe le sponde.

Il percorso fluviale in esame presenta una sequenza verso valle da alveo di transizione, *wandering* (Carson & Griffiths, 1987; Billi, 1988), ad alveo meandriforme tortuoso, corrispondenti a situazioni geometriche ben distinte ed associate a sedimenti al fondo rispettivamente ghiaiosi e sabbiosi (Caroni *et al.*, 1990). Al transito dei deflussi di piena, entrambe le forme d'alveo definiscono un idrosistema composito con un canale principale, l'alveo geomorfico, e con un campo d'inondazione artificiale definito dalle strutture argi-

nali. La particolarizzazione del modello idrodinamico al caso del F. Taro è stata ottenuta sulla base di 104 sezioni topografiche trasversali ubicate tra la chiusura del bacino montano (Fornovo, PR) fino alla confluenza in Po, lungo un percorso di 54 km; il tratto in esame, 31 km dalla confluenza, è dotato di 55 sezioni. La larghezza del campo dei deflussi arginati è variabile da 109 a 1131 m lungo il tratto con alveo di transizione (larghezza media pari a 518 m), da 187 a 1234 m lungo il tratto con alveo meandriforme (larghezza media pari a 507 m).

Alcuni parametri fisiografici del F. Taro e della pianura di sua pertinenza sono riportati in Tabella 1.

Tabella 1 - Parametri fisiografici del F. Taro nel percorso arginato.
Physiographic elements of the River Taro course provided with embankments.

Forma d'alveo	L (km)	i (m/km)	d (m)	B (m)	Morfologia della pianura
m.t.	14,65	1,2	6,0	121	conoide (fronte distale)
m.m.	16,57	0,01	12,5	84	piana alluvionale
m.t. = monocale di transizione m.m. = monocale meandriforme d, B = profondità e larghezza media dell'alveo geomorfico L = lunghezza del percorso i = pendenza media					

2.1 Arginature

Pur se le fonti bibliografiche testimoniano che quantomeno dal XVIII secolo il F. Taro era arginato nel tratto terminale (Campari, 1910; Coconcelli, 1825), le informazioni su tali opere di difesa ci vengono trasmesse in forma indiretta, poichè le fonti sottolineano in prevalenza i gravi danni prodotti dalla fuoriuscita delle acque da rotte o sormonti delle arginature, senza fornire una precisa ubicazione ed estensione dei manufatti.

Occorre giungere al XIX secolo per trovare dati più attendibili ed omogenei sulle difese idrauliche, forniti dai servizi di controllo e sistemazione fluviale operanti durante la dominazione napoleonica, nel successivo governo austriaco

del Lombardo-Veneto e soprattutto dopo la costituzione del Regno d'Italia.

Attualmente, con le riprese aerofotografiche e le carte tecniche, si hanno a disposizione validi strumenti da cui attingere informazioni sulla distribuzione delle opere di difesa fluviale e sulle loro caratteristiche topografiche.

Con Regio Decreto 11 febbraio 1867 n. 3598, vennero classificati in seconda categoria (a cura dello Stato con il concorso delle Province e degli interessati riuniti in consorzio) gli argini e le sponde del F. Taro sottoposti al rigurgito del F. Po. Il tronco classificato si estendeva in destra (14,3 km di argine) da S. Quirico al F. Po e, in sinistra (7,4 km di argine), dal confine fra i comuni di Fontanellato e San Secondo fino al F. Po (Min. LL.PP., 1878, p.578-579), a difesa di un percorso fluviale lungo circa 20 km. La prevalenza delle sommità arginali sulla massima piena era riferita pari a 0,80 m mentre la soggiacenza del piano campagna rispetto a tali sommità arginali era di 3.00 m (Min. LL.PP., 1878, p.434-435).

Ad ogni massimo livello di piena successiva gli argini dovevano essere rialzati, con lo scopo di mantenere costante il franco di 0,80 m sulla nuova altezza idrometrica misurata e progressivamente anche la lunghezza di queste opere idrauliche subiva una graduale variazione per prolungamenti verso monte: già nel 1888 gli argini di seconda categoria risultavano estesi per 25,7 km in destra e 20,6 km in sinistra (Min. LL.PP., 1889, p.306-307) e dai rilievi aerofotogrammetrici del 1973 si rilevano 26,5 km di argine continuo sulla sponda destra e 22,2 km sulla sponda sinistra, a difesa di un percorso fluviale lungo circa 36 km (31 km con argini continui su entrambe le sponde).

2.2 Inondazioni storiche

In base alla consultazione di fonti bibliografiche, cronachistiche e documenti inediti d'archivio è stato possibile ricostruire la cronologia delle piene del F. Taro, individuando quelle che hanno prodotto gravi danni alle difese (Caroni *et al.*, 1990) con conseguenti allagamenti sulla pianura circostante.

2.2.1 Le piene anteriori al XIX secolo

Numerose sono risultate le citazioni in riferimento ad inondazioni avvenute prima del 1800, tramandateci dagli storici per gli effetti spesso disastrosi che esse hanno cagionato, interferendo con le varie attività dell'uomo.

Di questi eventi occorre tener debito conto, perchè dimostrano la potenziale vulnerabilità della pianura attraversata dal F. Taro, anche se le notizie non forniscono, in genere, sufficienti dati per una ricostruzione, seppur approssimata, dei fenomeni. Le informazioni, inoltre, non possono essere verificate su di una cartografia attendibile che testimoni la situazione topografica del territorio all'epoca della piena, soprattutto per mancanza di punti quotati e curve di livello, nonchè della distribuzione delle opere di difesa e della rete viaria. Nel caso di esondazioni, infatti, le locali pendenze del terreno, la micromorfologia e la presenza dei manufatti possono notevolmente condizionare le modalità di espansione delle correnti idriche sul piano campagna.

