

L. 205/2017 – art. 1, c. 518. Primo Stralcio del Piano Nazionale degli interventi del settore idrico – Sezione “invasi”

Cod. 518/3 - Opere di adeguamento dell'impianto irriguo di presollevamento dal f. Po a foce Ongina, in seguito al continuo abbassamento dei livelli idrometrici di magra durante il periodo estivo
CUP: G55E18000090001



PROGETTO DEFINITIVO

approvato	
	Dott. Ing. Ivo FRESIA
verificato	
	Dott. Ing. Giuseppe CAMPI
elaborato	
	Dott. Ing. Ivo FRESIA

Il Responsabile del Procedimento <i>Dott. Ing. Daniele SCAFFI</i> (Consorzio della Bonifica Parmense)	Il Progettista - Responsabile di progetto e delle integrazioni e prestazioni specialistiche <i>Dott. Ing. Giuseppe CAMPI</i> (ART Ambiente Risorse e Territorio srl)
Il Geologo <i>Dott. Geol. Emanuele CORTESI</i> (Consorzio della Bonifica Parmense)	Idraulica <i>Dott. Ing. Ivo FRESIA</i> (ART Ambiente Risorse e Territorio srl)
Il Coord. per la Sicurezza in fase di Progetto <i>Geom. Davide MALVISI</i> (Consorzio della Bonifica Parmense) <i>Supporto: Dott. Ing. Paolo Bergonzani</i>	Ambiente <i>Dott.ssa Geol. Emilia MITIDIERI</i> (ART Ambiente Risorse e Territorio srl)

Indagini specialistiche

RELAZIONE IDRAULICA

ELAB. R.4

00	FR	GC	FR	Dicembre 2019
rev.	sigle			data

codice elaborato 599_04-04-003R-00



01PQ-Mod06
Rev. 1

Data emissione: 02.2018

Indice

1	Premessa	1
2	Caratteristiche della nuova opera	2
3	Condizioni idraulico-morfologiche dell'alveo di magra	7
3.1	Cenni sulle trasformazioni storiche dell'alveo	7
3.2	Caratteristiche idrologiche e idrauliche del tratto del fiume Po	1
3.2.1.	Portate e livelli idrometrici di massima piena al colmo	1
3.2.2.	Portate e livelli idrometrici caratteristici e di magra.....	2
3.3	Caratteristiche geomorfologiche del tratto e dinamica evolutiva	3
3.4	Caratteristiche del trasporto solido	6
4.1	Condizioni di piena	8
4.2	Condizioni di magra e ordinarie	9

1 Premessa

Il progetto definitivo relativo alle “OPERE DI ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO IRRIGUO DI PRESOLLEVAMENTO DAL F. PO A FOCE ONGINA, IN SEGUITO AL CONTINUO ABBASSAMENTO DEI LIVELLI IDROMETRICI DI MAGRA DURANTE IL PERIODO ESTIVO” prevede la ricollocazione dell'opera di presa esistente per servire in maniera adeguata tutto il Comprensorio irriguo dell'Ongina.

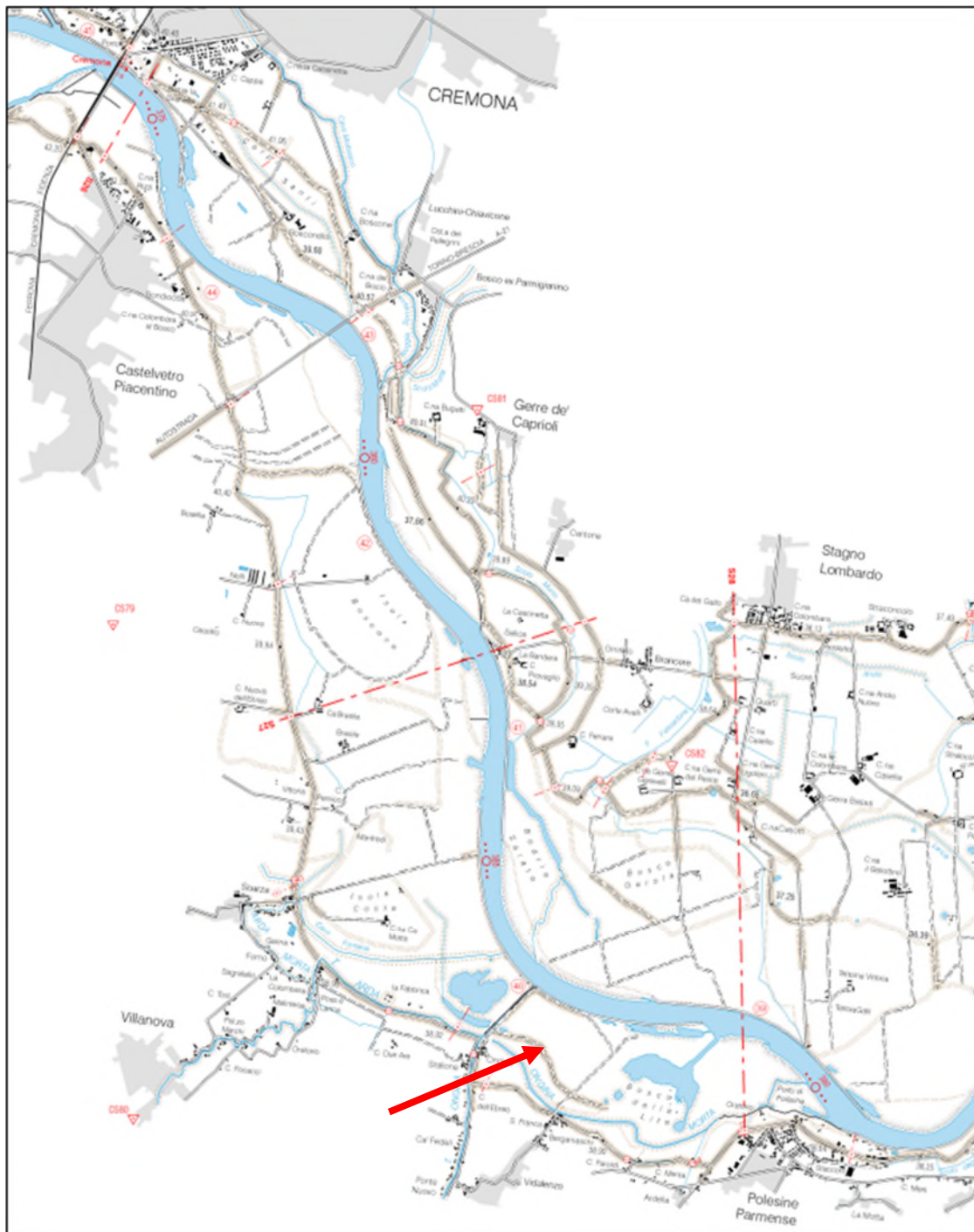


Figura 1 – Estratto cartografico dell'asta del fiume Po nel tratto tra Cremona e confluenza del torrente Ongina; è evidenziata l'ubicazione della nuova opera di presa

In rapporto alle caratteristiche costruttive dell'intervento, le valutazioni di compatibilità idraulica sono impostate secondo i punti di seguito elencati.

- Analisi delle attuali condizioni idraulico-morfologiche dell'alveo di magra del fiume Po nel tratto interessato dall'intervento per i diversi aspetti caratteristici (caratteristiche morfologiche e geometriche; funzionalità delle opere idrauliche di regimazione; granulometria dell'alveo; condizioni di stabilità morfologica dell'alveo inciso).
- Analisi del regime idraulico del tratto nelle condizioni attuali (livelli di magra e ordinari; livelli di piena; capacità di trasporto solido).
- Analisi degli effetti potenziali dell'intervento sulle condizioni di stabilità morfologica dell'alveo di magra e sulle condizioni di deflusso in piena.

il tratto di corso d'acqua assunto a riferimento è compreso tra la curva di navigazione n. 41 a monte (progr. km 382,0) e quella n. 39 a valle (progr. km 391,0).

2 Caratteristiche della nuova opera

La collocazione della nuova struttura è prevista appena a valle della foce del torrente Ongina, dove, dai rilievi fatti durante l'estate 2003 (in cui si è verificata una delle magre più gravose del periodo recente), vi è un punto di massima profondità d'acqua (circa 3,50 m nei momenti di massima magra riscontrati).

L'opera è prevista lungo la curva di navigazione n. 40, in sponda destra dell'alveo inciso, in corrispondenza del tratto di massima curvatura dove si manifestano, in condizioni di magra, i valori minimi delle quote di fondo del thalweg.

La struttura non verrà dotata di platea di fondo, in modo da permettere, nell'ipotesi che i livelli di magra continuino a diminuire, di abbassare le giranti delle elettropompe, per mantenere il livello di sommergenza consigliato di almeno 1,00 m.

