



Agenzia Regionale per la Prevenzione
e Protezione Ambientale del Veneto

DIPARTIMENTO REGIONALE PER LA SICUREZZA DEL TERRITORIO

**SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE
BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011**

Relazione n° 02/12



ARPAV

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio

Alberto Luchetta

Servizio Idrologico Regionale

Giacomo Renzo Scussel

Progetto e realizzazione

Italo Saccardo

Autori

Marco Zasso, Tommaso Settin¹

Si desidera mettere in evidenza che i risultati ottenuti sono stati resi possibili dalla stretta collaborazione tra ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna, Consorzio di Bonifica Delta del Po ed A.I.Po. In particolare hanno contribuito alla stesura della nota:

ARPA Emilia Romagna, Servizio Idro-Meteo-Clima: Silvano Pecora, Alberto Agnetti

Consorzio di Bonifica Delta del Po: Giancarlo Mantovani

IPROS Ingegneria Ambientale: Bruno Matticchio

¹ *AIPO da giugno 2011*

Hanno collaborato

Gianluca Boso, Emanuele Preciso, Silvia Cremonese

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio

Via Tomea, 5

32100 Belluno, Italy

Tel. +39 0437 935600

Fax +39 0437 935601

E-mail: dst@arpa.veneto.it

Febbraio 2012

Indice

Premessa	1
Dati storici disponibili	1
Campagne di misura 2002 – 2011	3
Ripartizione delle portate lungo i rami principali del Delta	7
Po di Goro e Po di Venezia	8
Po di Gnocca	11
Po di Maistra.....	13
Po di Tolle	14
Po di Pila	16
Ripartizione nelle bocche di sfocio in mare.....	17
Bocche del Po di Pila: Busa di Tramontana, Busa di Levante e Busa di Scirocco	18
Bocche del Po di Tolle: Busa Storiona, Busa del Bastimento e Bocca del Po di Tolle	24
Confronto tra misure di campo e modellazione idraulica degli eventi del 2010	25
Conclusioni	35
Bibliografia.....	37
ALLEGATO 01 – Misure di ripartizione della portata sui rami principali del Delta.....	38
ALLEGATO 02 – Equazioni di ripartizione delle portate per i rami principali del Delta.....	42
ALLEGATO 03 – Misure di ripartizione della portata per le bocche a mare del Po di Pila e del Po di Tolle....	43

	SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011	Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale		Pagina 1 di 44

PREMESSA

La disponibilità e l'acquisizione di informazioni utili alla caratterizzazione idrologica del Delta del fiume Po rivestono un ruolo cardine per poter migliorare e integrare il quadro conoscitivo di un sistema così complesso e mutevole nel tempo. Numerosi sono infatti i fattori coinvolti nel processo evolutivo della piana deltizia, dove sono fortemente interconnessi processi geomorfologici legati alla subsidenza, alla dinamica fluviale, ai regimi tidali e al moto ondoso, nonché agli interventi strutturali realizzati nel corso degli anni a cura delle strutture deputate alla manutenzione del corso d'acqua e delle opere ad esso interconnesse.

Un'adeguata conoscenza del regime idrodinamico del tratto terminale del fiume Po nelle differenti condizioni idrometriche costituisce certamente un elemento basilare per la definizione e la progettazione degli interventi strutturali atti a garantire da un lato la sicurezza idraulica del territorio circostante dall'altro, in regimi di magra, la previsione e la prevenzione dei fenomeni di intrusione del cuneo salino lungo le aste fluviali.

Và inoltre osservato come tali studi rivestano particolare rilievo ai fini dell'analisi del regime idrodinamico costiero anche in relazione alle dinamiche di ambienti intrinsecamente in continua evoluzione ed ecologicamente fragili quali le Lagune del Delta del Po.

L'officiosità idraulica dei singoli rami, nonché delle varie bocche a mare, è strettamente interconnessa alle modalità di trasporto di sedimenti lungo l'asta del fiume ed alla relativa ripartizione lungo l'adiacente tratto costiero. Anche in tale contesto sono evidenti le rilevanti implicazioni che un'approfondita conoscenza riveste nell'ottica di una ottimale pianificazione e progettazione degli interventi strutturali sia sull'asta di Po che lungo il tratto costiero ed in ambito lagunare.

Al fine di approfondire la conoscenza dei fenomeni che regolano la dinamica ed il comportamento del fiume Po nella sua porzione terminale costituente il Delta, nonché con lo scopo di aggiornare il quadro conoscitivo storico, ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e il Consorzio di Bonifica Delta Po Adige hanno intrapreso una collaborazione per l'esecuzione di rilievi idrologici consistenti in misure di portata liquida e torbida lungo i diversi rami che compongono il Delta Po.

Il presente lavoro, sulla scorta dei dati disponibili in letteratura (misure effettuate dall'Ufficio Idrografico del fiume Po, di seguito UIPO, e da ENEL) e sulla base delle nuove informazioni idrologiche acquisite dal 2002 al 2011, cerca di fornire un contributo alla quantificazione dell'efficienza idraulica dei diversi rami del Delta Po, valutando la ripartizione delle portate lungo i vari rami. Oltre ad analizzare l'evoluzione storica del comportamento dei diversi rami, viene proposto un confronto tra le misure attuali e i modelli di ripartizione delle portate disponibili.

DATI STORICI DISPONIBILI

Sono stati reperiti in letteratura i principali dati raccolti da UIPO e da ENEL dal 1926 al 1989. Questi dati si riferiscono a misure di portata effettuate sui diversi rami del Delta Po i cui risultati sono raccolti nelle seguenti pubblicazioni:

- Visentini (UIPO), 1940 analizza i dati raccolti dal 1926 al 1938 in diverse campagne di misura condotte per lo studio idrografico del Delta Po;
- Canali, 1959 presenta i dati raccolti dal 1928 al 1959 dall'UIPO e propone delle funzioni analitiche di ripartizione delle portate liquide nei diversi rami in funzione delle portate in ingresso al sistema deltizio prendendo come riferimento la sezione di Pontelagoscuro;
- UIPO, 1962 sulla base delle misure eseguite dal 1960 al 1961 fornisce delle relazioni aggiornate per la quantificazione della ripartizione delle portate liquide nei diversi rami;

 	SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011	Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale		Pagina 2 di 44

- UIPO, 1971 presenta i risultati della campagna di misura condotta durante la piena che ha interessato il fiume Po nel novembre '68;
- UIPO, 1981 rende disponibili alcune misure di portata eseguite sul Po di Pila dal 1970 al 1971 per caratterizzare il deflusso in termini di direzione e velocità della corrente.
- Grego, 1990 raccoglie e analizza le misure effettuate da ENEL – CRIS dal 1970 al 1989;
- ENEL, 1992 descrive i risultati ottenuti in merito allo studio della ripartizione delle portate del Po di Tolle.

A partire dal 1926, tutti gli studi eseguiti (compresi quelli messi in essere dalle ARPA e dal Consorzio di Bonifica negli ultimi anni) sono stati impostati sulla base delle modalità e dei procedimenti adottati dal Visentini nel periodo 1926-1938, in particolare per quanto riguarda la localizzazione delle sezioni di misura. Anche se negli anni sono cambiate le modalità di rilievo e di elaborazione dei dati, ciò ha consentito di disporre di un set di dati omogeneo e confrontabile relativo al periodo di osservazione che va dal 1926 al 2010.

Più dettagliatamente, i dati del Visentini (UIPO, 1940) e quelli del Canali (1959) consistono in singole misure contemporanee di portata nei vari rami del Delta condotte mediante mulinello idrometrico. I dati utilizzati da ENEL per la caratterizzazione idrologica dei vari rami stimano la portata mediante numerose misure correntometriche eseguite in intervalli temporali solitamente variabili tra 12 e 24 ore consecutive.

L'attività di monitoraggio del regime idraulico deltizio nelle differenti condizioni idrometriche è stata quindi interrotta per oltre un decennio (a partire dall'ultima campagna condotte da ENEL – CRIS nel 1991).

In Allegato 1 alla presente relazione viene proposto un quadro completo delle misure di portata disponibili lungo i vari rami del Delta del Po dal 1926 ad oggi. In particolare sono dettagliate (con l'indicazione specifica della fonte) tutte le misure relative al Po di Goro, Po di Venezia, Po di Gnocca, Po di Maistra, Po di Tolle e Po di Pila (a monte delle diramazioni delle varie bocche a mare). I dati riportati in corsivo si riferiscono a valori ottenuti per somma o differenza rispetto ai dati di misura diretta sui rami a monte o a valle, tutte le altre misure invece sono ottenute su base diretta attraverso indagini di campo. I dati sui vari rami sono poi raffrontati alla corrispondente portata media giornaliera a Pontelagoscuro ottenuta tramite misura diretta o attraverso la scala di deflusso storicamente mantenuta aggiornata presso tale sezione. Si osservi come tale valore possa risentire pertanto di maggiori incertezze per via sia della definizione della scala di deflusso, così come già osservato da Grego (1990) in occasione di alcuni monitoraggi specifici condotti da ENEL in tale sezione, sia soprattutto per via dei tempi di propagazione (non trascurabili) delle variazioni di portata tra Pontelagoscuro ed il Delta Po. Sempre in Allegato 1 viene inoltre riportato il valore di portata complessiva ottenuta come sommatoria dei deflussi monitorati lungo i vari rami. Infine nelle ultime sei colonne si riporta il valore percentuale di portata di ciascun ramo, in corrispondenza alle varie misure, rispetto alla portata totale (somma delle portate dei vari rami). Si osservi come tali percentuali possano presentare valori complessivamente non cumulati al 100% nel caso in cui si dispongano di misure dirette anche sul Po di Venezia per effetto dell'incertezza intrinseca in qualsiasi misura idrologica tale per cui la somma delle portate di ciascun ramo può risultare difforme dal singolo valore misurato sul Po di Venezia.

Un analogo quadro riassuntivo è disponibile in Allegato 3 per le misure finalizzate allo studio della ripartizione dei deflussi nelle bocche di sfocio in mare del Po di Pila e del Po di Tolle. Per le bocche del Po di Pila è riportata l'efficienza idraulica espressa percentualmente rispetto alla portata di riferimento a Pontelagoscuro e rispetto alla somma dei contributi delle singole bocche. Sono inoltre dettagliati i valori delle portate misurate durante le campagne condotte per definire la ripartizione dei deflussi nelle bocche del Po di Tolle, i cui valori percentuali sono espressi in funzione della portata complessiva di tale ramo deltizio.

		SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011	Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale			Pagina 3 di 44

CAMPAGNE DI MISURA 2002 – 2011

Le campagne di misura recentemente condotte, che hanno permesso di aggiornare la conoscenza sulla ripartizione delle portate nei diversi rami deltizi, sono di seguito elencate:

- Due campagne di monitoraggio svolte ad hoc nel settembre 2002 e novembre 2007 dal Consorzio di Bonifica Delta Po Adige. La campagna di settembre 2002 ha interessato i principali rami del Delta e le bocche di sfocio in mare del Po di Pila, mentre quella di novembre 2007 ha indagato anche la ripartizione delle bocche del Po di Tolle. La portata media registrata a Pontelagoscuro durante le attività di monitoraggio è risultata prossima ai 2300 m³/s.
- Una campagna di misura effettuata nel maggio 2007 con la partecipazione di ARPA Emilia-Romagna, ARPA Veneto, ARNI, Provincia di Ferrara, Consorzio di Bonifica Delta Po Adige e Consorzio I° Circondario Polesine di Ferrara che ha riguardato il monitoraggio di deflussi di magra del fiume Po (Q media a Pontelagoscuro pari a 657 m³/s). Tale campagna è stata condotta principalmente per il monitoraggio della risalita del cuneo salino lungo i vari rami deltizi. Le misure condotte durante un emiciclo di marea (12 ore) hanno tuttavia permesso di determinare la portata media in transito lungo tali rami presso alcune sezioni monitorate anche nel corso delle altre campagne.
- Due campagne condotte nel 2010 (giugno e novembre), anche in quest'occasione mediante la proficua collaborazione tra ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e Consorzio di Bonifica Delta Po. Le misure hanno indagato il fenomeno della ripartizione durante la fase di esaurimento di piena, come verrà di seguito meglio dettagliato, monitorando valori elevati di portata mai precedentemente misurati. In concomitanza con le misure di portata nel corso delle campagne del 2010 sono stati fatti anche campionamenti finalizzati alla quantificazione del trasporto solido in sospensione. Per la raccolta dei campioni di acqua è stato utilizzato un campionatore a bottiglia DH 59 che veniva calato lungo diverse verticali della sezione trasversale. Un ugello, tarato sulla base del tirante della sezione da indagare, consente di integrare lungo la verticale il singolo campionamento. Ogni campione equivale a circa un litro di acqua. Il dettaglio tecnico e le analisi relative al trasporto solido non sono oggetto specifico della presente relazione.
- Una campagna di misura che ha interessato la ripartizione del Po tra Po di Goro e di Venezia è stata condotta l'11 novembre 2011 in concomitanza del passaggio di una piena con portata al colmo a Pontelagoscuro di circa 5800 m³/s. In tale occasione sono state eseguite in successione tre misure di portata: sul Po Grande a Serravalle, sul Po di Goro all'incile e sul Po di Venezia a valle della diramazione del Po di Goro.

Con l'eccezione della campagna di monitoraggio condotta nel maggio 2007, tutte le altre hanno indagato il fiume in condizioni idrologiche caratterizzate da una maggiore disponibilità idrica (Q media giornaliera a Pontelagoscuro compresa tra 2300 e 5800 m³/s). In tali circostanze (ad eccezione delle misure condotte nel 2011) le misure sono state condotte monitorando istantaneamente le portate in transito lungo i vari rami cercando tuttavia di programmare ed eseguire tali misure in condizioni il più possibilmente sincrone, anche in riferimento ai differenti tempi di propagazione delle perturbazioni idrometriche lungo le varie aste fluviali. In tal modo è stato quindi possibile fotografare una situazione che il più possibile si approssimasse a condizioni omogenee lungo i vari tratti. Si osserva inoltre come tale criterio di indagine sia perfettamente coerente con le metodologie operative adottate nel corso delle campagne storiche e relativamente alle quali, nel seguito, verrà proposto un confronto delle risultanze.

In Figura 1 sono indicate le sezioni interessate dalle attività di misura della portata liquida e torbida dei vari rami del Delta per le campagne condotte dal 2002 al 2011. Sempre in Figura 1 sono localizzate le sezioni fluviali strumentate con asta idrometrica o mediante stazioni idrometriche automatiche. Si tratta di stazioni dotate di idrometri ad ultrasuoni facenti parte della rete in tempo reale della Regione Veneto, purtroppo per problemi di carattere tecnico non tutti gli idrometri erano funzionanti durante l'esecuzione delle misure. Oltre agli idrometri di Figura 1 sono disponibili i dati idrometrici di Polesella (RO), e Pontelagoscuro (FE), per quest'ultima sezione, come già detto in

precedenza, è disponibile la scala di deflusso. I dati di tali stazioni sono utili quale riferimento delle portate in transito alle sezioni di monte e dei relativi tempi di propagazione delle variazioni idrometriche lungo l'asta fluviale.

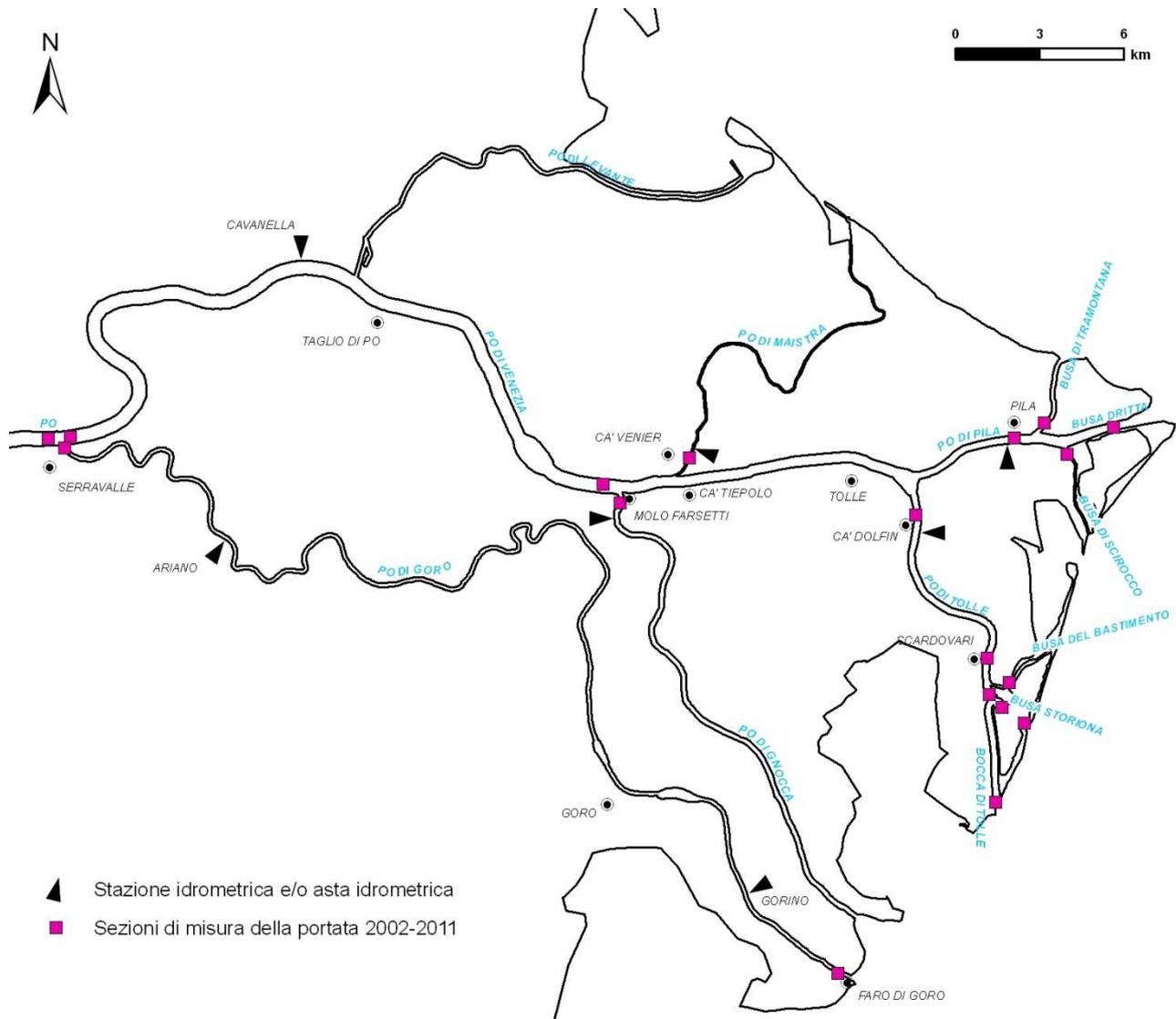


Figura 1. Corografia della rete di stazioni di osservazione e di misura nel corso delle campagne di monitoraggio 2002 - 2011.

Per l'esecuzione delle misure di portata sono stati utilizzati misuratori di velocità ad effetto Doppler montati su trimarano, trainato da natante lungo una sezione il più possibile ortogonale alla direzione di deflusso. Nel dettaglio per le misure effettuate nella fase di esaurimento di piena (2010) e durante l'evento del 2011, si è utilizzato un sensore ad ultrasuoni ADCP (Figura 2) con quattro trasduttori che operano con due diverse frequenze di funzionamento per la determinazione della velocità lungo il profilo verticale, e di un trasduttore dedicato al rilievo batimetrico. La strumentazione utilizzata è dotata inoltre di due ricevitori GPS funzionanti in modalità RTK: una "base" a terra ed un "rover" alloggiato sul trimarano, che permettono di definire la posizione e georiferire gli spostamenti dello strumento lungo la sezione d'alveo indagata. Questo accorgimento tecnologico consente di eliminare le incertezze nella stima della batimetria e delle velocità in presenza di condizioni di fondo mobile. Per le misure condotte nel 2002 e nel 2007 la strumentazione ADCP utilizzata non era dotata di tecnologia GPS. Va sottolineato che, alla luce delle ridotte portate rilevate in queste campagne di misura, le minori velocità che si realizzano rendono meno marcati gli effetti del movimento del fondo nella stima della batimetria e delle velocità.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico RegionaleSULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 5 di 44

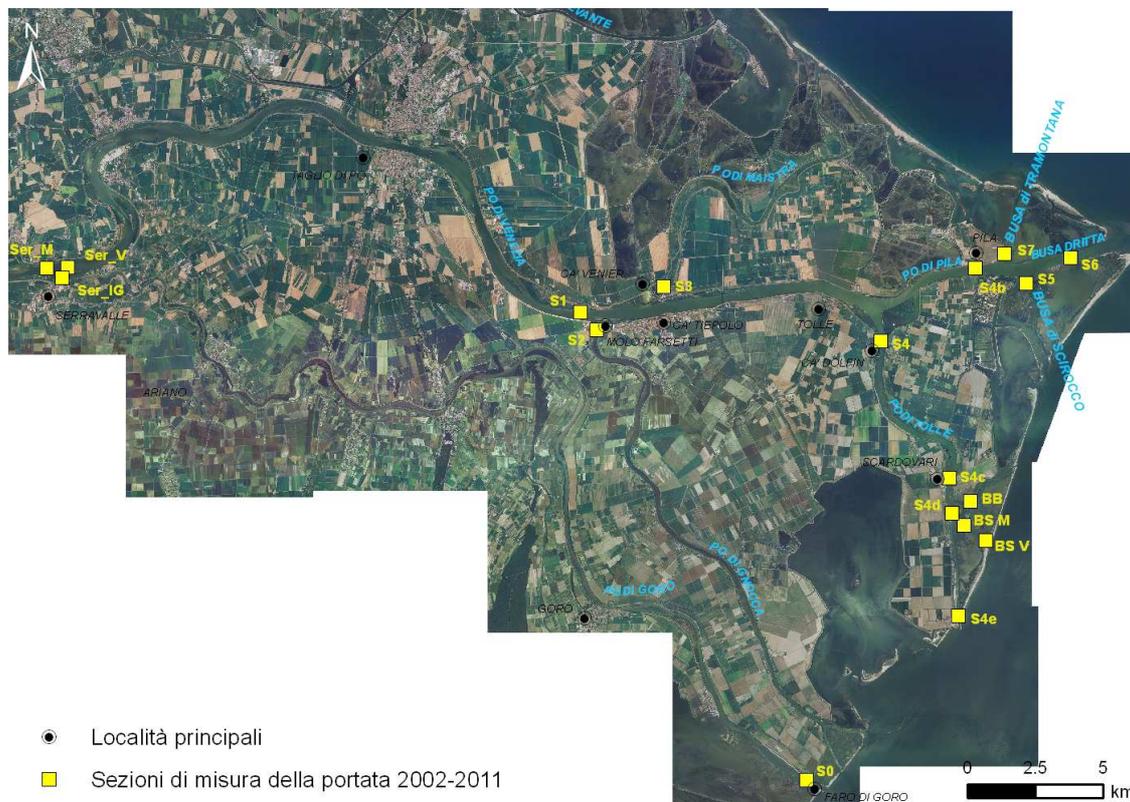


Figura 2. A sinistra: misuratore ADCP trainato da imbarcazione utilizzato per l'esecuzione delle misure di portata. A destra panoramica dell'installazione per il monitoraggio idrometrico (asta idrometrica e teleidrometro) sul Po di Gnocca.