2.2.2 Le piene del XIX secolo

Meglio documentate, sia per la quantità dei dati e la continuità dell'informazione, sia per la possibilità di verificare quanto descritto dalle fonti su basi topografiche geometricamente corrette, sono le piene avvenute nel secolo scorso. A titolo d'esempio, le descrizioni contenute in documenti inediti conservati presso l'archivio storico del comune di Sissa, hanno consentito di ricostruire e rappresentare cartograficamente le modalità di espansione delle acque di esondazione lungo il percorso meandriforme, corrispondentemente a quattro importanti eventi alluvionali che hanno interessato quel territorio comunale negli anni 1821, 1826, 1839 e 1882.

La sintesi cartografica (Fig. 1) è stata realizzata utilizzando, come base, la Tavoletta "San Secondo Parmense" (F. 73 I NO) della cartografia alla scala 1:25.000, rilevata dall'Istituto Topografico Militare nell'anno 1881. Per ognuna delle quattro piene considerate sono stati indicati i luoghi di probabile sormonto o rotta arginale e delineate con approssimazione le aree inondate. Per la piena del 1839, che ha provocato gli allagamenti di maggiore entità, è stato anche possibile riportare in alcuni punti l'altezza raggiunta dalle acque sul piano campagna. Occorre sottolineare che, soprattutto per l'evento del 1839, una buona parte delle acque d'inondazione proveniva dalla fitta rete di canali irrigui, per fenomeni di rigurgito, tracimazione e rottura delle loro arginature.

Si riportano, nel seguito, alcuni brani tratti dai documenti d'archivio che hanno permesso di ricostruire tali eventi.

Piena del 25-29 dicembre 1821

"... Quest'argine [in destra Taro denominato di Palasone] fu rotto in più punti e fu allagata la Villa di Palasone e senza l'argine degli Otto Mulini lo sarebbe stato tutto il territorio di Sissa ..." [documento del 17 mag. 1822, Archivio Storico di Sissa, cart.132].

"... L'improvviso, straordinario gonfiamento del Taro avvenuto nel dì 25, minacciò e ruppe nello stesso tempo l'argine di Palasone in più punti. All'istante stesso che il suono della campana di Palasone annunciò il pericolo io vi accorsi, ma indarno, che

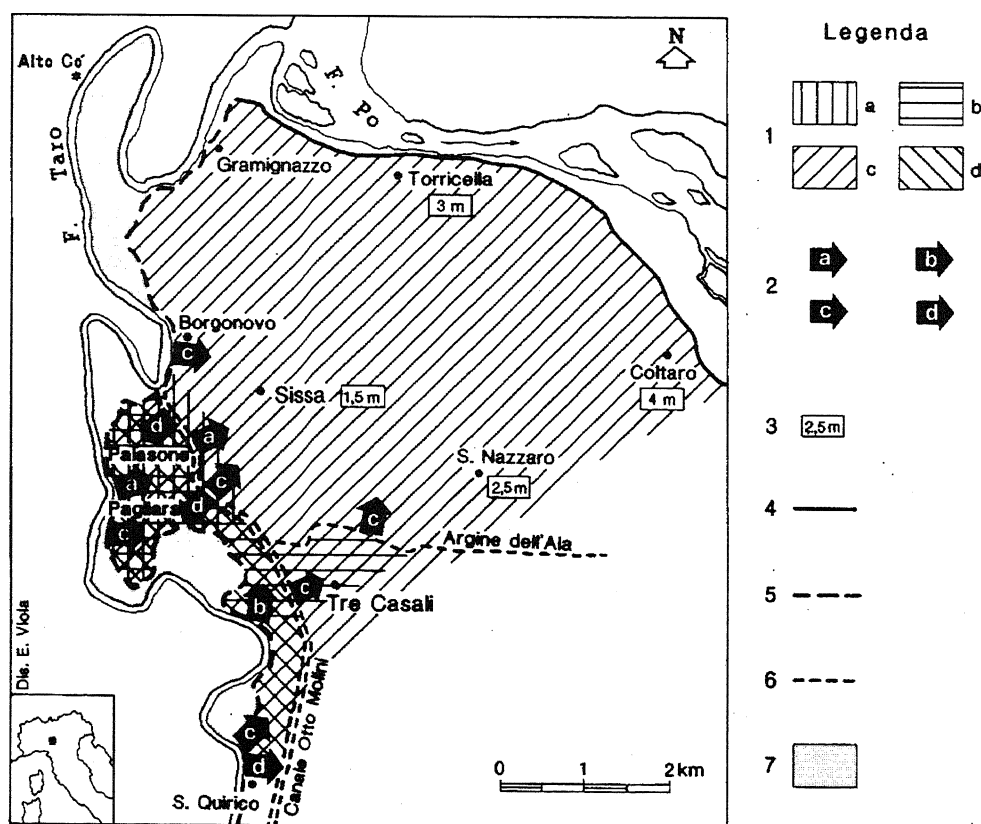


Fig. 1 - Inondazioni del F. Taro nel territorio comunale di Sissa (PR) prodotte da sormonti o rotte d'argine nel XIX secolo; situazioni ricostruite da documenti inediti dell'epoca (base cartografica semplificata dalla Tavoletta "San Secondo Parmense" rilevata dall'I.T.M. nel 1881): 1 - aree inondate per le piene del 25.12.1821 (a), 26.11.1826 (b), 2.11.1839 (c) e 28.10.1882 (d); 2 - rotte e/o sormonti d'argine connessi alle piene del 1821 (a), 1826 (b), 1839 (c) e 1882 (d); 3 - altezza raggiunta sul piano campagna dalle acque d'inondazione nel 1839; 4 - argine maestro di Po; 5 - argine maestro di Taro; 6 - arginature secondarie; 7 - area golenale destra di Taro.