Le ragioni della ricollocazione dell'impianto di pre-sollevamento sono le seguenti:

- l'abbassamento del livello idrometrico di magra, nel periodo 1965-2002, con una riduzione media di circa 1 m ogni 10 anni; a questo fenomeno si è aggiunto l'incremento di un ulteriore metro fra l'estate 2002 e quella 2003;
- le caratteristiche strutturali dell'impianto esistente, che rendono praticamente impossibile l'abbassamento delle giranti delle pompe senza rischiare di compromettere la staticità globale del fabbricato.

Pertanto, come già fatto da parte di altri Consorzi che derivano acqua da Po, il progetto prevede di installare due nuove elettropompe assiali, sempre a pale variabili in moto, di portata pari a 1.650 l/s (in modo da assicurare la stessa portata di concessione), ma di prevalenza almeno doppia; la nuova collocazione è prevista su una piattaforma in c.a. gettato in opera fondata su diaframmi, da realizzarsi a ridosso della scarpata dell'alveo inciso del fiume, alla quota dell'attuale via alzaia, in modo da assicurare un minimo impatto ambientale ed idraulico.

L'intervento in progetto è costituito dalle seguenti opere che sono definite in dettaglio negli elaborati specifici del progetto:

- nuovo manufatto di pre-sollevamento, in c.a. gettato in opera, per la collocazione di due nuove elettropompe di aspirazione; il manufatto ha una prima soletta, alla quota 29,50 m s.m., su cui sono ancorate le pompe e alloggiati i raccordi delle bocche di aspirazione alle tubazioni di mandata; una seconda soletta superiore, alla quota 36,00 m s.m., permette l'alloggiamento dei motori elettrici. Le dimensioni in pianta del manufatto sono pari a 15 x 11 m;
- diaframmi in c.a. gettato in opera di spessore pari ad 1 m, approfonditi fino alla quota -2.00 m s.m.; i diaframmi presentano altezza variabile, in ragione della conformazione del nuovo impianto di pre-sollevamento; le superfici in vista dei diaframmi potranno essere rivestite per un migliore inserimento paesaggistico;

- nuove condotte di mandata, costituite da tubazioni in ghisa sferoidale con rivestimento interno in malta cementizia d'alto forno ed esterno in zinco 200g/m² e vernice epossidica; le tubazioni sono completamente interraste e vengono raccordate alle nuove elettropompe e alle condotte di mandata esistenti con tubazioni in acciaio zincato a caldo, De 1016 mm, spessore 12 mm;
- macchinari elettromeccanici e relativi accessori costituiti da: n. 2 elettropompe assiali ad asse verticale, con pale ad inclinazione regolabile durante il moto mediante servomotore elettrico, con le seguenti caratteristiche nominali: portata 1650 l/s alla prevalenza manometrica di 11,50 m; motore da 300 kW, grado di protezione IP 55; quadro di media tensione, per il ricevimento e l'alimentazione e la protezione di n. 3 trasformatori, dei quali: n. 2 della potenza di 1000 kVA, (uno di riserva dell'altro) per l'alimentazione delle due pompe principali; n. 1 della potenza di 100 kVA per l'alimentazione dei motori di piccola potenza e dei servizi; quadro di ricevimento dei trasformatori da 1000 kVA, di distribuzione e di comando delle pompe di sollevamento; quadro con gruppo di continuità statico; quadro comando delle utenze minori; n. 2 quadri comando e segnalazione; motorizzazioni delle due paratoie di mandata pompa e delle due valvole a farfalla in mandata delle pompe;
- sistemazione dell'area antistante l'edificio in progetto, con la realizzazione di un piazzale ed il ripristino definitivo del nuovo tracciato di strada alzaia;
- opere murarie presso l'impianto esistente necessarie all'installazione delle nuove apparecchiature elettriche e al collegamento delle nuove tubazioni di mandata;



Figura 2 – Vista dell'opera di presa irrigua in corrispondenza della foce del torrente Ongina rispettivamente nello stato attuale (sopra) e con l'inserimento dell'opera in progetto (sotto; render)

- taglio anti-sifonamento a monte dell'impianto esistente mediante l'infissione delle palancole in precedenza utilizzate per la realizzazione delle opere provvisionali;
- ripristino delle mantellate in c.a. e delle scogliere in massi in corrispondenza dello sbocco del manufatto esistente.

Le immagini di Figura 2 rappresentano rispettivamente la situazione esistente dell'opere di presa e l'inserimento della nuova opera prevista in progetto.

Sotto l'aspetto della compatibilità idraulica dell'intervento, in rapporto alle possibili interferenze con le condizioni di deflusso, le opere da realizzare comportano una modesta interruzione della continuità della sponda dell'alveo inciso – costituita dalla curva di navigazione n. 40 – dovuta all'inserimento del nuovo manufatto di pre-sollevamento e dai diaframmi di fondazione dello stesso che garantiscono la funzionalità della manufatto.

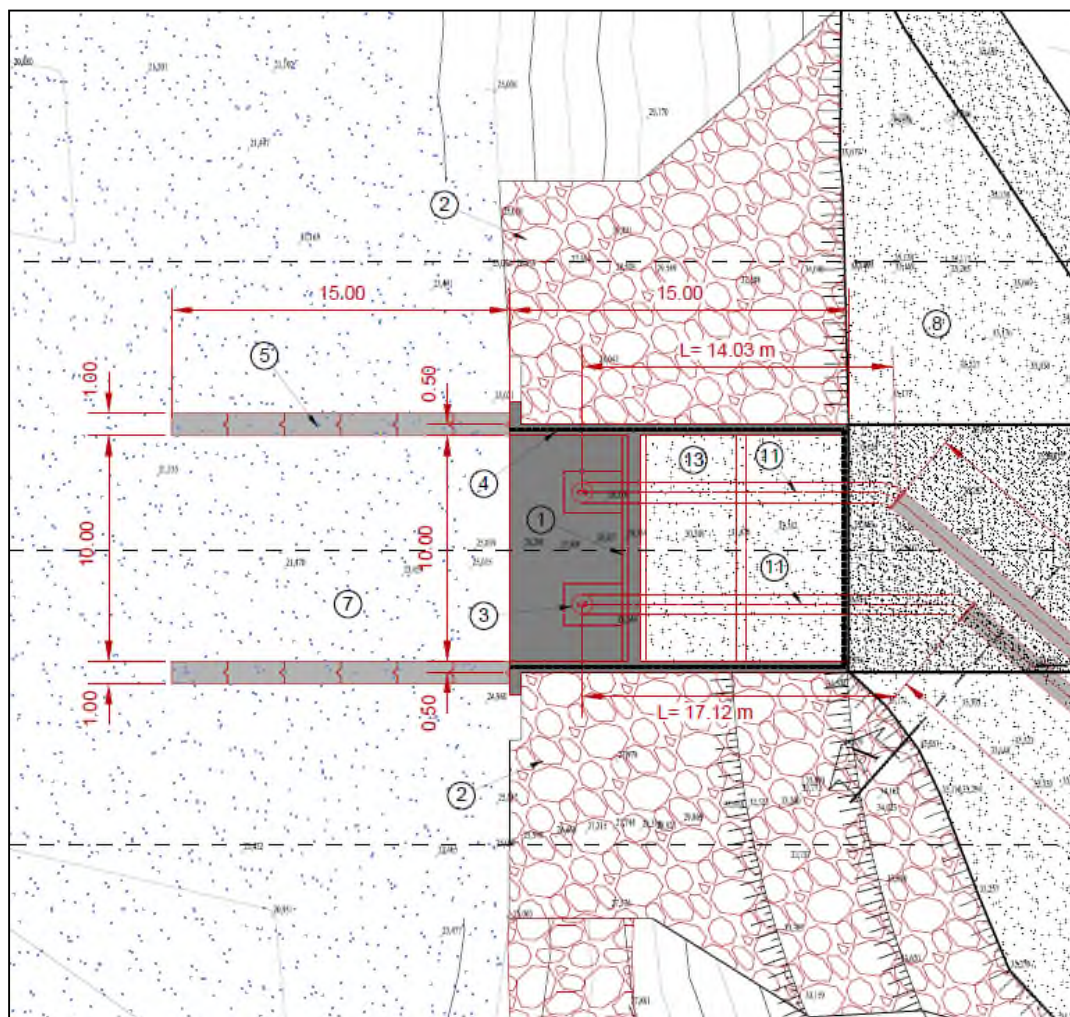


Figura 3 – Stralcio planimetrico dell'opera di presa in progetto

L'opera ha la quota di sommità impostata a 36,00 m s.m., corrispondente circa a quella della via alzaia che si prolunga in orizzontale per 15,0 m verso l'alveo (per una larghezza di 11,0 m); il prolungamento ulteriore, per una lunghezza di altri 15,0 m è costituito dai due diaframmi laterali, progressivamente degradanti, che passano da quota di sommità pari a 25,8 m s.m. a quota di 21,0 m s.m. nel punto terminale.