Un elenco delle sezioni monitorate con associate le coordinate geografiche è presentato in Tabella 1, vengono inoltre indicate le sezioni interessate dalle misure di portata liquida e/o torbida nelle diverse campagne di raccolta dati. Per ogni sezione è stata eseguita almeno una misura di portata e si sono raccolti dei campioni di acqua (in numero variabile da 2 a 4) per la determinazione dei solidi sospesi.

Nome	Sez.	Lat	Long	14-set-02	30-mag-07	27-nov-07	22-giu-10	06-nov-10	11-nov-11
Po Grande a Serravalle	Ser_M	12°02'44.87"	44°58'32.20"						••
Po di Goro al Faro di Goro	S0	44°47'43.10"	12°23'31.19"	x	•	x	••	••	
Po di Goro all'incile	Ser_IG	12°03'11.16"	44°58'20.34"						••
Po di Venezia	S1	44°57'12.38"	12°17'47.75"	•	x	•	••	••	
Po di Venezia a Serravalle	Ser_V	12°03'20.89"	44°58'32.74"						••
Po di Gnocca a Molo Farsetti	S2	44°56'56.89"	12°18'10.81"	•	•	•	••	••	
Po di Maistra a Ca' Venier	S3	44°57'41.92"	12°20'00.75"	•	•	•	••	••	
Po di Tolle a Ca' Dolfìn	S4	44°56'23.92"	12°26'08.49"	•	•	•	••	••	
Po di Pila a Pila	S4b	44°57'46.91"	12°28'52.11"	•	x	•	••	••	
Busa di Scirocco	S5	44°57'27.58"	12°30'16.09"	•		•	••	•	
Busa Dritta	S6	44°57'58.94"	12°31'33.53"	•		•	••	•	
Busa di Tramontana	S7	44°58'03.41"	12°29'42.39"	•		•	••	•	
Po di Tolle a Scardovari	S4c	44°53'35.58"	12°27'52.04"					•	
Busa del Bastimento	BB	44°53'06.43"	12°28'26.38"			•			
Po di Tolle Monte Storiona	S4d	44°52'54.78"	12°27'53.68"			•			
Busa Storiona Monte	BSM	44°52'47.97"	12°28'02.12"					•	
Busa Storiona alla foce	BSV	44°52'18.29"	12°28'47.89"					••	
Bocca di Tolle	S4e	44°50'48.96"	12°27'56.22"			•		••	

Tabella 1. Riepilogo delle sezioni di misura interessate dalle campagne condotte dal 2002 al 2011 (• misura di portata liquida; •• misura di portata liquida e torbida; x portata liquida stimata per differenza). Per la localizzazione della sezione di misura si veda Figura 3.



- Località principali
- Sezioni di misura della portata 2002-2011

Figura 3. Inquadramento delle sezioni di misura ubicate sui principali rami del delta.

Le misure di portata liquida eseguite nelle diverse campagne e le distribuzioni percentuali nei vari rami del Delta (Po di Goro, Venezia, Gnocca, Maistra, Tolle e Pila) rispetto alla portata totale (ottenuta come sommatoria delle portate monitorate lungo i singoli rami) sono riassunte in Tabella 2. I valori in corsivo sono stati determinati per differenza mentre in ultima colonna si riporta il valore di portata media giornaliera a Pontelagoscuro quale valore di riferimento del regime idrologico specifico nel corso della campagna di monitoraggio. Analoga presentazione è offerta in Tabella 3 per le tre bocche di sfocio in mare del Po di Pila (Busa di Scirocco, Tramontana e Dritta o di Levante) e per le tre bocche che ripartiscono in mare la portata del Po di Tolle (Busa del Bastimento, Storiona e Bocca del Po di Tolle).

Data del rilievo	Po di Goro (S0)		Po di Venezia (S1)		Po di Gnocca (S2)		Po di Maistra (S3)		Po di Tolle (S4)		Po di Pila (S4b)		Po a Pontelagoscuro <i>m³/s (media giorn.)</i>
	<i>m³/s</i>	%	<i>m³/s</i>	%	<i>m³/s</i>	%	<i>m³/s</i>	%	<i>m³/s</i>	%	<i>m³/s</i>	%	
14 settem. 2002	542	23.5	1782	76.5	338	14.7	77	3.3	390	16.9	954	40.5	2300
30 maggio 2007	34	5.2	623	94.8	74	11.2	9	1.4	103	15.7	437	66.6	657
27 novem. 2007	282	11.6	2140	88.4	387	15.9	102	4.2	492	20.3	1158	47.8	2422
22 giugno 2010	668	13.8	4093	84.4	743	15.3	208	4.3	1037	21.4	2193	45.2	4936
6 novem. 2010	655	13.6	4139	86.3	789	16.45	215	4.5	993	20.7	2141	44.7	5102
11 novem. 2011*	748	13.5	4785	86.5									5803

Tabella 2. Misure di portata eseguite lungo i diversi rami del Po e valori percentuali di portata in ogni singola sezione rispetto alla portata complessiva ottenuta come sommatoria delle portate monitorate lungo i vari rami (Goro, Gnocca, Maistra, Tolle, Pila) (in corsivo valore dedotto per differenza). * Le misure sono state effettuate a Serravalle, monitorando in un ridotto arco temporale la portata del Po Grande, del Po di Venezia e del Po di Goro. La bontà dei dati acquisiti è confermata dalle ridotte differenze percentuali in termini di bilancio: lo scarto tra la somma dei due rami (Goro e Venezia) e la portata misurata sul Po Grande sempre a Serravalle è dell'1.1%.

Data del rilievo	Busa di Tramontana		Busa di Levante		Busa di Scirocco		Busa del Bastimento		Busa Storiona		Bocca Po di Tolle	
	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%	m ³ /s	%
14 settem. 2002	247	25.9	623	65.3	84	8.8	-	-	-	-	-	-
27 novem. 2007	263	22.7	809	69.9	86	7.4	27	6.7	322	76.2	73	17.2
22 giugno 2010	671	31.1	1215	56.2	275	12.7	-	-	-	-	-	-
6 novem. 2010	661	28.9	1337	58.5	286	12.5	48	4.4	845	77.7	194	17.8

Tabella 3. Misure di portata eseguite lungo le diverse bocche di sfocio in mare del Po. Per quanto riguarda le bocche del Po di Pila le percentuali sono riferite alla portata complessiva ottenuta come somma delle singole misure. Relativamente alle bocche del Po di Tolle le percentuali sono riferite alla portata totale del Po di Tolle misurata a Scordovari (S4c in Figura 3). In corsivo misura dedotta per differenza.

Nel seguito i valori percentuali riportati in Allegato 1 e in Allegato 3 vengono comparati a livello grafico relativamente a ciascun ramo del Delta Po, al fine di poter svolgere alcune valutazioni d'insieme sull'evoluzione delle dinamiche idrauliche del complesso deltizio dell'ultimo secolo. Sono proposti i risultati delle analisi condotte sui campioni di dati disponibili con lo scopo di confrontare le percentuali delle portate attualmente assorbite dai singoli rami del Delta con quelle menzionate nelle pubblicazioni citate in precedenza. L'analisi è stata condotta separatamente per i sei rami principali del Delta (Po di Goro, Po Venezia, Po di Maistra, Po di Tolle, Po di Gnocca e Po di Pila) per le bocche di Po di Pila (Busa Dritta, Busa di Tramontana e Busa di Scirocco) e per le tre bocche del Po di Tolle (Busa del Bastimento, Busa Storiona e Bocca del Po di Tolle).

RIPARTIZIONE DELLE PORTATE LUNGO I RAMI PRINCIPALI DEL DELTA

Per ciascun ramo principale vengono riproposte tutte le misure disponibili (con l'indicazione distinta della fonte) riportando la percentuale di portata di ciascun ramo in funzione della portata media giornaliera a Pontelagoscuro. A livello qualitativo viene riproposta la distinzione tra "acque basse" (portata a Pontelagoscuro inferiore a 1000 m³/s), "acque medie" (portata a Pontelagoscuro compresa tra 1000 m³/s e 3000 m³/s) ed "acque alte" (portata a Pontelagoscuro superiore a 3000 m³/s), così come proposto da Visentini e successivamente adottato nel corso di tutte le analisi storiche condotte.

Relativamente a ciascun ramo viene inoltre fornito un confronto tra le varie relazioni reperite in letteratura (dal Canali relativamente ai periodi 1926-1952 e 1958-1959 e da UIPO negli anni 1960 e 1961) per interpretare i dati di ripartizione delle portate lungo i rami del Delta del Po in funzione della portata in arrivo a Pontelagoscuro. A tali relazioni è stata aggiunta quella recentemente proposta da ARPA Emilia Romagna ed ottenuta mediante modello di ripartizione. La realizzazione del modello, come descritto nel Piano di Gestione del distretto idrografico del Po (AdbPo, 2010) trae avvio da un'analisi specifica sulla ripartizione delle portate tra i vari rami del delta. La taratura è stata effettuata utilizzando le osservazioni idrometriche disponibili per le cinque stazioni di monitoraggio idrometrico (Pila, Ca' Dolfin, Ca' Venier, Porto Tolle e Ariano Polesine), una per ciascun ramo del delta e sulla base dei risultati della campagna di misure di portata condotta nel maggio 2007. La post-elaborazione dei risultati ottenuti dalle simulazioni effettuate con il modello numerico idrodinamico, ha condotto alla definizione di una serie di equazioni (una per ciascun ramo) in base alle quali è possibile determinare, nota la portata a Pontelagoscuro, la ripartizione di portata, in termini percentuali, per ciascun ramo.

In Allegato 2 le relazioni di ripartizione sono riportate numericamente e in forma estesa, al fine di disporre di un quadro completo di indagine ed analisi.

Le varie relazioni sono inoltre raffrontate ai dati puntuali ottenuti attraverso i monitoraggi di UIPO (1968), ENEL (1970-1990) e alle recenti misure (2002 – 2011) condotte da ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e Consorzio di Bonifica Delta Po.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 8 di 44

PO DI GORO E PO DI VENEZIA

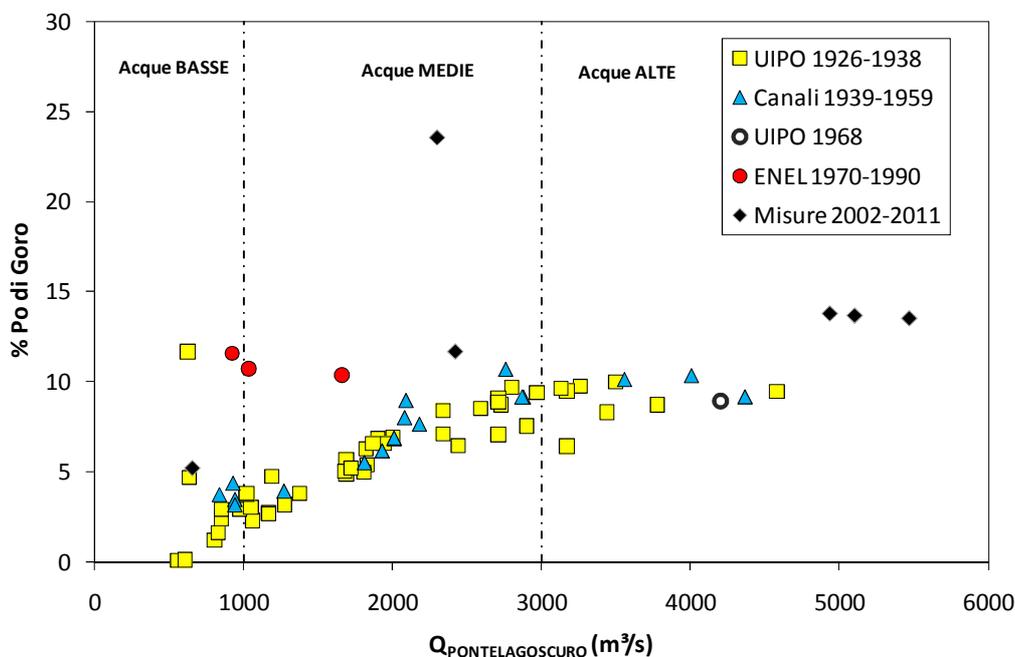


Figura 4. Percentuale di portata in transito sul Po di Goro rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

I dati storici disponibili fino alla fine degli anni '60 (UIPO e Canali) evidenziano un'ottima coerenza e stabilità nel tempo dell'efficienza idraulica di tale ramo (Figura 4). Le poche misure relative al periodo 1970-1990 (fonte ENEL) mostrano un apparente disaccordo rispetto al comportamento tradizionale di tale ramo con un'accresciuta efficienza in relazione ai regimi di acque basse/medie. L'unico dato recente disponibile (relativo ad un regime di acque basse) tende molto più marcatamente a riallinearsi al comportamento storico evidenziando tuttavia una tendenza all'incremento dell'efficienza di tale ramo. Tale comportamento risulta ancora più marcato in relazione al regime di "acque alte" dove i dati storici tendevano ad evidenziare un comportamento tendenzialmente asintotico per cui, per alti valori di portata, il Po di Goro risultava in grado di smaltire una percentuale prossima al 10% dei deflussi complessivi del fiume Po. Le ultime tre campagne (2010-2011) evidenziano invece la capacità di tale ramo di far defluire circa il 13-14% dei deflussi complessivi del fiume Po. Tale tendenza è stata evidenziata anche dallo studio di Fiorotto (2002) basato su modello fisico del nodo idraulico Po di Venezia – Po di Goro, che stima valori percentuali medi di efficienza del ramo di Goro che vanno dal 10.8% per portate in arrivo di 3000 m³/s fino a valori prossimi al 14% oltre gli 8000 m³/s. Si osservi infine come nel corso delle due campagne del 2002 e 2007 relative al regime di "acque medie" questo ramo del Po non sia stato oggetto di misura diretta. I valori riportati sia in Allegato 1 sia graficati in Figura 4 e Figura 5 sono ottenuti come differenza tra la portata a Pontelagoscuro (stimata sulla base della scala di portata disponibile) e le portate misurate sugli altri rami. La campagna del 2002 delinea una notevole ed accresciuta efficienza del ramo (parzialmente in linea con quanto suggerito dalle misure di ENEL), tale comportamento risulta al momento difficilmente spiegabile e suggerisce la necessità di ulteriori e mirate analisi di campo volte ad una corretta definizione dell'efficienza idraulica del Po di Goro. Risulta altresì opportuno sottolineare come tale valore, dedotto per differenza, sia passibile di ulteriori maggiori incertezze legate alla possibile sovrastima delle portate in transito a Pontelagoscuro. Tutto ciò suggerisce comunque, nel complesso, un trend evolutivo di tale ramo del Delta che tende ad acquisire maggior peso e rilevanza nel deflusso a mare degli apporti idrici complessivi del fiume Po.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 9 di 44

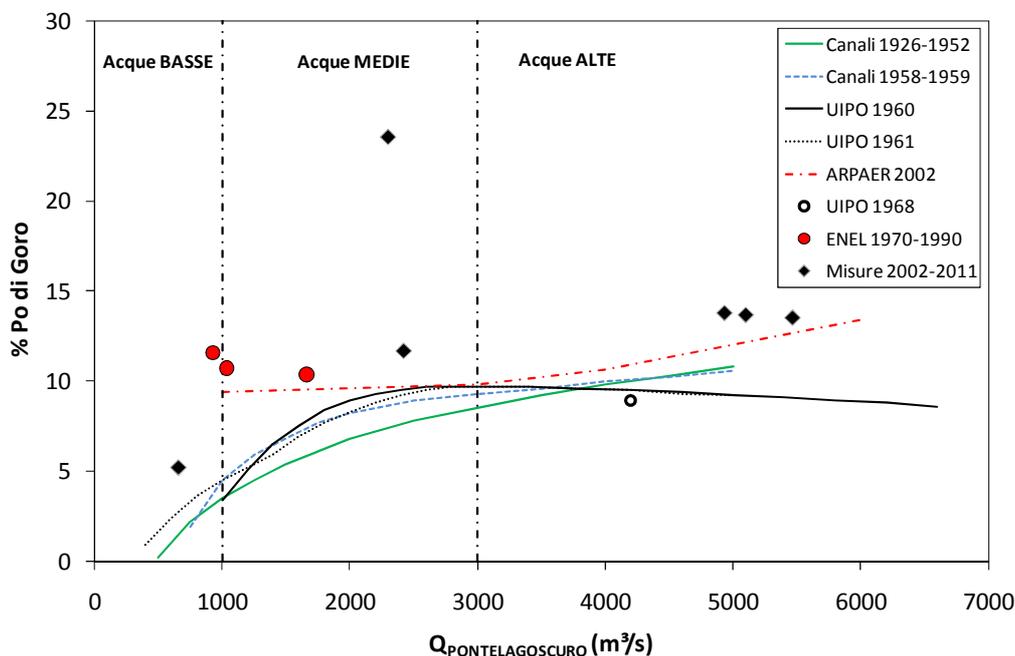


Figura 5. Confronto tra le relazioni storicamente proposte relativamente al Po di Goro per l'interpretazione delle percentuali di ripartizione delle portate lungo i vari rami del Delta del Po (rispetto alla portata complessiva a Pontelagoscuro). Confronto con le misure puntuali di UIPO (1968), ENEL (1970-1990) ed i recenti monitoraggi (2002-2011).

L'aumentata officiosità del ramo di Goro relativamente agli alti regimi idrometrici è evidente anche nel confronto tra le varie relazioni di ripartizione proposte in Figura 5. Per tali regimi la relazione proposta da ARPA Emilia Romagna meglio approssima il reale comportamento dell'asta fluviale. La progressiva tendenza ad un aumento dell'efficienza del ramo di Goro è confermata anche dalle stime approssimative riportate dal Canali nel 1959 secondo le quali ad inizio del 1900 la percentuale di portata in transito in tale ramo in regime di "acque alte" si attestava al 7%, tale valore è accresciuto al 9,3% nel periodo 1926-1939, mantenutosi poi pressoché costante nel ventennio successivo (9,9% nel periodo 1958-1959) mentre oggi si osservano percentuali prossime al doppio di quelle stimate ad inizio del secolo scorso. Per quanto riguarda i regimi di acque medie e basse tale relazione risulta in linea con le misure di Enel disponibili negli anni 1970-1990, ma evidenzia un notevole disaccordo con i dati della campagna del 2002 (valgono in tal caso le considerazioni precedentemente riportate). Risulta tuttavia chiara la necessità di ulteriori approfondimenti di campo per chiarire il comportamento in tale specifico regime.

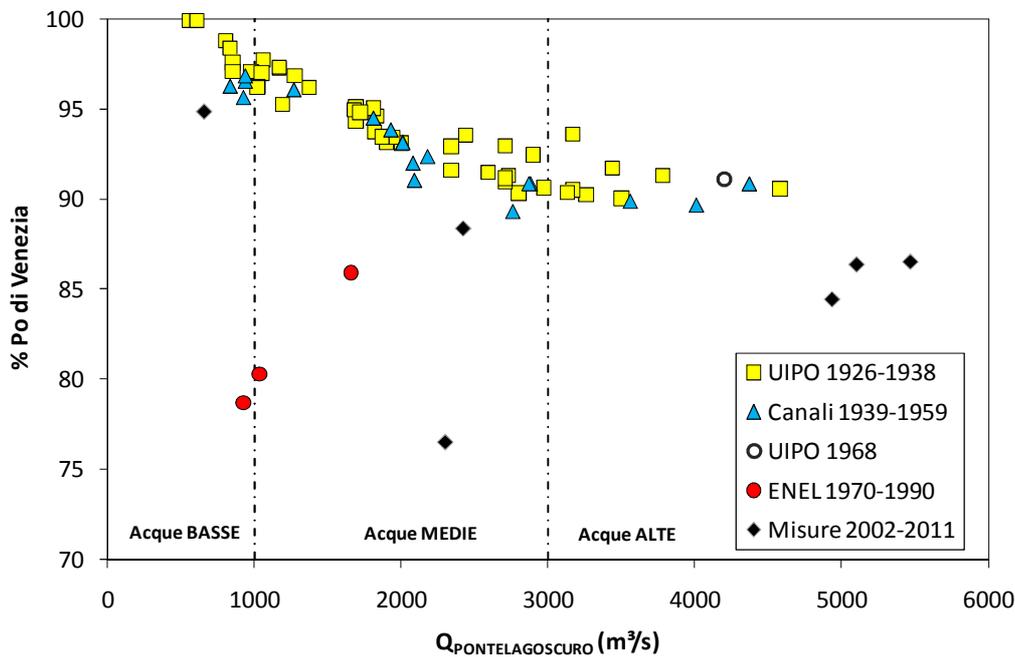


Figura 6. Percentuale di portata in transito sul Po di Venezia rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

Il comportamento idraulico del Po di Venezia (a valle della diramazione del ramo di Goro) risulta ovviamente speculare rispetto al comportamento appena descritto relativamente al Po di Goro. Si sottolinea inoltre come nella maggior parte dei dati storicamente disponibili (come evidenziato in Allegato 1) tale ramo non sia stato oggetto di misure dirette mentre i dati siano altresì stati dedotti come sommatoria delle portate monitorate lungo i singoli rami a valle. Tale stima risulta quindi ancor più passibile di inesattezze legate all'incertezza intrinseca delle singole misure. D'altro canto, nel caso in cui si disponesse di misure dirette (e.g. campagne 2002 – 2007) risulta evidente come, per effetto dell'approssimazione propria di ogni singola misura e delle eventuali sfasature temporali delle stesse tali da non garantire il monitoraggio di una condizione "stazionaria" lungo i differenti rami, non sia possibile ricavare un perfetto bilancio tra la singola misura sul Po di Venezia ed i valori ottenuti come somma delle portate dei vari rami piuttosto che come differenza con la portata stimata a Pontelagoscuro.