River Taro floods in the 19th Century, territory of Sissa (Parma, Italy), caused by embankment overtopping or failures, as derived from the analysis of unpublished original documents of the period. Map basis redrawn from the Istituto Topografico Militare Official map, sheet "San Secondo Parmense", edition based on surveys of 1881: 1 - areas covered by floods on 25 Dec. 1821 (a), 26 Nov. 1826 (b), 2 Nov. 1839 (c) and 28 Oct. 1882 (d); 2 - overtopping or failures of embankments during the above-specified floods (a-d); 3 - flood depths (m) during the event of year 1839; 4 - River Po main embankments; 5 - River Taro main embankments; 6 - secondary embankments; 7 - River Taro embanked flood way, to the right of the main channel.

nel breve spazio di forse 20 minuti giunto presso la chiesa parrocchiale mi vidi le acque che si impossessavano del sito dove io mi trovavo. Ritiratomi da Palasone fu da me visitata la lunghezza del canale degli Otto Molini, presso cui andavano man mano propagandosi le acque inondanti ... il canale non poté più reggere al peso delle acque e si aprì in più punti e quelle cominciarono a sormontare dagli argini ... Dopo le ore 4 pomeridiane la piena cominciò a diminuire ... nella notte del 29 sopraggiunse una seconda piena del Taro minore di circa 10 oncie della prima. Per precauzione furono innalzati i ripari ..." [documento del 3 gen. 1822, Archivio Storico di Sissa, cart. 132].

Piena del 26 novembre 1826

"Ieri a mezzogiorno circa la gonfiezza delle acque del T. Taro superò l'argine o coronella fatta alla Montata di Ronco, comune di Trecasali, e rovesciatolo come mai non esistente nel sottoposto suolo, e si sparsero le acque inferiormente prendendo la via di Palasone a sinistra e quella di San Nazzaro a destra. Dette acque sono state ritenute nel centro dall'argine degli Otto Mulini verso Sissa ed inferiormente dall'Ala [argine dell'Ala] piccolo arginello verso San Nazzaro ... Fortunatamente il F. Po si è abbassato oggi dopo l'ingrossamento di ieri prodotto dalla gonfiezza del Taro che ha sorpassato quella del 1821 ..." [documento 27 nov. 1826, Archivio Storico di Sissa, cart. 134].

Piena del 2-3 novembre 1839

"In seguito alla strabocchevole pioggia quivi caduta sul corso di otto e più [giorni] e forse più maggiore nei monti dove ha origine il Taro, questo torrente nella mane del 2 corrente si gonfiò talmente che l'arginatura a dritta di esso dovè cedere ed a quanto mi si dice nel comune di Trecasali, sulla fronte di San Quirico ... Per ben quattr'ore poterono mediante e legnami e terre trattenere le acque, ma quelle sempre maggiormente gonfiando l'opera dell'uomo si rese inutile e fu che verso le ore due del pomeriggio di quel dì strariparono in ogni punto e l'inondazione fu irreparabile ed il territorio tutto del comune venne allagato. In Torricella l'altezza dell'acqua si è misurata di 6 braccia [circa 3 m], in Coltaro luogo più basso d'8 braccia [circa 4 m] ... I guasti che si conoscono ora è la rottura dell'argine di Palasone in luogo detto la Pagliara. Anche l'argine Ala è rotto in alcuni punti. L'argine maestro poi in Borgonovo è in corrosione e dà luogo a temer molto ... L'argine del Canale degli Otto Mulini è rotto in più punti ..." [documento del 4 nov. 1839, Archivio Storico di Sissa, cart. 132].

"Nella notte del 3 al 4 le acque del Taro si gonfiarono di nuovo e partendo esse dalle bocche fattesi negli argini nella prima piena [2 novembre] questo comune non ancor libero dalle acque primiere venne sgraziatamente inondato verso le ore due della mane ..." [documento del 5 novembre 1839, Archivio Storico di Sissa, cart. 132].

"Nella mane del 3 novembre corrente le acque del t. Taro si gonfiarono talmente che ruppero un tratto d'argine alla dritta sponda di San Quirico e queste discendendo si portarono all'argine Ala che difende questo comune [Sissa], ma con impeto tale che non fu possibile stante la loro altezza di poterle trattenere dalle molte persone che vi erano accorse, ed in poche ore uno straripamento generale inondò tutto il territorio del comune ... Nel giorno 4 successivo in causa della strabocchevole continuata pioggia ... avvenne che questo comune fu di ben nuovo inondato per un'altezza d'acque maggiore di 3 braccia [circa 1,5 m] a Sissa e comunelli superiori e ne' comunelli di San Nazzaro e Torricella di braccia 5 [circa 2,5 m], a Coltaro siccome luogo più basso di braccia 7 [circa 3,5 m] ... Le rotture causate da quell'infortunio sono molte, fra le quali due all'argine maestro del Taro in Palasone ed altra in Borgonovo di Sissa; ... molte rotture sonsi fatte nell'argine Ala, il Canale degli Otto Mulini è sommamente rovinato. Le strade tutte coperte di un braccio di fango ... molti fondi sono stati ricoperti di strati di sabbia e non potranno essere produttivi se non dopo molti anni ... Le case sono tutte a mal partito e non poche a dire di molti andranno a rovinare ..." [documento dell'11 nov. 1839, Archivio Storico di Sissa, cart. 132].