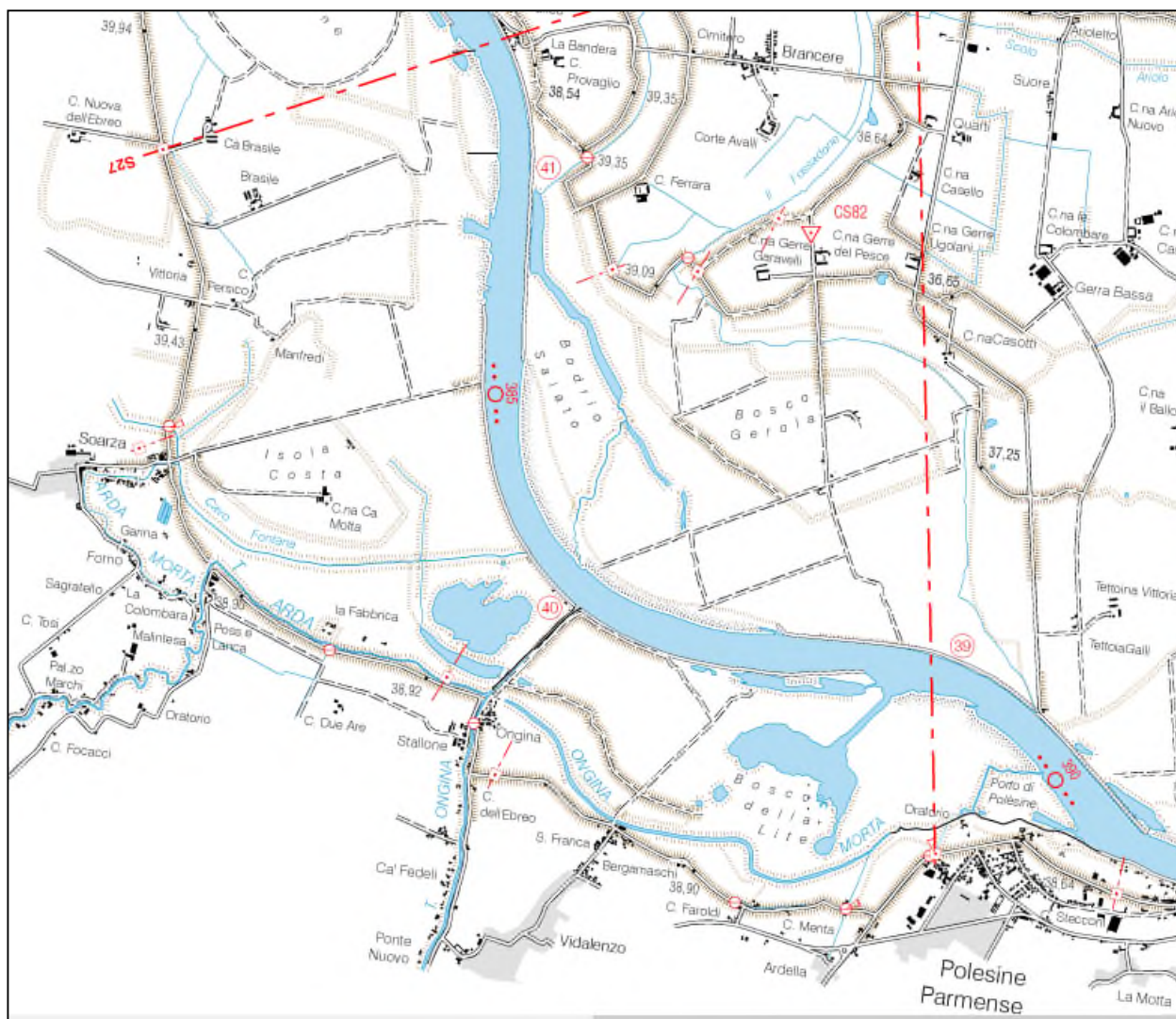


Figura 4 - Estratto cartografico dell'asta del fiume Po nel tratto alla confluenza del torrente Ongina in cui è ubicata la nuova opera di presa

Sotto l'aspetto legato all'utilizzo della risorsa idrica, la nuova opera di presa è dimensionata per permettere la derivazione, superando le difficoltà di presa derivanti dall'abbassamento del fondo alveo del Po e di conseguenza dei livelli idrici di magra, della portata di concessione pari a $3.300 \text{ m}^3/\text{s}$.

Tale portata costituisce una quota modesta della risorsa idrica derivata direttamente dall'asta del Po. Complessivamente infatti, dalla presa del Canale Cavour, in Piemonte, al Delta, la portata complessiva di concessione è pari a $400 \text{ m}^3/\text{s}$, ripartita su 14 opere di derivazione principali (portata sollevata superiore a $10 \text{ m}^3/\text{s}$) e secondarie. Complessivamente, le derivazioni irrigue costituiscono la forma principale di uso dell'acqua derivata direttamente dall'alveo del Po, sia dal punto di vista del numero delle prese distribuite lungo il percorso sia dei quantitativi annualmente derivati (Figura 5)

3 Condizioni idraulico-morfologiche dell'alveo di magra

3.1 Cenni sulle trasformazioni storiche dell'alveo

La sistemazione dell'alveo del Po a corrente libera, che caratterizza il tratto di corso d'acqua interessato, nasce con finalità di miglioramento delle condizioni di navigabilità e di difesa idraulica del corso d'acqua.

Il progetto originale Valentini - Gorio del 1919 è riferito dapprima al solo tronco foce Enza - foce Crostolo di 14 km e viene esteso successivamente verso monte fino a foce Taro. Fu redatto per ottenere fondali minimi di 2,50 m, necessari per natanti da 600 t con pescaggio di 2,10 m (all'epoca la navigazione sul Po era effettuata con "burchi" da 200 t e pescaggio di 1,80 m). La scelta progettuale e i suoi obiettivi sono ripetutamente confermati negli anni seguenti dalle Commissioni Parlamentari presiedute da Leone Romanin Jacur, che riconoscono la possibilità e la convenienza di navigare il fiume rispetto alle alternative di canali laterali o pedemontani.

Nel 1923 la Commissione affida al Prof. Giandotti, capo dell'Ufficio Idrografico del Po, l'incarico di redigere un **progetto generale per la sistemazione del tronco tra foce Adda e foce Mincio**, progetto che viene approvato nel 1924 dal Consiglio Superiore dei LL.PP.

L'obiettivo del progetto fu quello di fissare l'alveo di magra in modo da ottenere fondali non inferiori a 2,50 m con una portata di magra minima di 400 m³/s. I criteri fondamentali, desunti dalle leggi di Fargue, furono i seguenti:

- larghezza del canale regolato di circa 250÷300 m sulle soglie, con allargamento in corrispondenza dei vertici delle curve intorno ai 400 m;
- curve regolari a tracciato parabolico, con raggio mai inferiore a 800 m, (questa curva viene adottata anche perché dalla analisi dei rilievi a pelo contemporaneo condotti dal 1905 al 1923 si era potuto riconoscere che varie erosioni in atto presentavano spontaneamente andamento planimetrico pressoché parabolico);
- sviluppo totale del tracciato quasi uguale a quello naturale (circa 130 km);
- vertici delle curve successive a una distanza media non eccessiva (2.8 km) per ottenere stabilità del tracciato e buona successione di fondali, conservando all'incirca lo stesso numero di passaggi che si riscontravano naturalmente nel fiume (in totale 51 curve);
- maggiore possibile utilizzazione delle vecchie difese già esistenti, per ragioni economiche (circa 23 km);
- foce degli affluenti nelle parti concave delle curve, allo scopo di consentire alle acque del Po di rimuovere più facilmente e rapidamente gli apporti solidi;
- maggiore possibile addentramento delle parti concave delle curve nelle alte sponde golenali, allo scopo di ridurre la lunghezza delle opere in alveo;
- avvicinamento del tracciato ai centri di maggiore interesse economico.

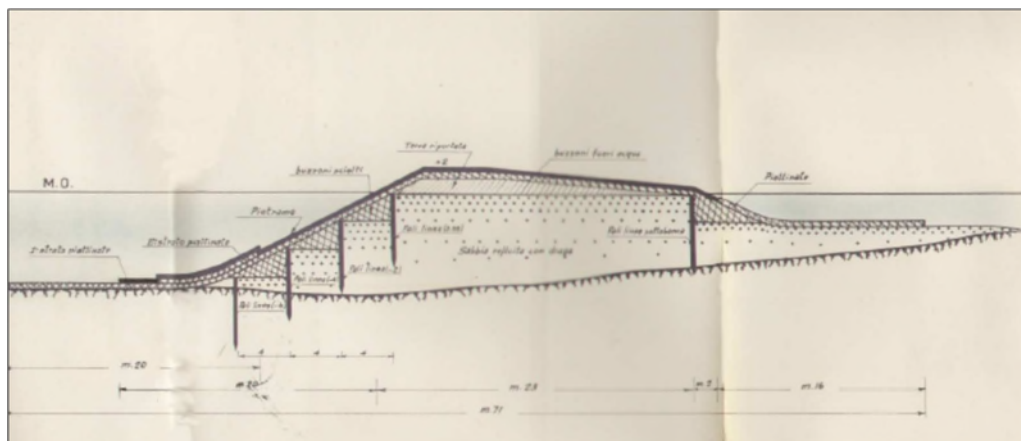
I lavori ebbero inizio nel 1931-32, nell'ambito di un programma di opere pubbliche a sollievo della disoccupazione, con un progetto esecutivo che prevedeva 51 curve di navigazione e uno sviluppo complessivo del canale sistemato di circa 130 km. Il finanziamento e l'avanzamento dei lavori furono molto lenti e soltanto dopo il 1951 essi furono portati ad un buon grado di completamento per tutto il tronco tra Cremona e Foce Mincio.