Risulta quindi evidente, sulla base dei grafici di Figura 6 e Figura 7, una diminuzione dell'efficienza di tale ramo in tutti i regimi indagati. Tale comportamento risulta chiaro e relativamente contenuto nei regimi di "acque basse" ed "acque alte" mentre risulta palese lo scostamento in regime di "acque medie" dei dati relativi alla campagna del 2002. D'altro canto si evidenzia come anche i dati ricavati da ENEL tra il 1970 ed il 1990 mettessero in luce una profonda difformità con quanto storicamente monitorato, nonostante tale comportamento risultasse esaltato da una "sovrastima delle portate alla sezione di Pontelagoscuro, come si è avuto modo di verificare nel periodo 1988-1989, allorchè si sono effettuati dei controlli (da parte di ENEL) della scala di deflusso in tale sezione" (Grego, 1990).

Sulla base dell'esiguo numero di misure disponibili si può al momento evidenziare come la reale officiosità di tale ramo non risulti adeguatamente descritta da nessuna delle relazioni storicamente proposte e si evidenzia nuovamente la necessità di ulteriori mirate campagne per approfondire il comportamento dei rami di Goro e Venezia.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico RegionaleSULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 11 di 44

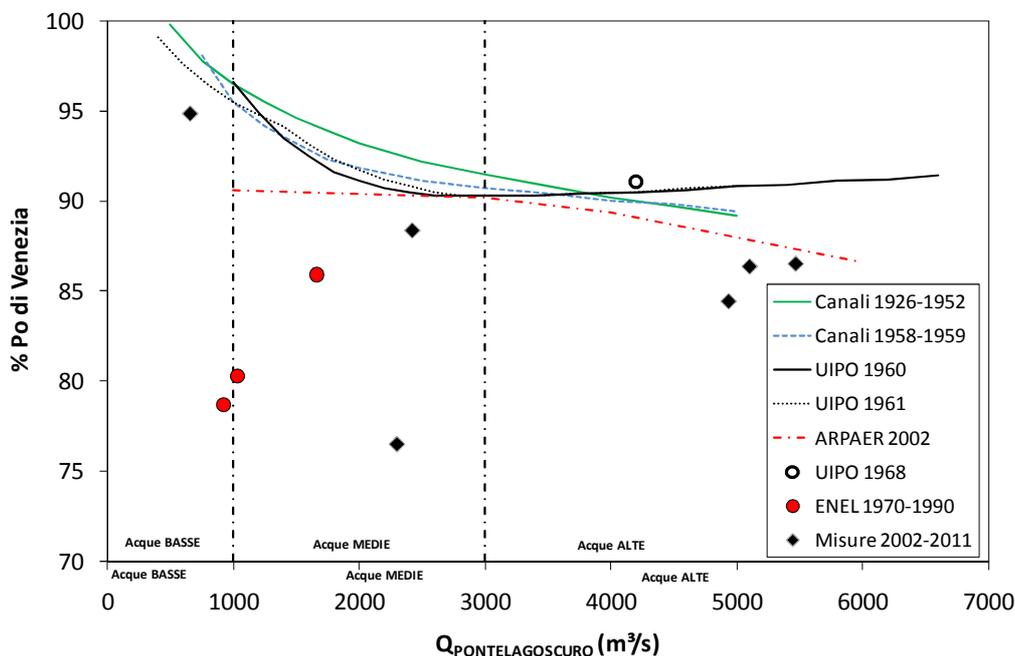


Figura 7. Confronto tra le relazioni storicamente proposte relativamente al Po di Venezia per l'interpretazione delle percentuali di ripartizione delle portate lungo i vari rami del Delta del Po (rispetto alla portata complessiva a Pontelagoscuro). Confronto con le misure puntuali di UIPO (1968), ENEL (1970-1990) ed i recenti monitoraggi (2002-2011).

In merito alla ripartizione tra i rami di Goro e di Venezia, si sottolinea l'importanza di proseguire il monitoraggio diretto delle portate (in particolare per il regime idrometrico di acque medie) mediante l'esecuzione di misure simultanee all'incile dei due rami, onde ridurre al minimo le possibili fonti di incertezza dovute ai fenomeni di propagazione lungo l'asta fluviale. La disponibilità di nuovi dati permetterebbe inoltre di chiarire i problemi di bilancio dei deflussi manifestatosi tra Pontelagoscuro, Po di Venezia e di Goro nelle campagne di misura eseguite nel 2002 e nel 2007.

PO DI GNOCCA

In Figura 8 sono riportati i dati storici disponibili relativamente alle percentuali di portata in transito attraverso il Po di Gnocca in funzione della portata complessiva a Pontelagoscuro. Risulta evidente come la quota parte dei deflussi scaricati a mare attraverso tale ramo si mantenga percentualmente abbastanza stabile a fronte delle significative variazioni delle portate in Po. Tale percentuale si attesta mediamente su valori compresi tra il 10 e 15%. I dati storici inoltre evidenziano come vi sia stato nel corso del tempo un incremento dell'officiosità di tale ramo, tale variazione si è riscontrata nel ventennio 1939-1959 rispetto al periodo precedente, come per altro evidenziato dal Canali (1959). Negli anni successivi e fino ai giorni nostri non risultano altresì evidenti significative variazioni dell'efficienza di tale ramo. Analoghe evidenze sono supportate dagli andamenti delle funzioni interpolatrici dei dati, riportate in Figura 9.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 12 di 44

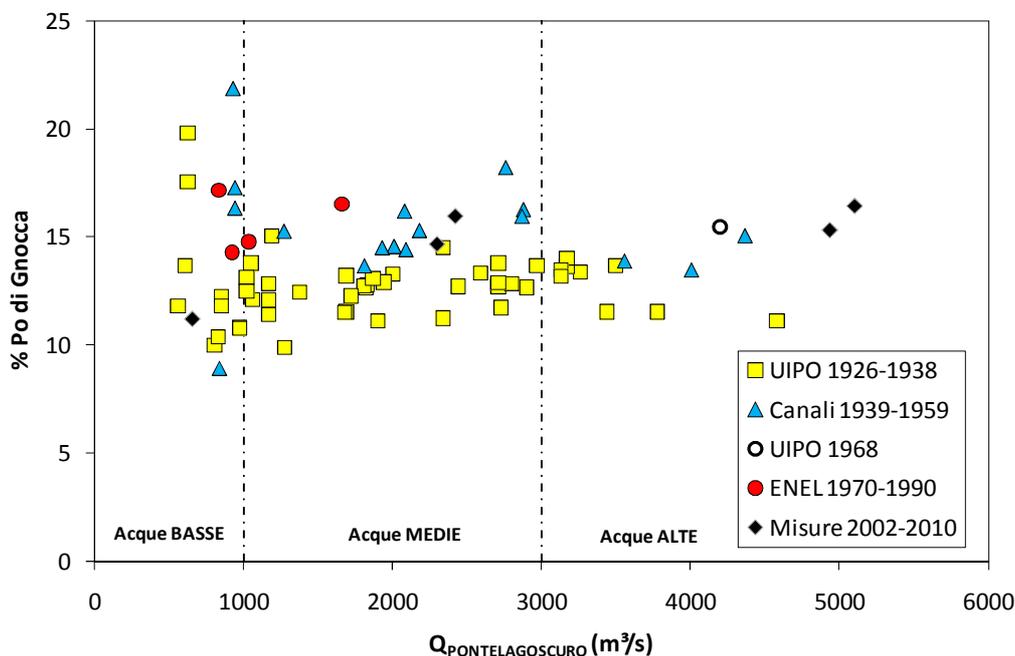


Figura 8. Percentuale di portata in transito sul Po di Gnocca rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

Tutte le relazioni storicamente disponibili utilizzate per interpretare i dati di ripartizione di portata lungo i vari rami presentano un trend decrescente per regimi di “acque medie” ed “acque alte”. Tali andamenti sono in parziale disaccordo con le seppur esigue misure recenti disponibili (Figura 9). La funzione di interpolazione proposta da ARPA Emilia Romagna meglio approssima tale comportamento nonostante presenti una tendenza alla sovrastima dei deflussi lungo tale ramo.

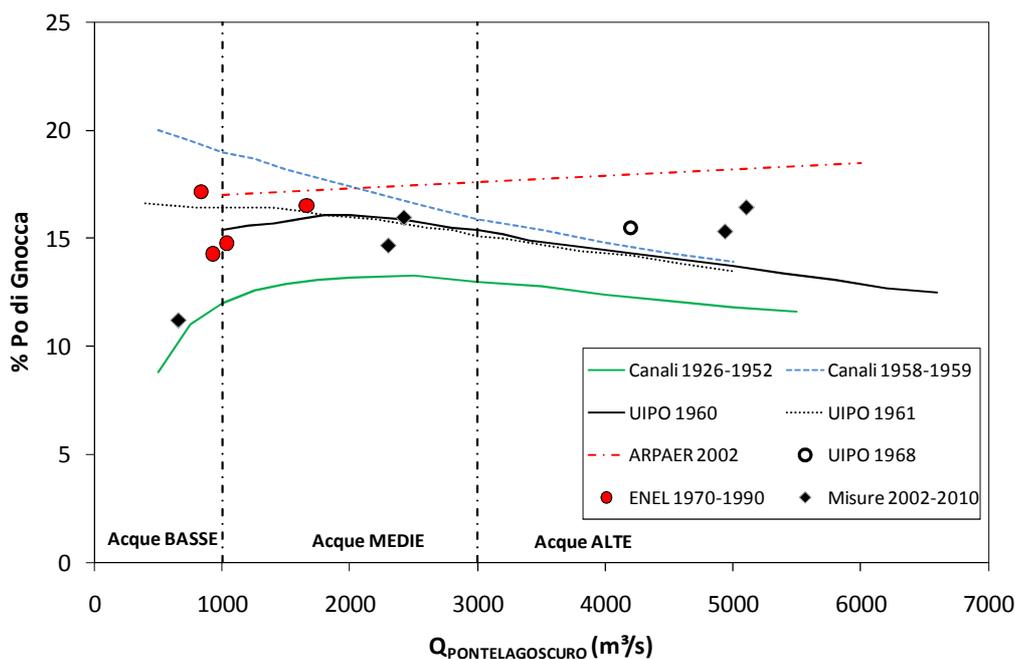


Figura 9. Confronto tra le relazioni storicamente proposte relativamente al Po di Gnocca per l'interpretazione delle percentuali di ripartizione delle portate lungo i vari rami del Delta del Po (rispetto alla portata complessiva a Pontelagoscuro). Confronto con le misure puntuali di UIPO (1968), ENEL (1970-1990) ed i recenti monitoraggi (2002-2010).

PO DI MAISTRA

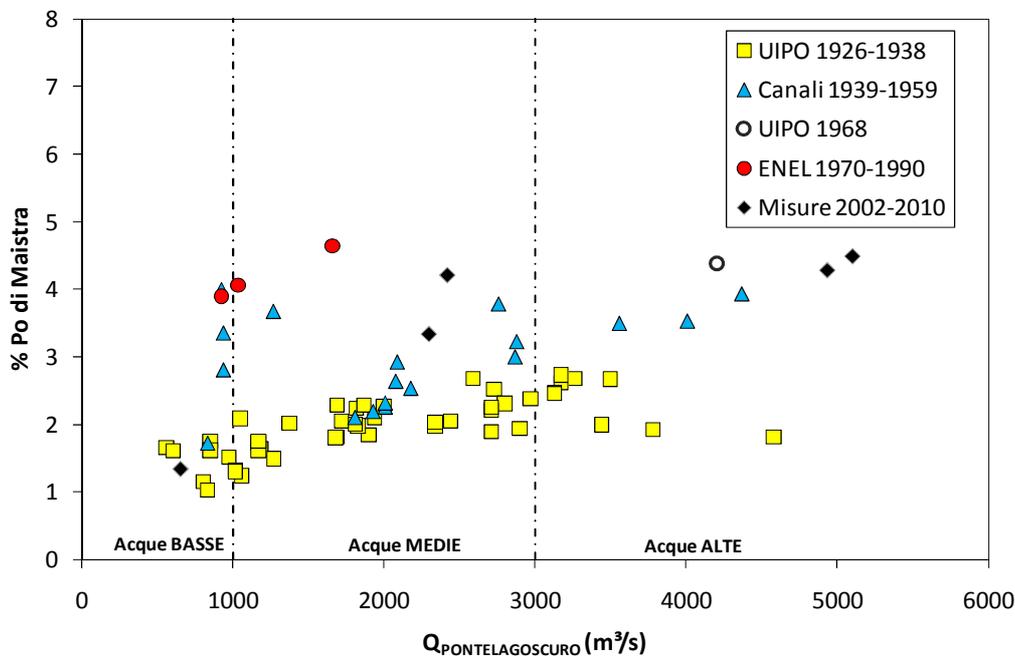


Figura 10. Percentuale di portata in transito sul Po di Maistra rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

Il Po di Maistra, tra tutti i rami principali, rappresenta certamente il meno significativo in termini di apporti percentuali a mare dei deflussi complessivi del fiume Po. Nella relazione del Canali (1959) si sottolineava come, sulla base dell'esperienza secolare, fosse evidente come le bocche del Po orientate verso scirocco diminuissero con il tempo la loro attività. Questo fenomeno sarebbe comune a tutti i fiumi con notevole trasporto solido sfocianti sul litorale padano-veneto, i quali tenderebbero a deviare la loro foce nel quadrante compreso tra N ed E. La causa prevalente di tale tendenza, indicata dal Cialdi (Canali, 1959), risiederebbe nei venti regnanti e nel flutto corrente, elementi che governano gli insabbiamenti in prossimità della foce. Il comportamento idraulico del Po di Maistra risulta in linea con tale tendenza, è infatti evidente, sulla base dei dati diagrammati in Figura 10, come l'efficienza idraulica di tale ramo sia andata significativamente crescendo nei differenti periodi di monitoraggio. Le seppur esigue misure recentemente eseguite in regime di "acque medie" ed "acque alte" suggeriscono nuovamente un incremento di efficienza di tale ramo rispetto a quanto suggerito dalle ultime misure sistematiche relative al periodo 1939-1959 (Canali). In tali regimi la percentuale di portata in transito attraverso il Po di Maistra si attesterebbe tra il 3% ed il 4%. Per quanto concerne il regime di acque basse, così come nel caso del Po di Goro, le misure svolte da ENEL (1970-1990) risultano in disaccordo con il comportamento osservato nell'unica campagna recentemente eseguita. I dati relativi al maggio 2007 evidenziano infatti un deflusso assai limitato attraverso tale ramo. Risulta chiara anche in tale contesto la necessità di ulteriori indagini strumentali per approfondirne il comportamento in regime di "acque basse".

Il confronto tra le curve storiche di interpretazione dei dati di ripartizione dei deflussi, proposte in Figura 11, conferma la tendenza evolutiva di tale ramo caratterizzato da un aumento progressivo della sua officiosità, già messo in luce dalla campagna UIPO del 1968. Relativamente ai regimi di "acque medie" ed "acque alte" la funzione di ripartizione proposta da ARPA Emilia Romagna ben approssima il reale comportamento del corso d'acqua.

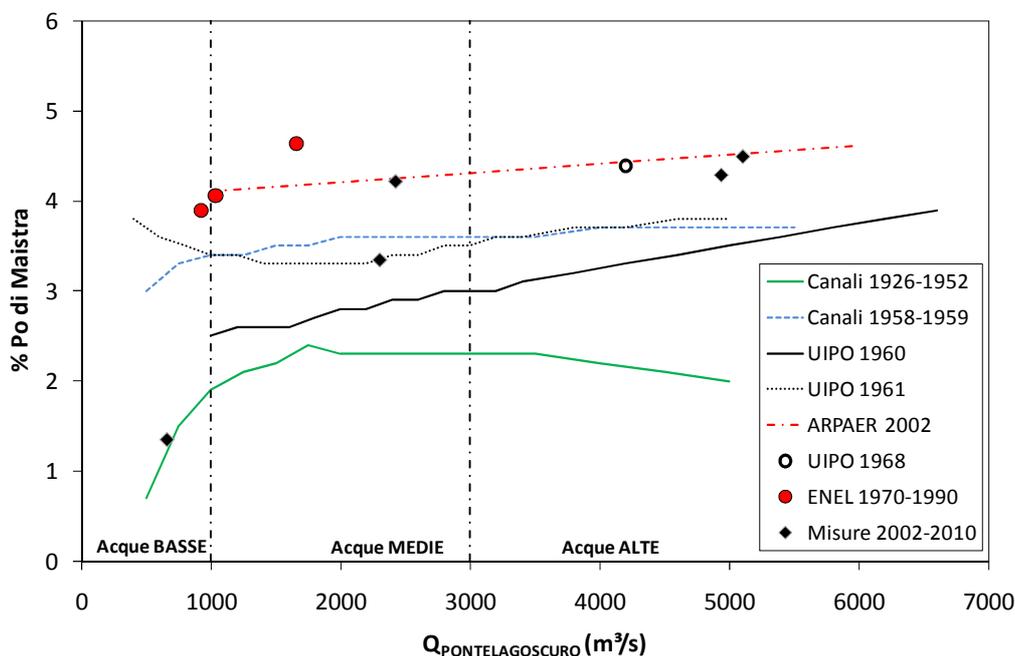


Figura 11. Confronto tra le relazioni storicamente proposte relativamente al Po di Maistra per l'interpretazione delle percentuali di ripartizione delle portate lungo i vari rami del Delta del Po (rispetto alla portata complessiva a Pontelagoscuro). Confronto con le misure puntuali di UIPO (1968), ENEL (1970-1990) ed i recenti monitoraggi (2002-2010).

PO DI TOLLE

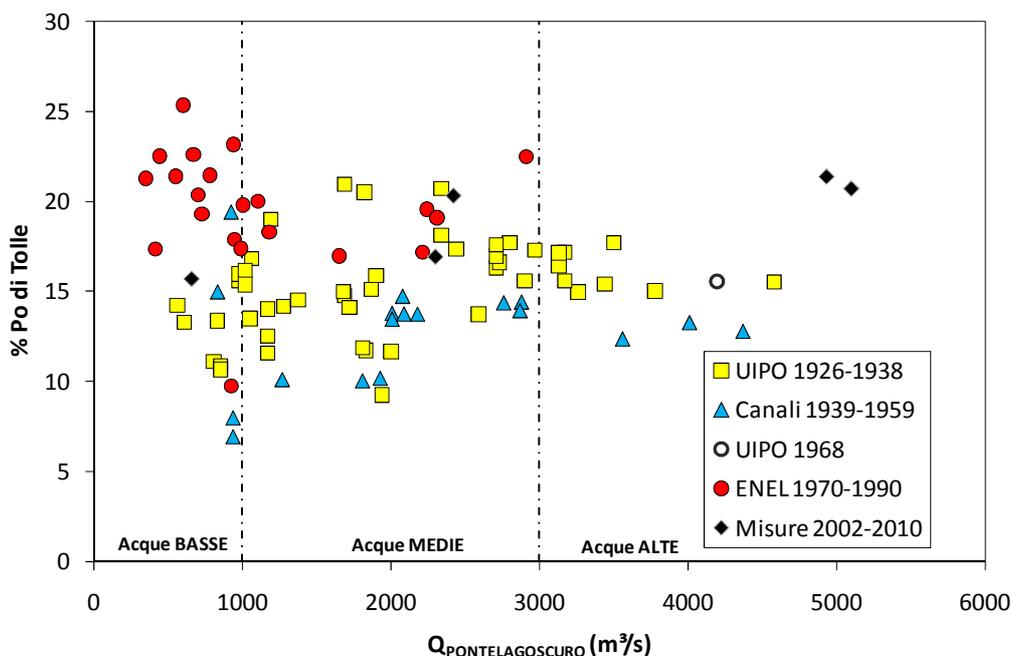


Figura 12. Percentuale di portata in transito sul Po di Tolle rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

Il ramo di Tolle ha evidenziato un comportamento variabile nel corso del tempo, infatti, ad un primo periodo ad inizio del secolo scorso (1926-1938) caratterizzato da una capacità di deflusso prossima al 15% del totale è seguita una



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 15 di 44

diminuzione dell'efficienza idraulica nel periodo 1939-1959. Tale variazione era già stata segnalata da Canali (1959) confermando la tendenza evolutiva del Delta caratterizzata da una "graduale diminuzione nel tempo dei rami meridionali per effetto, come precedentemente accennato, dei venti, e quindi del moto ondoso, nonché delle correnti marine". A seguito degli interventi di progettazione e realizzazione della centrale di Polesine Camerini tale ramo è stato soggetto a monitoraggi più spinti ed intensivi nel periodo 1970-1990 da parte di ENEL. Dato lo specifico interesse di indagine degli effetti di tale opera sul fiume Po in condizioni di scarsa disponibilità idrica, i monitoraggi si sono concentrati prevalentemente sui regimi di "acque basse e medie". In tale ambito è stato possibile evidenziare un netto incremento dell'officiosità di tale ramo riportandosi addirittura a valori leggermente superiori al periodo 1926-1938 (18-20%) relativamente al regime di "acque medie" e nettamente superiori al 20% (alcuni valori prossimi addirittura al 25%) in regime di "acque basse". Tale tendenza ed analoghi valori percentuali sono confermati anche dalle recenti campagne di monitoraggio (anche se un unico valore relativamente al regime di "acque basse" non risulta sufficiente a trarre alcuna conclusione di carattere definitivo). Per quanto concerne i regimi di "acque alte", invece, si osserva come i moderni mezzi d'opera abbiano permesso di eseguire monitoraggi in un "range" di portata molto più elevato rispetto a quello che storicamente si è stati in grado di misurare. Non sono pertanto disponibili in tale intervallo misure pregresse utili per un raffronto omogeneo. Sulla base delle tendenze per elevati valori di portata evidenziabili in Figura 12 ed ancor più in Figura 13 risulta tuttavia chiaro come l'officiosità di tale ramo in condizioni di piena risulti certamente superiore al passato e sia caratterizzata da una capacità di recapitare a mare circa il 20% della portata complessiva del fiume Po.