Piena del 27 ottobre 1882

"La piena straordinaria del Taro avvenuta nel 28 ottobre u.s. ... La corrente alta per l'enorme quantità e vieppiù pel tortuoso corso, batteva con violenza l'Opificio [allo sbocco del Canale Otto Molini nel Taro] che per essere situato in un seno aveva di fronte le acque. Questa lo circondava scaricandosi nel Canale che per l'alto livello invertito aveva il corso e tracimava lungo la sponda sinistra. Già la zona di terra e Villa di Palasone che si trovava compresa tra l'argine del Canale e quello del Taro era inondata, nè si poteva prevedere ove il danno si sarebbe arrestato se rotto non avesse al ponte del Taro ed ai Ronchetti di San Secondo. E noi avventurati che quel giorno il livello del Po fosse relativamente basso altrimenti il disastro sarebbe stato inevitabile quanto improvviso. Inevitabile imperciocchè mentre il Taro a Borgonovo minacciava, a San Quirico di Trecasali tracimava l'argine maestro in modo che avremmo avuto non solamente le acque di fronte ma anco alle spalle; improvviso perchè dalle due dopo mezzanotte e cioè quando il torrente incominciava a crescere rapidamente fino alle nove nessuno ci avvertiva della straordinaria piena ..." [documento del 20 nov. 1882, Archivio Storico di Sissa, cart. 144].

All'idrometro dell'Alto Cò di Palasone, collocato in sponda sinistra circa 5 km a monte dello sbocco in Po, con zero idrometrico posto a 25,5 m s.l.m.m., la piena dell'ottobre 1882 ha fatto registrare un livello di 7,40 m, poco inferiore al livello di 7,87 m, raggiunto nel 1852, fino ad allora massimo conosciuto.

Successivamente al 1882, furono misurate al medesimo idrometro ancora sei piene con altezze superiori al livello di 7,40 m

(Min. LL.PP., 1891: 1907): 7,70 m nell'ottobre 1889; 8,86 m nell'ottobre 1891; 8,78 m nell'ottobre 1896; 8,65 m nel novembre 1896; 9,05 m nel dicembre 1896; 9,93 m nel novembre 1897, massimo livello di piena misurato nel secolo. Tuttavia, dal materiale documentario consultato non risulta che, limitatamente al territorio comunale di Sissa, si siano prodotti nel corso di tali eventi effetti confrontabili con quelli delle piene precedenti, ma solo qualche danneggiamento alle difese e locali tracimazioni con allagamenti in area golenale. Con molta probabilità le operazioni di rialzo e rinforzo d'argine, eseguite a seguito di ogni nuova massima piena, e i probabili interventi di emergenza attuati in corso di evento hanno evitato il ripetersi di ulteriori gravi inondazioni.

2.2.3 Le piene del XX secolo

A partire dall'inizio del secolo attuale fino all'evento alluvionale del 9 novembre 1982, sono state segnalate numerose piene lungo il corso del F. Taro, ma gli effetti da queste prodotti nel territorio di Sissa sono riconducibili essenzialmente a locali tracimazioni d'argine e a danni talora gravi, circoscritti però all'interno delle aree golenali (eventi del novembre 1940, novembre 1951, settembre e ottobre 1960, novembre 1968).

Non è possibile stabilire un confronto tra altezze idrometriche misurate nel secolo scorso e quelle registrate nel secolo attuale, in quanto nel 1903 venne distrutto l'idrometro di riferimento dell'Alto Cò di Palasone e le successive misure furono fatte allo strumento di San Quirico, collocato circa 17 km più a monte.

La piena del 9 novembre 1982 è stata riconosciuta di frequenza secolare (Lunardi, 1984) ed ha riproposto lo scenario di allagamenti nel comune di Sissa con una intensità comparabile alle maggiori piene del secolo scorso. Il F. Taro ha completamente invaso la gola destra e sinistra e ha sormontato gli argini in diverse località con formazione di otto rotte in sponda destra, sei delle quali sono state localizzate lungo il percorso con alveo di transizione e due lungo il percorso con alveo meandriforme, sempre in prossimità di locali costrizioni del campo di espansione golenale e in corrispondenza di sponde concave. Per i luoghi interessati dalle rotte sono mostrate in Figura 2 le corrispondenti sezioni trasversali del percorso fluviale, le quali evidenziano la diversa forma d'alveo nel tratto di transizione e nel tratto meandriforme. Procedendo verso valle, le modalità dell'inondazione sono riassunte come segue: in sezione A), alveo di transizione, località Viarolo: sormonto dell'argine destro ed una rotta (lunghezza 15 m) con aree allagate fino a 8,9 km e solchi d'erosione fino a 4 km. In sezione B), alveo di transizione, località Ronco Campo Canneto: sormonto dell'argine destro e due rotte (lunghezza totale 103 m) con aree allagate fino a 7,5 km, solchi d'erosione fino a 6 km. In sezione C), alveo di transizione, località Ronco Campo Canneto: sormonto degli argini sinistro e destro e tre rotte dell'argine destro (lunghezza totale 73 m) con aree allagate fino a 7,5 km, solchi d'erosione fino a 6 km. In sezione D), alveo meandriforme, località Tre Casali: sormonto degli argini sinistro e destro, cedimento parziale dell'argine destro (lunghezza 8 m) con aree allagate fino a 6,5 km. In sezione E), alveo meandriforme, località Sissa: sormonto degli argini sinistro e destro, cedimento parziale dell'argine destro (lunghezza 25 m) con aree allagate fino a 5 km.