I criteri teorici prima elencati non sempre poterono essere rigorosamente applicati e in diverse situazioni i lavori furono condotti secondo altre condizioni di opportunità come ad esempio:

- quella di non avanzare esageratamente con le curve concave entro le alte sponde, generalmente di proprietà privata, al fine di evitare i costi degli espropri; questo ha condotto ad aumentare in diverse curve i raggi fin oltre i 2.000 m, che risultano non troppo favorevoli;

- La sistemazione è stata realizzata costruendo, lungo le curve progettate, tre tipi di opere:

- Il progetto ha portato alla realizzazione di opere radenti discontinue, disposte sulla riva concava delle curve, mentre su quella convessa non ha previsto nessun intervento. L'estremità di valle di ciascuna opera viene a trovarsi all'incirca all'altezza dell'estremità di monte di quella successiva sulla sponda opposta e brevi opere trasversali collegano l'inizio di ogni difesa con la sponda, mentre a valle spesso il varco resta libero consentendo alle torbide di entrare nella lunata a ricolmare per deposizione le precedenti erosioni.



Magra ordinaria

CASSERO
Deposito di pietrame

Pendenza 2:1

Buzzani

0599_04-04-003R-00-RelazioneIdraulica.docx

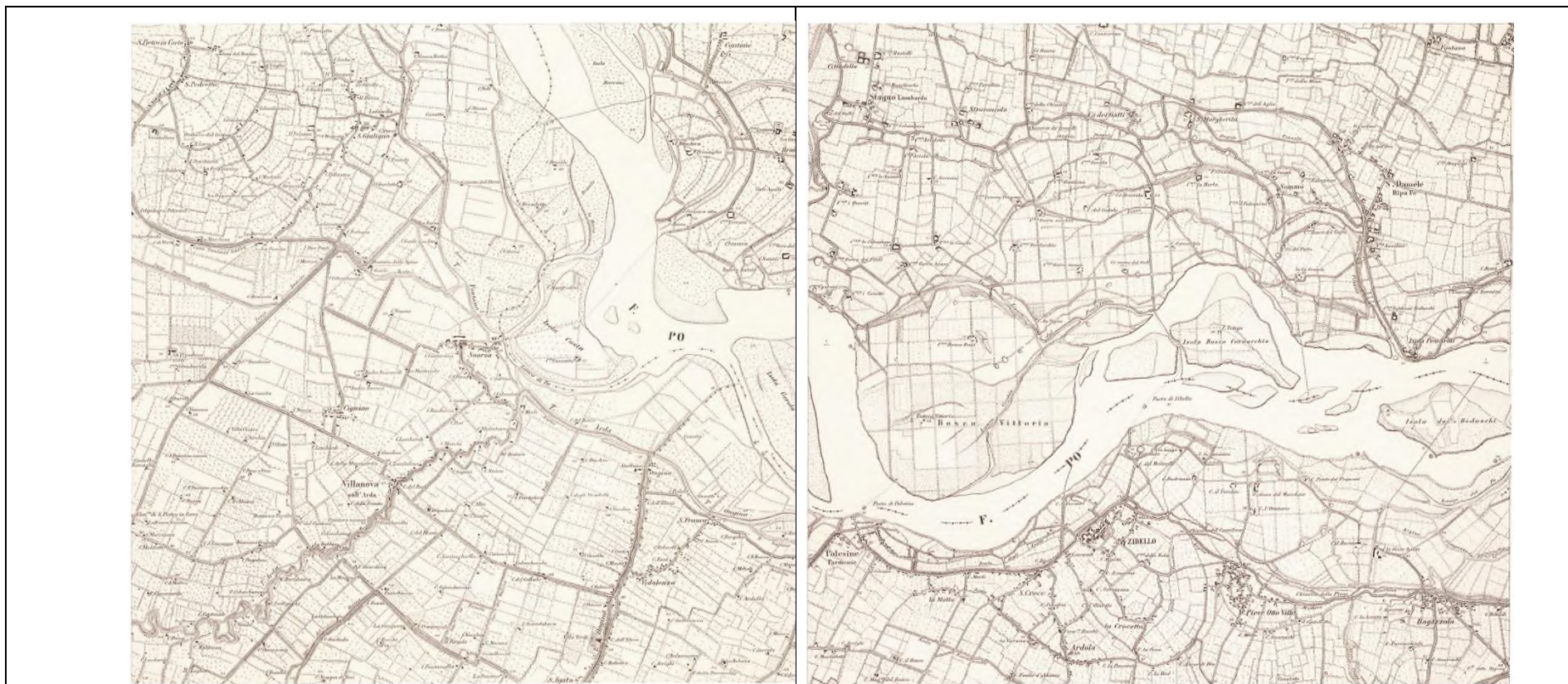


Figura 8 – Cartografia IGM 1:25.000 di primo impianto; tratto dell'alveo del fiume Po in corrispondenza della confluenza del torrente Ongina (levata 1885)

Le trasformazioni del fiume che sono state prodotte dalle opere di sistemazione dell'alveo di magra nel tronco tra foce Adda e foce Mincio sono risultate imponenti e i risultati ottenuti sono di tutta evidenza. Il confronto, in corrispondenza del tratto di nostro interesse, della planimetria attuale (Figura 4 - Estratto cartografico dell'asta del fiume Po nel tratto alla confluenza del torrente Ongina in cui è ubicata la nuova opera di presa

Si può infine osservare in proposito che la confluenza dell'Ongina avviene, correttamente sotto l'aspetto della sistemazione dell'alveo di magra, in corrispondenza del vertice della curva di navigazione e questo fatto garantisce all'opera di presa assenza di deposito di materiale solido nelle diverse condizioni di regime idrologico e fondali elevati in ragione delle caratteristiche idrodinamiche locali.

3.2 Caratteristiche idrologiche e idrauliche del tratto del fiume Po

Il tratto d'alveo su cui è impostata la nuova opera di presa si trova 12 km a valle dell'idrometro di Cremona che di conseguenza ben rappresenta la caratteristiche idrologiche complessive del corso d'acqua.

Il Consorzio della Bonifica Parmense dal 1965 rileva i livelli idrometrici giornalieri a foce Ongina, e dal 2002 ha installato nello stesso punto un sistema di telecontrollo.

Ai fini delle valutazioni idrauliche relative alla funzionalità e alla compatibilità del progetto, gli elementi idrologici di interesse sono rappresentati da:

- portata e livelli della piena,
- livelli di minima magra,
- portate e livelli caratteristici.

3.2.1. Portate e livelli idrometrici di massima piena al colmo

Le massime piene storiche a Cremona sono rappresentate dagli eventi del 1951, del 1994 e del 2000, che hanno dato luogo alle altezze idrometriche e alle portate al colmo riportate in tab. 1.

Tabella 1 - Massime piene storiche alla stazione idrometrica di Cremona

Stazione	Piene storiche (valori al colmo)					
	2000		1994		1951	
	altezza idr. (m s.m.)	portata (m ³ /s)	altezza idr. (m s.m.)	portata (m ³ /s)	altezza idr. (m s.m.)	portata (m ³ /s)
CREMONA	40,50	11.800	40,28	11.300	40,28	13.750

La piena dell'ottobre 2000, a Cremona, ha superato le due precedenti per livello idrometrico, mentre le valutazioni effettuate sulle portate, sulla base delle scale di deflusso disponibili, portano ad un valore più elevato per l'evento del 1951.

Vista la modesta distanza, i valori di portata di Cremona possono essere considerati validi anche per la sezione di foce Ongina.

Sotto l'aspetto statistico-probabilistico, la stima delle portate al colmo nella stazione di Cremona per assegnati tempi di ritorno porge i valori di tab. 2, che sono riportati in *"Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale"* allegato al Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni (PGRA) dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po.

Tabella 2 - Portata massima al colmo alla stazione idrometrica di Cremona

Sezione	Superficie (km ²)	Portata massima al colmo(m ³ /s)			
		T =20 anni	T = 100 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
CREMONA	50.726	10.090	--	14.300	15.870

L'Autorità di bacino, nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) ha assunto il tempo di ritorno di 200 anni come **piena di progetto** per la delimitazione della fascia B di deflusso della piena e, conseguentemente, sia per l'individuazione delle opere idrauliche di protezione (argini maestri di Po) sia per le verifiche idrauliche degli interventi che ricadono all'interno delle fasce stesse.