Per quanto concerne le curve di interpolazione dei dati riproposte in Figura 13 è evidente come l'attuale comportamento del Po di Tolle risulti meglio rappresentato dalla relazione dell'UIPO relativa all'anno 1961 evidenziando tuttavia la necessità di un aggiornamento relativamente agli elevati valori di portata dove il trend decrescente della curva interpolatrice non risulta adeguatamente supportato dai dati sperimentali.

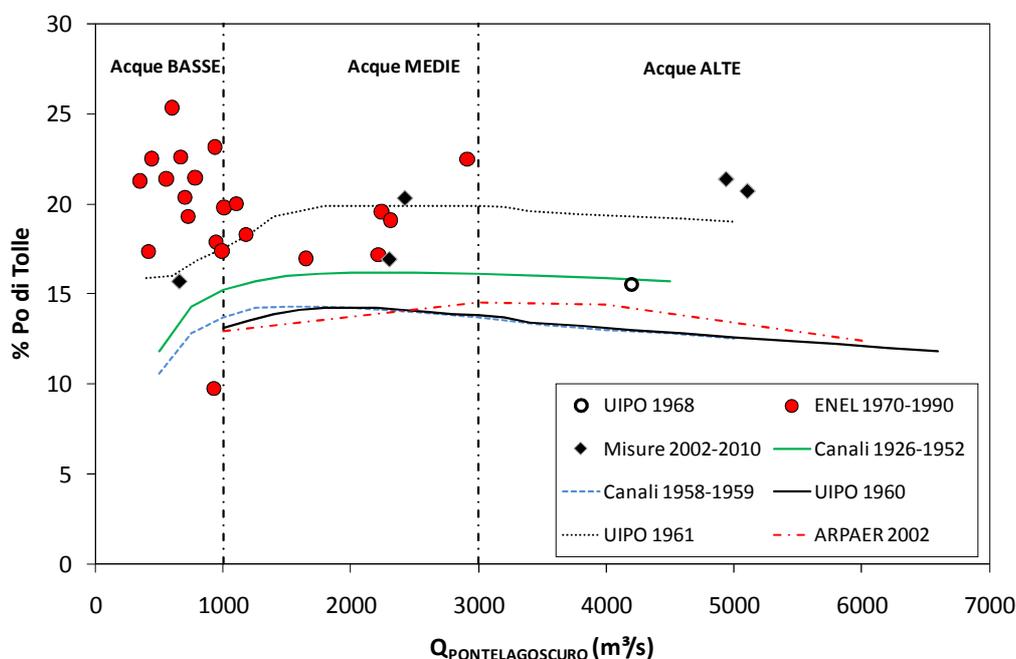


Figura 13. Confronto tra le relazioni storicamente proposte relativamente al Po di Tolle per l'interpretazione delle percentuali di ripartizione delle portate lungo i vari rami del Delta del Po (rispetto alla portata complessiva a Pontelagoscuro). Confronto con le misure puntuali di UIPO (1968), ENEL (1970-1990) ed i recenti monitoraggi (2002-2010).



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 16 di 44

PO DI PILA

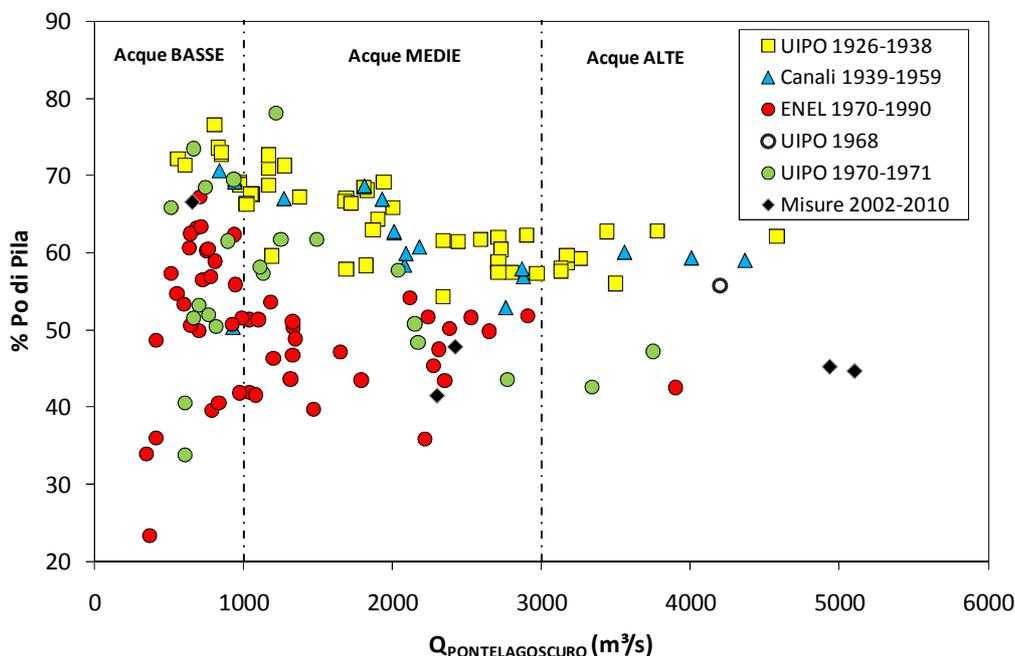


Figura 14. Percentuale di portata in transito sul Po di Pila rispetto alla portata complessiva del Po a Pontelagoscuro, confronto dei dati storici disponibili.

Il ramo del Po di Pila ha visto progressivamente decrescere, anche in modo significativo, la sua officiosità nel corso dell'ultimo secolo. Sulla base dei dati diagrammati in Figura 14 si può infatti osservare come, a fronte di una sostanziale invarianza di comportamento registrata fino alla fine degli anni '50 (anche se come indicato dai Canali già si intravedevano i segnali di una certa diminuzione di efficienza per gli stati di "acque medie"), il ventennio successivo sia stato caratterizzato da una rapida diminuzione di efficienza relativamente a tutti i regimi. Va sottolineato come l'intenso programma di monitoraggio del Po di Pila intrapreso a partire dagli anni '70 (misure UIPO 1970-1971 e ENEL 1970-1990 in Allegato 1) prevedesse misure mirate solo su questo ramo deltizio. In conseguenza di questo le incertezze della scala di deflusso a Pontelagoscuro, che forniva la portata di riferimento, si sono propagate alla valutazione dell'efficienza idraulica del Po di Pila. Grego (1990) evidenziava come la riduzione dell'officiosità del ramo di Pila fosse in realtà amplificata dalla sovrastima delle portate a Pontelagoscuro, fenomeno messo in luce da verifiche sulla scala di defluss eseguite negli anni 1988-1989. Le ultime due misure disponibili, soprattutto relativamente al regime di "acque medie" suggeriscono una possibile ulteriore diminuzione di officiosità di tale ramo che pare invece rimanere inalterata relativamente ai due regimi estremi di "acque basse" e "acque alte". Risulta altresì chiaro come le esigue misure disponibili non permettano di definire in modo univoco il comportamento idraulico di tale ramo ma ne suggeriscano unicamente il possibile trend evolutivo. Risulta d'altro canto palese come, nel corso di circa 100 anni l'officiosità di tale ramo, che rimane comunque il principale adduttore dei deflussi a mare, sia decrementata di oltre il 10% con picchi prossimi al 15% in condizioni di "acque alte". Tale comportamento, come evidenziato in precedenza è stato controbilanciato da un progressivo incremento dell'efficienza idraulica di tutti gli altri rami pur tuttavia senza evidenziare un trend altrettanto marcato di uno specifico tra i rimanenti.

Analoghe considerazioni possono essere tratte da Figura 15 dove i dati di monitoraggio dal 1970 ad oggi vengono confrontati con le curve di correlazione proposte storicamente dai vari autori. Risulta palese come nessuna di queste relazioni sia oggi in grado di approssimare il reale comportamento del corso d'acqua nei differenti regimi.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 17 di 44

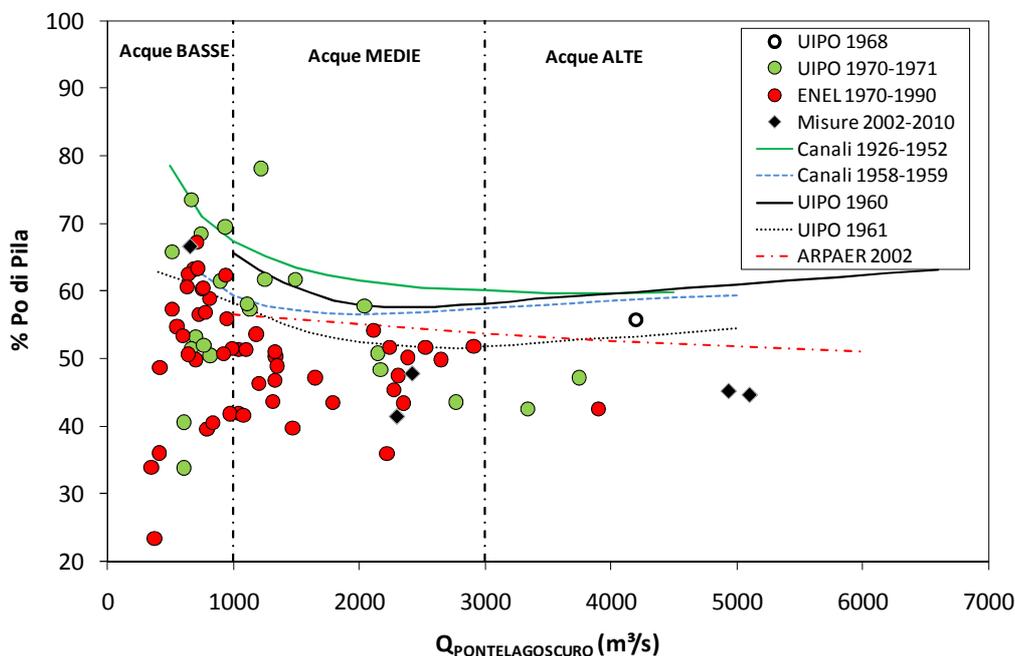


Figura 15. Confronto tra le relazioni storicamente proposte relativamente al Po di Pila per l'interpretazione delle percentuali di ripartizione delle portate lungo i vari rami del Delta del Po (rispetto alla portata complessiva a Pontelagoscuro). Confronto con le misure puntuali di ENEL (1970-1990) ed UIPO (1968 e 1970-1971) ed i recenti monitoraggi (2002-2010).

Una considerazione finale accumuna l'analisi dei dati relativi a tutti i rami sino ad ora considerati puntualmente. In tutti i grafici proposti risulta evidente una forte dispersione dei dati con riferimento al regime di "acque basse", tale comportamento è collegabile alla difficoltà di monitorare sistematicamente ed in condizioni omogenee (durante un intero ciclo di marea) tutti i rami del Po in stati idrometrici marcatamente dominati dall'effetto di marea. In tali condizioni risulta pertanto più difficile individuare una funzione in grado di riassumere in modo univoco il comportamento di tali rami, mentre risulta certamente più agevole individuare una "efficienza media" degli stessi.

RIPARTIZIONE NELLE BOCCHE DI SFOCIO IN MARE

L'efficienza idraulica delle bocche di sfocio in mare dei rami di Pila e di Tolle è stata indagata con minor continuità nel corso dell'ultimo secolo rispetto ai rilievi condotti per la stima della ripartizione delle portate lungo i rami principali. Si sono reperiti in letteratura i dati delle misure condotte dal 1927 al 1938 sulle tre Bocche del Po di Pila (UIPO, 1940), quelli resi disponibili da ENEL (1990, 1991) relativi alle misure effettuate dal 1972 al 1991 sulle Bocche del Po di Pila e di Tolle, tutti i dati acquisiti sono riportati in Allegato 3.

ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e Consorzio di Bonifica Adige Delta Po hanno portato a termine dal 2002 ad oggi quattro campagne di misura per valutare la ripartizione delle portate di questi due rami deltizi. Di queste campagne, due (settembre 2002 e novembre 2007), hanno indagato l'efficienza idraulica delle bocche del Po di Pila nello stato idrometrico di acque medie (portata a Pontelagoscuro di circa 2500 m³/s), le altre due (giugno e novembre 2010) sono state condotte con lo scopo di valutare la ripartizione della portata del Po di Pila per deflussi a Pontelagoscuro prossimi a 5000 m³/s. La ripartizione del Po di Tolle (Bocca di Tolle, Busa Storiona e Busa del Bastimento) è stata oggetto di indagini solamente nel corso della campagna del 2007 e di novembre 2010.

BOCCHES DEL PO DI PILA: BUSA DI TRAMONTANA, BUSA DI LEVANTE E BUSA DI SCIROCCO

Per descrivere e caratterizzare il comportamento idraulico delle bocche del Po di Pila, si riportano di seguito i confronti grafici tra le misure di portata reperite in letteratura e i dati raccolti nelle campagne di misura eseguite nel periodo 2002-2010. In particolare, si cerca di fornire una descrizione della diversa efficienza idraulica in relazione ai diversi stati idrometrici del fiume, e delle variazioni di questa nel tempo, analizzando la distribuzione delle portate misurate sulle tre bocche rispetto alla portata complessiva delle bocche (Po di Pila) e rispetto alla portata media giornaliera del Po a Pontelagoscuro.

Dall'insieme dei dati disponibili per la Busa di Tramontana (Figura 16) si può notare come ad eccezione di alcune misure eseguite in regime fluviale di acque basse nel periodo a cavallo degli anni trenta da UIPO, dati che manifestano una maggior dispersione, sussista un trend crescente tra la portata a Pontelagoscuro e l'efficienza idraulica della Busa di Tramontana. Questa tendenza, sulla base dei dati storici disponibili, risulta più marcata per portate a Pontelagoscuro minori di 1800 m³/s. Per deflussi maggiori e fino a 5000 m³/s, si assiste ad una riduzione del tasso di incremento dell'efficienza idraulica della Busa di Tramontana (confermata anche dalle più recenti indagini), questa tende ad attestarsi su valori compresi tra il 10 e il 13% della portata a Pontelagoscuro.

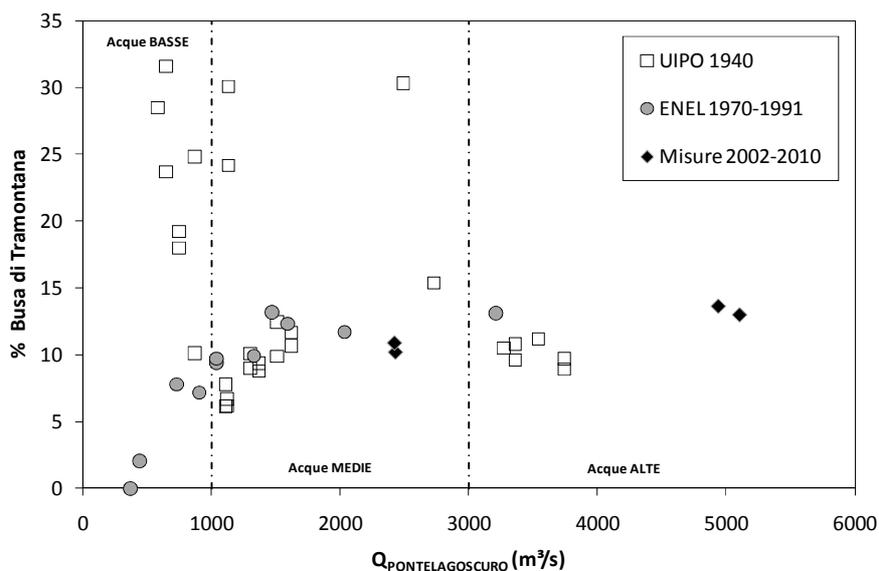


Figura 16. Percentuale della portata media giornaliera a Pontelagoscuro convogliata in mare dalla Busa di Tramontana. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili.

La maggior dispersione dei dati rilevati con portate a Pontelagoscuro minori di 1000 m³/s, (i dati sperimentali sembrerebbero indicare una significativa riduzione dell'efficienza idraulica dal 1940 al 1990 nello stato di acque basse) può in parte trovare una ragione nelle difficoltà intrinseche di esecuzione delle misure di portata in sezioni fluviali soggette a regime di marea e nelle frequenti modificazioni che gli alvei subiscono in prossimità della foce.

Va sottolineato come l'efficienza idraulica della Busa di Tramontana, espressa in percentuale rispetto alla portata media a Pontelagoscuro, sia condizionata anche dai cambiamenti morfologici e dalla variazione dell'officiosità idraulica del ramo del Po di Pila. È possibile escludere in parte gli effetti delle modificazioni del ramo di Pila confrontando i valori di portata misurati sulla Busa di Tramontana con la portata complessiva delle tre bocche (Figura 17). La distribuzione dei dati di Figura 17 sembra mostrare un incremento dell'attività idraulica della Busa di Tramontana rispetto all'andamento rilevato nel periodo 1927-1938, in particolare per portate del Po di Pila superiori a 700 m³/s. Un'analogia tendenza era già stata messa in evidenza dalle ricerche condotte da ENEL negli anni '70. Nelle campagne condotte da UIPO (1940) fu invece rilevato un decremento della portata convogliata dalla Busa di



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 19 di 44

Tramontana (in funzione della portata complessiva delle tre buse): si passò da valori medi del 48% nel biennio 1927-1928 a valori del 23% e del 15% rispettivamente, nei periodi 1930-34 e 1935-38.

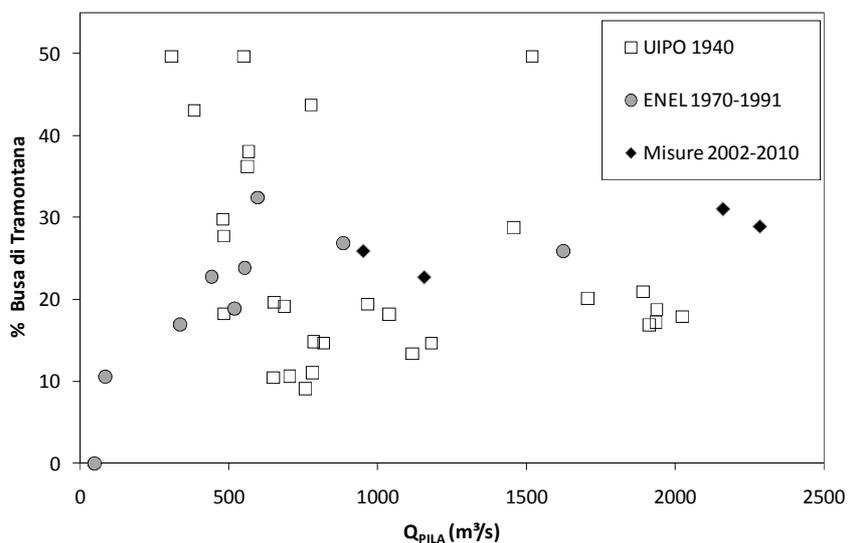


Figura 17. Percentuale della portata complessiva del Po di Pila convogliata in mare dalla Busa di Tramontana. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

La ridotta dispersione dei dati disponibili relativi alle misure eseguite negli ultimi 40 anni permette di esprimere la percentuale di portata del Po di Pila (calcolata come somma delle portate misurate simultaneamente nelle tre buse) convogliata dalla Busa di Tramontana mediante una relazione di potenza, il cui andamento è illustrato in Figura 18.

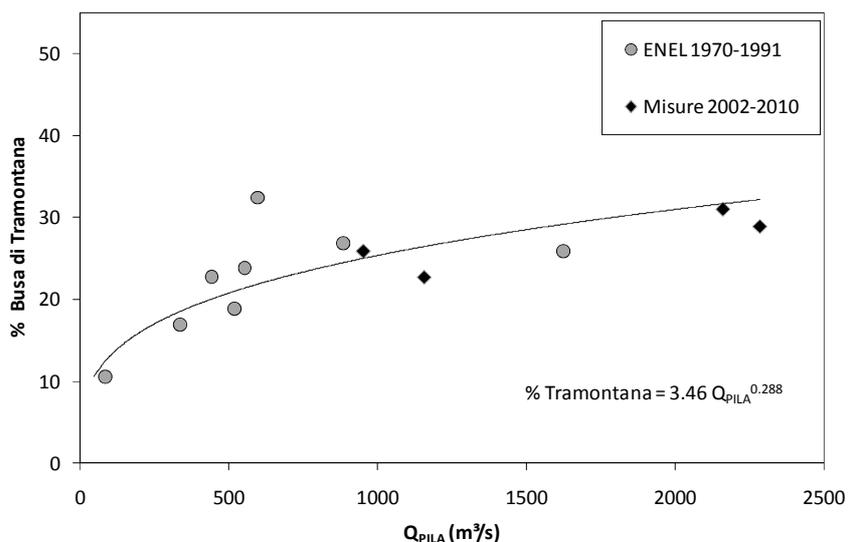


Figura 18. Valori percentuali della portata convogliata dalla Busa di Tramontana rispetto alla portata complessiva del Po di Pila. Andamento della relazione ricavata interpolando i dati disponibili dal 1970 al 2010. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

La relazione proposta nel grafico di Figura 18 dovrebbe essere oggetto di verifica, soprattutto in riferimento alle condizioni di acque basse, con l'esecuzione di ulteriori campagne di misura, al fine di poterne confermare l'applicabilità rispetto alle condizioni attuali anche per bassi valori di portata del fiume Po.