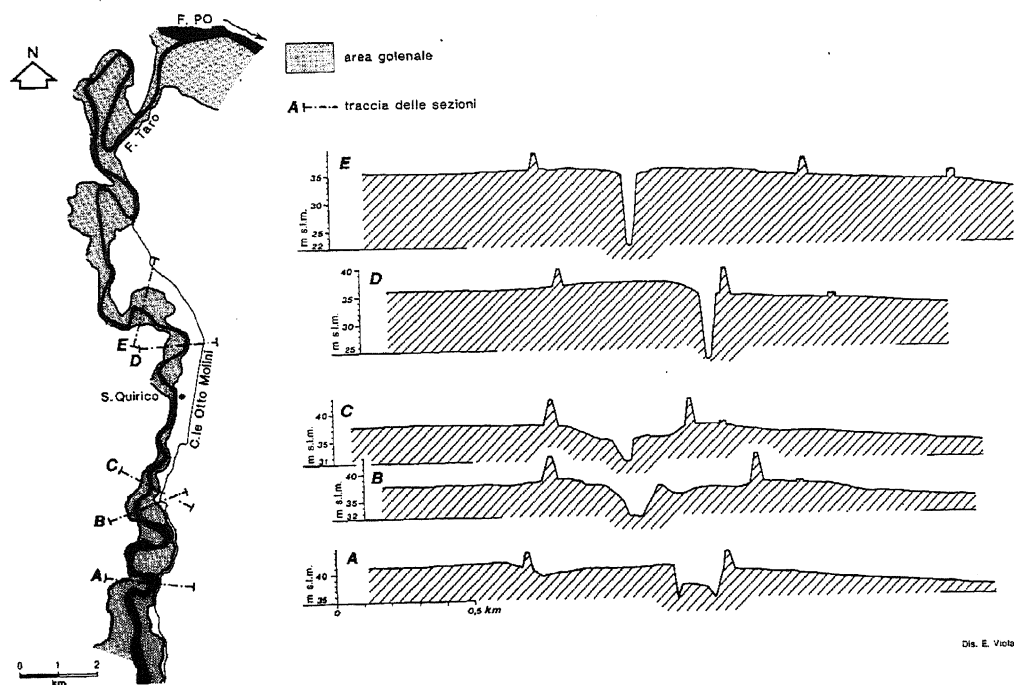


Fig. 2 - F. Taro: sezioni trasversali nei luoghi delle rotte arginali prodotte dalla piena del 9 novembre 1982.

Cross sections of the River Taro near sites of embankment failures which occurred during the event of November 9th, 1982.

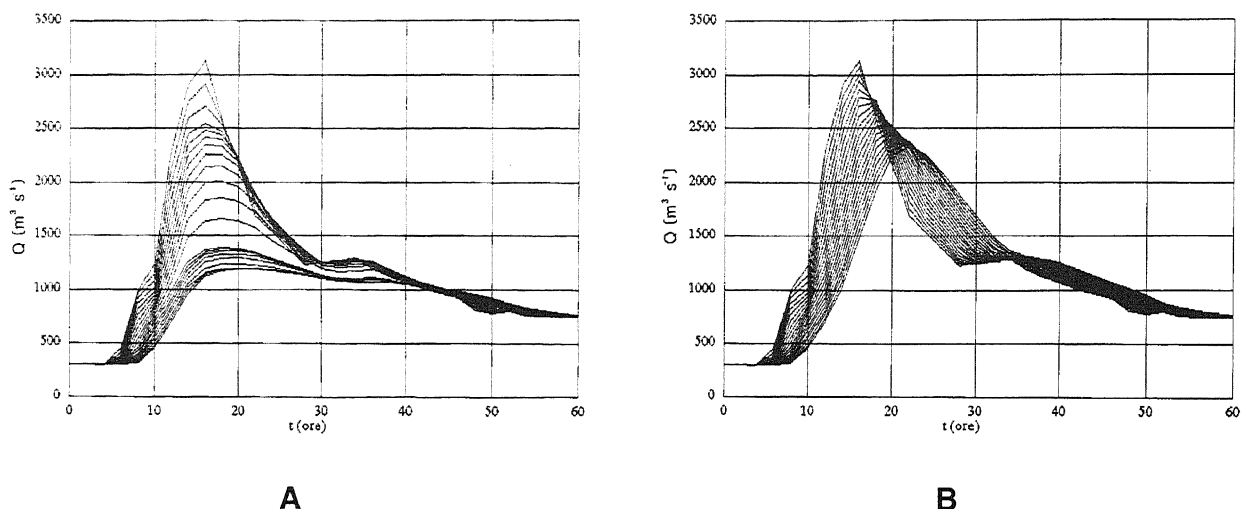


Fig. 3 - Propagazione dell'onda di piena del 9 nov. 1982 (portata al colmo: $3200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) nel percorso arginato: A) simulazione con le rotte e i sormonti d'argine (decapitazione dell'onda); B) simulazione dell'effetto di contenimento entro gli argini (attenuazione dell'onda pari al 25% del colmo).

Flood routing within the embanked reach (flood of November 9th, 1982, peak discharge $3,200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$): A) simulation including bank overtopping and actual failures with discharge cut off; B) simulation of discharges as supposedly contained within the embankments: 25% peak attenuation induced.

La piena del novembre 1982 ha inondato un'area complessiva di 70 km^2 , con allagamenti distribuiti per massima parte sulla piana ad oriente del F. Taro, verso valle rispetto alla confluenza di Po, e causati prevalentemente dalle acque defluite attraverso le sei rotte nel tratto d'alveo di transizione. Nel medesimo tratto, in area golenale, sono stati trattenuti depositi alluvionali di esondazione, soprattutto sulla sponda destra e in corrispondenza delle rotte, i quali testimoniano processi di sedimentazione legati al sistema evolutivo d'accrescimento del lobo frontale di conoide (Maraga, 1986; Petrucci *et al.*, 1989).