Alla portata bi-centenaria si deve pertanto fare riferimento, per la verifica della compatibilità idraulica degli interventi previsti.

I livelli idrometrici al colmo, corrispondenti alla piena di progetto per l'asta del corso d'acqua sono riportati nella stesso elaborato sopra citato e sono rappresentati in tab. 3.

Tabella 3 - Livelli massimi al colmo alle stazioni idrometriche di Cremona e di foce Ongina

Sezione	Rif. sez. Brioschi	Progressiva (km)	Distanza (km)	Livelli idrometrici massimi al colmo (m s.m.)		
				T = 200	Piena SIMPO '82	T = 20
CREMONA	25B	367,240	0	40,93	40,61	38,75
SEZ. 27	27	375.360	8,120	38,84	38,64	37,17
FOCE ONGINA	--	379.305	12,065	37,94	37,91	36,47
SEZ. 28	28	381.555	14,315	37,43	37,49	36,08

3.2.2. Portate e livelli idrometrici caratteristici e di magra

Le portate caratteristiche di lungo periodo relative al tronco in studio sono desumibili dalla serie storica disponibile nella stazione di Cremona relativa al periodo 1971 – 2017.

Tabella 4 - Portate caratteristiche alla stazione idrometrica di Cremona e alla sezione di foce Ongina

Durata (giorni)	Portata (m³/s)	Livello idrometrico (m s.m.)	
		Cremona	Foce Ongina
10	3290	34,04	32,02
30	2220	31,58	29,56
60	1650	30,27	28,25
91	1330	29,53	27,52
135	1040	28,86	26,85
182	842	28,41	26,39
274	603	27,86	25,84
355	379	27,34	25,33

I dati pubblicati dal Servizio Idrografico riportano i valori per le condizioni di minima magra, nella stazione di Cremona. Sulla base di essi sono stati stimati i corrispondenti livelli idrometrici nella sezione di foce Ongina (Tab. 5).

Tabella 5 – Livelli e portate di minima magra alla stazione idrometrica di Cremona e alla sezione di foce Ongina

	Rif. sez. Brioschi	Progressiva (km)	Distanza (km)	Livelli idrometrici di minima magra		Portate di minima magra	
				h (m s.m.)	Data	Q (m³/s)	Data
CREMONA	25B	367,240	0	26.34	22/07/2006	200	18/05/1965
FOCE ONGINA	--	379.305	12,065	24.33	22/07/2006	200	22/07/2006

Nello stesso periodo 1971 – 2017 la portata media assume il valore di 1.110 m³/s.

3.3 Caratteristiche geomorfologiche del tratto e dinamica evolutiva

Nell'ambito dello studio di *"Aggiornamento delle analisi morfologiche e del bilancio del trasporto solido dell'asta del fiume Po da confluenza Stura di Lanzo all'incile del delta (periodo 2002 - 2005) e report di valutazione"* dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po, sono stati effettuati campionamenti e analisi granulometriche e litologiche dei sedimenti lungo tutto l'alveo. Tali analisi hanno permesso di caratterizzare il sedimento presente lungo il Po con riferimento al fondo alveo, alle barre e alle sponde.

Il tratto di alveo di interesse costituisce parte di un tronco, che può essere individuato da confluenza Adda a confluenza Taro, che risente della dinamica indotta dalla presenza dello sbarramento di Isola Serafini a monte e delle opere di regimazione realizzate.

L'alveo è monocursale sinuoso inciso in depositi prevalentemente sabbiosi da fini a molto fini e limosi. Si riscontra la presenza di un "substrato" sabbioso – ghiaioso nell'alveo di magra sommerso. Le barre sono caratterizzate da altezza relativamente elevata e fronti inclinati.

Nel tratto in esame risulta completamente fissato dalle opere di navigazione su una larghezza di circa 200-250 m, con un tracciato planimetrico ormai stabile. Presenta un andamento marcatamente sinuoso, con indice di sinuosità di circa 1,23 e una profondità media di circa 8,5 m; le caratteristiche naturali, rappresentate dalla pendenza di fondo, dalla granulometria del materiale solido e dal regime idrologico delle portate, collocano il tronco nella zona di transizione tra i tipi pluricursali e unicursali, con valori più prossimi a quelli del tipo pluricursale nelle condizioni di pendenza e di portata del passato e decisamente tipici della forma a meandri unicursale per i valori odierni, in ragione delle sistemazioni realizzate sia localmente che nei tratti di monte e di valle. L'alveo è interessato da un generale stato di erosione di fondo, a causa del quale sarebbe stato raggiunto localmente il substrato grossolano, corazzato, attualmente affiorante.

Sotto l'aspetto planimetrico la sezione dell'alveo di magra, regimata dalle opere di navigazione realizzate, si dimostra molto stabile, come emerge dal confronto evidenziato in Figura 9.

Sotto l'aspetto altimetrico, il tratto di alveo di Po interessato dall'intervento ha subito nel recente passato un processo di **abbassamento di fondo** che, iniziato in forma generalizzata nei primi decenni del secolo scorso, ha avuto una forte accelerazione negli anni '50-'60; tale abbassamento è proseguito con progressione elevata fino all'inizio degli anni '80, raggiungendo nel tratto immediatamente a valle di Cremona i valori massimi.

Il confronto tra le sezioni trasversali Brioschi (rispettivamente sezz. 27 e 28) dà conto di tale fenomeno come appare dalle immagini riportate in Figura 10.



Figura 9 – Confronto nel tratto di interesse tra l'ortofoto del 20/02/2003 (sinistra) e quella del 25/04/2018

Si può osservare come si sia verificato un consistente abbassamento del fondo minimo (thalweg) stimabile sull'ordine di circa 6 m in entrambe le sezioni; un indicatore invece dell'abbassamento del fondo medio dell'alveo di magra è rappresentato dal confronto dell'area sezione della sezione bagnata relativa alla quota idrometrica di magra. Alla sez. 27, la quota di 28,60 m s.m. sottende un'area bagnata pari a 345 m² nel 1954 e di 1.441 m² nel 2000 (con un incremento di oltre il 300%); alla sez. 28 la quota di 27,35 m s.m. sottende un'area bagnata pari a 553 m² nel 1954 e di 1.212 m² nel 2000 (con un incremento di circa il 120%).

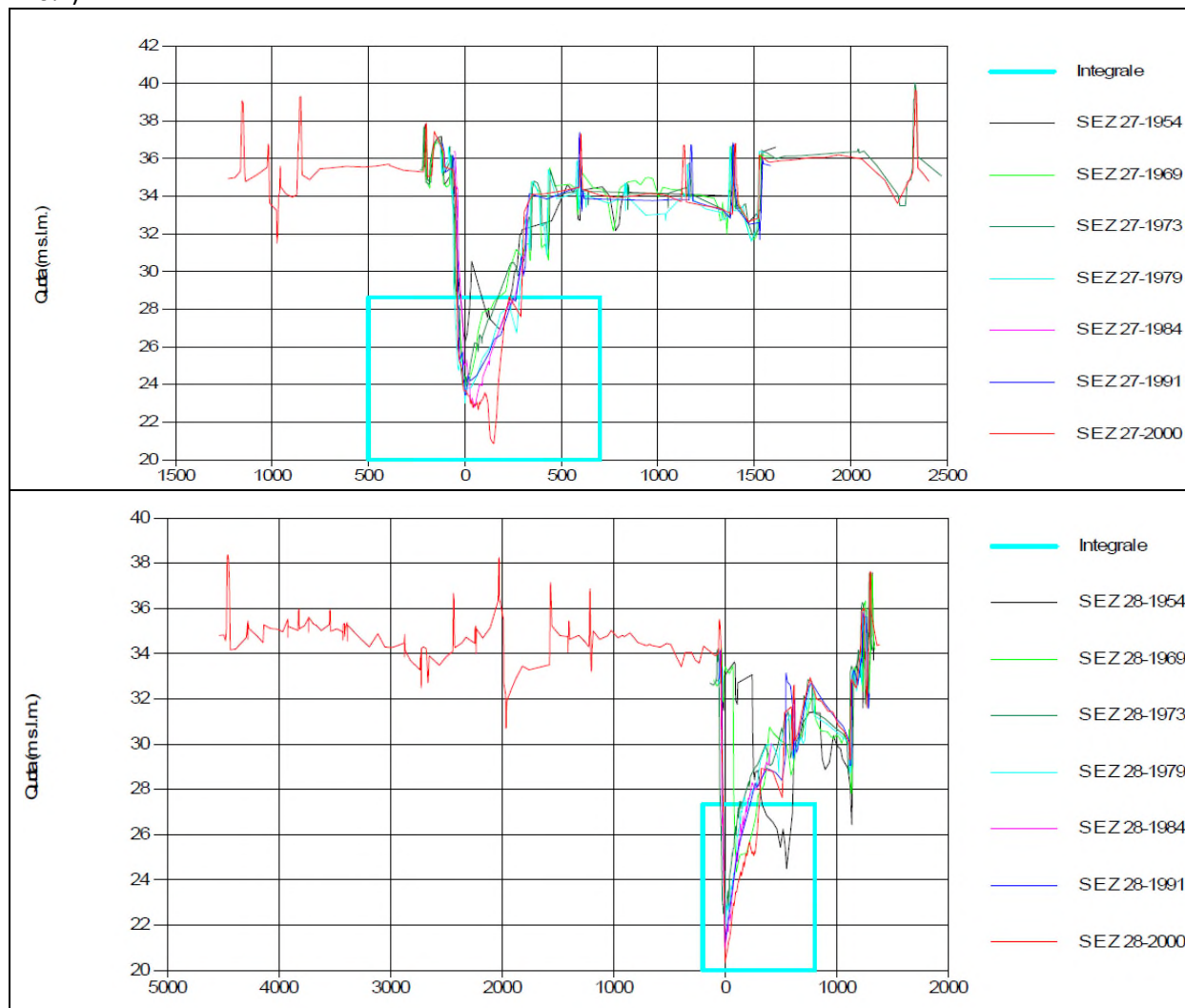


Figura 10 – Confronto multitemporale tra le sezioni Brioschi n. 27 (sopra) e 28 dell'alveo del Po nel periodo tra il 1954 e il 2000