La Busa di Levante o Dritta è la foce centrale del Po di Pila e convoglia in mare la maggior parte delle portate in arrivo da questo ramo. Il confronto tra le misure recenti e i dati storici (Figura 19) mostra una marcata riduzione nel tempo dell'efficienza idraulica della Busa, che, rispetto alla portata media giornaliera a Pontelagoscuro, si attesta oggi su valori compresi tra 20 e 30%. Negli anni '20-30 la Busa di Levante era in grado di smaltire fino al 50-60% della portata totale del fiume Po. Le misure condotte da ENEL avevano già messo in luce una significativa diminuzione di officiosità, rispetto ai valori dedotti dalle precedenti campagne, principalmente per portate a Pontelagoscuro inferiori a 2000 m³/s. Una così marcata riduzione dell'efficienza della Busa di Levante rispetto alla portata a Pontelagoscuro è in parte spiegata dalla riduzione dell'efficienza complessiva del ramo di Pila.

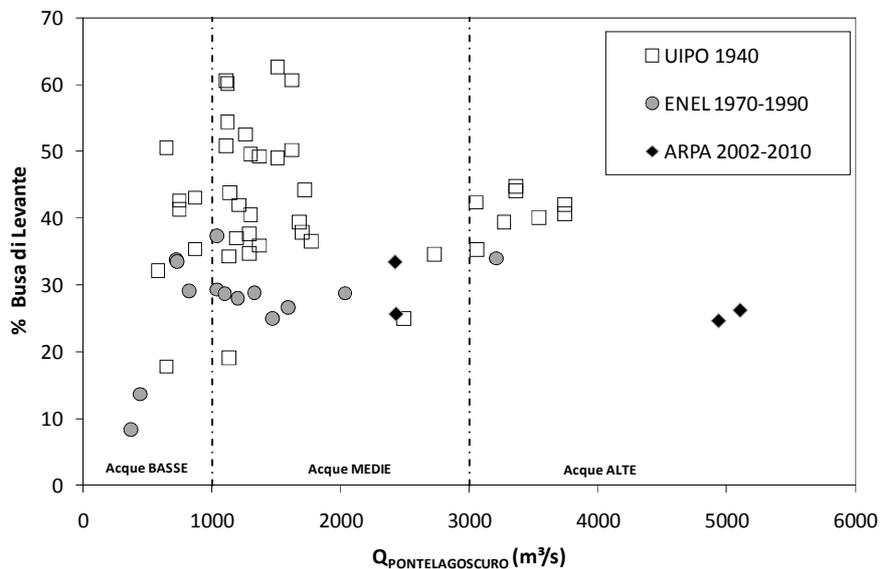


Figura 19. Percentuale della portata media giornaliera a Pontelagoscuro convogliata in mare dalla Busa di di Levante. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili.

Confrontano i valori di portata misurati sulla Busa Dritta con la portata complessiva delle tre bocche (Figura 20) si evince come dagli anni '20 fino ad oggi l'attività idraulica della Busa di Levante sia in generale diminuita, eccezion fatta per condizioni idrometriche di magra (con portate complessive minori di 500-600 m³/s) nelle quali i dati raccolti da ENEL sembrano invece mostrare un incremento dell'officiosità idraulica della bocca, rispetto ai dati storici del Visentini.



arpav

Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 21 di 44

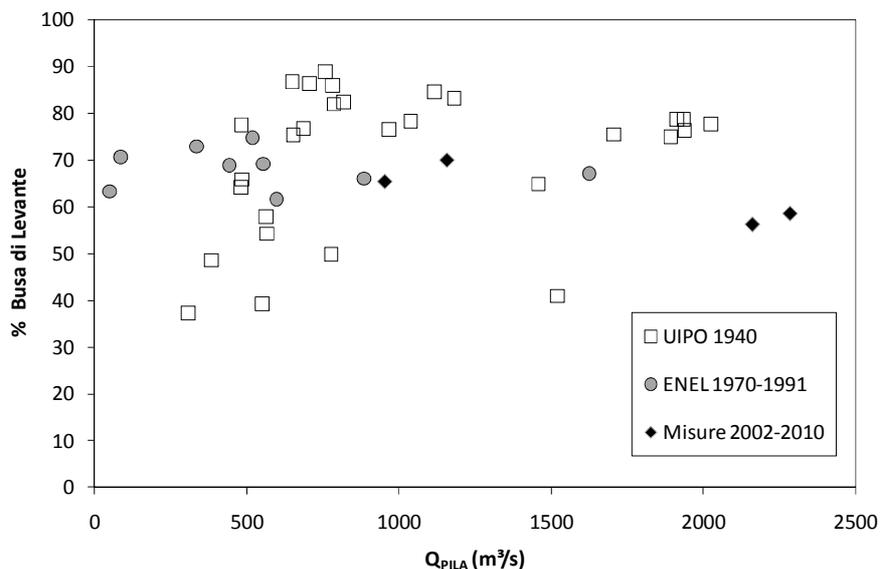


Figura 20. Percentuale della portata complessiva del Po di Pila convogliata in mare dalla Busa di Levante. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

Analizzando i dati più recenti (misure 1970-2010) si può notare una certa stazionarietà della capacità di deflusso della Busa di Levante in tutti gli stati idrometrici del fiume, con una leggera tendenza alla diminuzione delle portate convogliabili all'aumentare della portata complessiva del Po di Pila (Figura 21). Tale diminuzione è messa in evidenza dal coefficiente angolare negativo della retta di interpolazione dei dati. Va sottolineato come in condizioni di magra non siano state condotte misure di portata durante le campagne più recenti, di conseguenza l'applicabilità della relazione proposta in Figura 21 andrebbe suffragata da ulteriori indagini, che ne permettano una conferma o un eventuale aggiornamento.

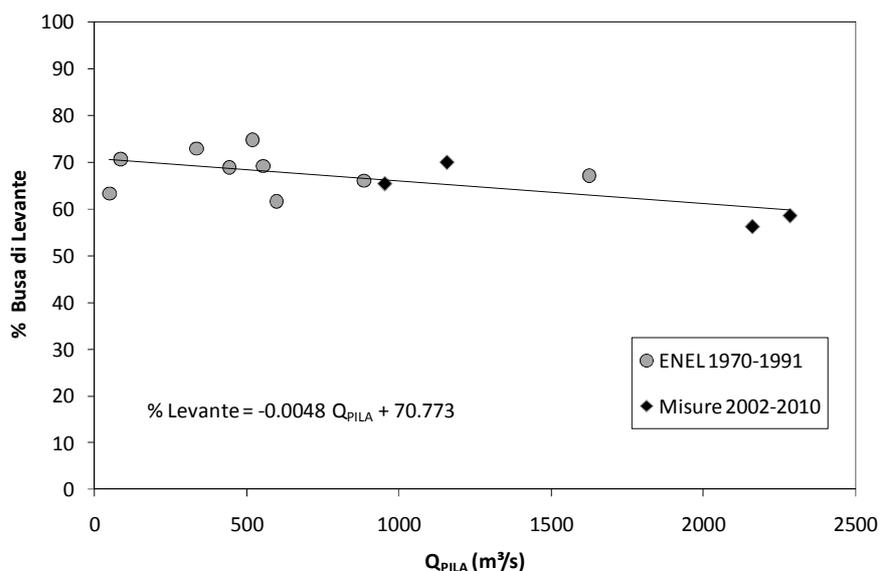


Figura 21. Valori percentuali della portata convogliata dalla Busa di Levante rispetto alla portata complessiva del Po di Pila. Andamento della relazione ricavata interpolando i dati disponibili dal 1970 al 2010. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

La Busa di Scirocco è la bocca del Po di Pila caratterizzata dalla minore capacità idraulica, la cui efficienza in generale, coprendo percentualmente una quota compresa tra 1 e 6% rispetto alla portata a Pontelagoscuro, può ritenersi abbastanza stazionaria nel tempo e con deboli variazioni in relazione al regime idrometrico del fiume Po (Figura 22). Più dettagliatamente, sempre da Figura 22, si evince come sulla base dei dati storici l'efficienza della Busa di Scirocco fosse maggiore del 3% per gli stati di acque basse, mentre per condizioni idrometriche di acque medie e alte presentava un'efficienza minore del 3%. Oggi tali rapporti sono invece leggermente variati mostrando una tendenza ad un aumento di efficienza nel regime di "acque alte".

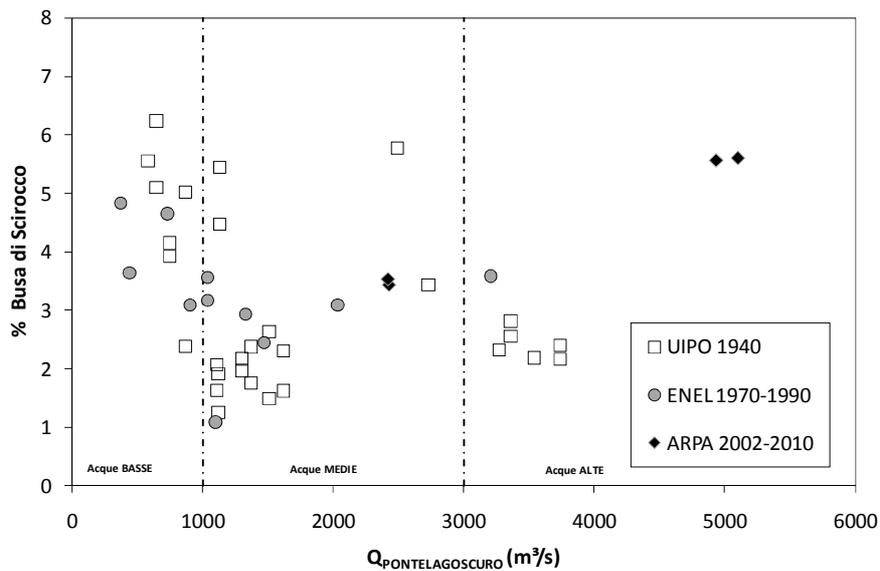


Figura 22. Percentuale della portata media giornaliera a Pontelagoscuro convogliata in mare dalla Busa di Scirocco. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili.

Se viene analizzata la distribuzione dei valori di portata misurata sulla Busa di Scirocco rispetto al valore complessivo delle tre bocche del Po di Pila (cfr., Figura 23) si nota come, nel tempo, sembrerebbe essersi incrementata l'efficienza di questo ramo deltizio. Il valore medio del periodo 1927-1939 è pari a 5.2%, mentre il valore medio del periodo 1970-2010 (escluse le due misure eseguite da ENEL in condizioni di magra eccezionale) è pari a 8.5%. Le ultime campagne di misura (2002-2010) sembrano confermare il leggero incremento dell'efficienza del ramo di Scirocco con valori superiori ai dati storici per portate sul ramo di Pila superiori a 900 m³/s. Invece, per portate complessive minori di 500 m³/s si assiste ad un repentino aumento dell'attività idraulica di questo ramo deltizio (in rapporto al comportamento idraulico delle tre bocche a mare del Po di Pila), anche se la marcata azione delle maree, ancor più significativa nel caso di portate estremamente ridotte, non sempre permette una agevole e corretta valutazione simultanea delle portate transitanti.

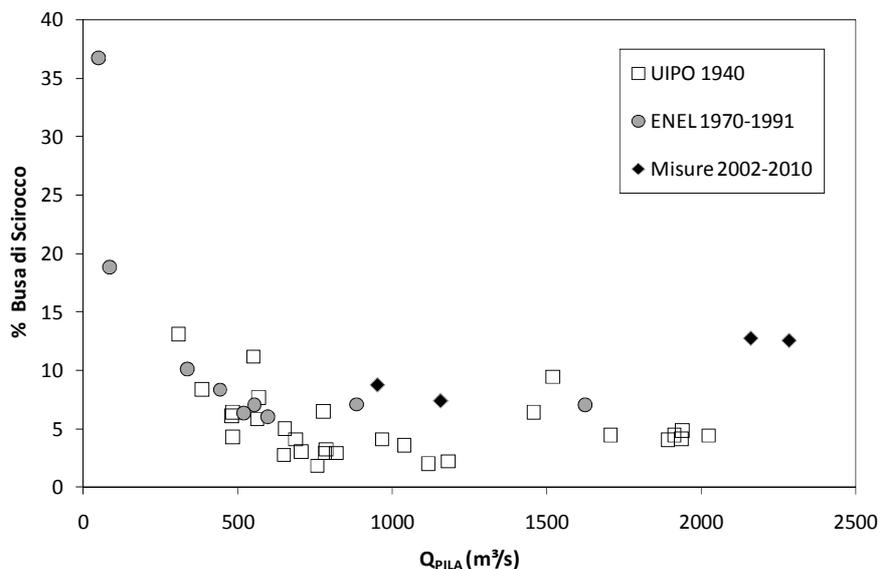


Figura 23. Percentuale della portata complessiva del Po di Pila convogliata in mare dalla Busa di Scirocco. Confronto grafico tra le misure recenti e i dati storici disponibili. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

Avendo già fornito (Figura 18 e Figura 21) le relazioni che legano la percentuale di portata convogliata rispettivamente dalla Busa di Tramontana e di Levante, rispetto alla portata totale delle bocche del Po di Pila, è possibile risalire analiticamente alla relazione che esprime, sempre in termini percentuali, la portata smaltita in mare dalla Busa di Scirocco. In Figura 24 si mostra il buon adattamento della relazione ottenuta ai dati sperimentali.

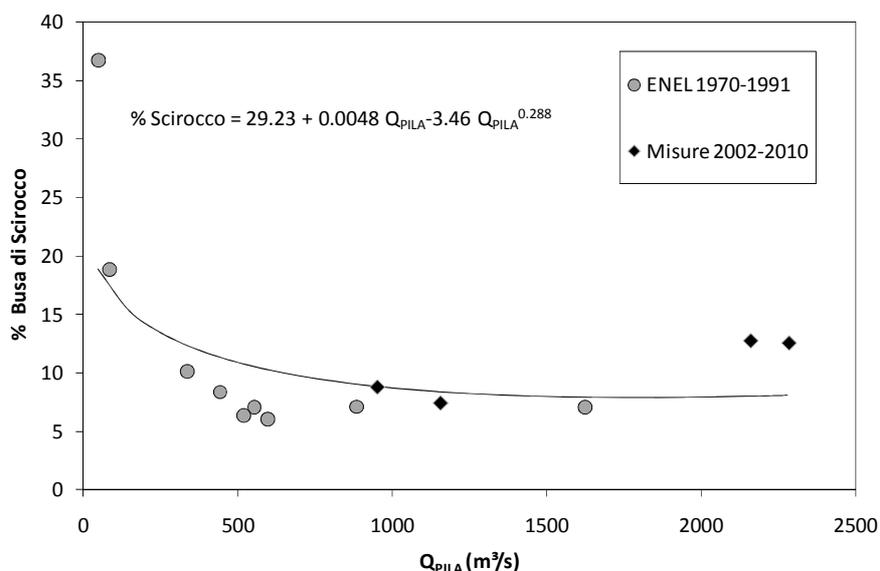


Figura 24. Valori percentuali della portata convogliata dalla Busa di Scirocco rispetto alla portata complessiva del Po di Pila. Andamento della relazione ricavata analiticamente sulla base delle relazioni proposte per le altre bocche del Po di Pila. Viene indicata come Q_{PILA} la portata ottenuta dalla somma dei valori misurati nelle tre bocche.

	SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011	Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale		Pagina 24 di 44

BOCCHES DEL PO DI TOLLE: BUSA STORIONA, BUSA DEL BASTIMENTO E BOCCA DEL PO DI TOLLE

Sulle bocche del Po di Tolle sono state condotte recentemente (2007 e 2010) due campagne di misura. Le misure storiche reperite in letteratura si rifanno a due studi condotti da ENEL nel 1991 e nel 1992. Le misure recenti non sono agilmente confrontabili con le osservazioni storiche disponibili, in conseguenza delle diverse modalità di acquisizione dei dati e delle significative variazioni morfologiche che hanno interessato la Sacca dei Bonelli nell'ultimo quarantennio.

Più dettagliatamente le misure condotte nel 2010 sono state eseguite per valori di portata del Po di Tolle a Scardovari pari a circa 1100 m³/s, quelle del 2007 con deflussi a Scardovari di circa 400 m³/s mentre le misure ENEL hanno indagato la ripartizione per portate a Scardovari comprese tra 70 e 450 m³/s. Il confronto dei dati di ripartizione relativi alle ultime due campagne non hanno evidenziato particolari variazioni nell'efficienza idraulica delle bocche del Po di Tolle, mentre si osserva una certa discordanza con i valori raccolti da ENEL.

Nel novembre 2010 la Sacca dei Bonelli risultava completamente allagata, questo ha impedito l'esecuzione di una misura diretta della portata convogliata della Busa del Bastimento che è stata determinata per differenza rispetto al totale del Po di Tolle: ne è risultata una capacità idraulica pari al 4.4% della portata del Po di Tolle, contro un valore medio delle misure condotte nel 2007 pari a 5.7%, seppur in un differente regime idrometrico. La media dei dati ENEL rilevati a 1.5 km a monte della foce della Busa del Bastimento, dal 1972 al 1976 è invece pari al 20.3% della portata complessiva del Po di Tolle. Tale variazione di comportamento risulta spiegabile con gli interventi eseguiti alla fine degli anni '80 – inizio anni '90 e relativi alla riapertura del collegamento con la laguna in corrispondenza della biforcazione della Busa di Bastimento. Tale intervento è stato realizzato, nell'ambito dei lavori di sistemazione dell'ansa di Volta Vaccari, con lo scopo di mantenere inalterate le percentuali di ripartizione tra i due rami di Pila e Tolle.

Nel rapporto steso da UIPO nel 1940 si riporta come, secondo alcune misure eseguite negli anni 1938 e 1939, la portata del Po di Tolle si distribuisse fra le due bocche di Tolle e del Bastimento rispettivamente nella misura del 27.3% e del 72.2%. L'adeguamento della foce del Po di Tolle mediante la realizzazione della Busa Storiona, per facilitare lo smaltimento in mare dei deflussi di piena non era ancora stato realizzato.

Un'analisi storica sull'andamento dell'efficienza della Busa del Bastimento non sembra delinearci chiaramente, in quanto, pur riferendosi alla medesima ricerca di fine anni '30, Grego e Mioni (1985) riportano un valore del rapporto tra la portata della Busa del Bastimento e quella complessiva del Po di Tolle decisamente inferiore e pari al 27.3%.

La Bocca di Tolle durante le misure del 2007 e 2010 convogliava rispettivamente il 17.2 e il 17.8% della portata del Po di Tolle misurata a Scardovari, valore prossimo a quello misurato da ENEL nel 1992 (12.5%).

La Busa Storiona mostra attualmente (sulla base delle campagne del 2007 e 2010) un notevole grado di efficienza idraulica, facendo defluire in mare circa il 77% della portata totale in arrivo.

CONFRONTO TRA MISURE DI CAMPO E MODELLAZIONE IDRAULICA DEGLI EVENTI DEL 2010

Vengono di seguito esposti i risultati ottenuti dal confronto tra le misure di portata effettuate durante gli eventi di morbida/piena di giugno e novembre 2010 e gli idrogrammi di output ottenuti dalle simulazioni effettuate con due modelli idraulici. Il primo è il modello unidimensionale Sobek (Deltares) implementato da ARPA Emilia Romagna per conto di AIPO (nell'ambito delle implementazioni modellistiche per la previsione di piena lungo l'asta di Po), il secondo è il modello bidimensionale agli elementi finti del Consorzio Delta Po (D'Alpaos e Defina, 1993, D'Alpaos et. al., 1994, Consorzio Delta Po Adige, 2006) implementato da Ipros Ingegneria Ambientale per la zona del Delta. Il modello Sobek usa come condizioni al contorno di valle i dati di marea del modello ADRIA-ROMS, che, in simulazioni precedenti, aveva fornito buoni riscontri con i punti di osservazione disponibili. Il modello 2D del Consorzio è stato applicato ad un tratto fluviale che si estende da circa 3.5 km a monte dell'incile del Po di Goro (località Berra circa 45 km a valle dalla sezione di Pontelagoscuro) fino al mare. La condizione al contorno di monte è rappresentata dall'idrogramma prodotto dal modello Sobek di ARPAER. Sono di seguito esposti sia in forma tabellare (Tabella 4 e Tabella 5) che grafica i risultati delle simulazioni.

Giugno 2010			Modello 2D Consorzio Delta Po				Sobek ARPAER		
Sez.	Ramo	Ora	Qmis(m ³ /s)	Qmod (m ³ /s)	ΔQ (m ³ /s)	Δ%	Qmod (m ³ /s)	ΔQ (m ³ /s)	Δ%
S0	Po di Goro	17.15	668	735	67	10	757	89	13
S1	Po di Venezia	9.23	4251	4287	36	1	4273	22	1
S1	Po di Venezia	12.03	4093	4339	246	6	4262	170	4
S1	Po di Venezia	15.42	4129	4278	150	4	4199	70	2
S2	Po di Gnocca	10.30	763	837	74	10	981	218	29
S2	Po di Gnocca	12.48	747	837	90	12	980	232	31
S3	Po di Maistra	14.54	208	230	22	11	299	91	44
S4	Po di Tolle	11.24	1037	1022	-15	-1	575	-462	-45
S4b	Po di Pila	14.21	2202	2254	52	2	2414	212	10
S4b	Po di Pila	12.22	2193	2271	78	4	2436	243	11
S5	Busa di Scirocco	15.00	275	215	-60	-22			
S6	Busa Dritta	15.25	1215	1362	147	12			
S7	Busa di Tramontana	15.55	671	653	-18	-3			

Tabella 4. Scarti espressi in termini assoluti e percentuali tra i valori di portata misurati ed i risultati delle simulazioni per la piena di giugno 2010.