3. MODELLO DI PROPAGAZIONE DELL'ONDA DI PIENA DEL 9 NOVEMBRE 1982

Per la definizione di un modello di propagazione in alveo di un'onda di piena generica e per il calcolo del sormonto arginale a questa eventualmente connesso, sono stati adottati procedimenti di calcolo idraulico, semplificato nei termini della equazione differenziale di convezione-diffusione a parametri variabili con l'entità della portata, nella forma seguente:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + C(Q) \frac{\partial Q}{\partial x} = D(Q) \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + C(Q) q$$

In detta equazione: x è la progressiva longitudinale positiva verso valle; q ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$) è la portata di scambio laterale per unità di lunghezza d'asse, negativa se uscente; $C(Q)$ esprime la funzione della celerità di propagazione dell'onda (m s^{-1}); $D(Q)$ è il parametro di diffusione ($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$), che indica la possibilità dell'onda di appiattirsi dilatandosi nel corso della sua traslazione. La funzione D viene anche espressa nei termini di un coefficiente adimensionale di attenuazione $\alpha(Q)$, tale che $D(Q) = \alpha(Q) Q / L$, dove L è la lunghezza totale del percorso considerato.

La consistente descrizione topografica dell'alveo (104 sezioni) è stata assunta come base per ricavare, dal calcolo in condizioni di moto permanente, profondità, larghezze e velocità in ogni sezione e, da queste, i parametri C ed in funzione della portata.

Con suddivisione del percorso, ove necessaria per tenere conto di singolarità quali la presenza di tributari, ovvero di variabilità spaziali nei parametri di propagazione, lo schema d'impiego si articola nelle seguenti fasi: a) calcolo delle scale di deflusso di moto permanente; b) calcolo di propagazione dell'onda di piena con esclusione delle perdite laterali per sormonto o rotta; c) calcolo di propagazione con inclusione delle perdite laterali per sormonto arginale; d) calcolo di propagazione con ulteriore inclusione di perdite laterali per rotte arginali. Negli ultimi due casi di calcolo è quindi possibile ricavare l'entità delle portate uscenti dall'alveo e calcolare i volumi di esondazione.

Per la piena del 9 novembre 1982 l'applicazione del modello di propagazione è stata realizzata, con verifica descrittiva, a partire dall'idrogramma registrato a Fornovo allo sbocco in pianura; il calcolo dei volumi di esondazione in presenza delle rotte arginali è stato condotto sulla base delle descrizioni del fenomeno riportate da Petrucci *et al.*, 1983 e dalla documentazione aerofotografica (fotografie aeree prospettive del giorno 11 novembre 1982 e verticali del giorno 12 novembre 1982).

Mentre l'onda simulata contenuta entro gli argini mostra una progressiva attenuazione del colmo procedendo verso valle, nelle condizioni riferite alla piena del 1982 il modello evidenzia la netta decapitazione del colmo alla perdita laterale dei deflussi, prodotta dalle rotte d'argine (Fig. 3).

4. IDRODINAMICA DEI DEFLUSSI NEL PERCORSO FLUVIALE ARGINATO

L'analisi della propagazione delle onde di piena entro l'alveo geomorfico ed entro il campo dei deflussi arginati è stata condotta per confronto delle velocità medie e delle larghezze al pelo libero che si calcolano in condizioni di moto permanente lungo l'asse fluviale. Da tali parametri, funzione della portata, dipende infatti la determinazione delle funzioni di celerità di propagazione e di attenuazione dell'onda, costitutive del modello.

Per il tratto in esame del F. Taro, l'influenza del campo dei deflussi arginato è apparsa evidente sull'andamento dei parametri del modello come segue:

a) la funzione di celerità, proporzionale alla velocità media della corrente, ha mostrato, per valori di portata crescenti nell'intervallo da 50 a 4000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, una sensibile diminuzione in concomitanza delle portate eccedenti la capacità di deflusso dell'alveo geomorfico, cioè all'ingresso dell'onda di piena in golena, dopo un massimo raggiunto ai livelli idrometrici di piene rive (Fig. 4a);

b) la funzione di attenuazione, nel medesimo intervallo di variazione delle portate, risulta in rapida diminuzione esponenziale per livelli contenuti entro le piene rive per poi stabilizzarsi sul valore corrispondente all'ingresso dell'onda di piena in golena (Fig. 4b). Peraltro, tale comportamento implica un aumento del parametro di diffusione proporzionale all'aumento di portata, e quindi un ulteriore tasso di attenuazione del colmo di piena.

L'esame della propagazione delle onde di piena lungo tutto il percorso di pianura del F. Taro mette in evidenza il diverso comportamento idrodinamico imposto dalle arginature presenti nel tratto terminale: al variare della portata, i tempi di percorrenza (Fig.5a) e le aree occupate dai relativi deflussi di piena (Fig.5b) mostrano una rottura di pendenza precisamente in corrispondenza dell'inizio del percorso fluviale arginato, 31 km dalla confluenza in Po, a partire dalla progressiva 23 km circa da monte.

Con le portate di piena in campo golenale il profilo dei livelli idrici non riflette più esattamente la variazione di pendenza media del fondo e l'ubicazione del punto in cui si ha modificazione nelle caratteristiche idrodinamiche di propagazione varia, rispetto alle portate contenute nell'alveo, tanto da mascherare il luogo di cambiamento della forma d'alveo.

5. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

L'applicazione della modellistica idraulica semplificata ha messo in evidenza che le caratteristiche di propagazione delle onde di piena in caso di deflussi contenuti o non contenuti entro l'alveo geomorfico sono ben differenziate.