Una ulteriore analisi del fenomeno è stata svolta nel *“Progetto preliminare per migliorare la navigabilità dal porto di Cremona al mare Adriatico”* - svolto da AIPO nel 2015.

Per determinare le linee evolutive che hanno caratterizzato l'abbassamento del fondo alveo lungo il corso del fiume Po, è stata applicata una metodologia basata essenzialmente sul confronto tra i profili di pelo libero di magra in diverse epoche. Per ogni campagna di rilievo si è determinato il profilo di pelo libero associato ad una portata ridotta (100 m³/s); I profili così individuati sono stati definiti come “profili di fondo medio”, in quanto forniscono l'andamento del pelo libero che si forma in funzione della morfologia media del fondo dell'alveo.

Per la sez. 28 risulta un abbassamento del fondo medio tra 1954 e 2005 di poco inferiore a 5 m (Figura 11).

Le conclusioni di tale studio sul fenomeno sono riconducibili ai seguenti punti per il tratto di interesse:

- nel tratto da Isola Serafini fino a monte di foce Parma, il fondo medio dell'alveo è caratterizzato da un continuo processo di erosione, soprattutto nel tratto tra foce Adda e foce Ongina;
- tale dinamica evolutiva è legata alla presenza dello sbarramento di Isola Serafini, alle opere di navigazione e alle attività estrattive condotte prima degli anni '80.

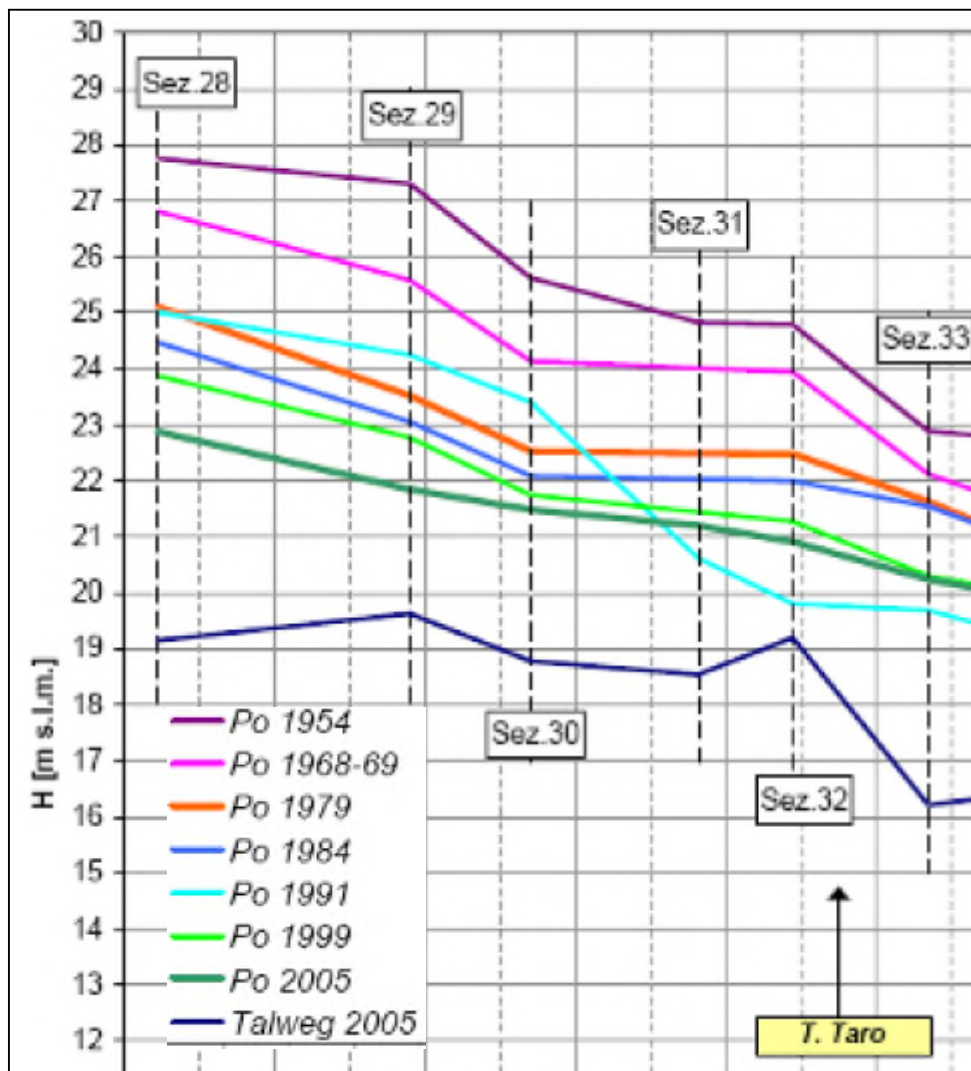


Figura 11 – Profili multitemporali dell'alveo del fiume Po (estratto dal “Progetto preliminare per migliorare la navigabilità dal porto di Cremona al mare Adriatico”- AIPO, 2015)

La determinazione delle tendenze evolutive in atto nel fondo alveo è stata anche condotta nello studio citato attraverso l'analisi delle altezze idrometriche minime annue registrate; le loro variazioni su lunghi periodi sono evidentemente correlate a variazioni morfologiche dell'alveo di magra.

La Figura 12 riporta la registrazione delle altezze idrometriche di magra annuali (una nel periodo autunno-inverno e una nel periodo primavera-estate) all'idrometro di Cremona (dal 1868 al 2006). Si osserva una sostanziale invariabilità dei livelli di magra fino circa al 1960; successivamente si ha un trend costante di abbassamento fino al 1990 il cui valore medio finale è dell'ordine di 4,5 m; dopo il 1990 il fenomeno si attenua. Va infatti tenuto conto che i livelli relativi alle magre estive degli anni 2003, 2005 e 2006 sono correlati ad eventi di magra idrologica del tutto eccezionali.

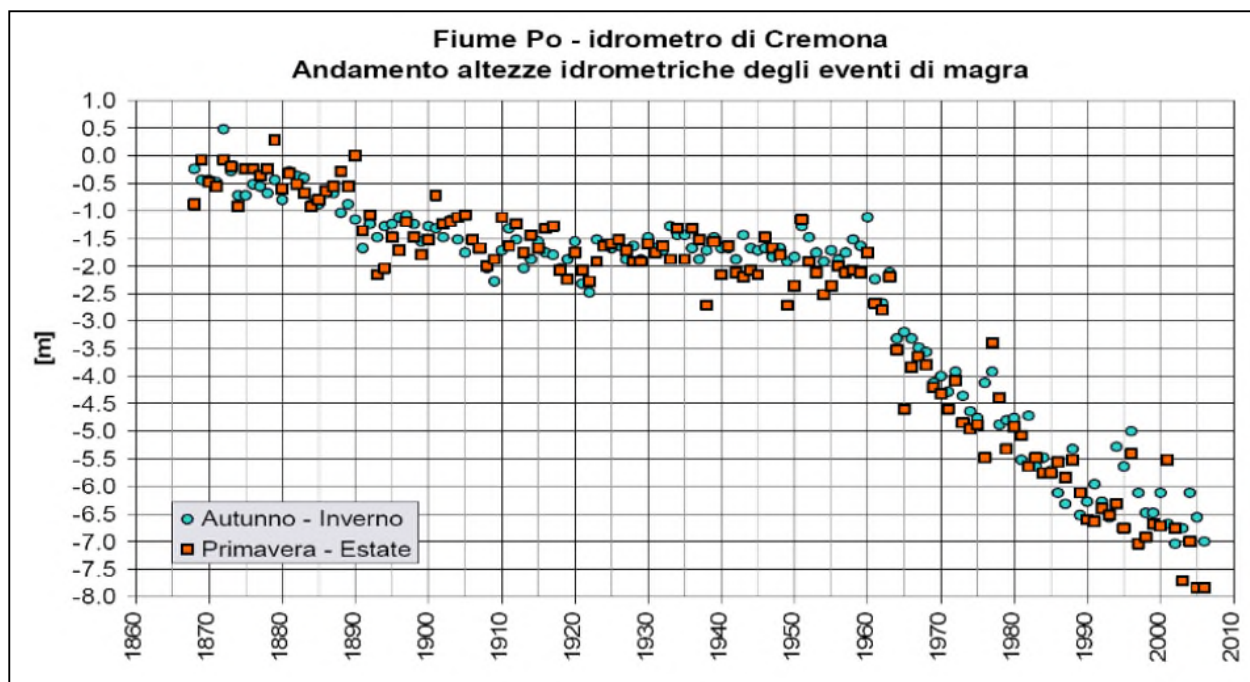


Figura 12 - Andamento delle altezze idrometriche di magra in corrispondenza dell'idrometro di Cremona