In merito all'evento di giugno le simulazioni effettuate con entrambi i modelli sembrano ben rappresentare le portate in transito sul Po di Venezia con scarto percentuale massimo del 6%. La portata del Po di Goro viene invece sovrastimata da entrambi i modelli di un valore compreso tra il 10 e il 13%. Il modello bidimensionale del Consorzio di Bonifica utilizza come condizione al contorno di monte le portate calcolate con il modello Sobek, di conseguenza una possibile sovrastima dei deflussi in ingresso da parte di quest'ultimo, potrebbe influenzare i risultati della successiva modellazione. Per quanto riguarda gli altri rami deltizi principali, sembra affermarsi una maggiore accuratezza del modello bidimensionale, con scarti compresi tra il 4 e il 12%. In particolare il Sobek sovrastima significativamente l'efficienza idraulica del Po di Maistra e sottostima le portate in transito sul Po di Tolle. Da segnalare una sottostima da parte del modello 2D di circa il 20% delle portate smaltite in mare dalla Busa di Scirocco.



arpav

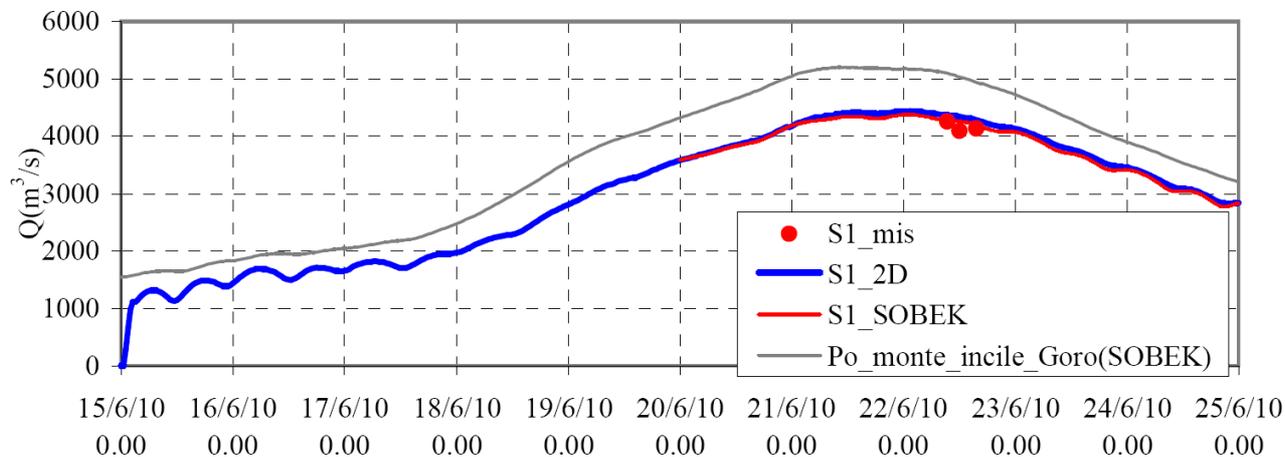
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

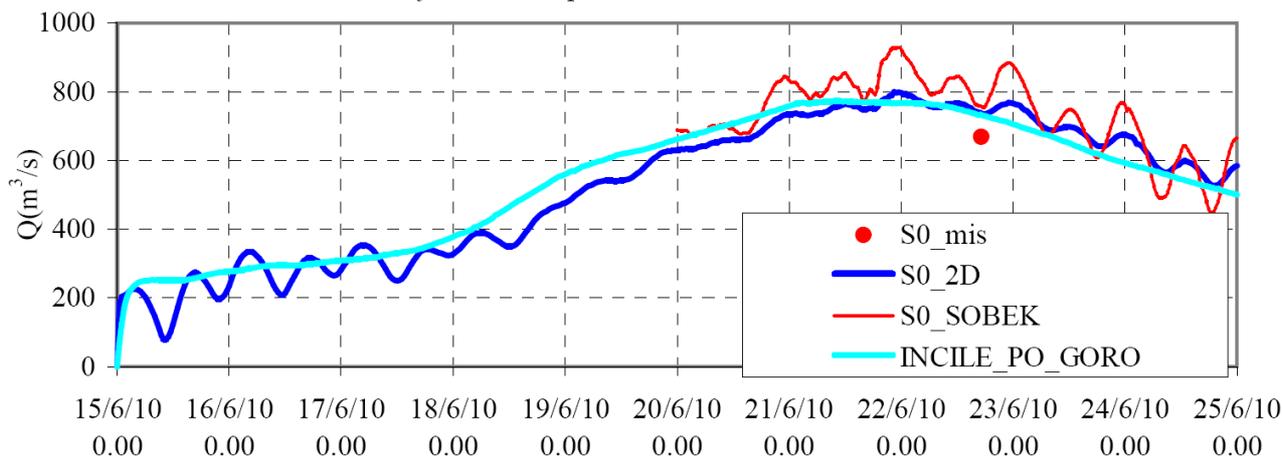
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 26 di 44

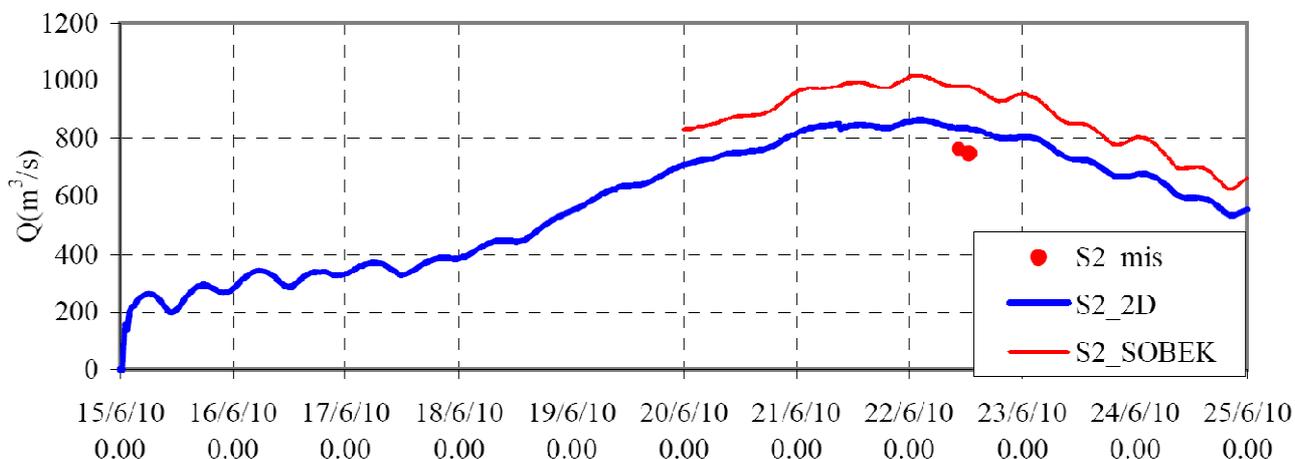
15 giugno-25 giugno 2010 - S1 - Po di Venezia
confronto tra le portate misurate e calcolate



15 giugno-25 giugno 2010 - S0 - Po di Goro
confronto tra le portate misurate e calcolate



15 giugno-25 giugno 2010 - S2 - Po di Gnocca
confronto tra le portate misurate e calcolate





arpav

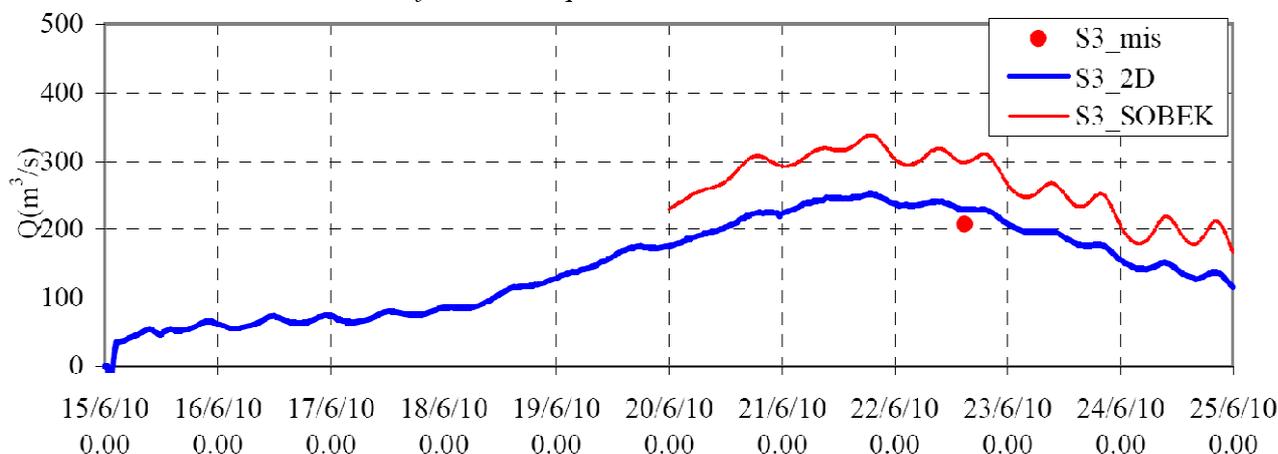
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

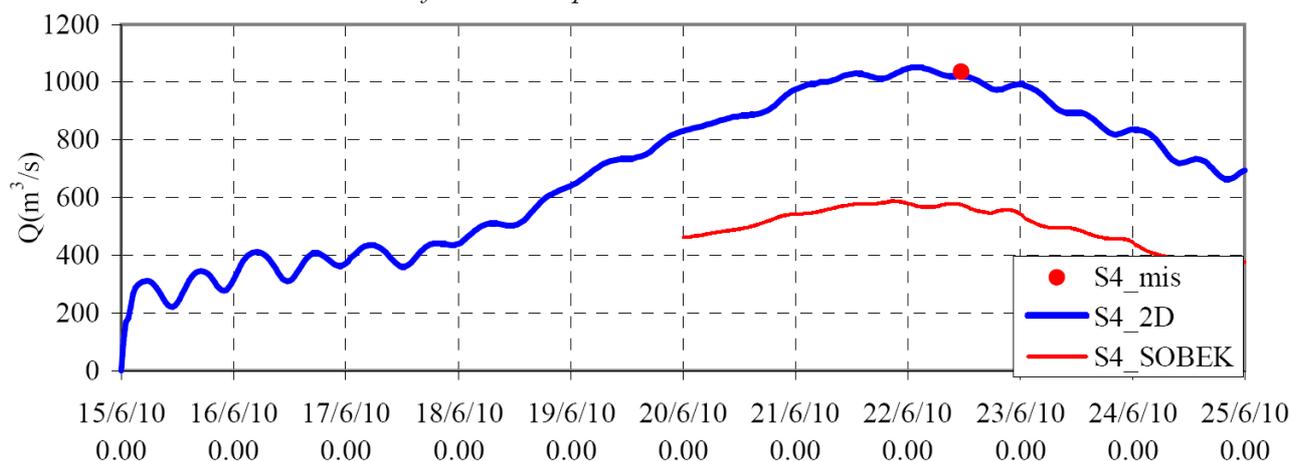
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 27 di 44

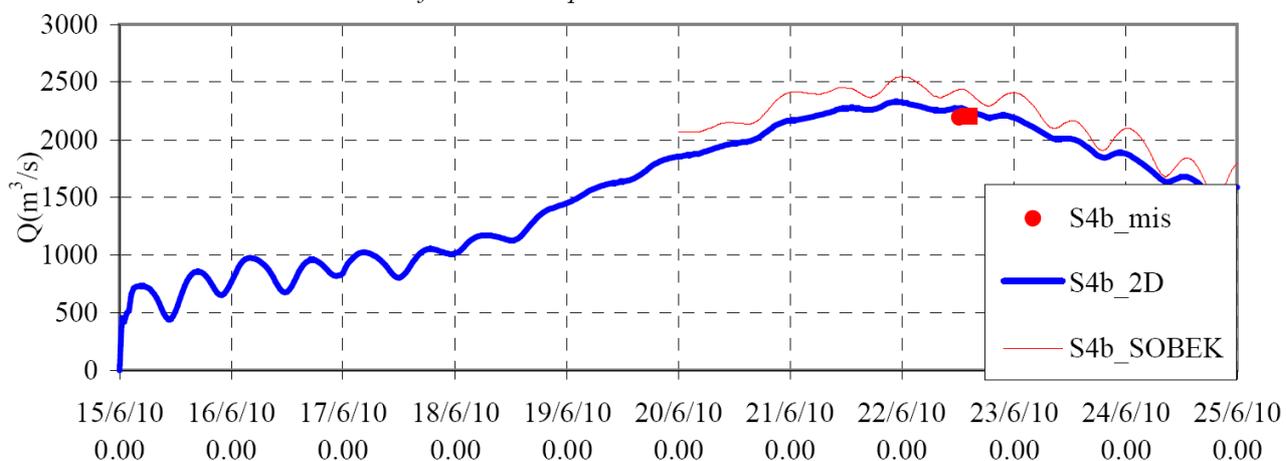
*15 giugno-25 giugno - S3- Po di Maistra
confronto tra le portate misurate e calcolate*



*15 giugno-25 giugno 2010 - S4- Po di Tolle
confronto tra le portate misurate e calcolate*



*15 giugno-25 giugno 2010 - S4b- Po di Pila
confronto tra le portate misurate e calcolate*





arpav

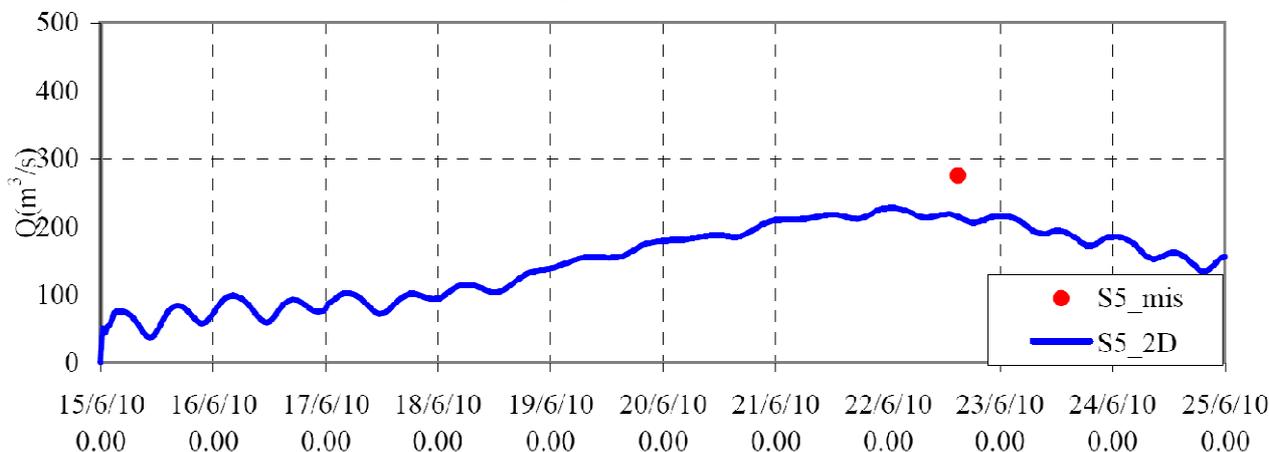
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

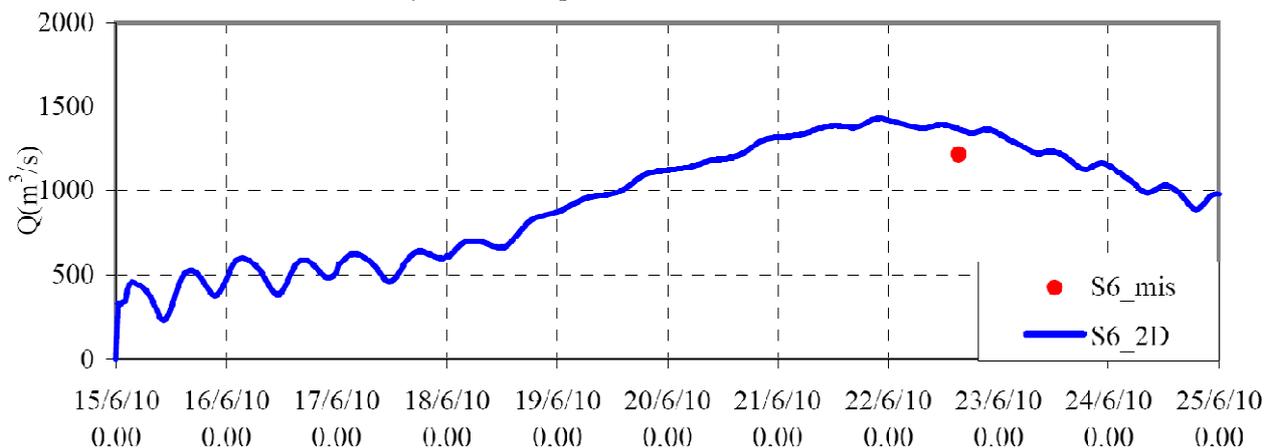
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 28 di 44

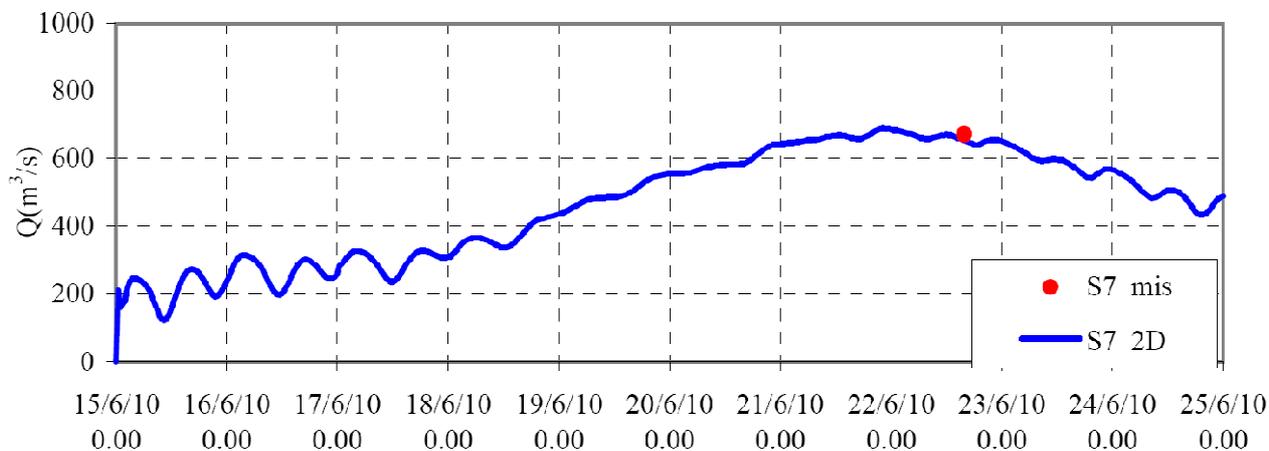
15 giugno-25 giugno 2010 - S5- Busa di Scirocco
confronto tra le portate misurate e calcolate



15 giugno-25 giugno 2010 - S6- Busa Dritta
confronto tra le portate misurate e calcolate



15 giugno-25 giugno 2010 - S7- Busa Di Tramontana
confronto tra le portate misurate e calcolate



Per quanto riguarda la campagna di misura di novembre 2010 i risultati della modellistica si delineano meno accurati rispetto all'analogo confronto svolto sui dati di giugno (Tabella 4). D'altra parte anche le misure di portata risentono di una certa incongruenza manifestando degli scompensi nel bilancio dei deflussi misurati. In particolare tra il Po di Venezia e la somma dei deflussi monitorati negli altri rami si osserva una "perdita" apparente di circa 700 m³/s. Anche per questo evento sia il modello bidimensionale che il Sobek approssimano in maniera soddisfacente la portata misurata sul Po di Venezia. Viene invece confermata la sovrastima di entrambi i modelli delle portate del Po di Goro.

Per i rami di Gnocca, Maistra, Pila e Tolle si riscontra una generalizzata sovrastima con errori dal 15 al 26% per il modello 2D, mentre gli scostamenti sono assai più importanti per il modello Sobek e mantengono lo stessa tendenza manifestata nelle simulazioni dell'evento di giugno: sovrastima per Gnocca, Maistra e Pila e sottostima dei deflussi del Po di Tolle. Permane per il modello del Consorzio di Bonifica una sottostima prossima al 20% delle portate sulla Busa di Scirocco.

Da segnalare la buona capacità predittiva del modello 2D relativamente al comportamento delle bocche della foce del Po di Tolle (sezioni: S4c, BSM, BSV, S4e).