In particolare, l'espansione dei deflussi in campo golenale comporta una efficace attenuazione dei colmi corrispondente all'aumento dei tempi di propagazione dell'onda e dei tempi di permanenza delle acque di piena. Nel caso della piena del 9 novembre 1982, di frequenza secolare, la portata al colmo contenuta dalle arginature supposte sufficientemente alte, avrebbe subito una attenuazione pari a circa il 25% lungo il percorso in esame, indipendentemente dalla forma dell'alveo geomorfico. Ancorché sensibile, la diminuzione dell'altezza dell'onda risulta inferiore a quella che si avrebbe per effetto dell'abbandono del percorso fluviale nelle condi-

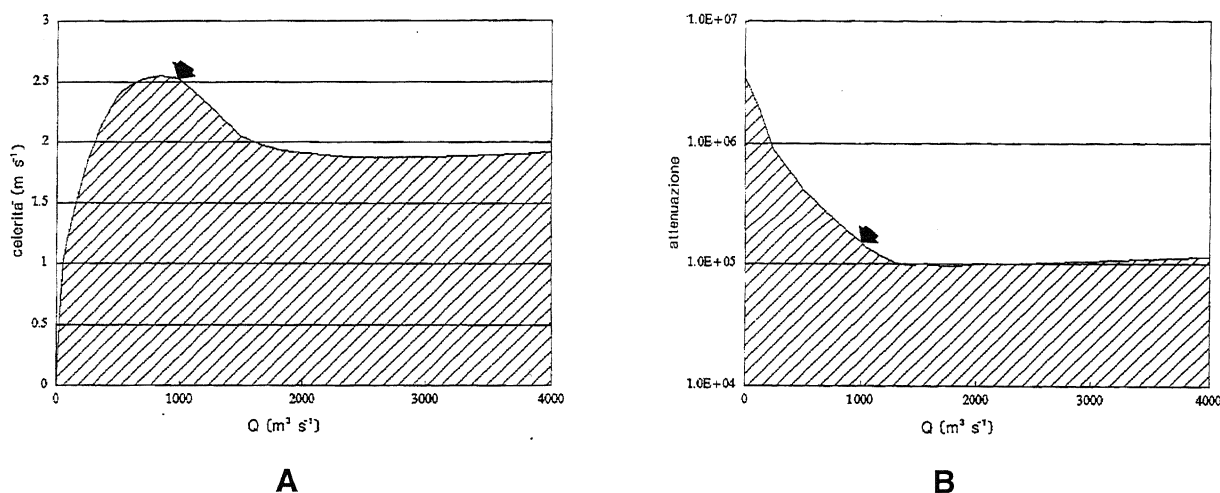


Fig. 4 - Andamento delle funzioni A) "celerità" e B) "attenuazione" al variare della portata fra 50 e 4000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ nel percorso arginato. Le frecce indicano la portata d'ingresso diffuso dei deflussi di piena in campo d'inondazione arginato ($1000 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

Display of A) celerity and B) attenuation functions with varying discharges in the range 50 to 4,000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ within the embanked reach. The arrows indicate the beginning of diffuse flood way occupation along the reach ($1000 \text{m}^3 \text{s}^{-1}$).

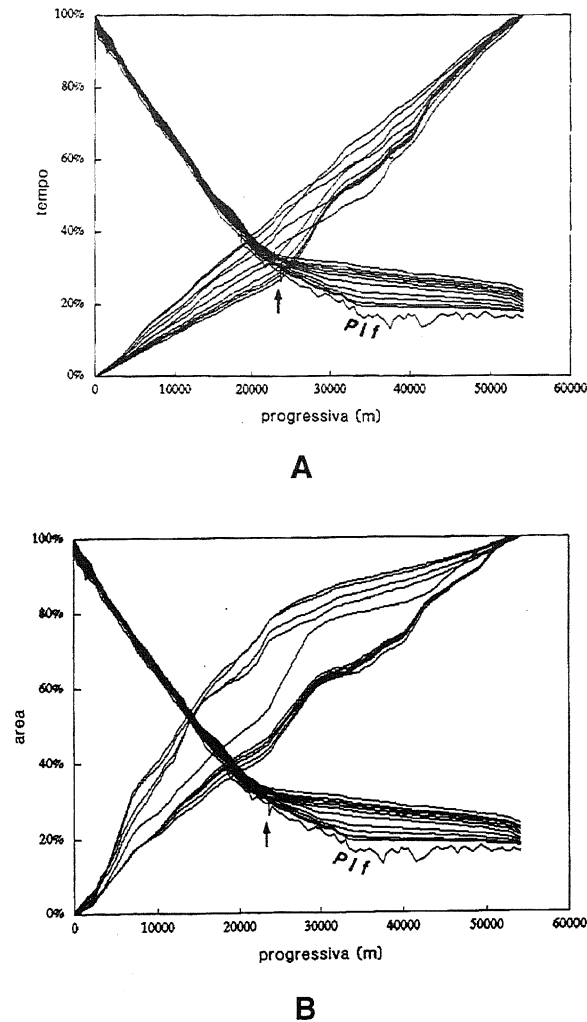


Fig. 5 - Caratteristiche della propagazione in funzione della ascissa longitudinale orientata verso valle al variare della portata fra 50 e 4000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ dallo sbocco in pianura alla foce: **A)** tempi di percorrenza e **B)** aree occupate, valori cumulati percentuali. Calcolo in condizioni permanenti con deflussi contenuti entro i limiti d'argine. Pif: profilo longitudinale del fondo. Le frecce indicano il luogo di variazione delle caratteristiche idrodinamiche all'ingresso nel percorso arginato.