L'alveo di piena è delimitato dagli argini maestri; in sponda destra, l'argine corre a una distanza dalla sponda incisa compresa tra un minimo di 850 m in corrispondenza del vertice della curva n. 40 (confluenza dell'Ongina) e un massimo di 1900 m nell'estremo di monte della stesa opera; la quota media della sommità arginale è pari a 38,90 m s.m.

In sponda sinistra l'argine maestro passa abbastanza rapidamente da una posizione di notevole vicinanza alla sponda incisa (250 m, poco a monte dell'inizio della curva n. 40) ad un arretramento sensibile con il successivo inserimento di più ordini di argini golenali.

La larghezza dell'alveo che è sede di deflusso di piena subisce una variazione relativamente rapida, passando da circa 2.500 m a monte, in corrispondenza dell'inizio della curva 40, fino a raggiungere circa 3.800 m al termine della stessa curva.

3.4 Caratteristiche del trasporto solido

Le analisi condotte dall'Autorità di bacino del fiume Po nell'ambito degli "*Studi di fattibilità degli interventi di gestione dei sedimenti alluvionali dell'alveo del fiume Po*", hanno portato a determinare il bilancio del trasporto solido al fondo, cioè a stimare il valore del volume che nell'anno medio (all'interno di un determinato periodo di analisi, che nello specifico è compreso tra il 1982 e il 2005) è transitato in una data sezione del corso d'acqua.

Senza entrare nel dettaglio degli aspetti metodologici, di seguito si citano i risultati ottenuti che caratterizzano le condizioni del di corso d'acqua interessato.

In tutto il tronco a valle di Cremona, fino circa alla confluenza del Taro, si ha un incremento lungo la progressiva della portata solida al fondo (mediamente circa 22.000 m³/km anno) in quanto all'interno del tratto le erosioni, in atto soprattutto sul fondo alveo, sono superiori ai depositi, che si localizzano soprattutto a tergo dei pennelli di navigazione.

Il processo di erosione a carico del fondo alveo è legato, come più volte osservato, alla presenza della centrale idroelettrica di Isola Serafini (apporto ridotto di materiale solido da monte), alla realizzazione delle opere di navigazione (canalizzazione dell'alveo inciso) e all'estrazione di inerti (effetti legati alle estrazioni condotte in passato).

Tale dinamica è incompatibile con l'assetto fluviale in quanto l'erosione in atto sul fondo alveo, in continua evoluzione, non solo rende parzialmente inutilizzabili alcune opere (conche di navigazione per l'accesso al porto di Cremona e della traversa di Isola Serafini), ma può indurre anche situazioni di rischio di instabilità sugli argini maestri e sui manufatti di attraversamento, oltre a comportare le note difficoltà di sollevamento in condizioni di magra per gli impianti di derivazione irrigua.

Dalle analisi granulometriche e litologiche condotte si è potuto riscontrare che il substrato ghiaioso, di chiara pertinenza litologica appenninica, si rinviene alla base dei depositi sabbiosi di barra a una quota maggiore di quella del fondo alveo attuale. Tale condizione mette in evidenza che detti depositi sono sospesi rispetto alla quota di fondo alveo ed essendo riscontrabili sulle barre di entrambe le sponde ne deriva che essi possano essere stati incisi ed asportati dai processi erosivi responsabili dell'abbassamento del fondo alveo.

4 Analisi della compatibilità idraulica dell'intervento

La collocazione della nuova opera di derivazione è prevista, come detto, appena a valle della foce del torrente Ongina, in corrispondenza del vertice della curva di navigazione n. 40. L'opera è realizzata aprendo un varco della lunghezza di 11 m nell'opera di sponda, all'interno nel quale viene collocato l'impianto di pre-sollevamento. Tale trasformazione costituisce in pratica l'unico elemento significativo per il quale vanno valutate le possibili interazioni con le condizioni di deflusso in piena, ordinarie e di magra.

A questi fini si è fatto riferimento all'analisi del comportamento idraulico in piena del tratto di corso d'acqua in studio, quale risulta dall'implementazione, eseguita da chi scrive, del codice di calcolo HEC-RAS 5.0.3 in grado di simulare le condizioni di deflusso di tipo non stazionario secondo gli schemi 1D e 2D. Il modello 2D è stato applicato al tratto di Po compreso tra la sezione S26B (ponte A21 – in Castelvetro Piacentino) fino alla sezione S32 in località Roccabianca. Il modello in questione è stato tarato con riferimento alla piena dell'ottobre 2000 (massima piena storica recente) e alla piena con tempo di ritorno di 200 anni definita dal PGRA.

La costruzione della batimetria del modello 2D e della struttura del modello quasi-2D sono state realizzate utilizzando il rilievo Lidar di AIPO con integrazione batimetrica 2011 con passo 2 m (rappresentativo dell'intera area del corso da acqua compresa tra Cremona e confluenza Mincio) e il rilievo Lidar di AIPO con passo 2 m dell'anno 2015.

Per la piena TR200 il modello 2D utilizza le seguenti condizioni al contorno:

- idrogramma in portata alla sezione S26B, come condizione di monte ($Q_{max} = 13.753 \text{ m}^3/\text{s}$);
- idrogramma in livello, alla sezione S32, come condizione di valle (livello massimo = 34,57 m s.m.).

Dal punto di vista batimetrico, va considerato che nelle condizioni attuali l'area golenale in destra, tra l'argine maestro e la curva n. 40 ha perso completamente le caratteristiche tipiche di ambiente fluviale connesse a un alveo di tipo pluricursale, in ragione della realizzazione delle opere per la navigazione che hanno fissato l'alveo di magra; le tracce degli antichi tracciati sono ormai quasi completamente mascherati dalla coltivazione agricola. Gran parte della golenale è infatti attualmente prevalentemente coltivata a pioppeto, con una ripartizione in particelle parallela all'argine.

Alle spalle del pennello con cui termina la curva 40, per circa 800 m, vi è ancora una lanca superficiale, da porre in relazione al non perfetto funzionamento del pennello stesso che non ha consentito il completo interrimento; a valle del pennello la sponda è bassa e dimostra la tendenza a mantenere una piccola isola di depositi più consolidati e con vegetazione stabile, che separano la sponda stessa dal canale inciso.

All'interno della golenale permane il vecchio alveo del torrente Ongina, che parte dall'argine dell'Arda/Ongina e, con andamento che segue circa quello dell'argine maestro, percorre tutta la golenale per collegarsi all'alveo inciso di Po all'altezza dell'abitato di Polesine; l'alveo è completamente scollegato dall'Ongina attuale, che confluisce nell'Arda a monte, e ha funzione di una semplice lanca, per altro ormai interrita e sopraelevata rispetto ai livelli idrici del fiume. Alla stessa lanca del vecchio Ongina si collegano

alcuni cavi che attraversano l'argine maestro e che drenano le acque meteoriche dei territori retrostanti e il canale di Busseto.