Novembre 2010			Modello 2D Consorzio Delta Po				Sobek ARPAER		
Sez.	Ramo	Ora	Q _{mis} (m ³ /s)	Q _{mod} (m ³ /s)	ΔQ (m ³ /s)	Δ%	Q _{mod} (m ³ /s)	ΔQ (m ³ /s)	Δ%
S0	Po di Goro	14.19	655	859	204	31	1001	346	53
S1	Po di Venezia	9.22	4914	4775	-139	-3	4627	-287	-6
S2	Po di Gnocca	9.55	789	909	120	15	1042	253	32
S3	Po di Maistra	10.31	215	272	57	26	368	152	71
S4	Po di Tolle	11.08	993	1107	114	11	635	-358	-36
S4b	Po di Pila	15.27	2141	2417	276	13	2642	501	23
S4b	Po di Pila	9.38	2120	2480	360	17	2555	434	20
S4b	Po di Pila	10.56	2133	2497	364	17	2609	476	22
S4c	Po di Tolle	11.53	1087	1156	69	6	703	-384	-35
BSM	Busa Storiona	12.07	845	819	-26	-3			
BSV	Busa Storiona	12.33	959	835	-123	-13			
S4e	Po di Tolle	12.48	194	234	40	21			
S5	Busa di Scirocco	10.11	286	233	-53	-19			
S6	Busa Dritta	10.34	1337	1542	205	15			
S7	Busa di Tramontana	9.55	661	722	61	9			

Tabella 5. Scarti espressi in termini assoluti e percentuali tra i valori di portata misurati ed i risultati delle simulazioni per la piena di novembre 2010.



arpav

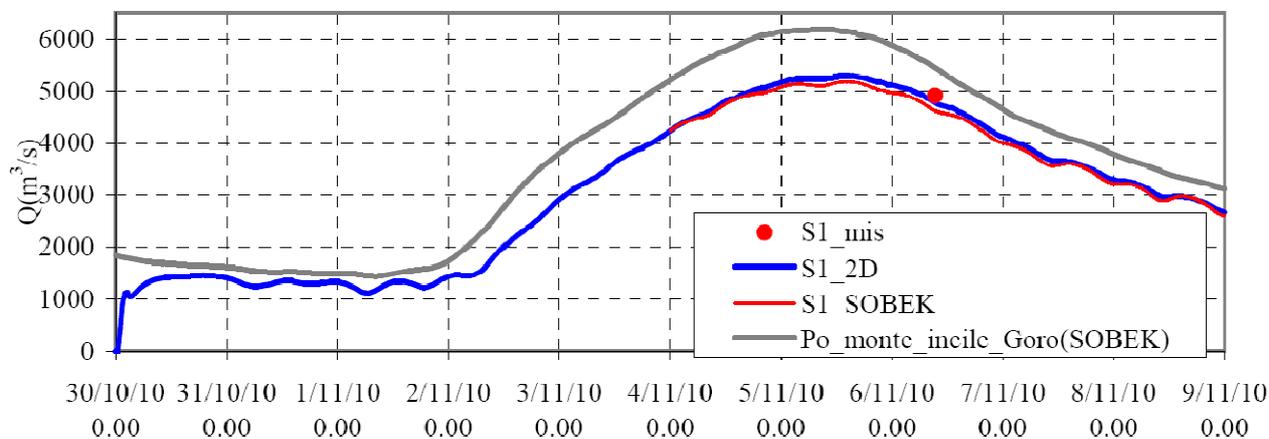
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

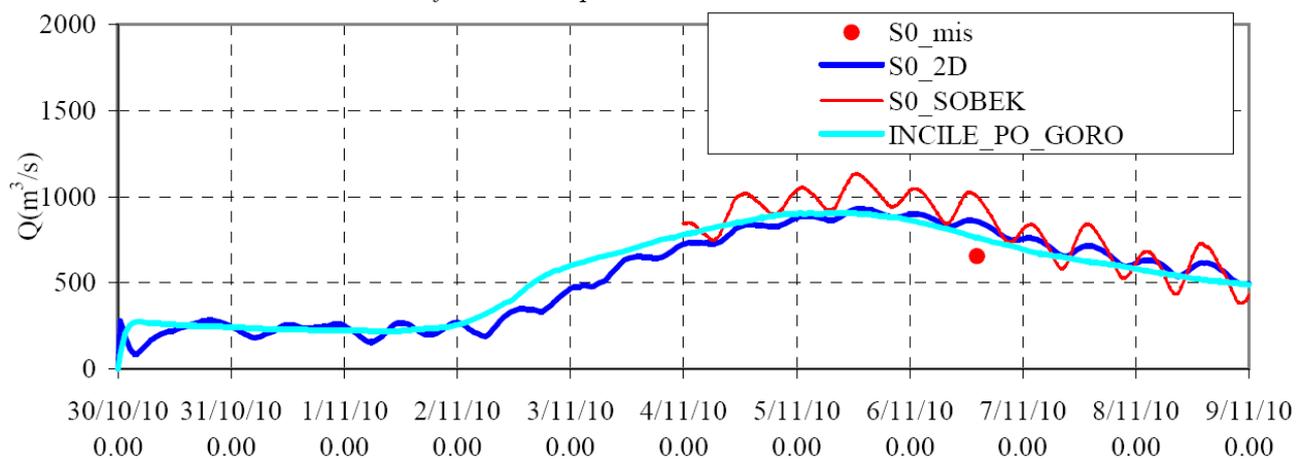
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 30 di 44

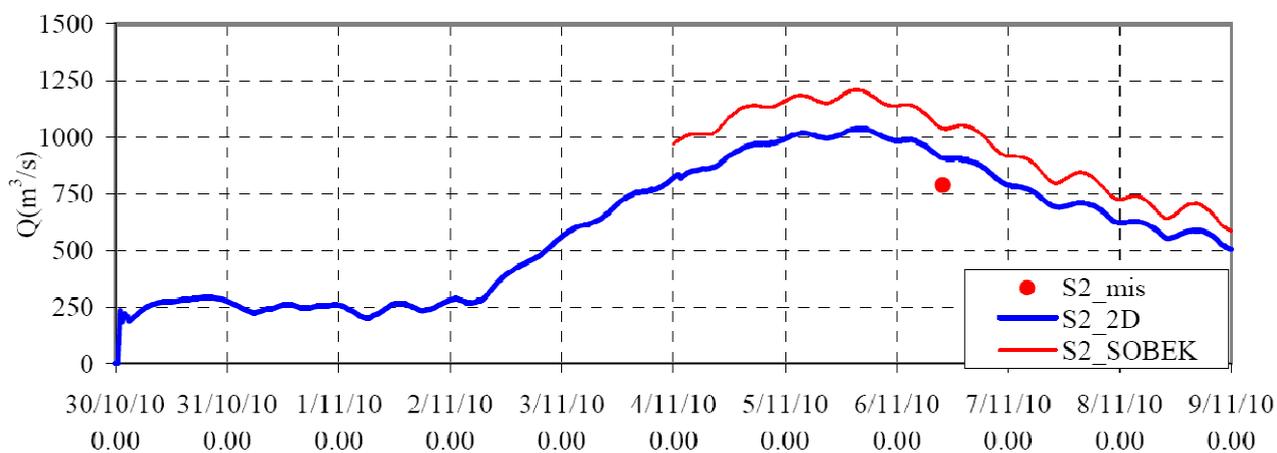
*30 ottobre-9 novembre 2010 - S1 - Po di Venezia
confronto tra le portate misurate e calcolate*



*30 ottobre-9 novembre 2010 - S0- Po di Goro
confronto tra le portate misurate e calcolate*



*30 ottobre-9 novembre 2010 - S2- Po di Gnoeca
confronto tra le portate misurate e calcolate*





arpav

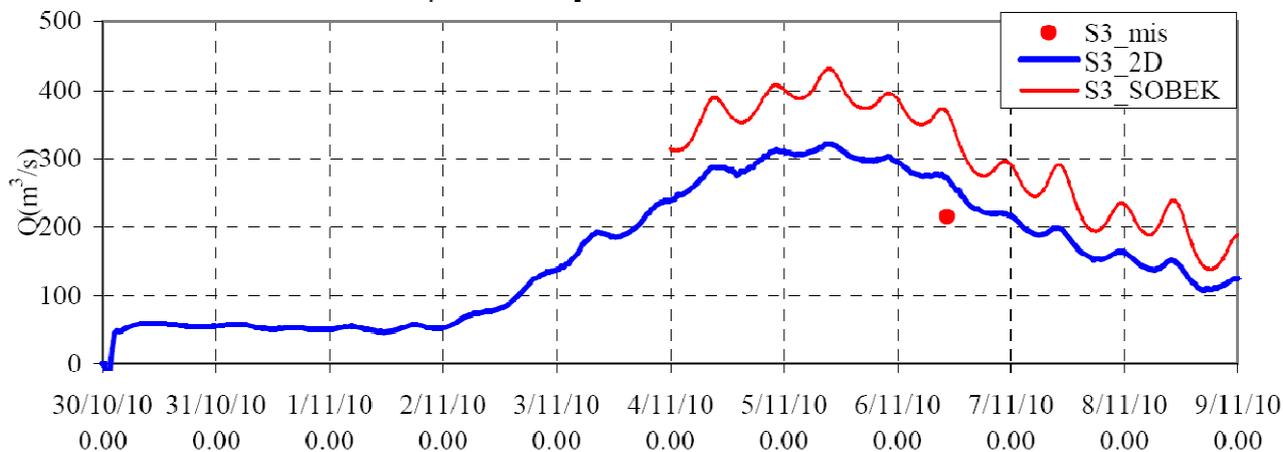
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

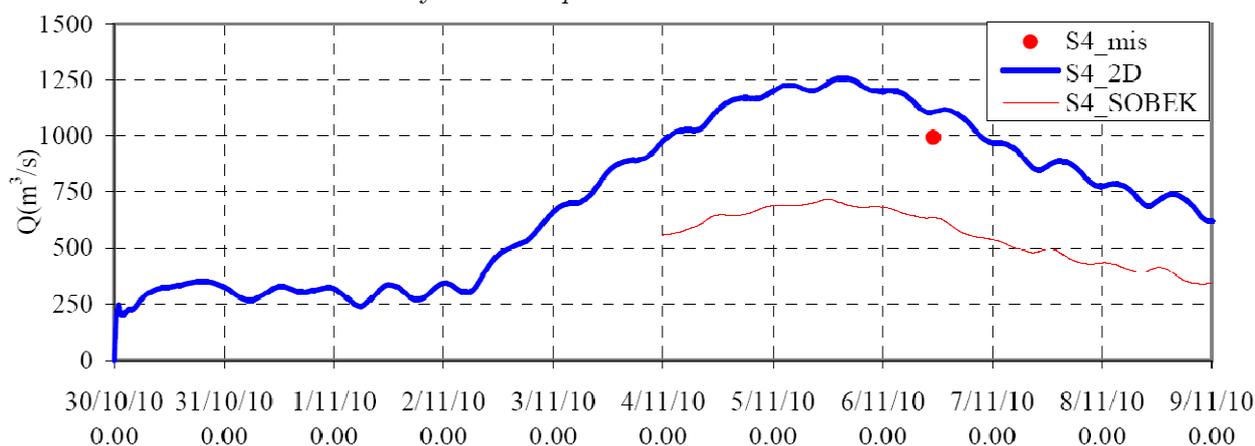
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 31 di 44

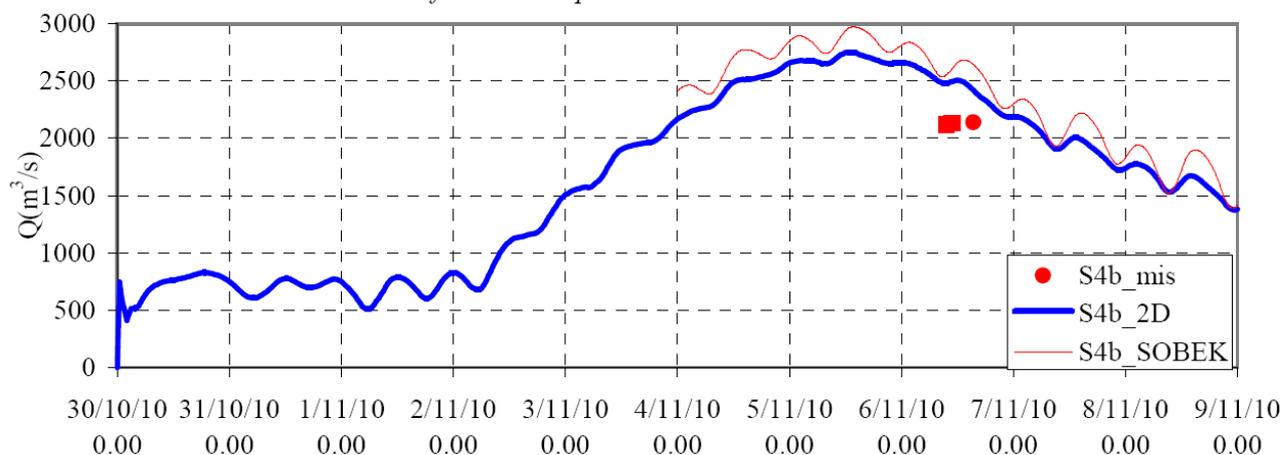
30 ottobre-9 novembre 2010 - S3- Po di Maistra
confronto tra le portate misurate e calcolate



30 ottobre-9 novembre 2010 - S4- Po di Tolle
confronto tra le portate misurate e calcolate



30 ottobre-9 novembre 2010 - S4b- Po di Pila
confronto tra le portate misurate e calcolate





arpav

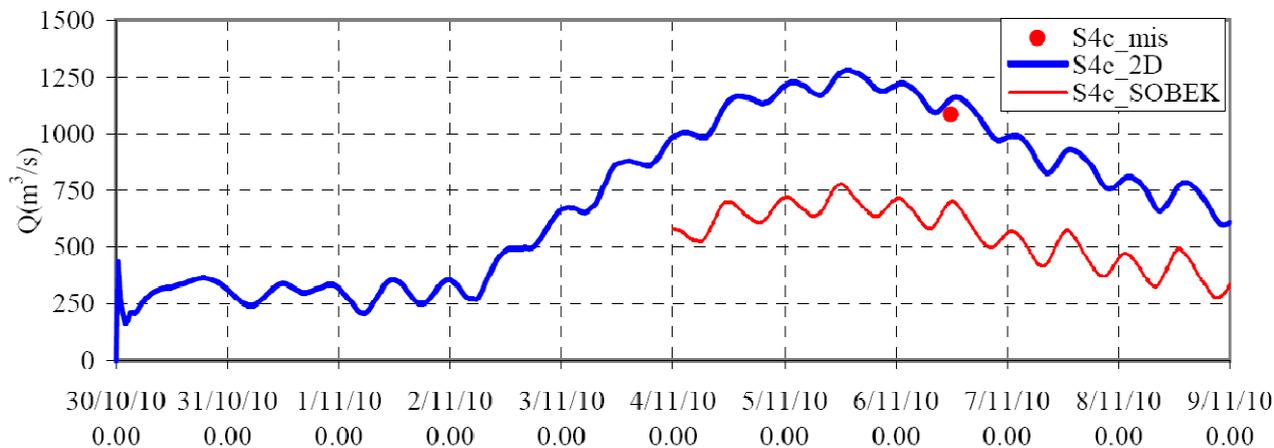
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

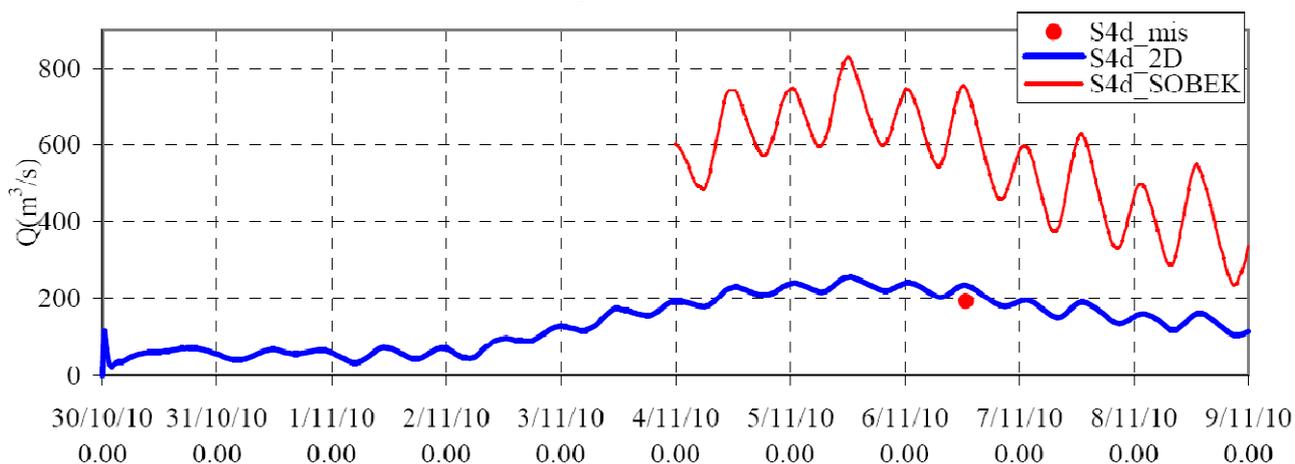
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 32 di 44

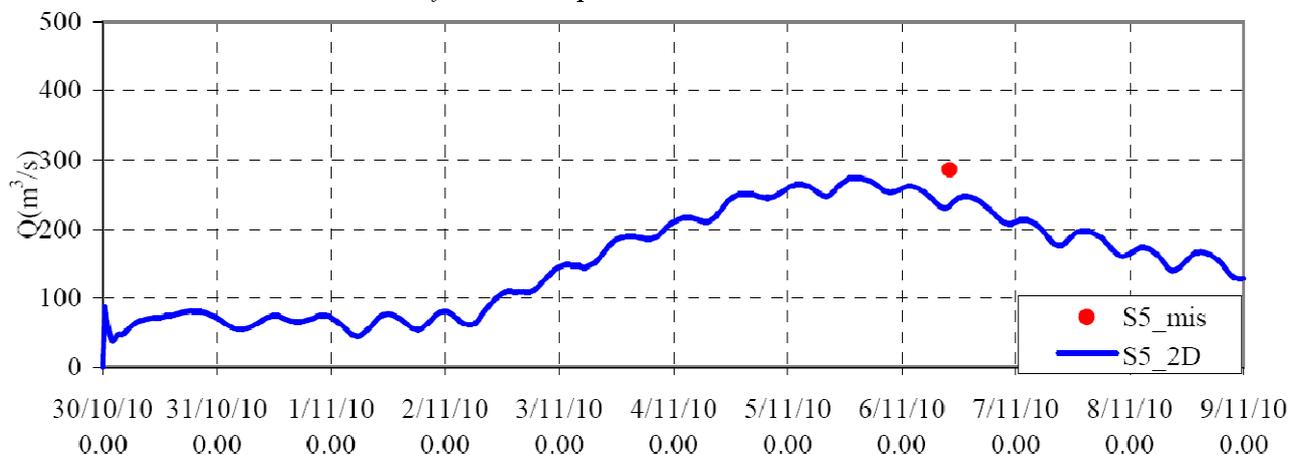
30 ottobre-9 novembre 2010 - S4c- Po di Tolle
confronto tra le portate misurate e calcolate



30 ottobre-9 novembre 2010 - S4d- Po di Tolle
confronto tra le portate misurate e calcolate



30 ottobre-9 novembre 2010 - S5- Busa di Scirocco
confronto tra le portate misurate e calcolate





arpav

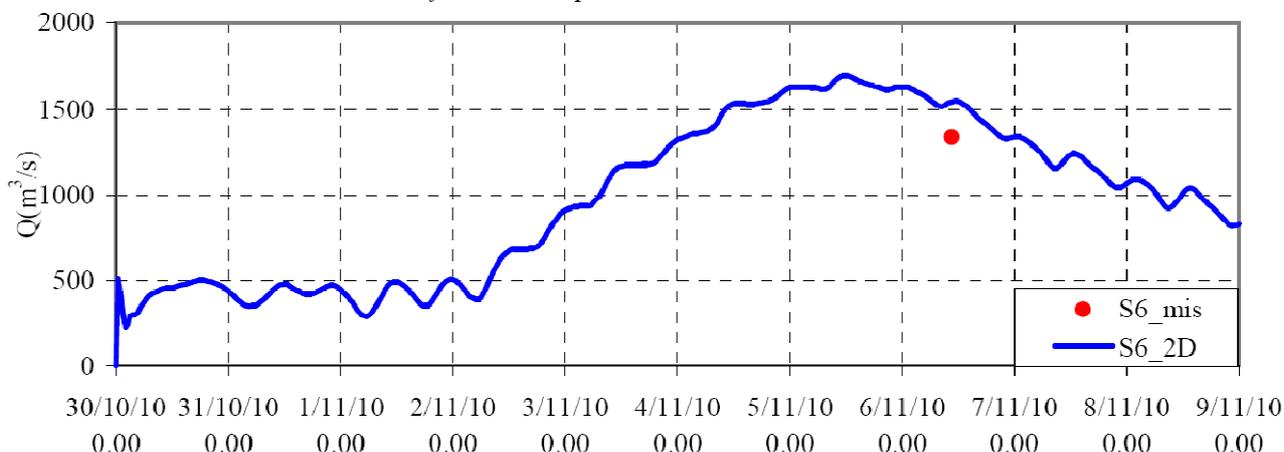
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

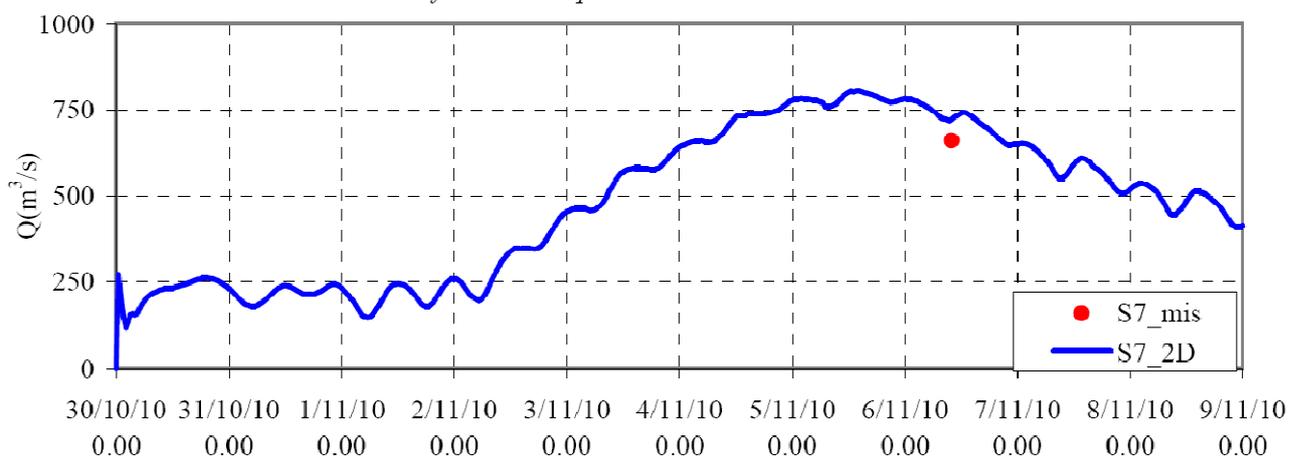
Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 33 di 44