Flood routing characteristics as a function of downstream abscissa with varying discharges in the range 50 to 4,000 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ from mountain mouth to confluence in the River Po: A) travel time and B) occupied plan areas cumulated figures, in percent, as calculated in steady flow conditions, supposedly contained within the embankments. Pif: bed profile; the arrows indicate the breaking points at the beginning of the embanked reach.

zioni naturali e a quella che è stata prodotta dal sormonto e dalle rotte delle opere di contenimento artificiale. Per portate confinate entro l'alveo geomorfico, l'attenuazione dei colmi è risultata inferiore ed è stata valutata dell'ordine del 10%, di ordine pari a quella che dovrebbe essere l'attenuazione dell'onda con arginature sovrastanti immediatamente alla riva (argini in frodo, cfr. Zanchi, 1957, p.33), in assenza di area d'inondazione interposta tra argine e orlo di sponda. Ne consegue che, con la riduzione della larghezza di tale area, l'effetto di attenuazione delle onde di piena può diminuire tanto da indurre pericolo alla tenuta degli argini. Proprio in corrispondenza di restringimenti dell'area golendale, infatti, è stato rilevato il maggior numero di rotte lungo il percorso arginato del F. Taro, a danno soprattutto degli argini in frodo ubicati in sponda concava (vedi rotte di San Quirico, Pagliara e Borgonovo di Sissa nel secolo scorso; rotte di Viarolo e Trecasali nel 1982).

Se la richiesta di nuovi spazi per lo sviluppo antropico, quando indirizzata alle aree immediatamente rivierasche con difese sempre più prossime al percorso fluviale porta a sottrarre ai deflussi di piena l'area di espansione golendale, essa può limitare dunque sensibilmente l'effetto di attenuazione dei colmi, se non vanificare persino la locale efficienza degli argini. Poiché le aree urbanizzate in prossimità dei corsi d'acqua di pianura hanno visto ormai affidata la loro difesa ad un sistema continuo di arginature, occorre provvedere al loro sistematico controllo e soprattutto mantenere attivo un adeguato campo di espansione delle piene, se si vuole conseguire lo scopo per il quale gli argini stessi sono costruiti, cioè di garantire alla comunità la maggiore sicurezza dalle acque di inondazione.

RINGRAZIAMENTI

Alla realizzazione del presente lavoro ha collaborato il seguente personale del CNR-IRPI di Torino: Ettore Beretta per la raccolta e selezione dei dati bibliografici, dei documenti inediti d'archivio e delle fotografie aeree; Giovanni Rivelli per le misure automatiche su basi cartografiche delle aree inondate; Caterina Tantarò per la gestione informatica del testo; Pier Giuseppe Trebò per le riproduzioni su acetato; Edoardo Viola per la grafica.

Per parte dell'Università di Trieste la ricerca è stata svolta con contributi MURST 60 % e nell'ambito del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Linea 3: valutazione del rischio idraulico geologico e zonazione; strategie d'intervento per la mitigazione degli effetti degli eventi estremi.

BIBLIOGRAFIA

- Billi P., 1988 - *Morfologie fluviali*. Giornale di Geol., Bologna, ser.3, **50** (1-2), 27-38.
- Campari F., 1910 - *Un castello del Parmigiano attraverso i secoli*. Tip. Battei, Parma, 712 pp.
- Caroni E., Maraga F. & Turitto O., 1990 - *La delimitazione di aree soggette a rischio d'inondazione: un approccio multidisciplinare*. Atti del XXII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Cosenza 4-7 ott. 1990, 9-21.
- Carson M.A. & Griffith G.A., 1987 - *Transitional channel types between meandering and braiding*. J. Hydrol. (NZ), **26**, 1, 117-120.
- Cocconcetti A., 1825 - *Descrizione dei progetti e lavori per l'innalzamento dei due ponti sul Taro e sulla Trebbia*. Tip. Ducale, Parma.
- Govi M., Serva L. & Turitto O., 1990 - *La conoscenza delle piene storiche nelle valutazioni di sicurezza e protezione del territorio*. Sicurezza e Protezione, ENEA-DISP, **8** (23-24), 12-23.

- Lunardi P., 1984 - *La piena del F. Taro del novembre 1982: danni, ripristino provvisorio e ricostruzione definitiva del ponte ferroviario distrutto dalla piena*. Atti del II Convegno di Idraulica Padana, Parma 15-16 giu. 1984, 5-43.
- Maraga F., 1986 - *Inondazione del 9.11.82: carta degli allagamenti prodotti dal F. Taro in pianura (scala 1:28000)*. CNR-IRPI, Memoria Interna M.I. 86.
- Maraga F., 1986 - *Flood-affected areas as related to plain morphology. A case study for flood-prone areas in the Taro river plain (Northern Italy)*. Proc. of VI Int. Meeting of the Working Group "Geomorphology of river and coastal plains", I.G.U., Sevilla (Spagna), sett. 7-12, 1986, 8 pp.
- Ministero LL.PP., 1878 - *Sull'idrografia e sull'idraulica fluviale in Italia-Cenni monografici*. Tip. Botta, Roma, vol.2, n.5., LIV-613 p.
- Ministero LL.PP., 1889 - *Relazione sui servizi idraulici per il biennio 1886-1888*. Tip. Botta, Roma, 622 pp.
- Ministero LL.PP., 1891 - *Relazione sui servizi idraulici per il biennio 1888-89 e 1889-90*. Tip. Botta, Roma, 737 pp.
- Ministero LL.PP., Magistrato per il Po di Parma ,1968 - *Carta del Corso del F. Po da Moncalieri al mare Adriatico., rilievo aerofotogrammetrico 1966-1967*. Tip. Riunite Donati, Parma, 10 tavv.
- Petrucci F., Careggio M., Cavazzini R. & Rossetti G., 1989 - *Il quadro geologico-ambientale dell'area di espansione urbana della città di Parma*. Mem. Soc. Geol. It., **42**, 67-79.
- Petrucci F., Cavazzini R. & Conti A., 1983 - *Geologia e geomorfologia della conoide del F. Taro-Prov. Parma (ed evento alluvionale del 9 novembre 1982)*. Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense, Parma, **19** (1), 5-23.
- Zanchi O., 1957 - *Manuale pratico per le opere idraulico-fluviali*. Nistri-Lischi Editori, Pisa, 505 p.

Testo definitivo ricevuto il 29. 10. 1993