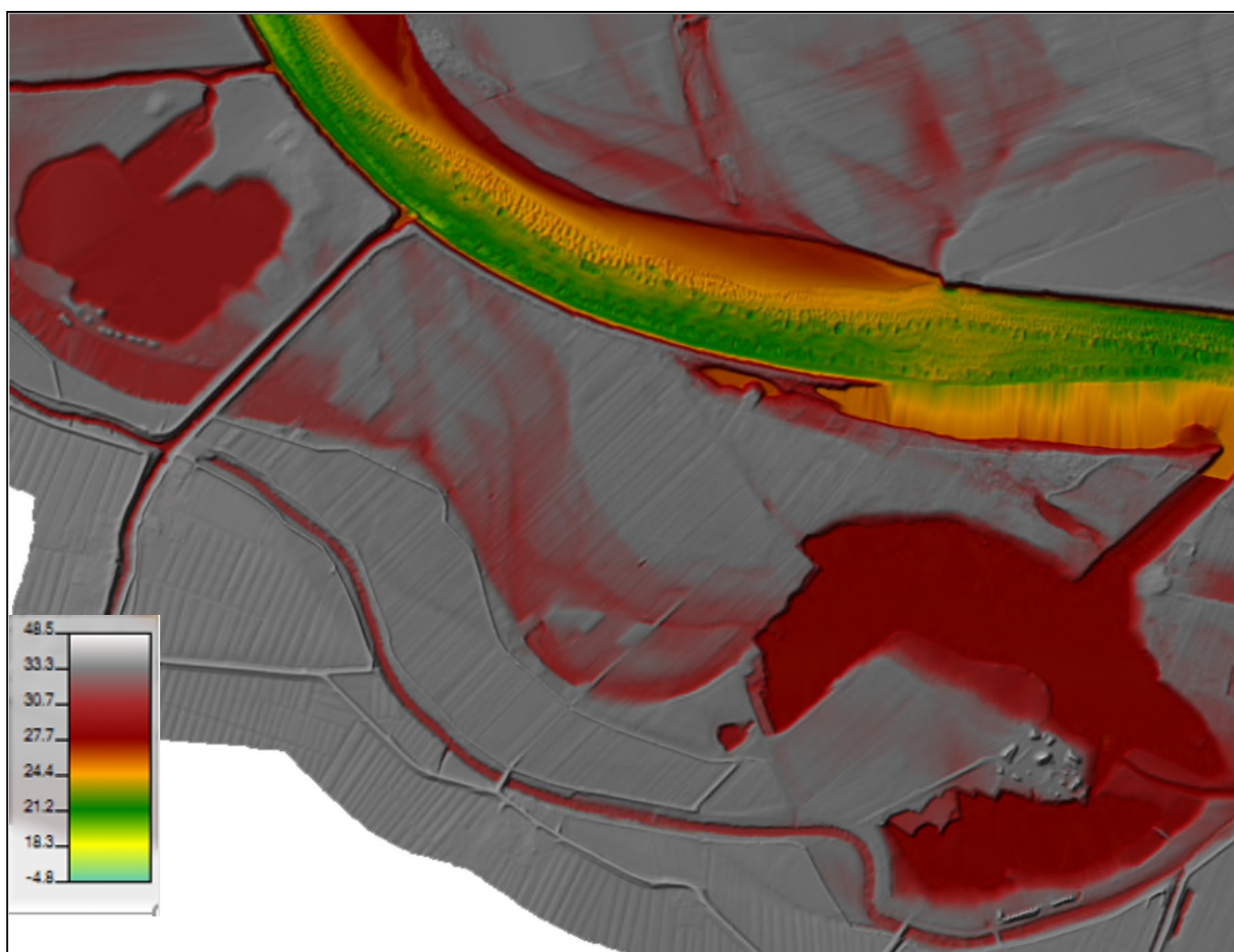


Figura 13 – Batimetria di dettaglio della golena destra in corrispondenza della curva n. 40

4.1 Condizioni di piena

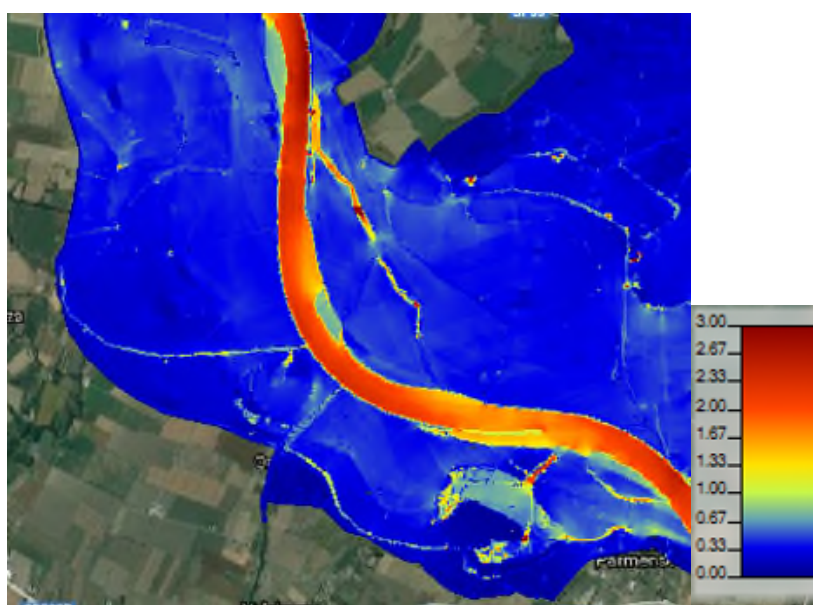


Figura 14 - Simulazione piena TR 200 - distribuzione delle velocità massime

Le verifiche idrauliche mettono in evidenza che in condizioni di massima piena TR 200 il deflusso della corrente sulla gola (posta a quota media compresa tra 35,5 e 35,0 m s.m.) avviene con profondità media di circa 3,0 m e con velocità di corrente pari a 0,6 - 0,7 m/s. Le modifiche indotte sul piano golenale dalla realizzazione dell'opera sono minime e sono pertanto da ritenersi del tutto ininfluenti ai fini di eventuali effetti sui livelli idrici della corrente in piena.

Dal punto di vista delle interazioni con le opere idrauliche circostanti, si pongono le seguenti considerazioni:

- la distanza dell'area di intervento dall'argine maestro di Po è di oltre 800 m; oltre alla dimensione trascurabile delle opere progettate rispetto ai fenomeni idrodinamici di piena, la stessa distanza dall'argine garantisce comunque l'assenza di effetti indotti rappresentati da maggiori sollecitazioni da parte della corrente in termini di grandezze idrodinamiche;
- l'assenza di ostacoli di dimensioni apprezzabili, in rapporto alla sezione attiva dell'alveo di piena, esclude che l'intervento possa provocare un innalzamento del profilo di piena;
- l'inserimento dell'opera all'interno della curva di navigazione n. 40 ha un'ampiezza pari a 11 m; in questo caso la distribuzione delle velocità lungo la direzione dell'opera di sponda può provocare, a causa della discontinuità create dei fenomeni di turbolenza – prevalentemente concentrati in corrispondenza dell'estremo di valle – fenomeni di erosione locale del fondo alveo nell'area in corrispondenza della struttura; va a questo proposito osservato che la sicurezza dell'opera stessa è garantita dalla presenza di diaframmi che si spingono fino alla profondità di -2.00 m s.m. (il fondo minimo del thalweg è dell'ordine di 19,0 m.s.) e che svolgono, estendendosi per altri 15 m all'interno dell'alveo, funzioni di contenimento dell'eventuale abbassamento puntuale del fondo alveo; le condizioni dell'opera di presa appaiono pertanto adeguatamente stabili e, per contro, l'erosione locale del fondo alveo in corrispondenza della stessa non può influenzare la stabilità dell'opera di sponda a valle essendo adeguatamente delimitata dalla diaframmatatura prevista.

In ultimo, per quanto concerne la stabilità morfologica dell'alveo di piena, è evidente che l'intervento non comporta rischi di modificazioni dell'assetto attuale. A questo riguardo si osserva che il tratto complessivo ha ormai raggiunto un proprio equilibrio morfologico molto stabile, come risultato delle opere di navigazione e, a scala locale, l'alveo appare stabilmente fissato dalle curve di navigazione successive, rispettivamente la 39, la 40 e la 41.

4.2 Condizioni di magra e ordinarie

Le trasformazioni storiche della morfologia dell'alveo testimoniano l'originale carattere pluricursale nel tratto in corrispondenza della foce Arda/Ongina che le opere di navigazione che hanno trasformato in unicursale meandriforme.

Un'ulteriore trasformazione è rappresentata dal processo di abbassamento del fondo che si è manifestato in misura notevolmente superiore a quello ascrivibile - previsto nel progetto di regimazione - pari a circa 2,0 m, alle opere longitudinali e dovuto ai fattori richiamati in precedenza.

A fronte dell'incisione notevole dell'alveo di magra, dell'ordine di grandezza dei 3,5-4,0 m, nel tratto in esame, le quote del piano golenale sono rimaste sostanzialmente invariate o si sono al limite innalzate in ragione dell'attività di deposito della corrente che viene favorita dal tipo di sistemazione effettuato.

Il risultato sulle condizioni di regime idraulico dell'alveo sono minori frequenze, minori durate e minori altezze d'acqua delle sommersioni.

Le verifiche idrauliche condotte evidenziano che altezze di sommersione della gola si verificano soltanto con frequenza inferiore ai 10 gg. sull'anno medio; nella situazione morfologica dell'alveo antecedente all'abbassamento (rilievo del 1954) le stesse sommersioni si verificavano per circa 100 gg. all'anno. Ciò spiega l'interrimento progressivo della spiaggia e a maggior ragione delle parti più alte della gola.

Sotto l'aspetto della compatibilità idraulica l'intervento in progetto non presenta, per quanto detto, alcuna interferenza con le condizioni di deflusso ordinarie e di magra e non richiede pertanto misure particolari di controllo.