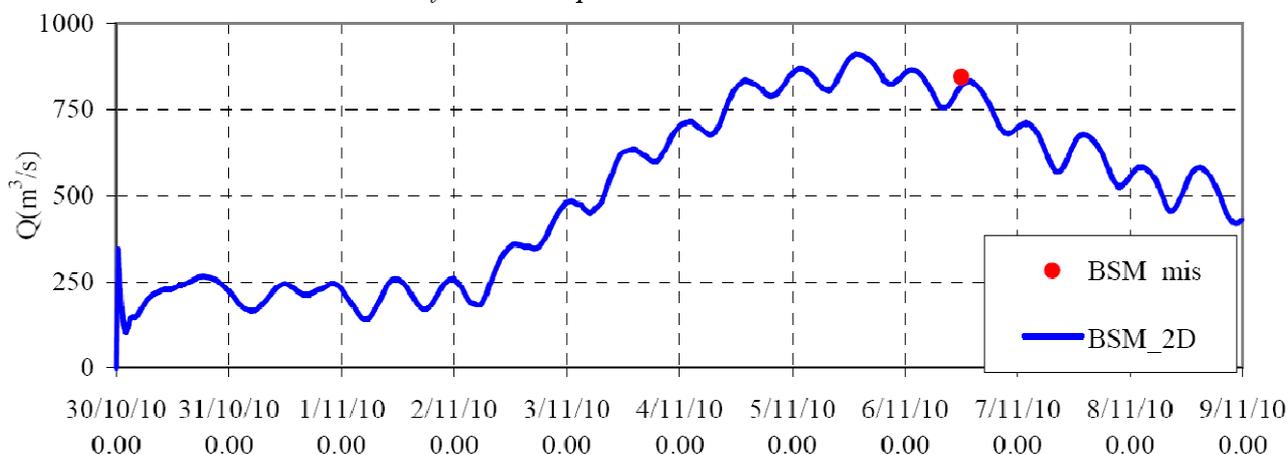
30 ottobre-9 novembre 2010 - S6- Busa Dritta
confronto tra le portate misurate e calcolate



30 ottobre-9 novembre 2010 - S7- Busa Di Tramontana
confronto tra le portate misurate e calcolate



30 ottobre-9 novembre 2010 - BSM- Busa Storiona Monte
confronto tra le portate misurate e calcolate





arpav

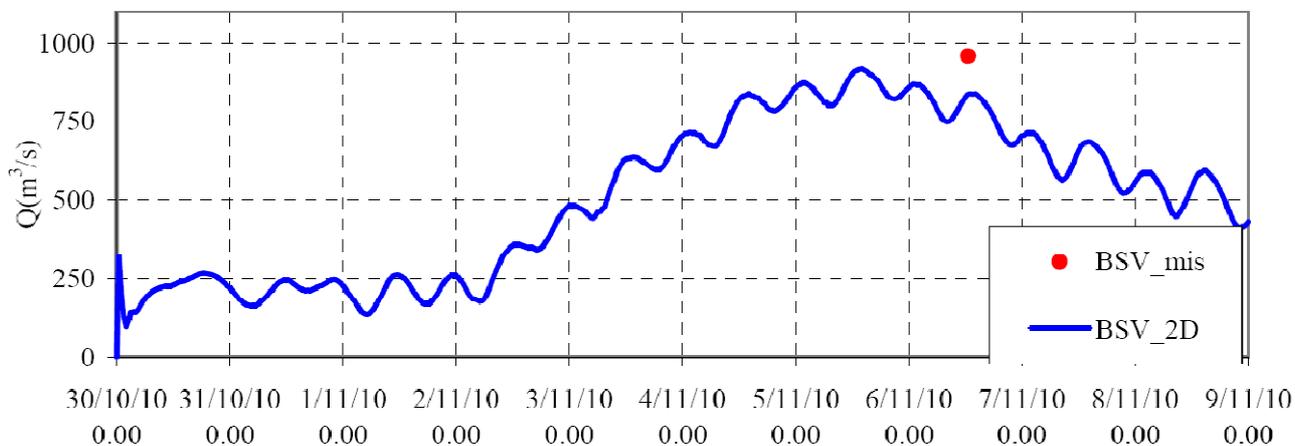
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 34 di 44

*30 ottobre-9 novembre 2010 - BSV- Busa Storiona Valle
confronto tra le portate misurate e calcolate*



Sulla base dei dati presentati si può pertanto osservare come soprattutto il modello 2D del Consorzio Delta Po si possa configurare come un utile strumento di analisi, utilizzabile anche in fase predittiva, con le opportune accortezze suggerite dagli scostamenti puntuali tra dati osservati e previsioni del modello. D'altro canto le osservazioni acquisite possono rappresentare un ulteriore elemento utile all'affinamento del modello. In particolare le misure effettuate durante la piena del 2011 (che non è stata oggetto di analisi modellistica nel presente lavoro) potranno fornire un importante contributo per migliorare la stima dell'efficienza del Po di Goro (sovrastimata da entrambi i modelli, più sensibilmente con il Sobek), fornendo un'informazione quantitativa corretta oltre che della portata ripartita anche del deflusso in entrata nel sistema deltizio.

 	SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011	Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12
Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale		Pagina 35 di 44

CONCLUSIONI

Per fornire una descrizione della diversa efficienza idraulica in relazione ai diversi stati idrometrici del fiume, e delle variazioni di questa nel tempo, sono stati analizzati i dati delle misure condotte in passato da UIPO ed ENEL sui diversi rami del Delta del Po e sulle bocche del Po di Pila e del Po di Tolle. Tali dati sono stati confrontati con quelli resi disponibili dalle recenti indagini (2002-2010) svolte da ARPA Veneto, ARPA Emilia Romagna e Consorzio Delta Po Adige. Le conclusioni salienti delle analisi svolte relativamente ai vari rami del Delta del Po possono essere brevemente riassunte:

- il Po di Goro ha manifestato nel tempo un incremento di efficienza idraulica in tutti i regimi idrometrici. In particolare l'officiosità di tale ramo presenta un trend crescente all'aumentare della portata complessiva in Po. Chiaramente il ramo del Po di Venezia presenta un comportamento speculare ed opposto. Le misure dirette di ripartizione tra Po di Venezia e Po di Goro in acque medie (Figura 4 e Figura 6) manifestano un significativo scostamento rispetto al trend delineato dai dati storici. Come già ribadito, l'esecuzione di ulteriori indagini, anche per regimi di acque medie, con misure dirette all'incile del Po di Goro, invece che alla Foce, permetterebbe di meglio interpretare i problemi di bilancio delle portate tra questi due rami deltizi;
- i dati recentemente acquisiti sul Po di Gnocca evidenziano una certa stazionarietà del suo comportamento in raffronto ai dati acquisiti, in tutti i regimi idrometrici, nel corso dell'ultima campagna sistematica (effettuata da Canali tra gli anni '40 e '50). Ad inizio secolo scorso invece si era manifestato un certo incremento nell'efficienza idraulica di tale ramo;
- il Po di Maistra ha invece manifestato un progressivo incremento di officiosità nel corso di tutte le campagne di monitoraggio condotte nell'arco di un intero secolo. Pur essendo ancor oggi il ramo quantitativamente meno significativo nella ripartizione delle portate del Delta la sua efficienza tende a crescere, oltre che nel tempo, anche per crescenti valori degli apporti complessivi del fiume Po;
- il Po di Tolle ha evidenziato, fino alla fine degli anni '50 una leggera riduzione della sua efficienza idraulica in tutti gli stati idrometrici. I dati successivamente acquisiti hanno invece suggerito una inversione di tendenza dove il ramo ha acquisito progressivamente sempre maggior rilievo soprattutto in condizioni di "acque alte", ovvero per alti valori di portata del fiume Po;
- specularmente opposto è risultato invece il comportamento del Po di Pila che ha evidenziato in modo univoco una progressiva diminuzione dell'efficienza idraulica con andamento tendenzialmente decrescente all'aumento degli apporti complessivi del fiume Po.
- Per quanto concerne il comportamento delle varie bocche a mare del Po di Pila il presente studio ha messo in luce come per la Busa di Tramontana anche le più recenti campagne di misura sembrino confermare un incremento dell'efficienza idraulica nel tempo di questo ramo deltizio. Per quanto concerne la variabilità dell'officiosità idraulica, in relazione agli stati del fiume, si evidenzia un incremento dell'attività idraulica all'aumentare dei deflussi del Po di Pila: passando da valori prossimi al 15% per portate a Pila di 500 m³/s a valori prossimi al 30% per portate a Pila oltre i 2000 m³/s.
- Sulla base delle misure più recenti disponibili (1970-2010), la Busa di Levante sembra mantenere invariata la sua capacità di deflusso rispetto alla portata complessiva del Po di Pila (Figura 20), con valori percentuali di efficienza compresi tra il 50 e il 60 % per tutti gli stati idrometrici indagati. La variazione dell'efficienza della Busa di Levante rispetto alle portate a Pontelagoscuro è in parte spiegata dalla diminuzione dell'attività del Po di Pila che a sua volta, secondo quanto segnalato da Grego (1985), è accentuata dall'incertezza della scala di deflusso utilizzata per la stima delle portate di riferimento (i.e., Pontelagoscuro).
- La Busa di Scirocco è il ramo minore del Po del Pila, la sua capacità idraulica risulta caratterizzata da valori compresi tra 1 e 6% della portata a Pontelagoscuro. Le misure più recenti non hanno evidenziato grosse variazioni nel tempo dell'officiosità idraulica salvo far propendere per un leggero incremento di questa

		<p>SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011</p>	<p>Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12</p>
<p>Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale</p>			<p>Pagina 36 di 44</p>

rispetto alle prime misure condotte da UIPO. Particolare risulta il comportamento della Busa di Scirocco in condizioni di magra estrema (due campagne di misura con portate a Pontelagoscuro di 372 e 440 m³/s) come messo in evidenza dai dati ENEL. Sulla base di tali dati l'efficienza di questo ramo sembra aumentare notevolmente, con valori, rispettivamente nelle due campagne, pari al 36% ed al 18% della portata di Pila a scapito di una significativa riduzione delle portate convogliate dalla Busa di Tramontana.

- Per le tre bocche del Po di Pila sono state proposte altrettante relazioni empiriche ricavate dalle misure disponibili negli ultimi 40 anni (1970-2010). La validità delle funzioni proposte, che esprimono in termini percentuali la ripartizione della portata del Po di Pila per ciascun ramo, va senz'altro verificata con l'esecuzione di nuove misure di portata in particolare per gli stati idrometrici di acque basse, mai indagati nel corso dell'ultimo decennio.
- In merito alle misure eseguite per stimare la ripartizione delle portate del Po di Tolle, risulta assai difficile poter effettuare delle valutazioni aventi carattere generale, alla luce delle importanti modifiche morfologiche che hanno interessato la Sacca di Bonelli. I dati acquisiti nel corso delle campagne condotte negli anni 2007 e 2010 evidenziano una sostanziale coerenza e stabilità di comportamento. Si rendono comunque necessari ulteriori rilievi per indagarne il comportamento idraulico in differenti stati idrometrici.
- L'applicazione della modellistica numerica, sulla base delle recenti informazioni geomorfologiche e idrodinamiche disponibili, ha consentito di intraprendere più accurate analisi dell'officiosità idraulica dei rami deltizi anche per regimi di portata non indagati sperimentalmente. I risultati modellistici supportano le evidenze sperimentali secondo le quali è possibile riscontrare una progressiva modifica nel tempo dei rapporti di ripartizione tra i vari rami. La disponibilità di dati aggiornati e le potenzialità delle nuove tecniche di misura offrono l'opportunità di affinare ulteriormente tali strumenti previsionali indispensabili anche nelle attività di pianificazione e progettazione degli interventi.
- Le utili indicazioni fornite dagli studi condotti hanno inoltre permesso di delineare specifiche esigenze di approfondimento del comportamento di alcuni rami in differenti regimi idrometrici. L'esperienza acquisita risulta inoltre basilare per la pianificazione e l'esecuzione di ulteriori campagne di misura volte a meglio definire il quadro conoscitivo qui solo parzialmente aggiornato. Si suggerisce pertanto l'opportunità di proseguire un accurato monitoraggio dell'evoluzione del comportamento idrodinamico di un ambiente mutevole quale il Delta del Po.

	<p>SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA: ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI ALL'ANNO 2011</p>	<p>Data 22/02/2012 Revisione 0 Relazione n° 02/12</p>
<p>Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio Servizio Idrologico Regionale</p>		<p>Pagina 37 di 44</p>

BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino del fiume Po; Piano di Gestione del Distretto idrografico del fiume Po, Parma, 2010.

Canali L.; Indagine sulla ripartizione della portata del Po tra i vari rami del Delta e sulla loro attività di deflusso; Giornale del Genio Civile, v 97, no. 12, 19 pp, 1959.

Consorzio di Bonifica Delta Po Adige, "Studi Idraulico marittimi nelle lagune deltizie – Lagune di Barbamarco e Canarin". Rapporto tecnico interno, Sipim s.r.l., 2006.

D'Alpaos, L. and A. Defina; Venice Lagoon hydrodynamics simulation by coupling 2D and 1D finite element models. Atti del VIII International Conference on Finite Elements in Fluids - New trends and applications. Barcellona 20-24 sett., 917-926, 1993

Defina A., D'Alpaos L., Matticchio B. - "A new set of equation for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models". Proceedings of Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas, ASCE Eds., Milano 1994.

ENEL; Delta Po – Ripartizione della portata del Po di Tolle nei rami terminali; ENEL –DSR – CRIS Servizio Idrologico Relazione 1042; 1992.

Fiorotto G., Caroni E. e Clemente P.; Modellazione idraulica, matematica e fisica dello stato di fatto del nodo idraulico Po di Venezia - Po di Goro, Università degli Studi di Trieste, Dipartimento Ingegneria Civile, Sezione idraulica e geotecnica, Trieste, 2002.

Grego G., Mioni F.; Aspetti morfologici e idrologici del Delta del Po e confronto con il passato; Seminario di Studi sull'Ecologia del Delta; Parma 11-12 aprile, 1985.

Grego G.; Idrologia del Delta del Po – Evoluzione dell'ultimo ventennio; ENEL –DSR – CRIS Servizio Idrologico Mestre (Ve); Convegno sull'ecologia del Delta del Po, Albarella (Ro), 1990.

UIPO; Idrografia e Idrologia del Po; Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico; Pubblicazione n.19, Roma, 1981.

UIPO; Indagine sul trasporto solido in sospensione nel Delta Padano relativa agli anni 1960-1961; Annali Idrologici 1962; Parte Seconda, Sezione F, pp 141-152, Parma, 1962.

UIPO; La piena del Po del novembre 1968; Annali Idrologici 1968; Parte Seconda, Sezione F, pp 139-154, Roma, 1971.

UIPO; Ricerche idrografiche nel Delta del Po; Ministero dei Lavori Pubblici, Servizio Idrografico, Pubblicazione n.14, Vol. 2, Roma, 1940.

ALLEGATO 01 – MISURE DI RIPARTIZIONE DELLA PORTATA SUI RAMI PRINCIPALI DEL DELTA

FONTE	Portate									Percentuali di ripartizione					
	Ramo	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila	Po a Pontelagoscuro	Q totale	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila
	Codice sezione	S0	S1	S2	S3	S4	S4b	P1	S0+S2+S3+4+S4b	S0	S1	S2	S3	S4	S4b
DATA	m ³ /s (media giornaliera)	m ³ /s	%	%	%	%	%	%							
UIPO 1940	3-dic-26	456	4370	537	88	749	2997	4580	4826	9.4	90.6	11.1	1.8	15.5	62.1
UIPO 1940	10-dic-26	226	2764	379	58	465	1862	2900	2990	7.5	92.5	12.7	1.9	15.6	62.3
UIPO 1940	11-dic-26	191	2510	343	51	441	1675	2710	2700	7.1	92.9	12.7	1.9	16.3	62.0
UIPO 1940	13-dic-26	151	2191	298	48	406	1439	2440	2342	6.5	93.5	12.7	2.0	17.3	61.4
UIPO 1940	14-dic-26	163	2138	259	46	417	1417	2340	2301	7.1	92.9	11.2	2.0	18.1	61.6
UIPO 1940	23-giu-27	104	1549	209	37	339	964	1820	1653	6.3	93.7	12.6	2.2	20.5	58.3
UIPO 1940	24-giu-27	82	1363	191	33	303	837	1690	1445	5.7	94.3	13.2	2.3	20.9	57.9
UIPO 1940	12-lug-27	61	1203	146	23	187	847	1690	1264	4.9	95.1	11.5	1.8	14.8	67.0
UIPO 1940	14-lug-27	126	1712	204	34	292	1182	1900	1838	6.9	93.1	11.1	1.8	15.9	64.3
UIPO 1940	16-lug-27	79	1500	182	29	237	1053	1680	1579	5.0	95.0	11.5	1.8	15.0	66.7
UIPO 1940	10-dic-27	320	3532	445	77	593	2418	3440	3852	8.3	91.7	11.5	2.0	15.4	62.8
UIPO 1940	11-dic-27	367	3840	485	81	632	2642	3780	4206	8.7	91.3	11.5	1.9	15.0	62.8
UIPO 1940	16-dic-27	182	1984	314	44	449	1177	2340	2166	8.4	91.6	14.5	2.0	20.7	54.3
UIPO 1940	8-feb-28	41	826	131	14	165	517	1190	867	4.7	95.3	15.1	1.6	19.0	59.6
UIPO 1940	11-feb-28	22	920	114	12	158	636	1060	942	2.3	97.7	12.1	1.2	16.8	67.5
UIPO 1940	10-lug-29	9	706	71	8	79	547	805	715	1.2	98.8	10.0	1.2	11.1	76.6
UIPO 1940	12-lug-29	13	768	81	8	104	574	832	780	1.6	98.4	10.4	1.0	13.4	73.6
UIPO 1940	11-set-29	0	480	57	8	68	347	560	481	0.1	99.9	11.8	1.7	14.2	72.2
UIPO 1940	13-set-29	1	495	68	8	66	353	607	495	0.1	99.9	13.7	1.6	13.3	71.3
UIPO 1940	10-giu-30	215	2252	290	62	410	1490	2730	2467	8.7	91.3	11.7	2.5	16.6	60.4
UIPO 1940	13-giu-30	272	2541	361	65	498	1617	2800	2814	9.7	90.3	12.8	2.3	17.7	57.5
UIPO 1940	8-ott-31	30						637		4.7					
UIPO 1940	9-ott-31	73						624		11.7					
UIPO 1940	10-ott-31			109				624				17.5			
UIPO 1940	11-ott-31			124				624				19.8			
UIPO 1940	30-apr-32	30	991	110	16	159	706	975	1021	2.9	97.1	10.8	1.5	15.6	69.2
UIPO 1940	30-apr-32	26	867	96	14	143	614	975	893	2.9	97.1	10.8	1.5	16.0	68.8
UIPO 1940	2-mag-32	19	781	98	14	87	582	851	800	2.4	97.6	12.3	1.7	10.9	72.7
UIPO 1940	2-mag-32	23	768	93	13	84	577	851	791	2.9	97.1	11.8	1.6	10.7	73.0
UIPO 1940	4-mag-32	22	705	100	15	98	491	1050	727	3.0	97.0	13.8	2.1	13.5	67.6
UIPO 1940	27-giu-33	311	2877	426	85	477	1889	3260	3188	9.8	90.2	13.4	2.7	15.0	59.2
UIPO 1940	28-giu-33	302	2878	434	83	495	1866	3170	3180	9.5	90.5	13.7	2.6	15.6	58.7
UIPO 1940	28-giu-33	194	2831	424	83	520	1804	3170	3025	6.4	93.6	14.0	2.7	17.2	59.6
UIPO 1940	30-giu-33	279	2619	391	71	476	1681	3130	2898	9.6	90.4	13.5	2.5	16.4	58.0
UIPO 1940	30-giu-33	282	2647	386	72	502	1687	3130	2929	9.6	90.4	13.2	2.5	17.1	57.6
UIPO 1940	1-lug-33	248	2489	353	60	464	1611	2710	2737	9.1	90.9	12.9	2.2	17.0	58.9
UIPO 1940	1-lug-33	230	2364	358	59	456	1491	2710	2594	8.9	91.1	13.8	2.3	17.6	57.5
UIPO 1940	16-feb-34	32	825	113	11	132	569	1020	858	3.8	96.2	13.1	1.3	15.4	66.4
UIPO 1940	17-feb-34	33	846	110	11	142	583	1020	880	3.8	96.2	12.5	1.3	16.2	66.2
UIPO 1940	6-giu-34	242	2340	353	62	447	1479	2970	2582	9.4	90.6	13.7	2.4	17.3	57.3
UIPO 1940	9-giu-34	324	2922	443	87	574	1818	3500	3245	10.0	90.0	13.7	2.7	17.7	56.0
UIPO 1940	12-lug-35	26	914	114	16	118	667	1170	940	2.7	97.3	12.1	1.7	12.5	70.9
UIPO 1940	12-lug-35	26	949	111	16	113	709	1170	975	2.7	97.3	11.4	1.6	11.6	72.7
UIPO 1940	13-lug-35	24	851	112	15	123	601	1170	875	2.7	97.3	12.8	1.7	14.0	68.7



Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 39 di 44

FORTE	DATA	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila	Po a Pontelagoscuro	Qtot	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila
UIPO 1940	23-set-36	228	2446	357	72	367	1651	2590	2674	8.5	91.5	13.3	2.7	13.7	61.7
UIPO 1940	25-giu-37	133	1793	256	44	225	1269	2000	1926	6.9	93.1	13.3	2.3	11.7	65.9
UIPO 1940	25-giu-37	126	1788	247	40	177	1324	1940	1914	6.6	93.4	12.9	2.1	9.2	69.2
UIPO 1940	26-giu-37	94	1645	222	34	204	1184	1830	1739	5.4	94.6	12.8	2.0	11.7	68.1
UIPO 1940	26-giu-37	85	1633	219	34	204	1176	1810	1718	5.0	95.0	12.7	2.0	11.9	68.4
UIPO 1940	14-giu-38	38	1172	120	18	172	862	1275	1210	3.2	96.8	9.9	1.5	14.2	71.3
UIPO 1940	14-giu-38	50	1256	162	26	190	877	1375	1305	3.8	96.2	12.4	2.0	14.5	67.2
UIPO 1940	15-giu-38	86	1561	202	34	232	1093	1720	1646	5.2	94.8	12.3	2.0	14.1	66.4
UIPO 1940	15-giu-38	112	1599	224	39	259	1078	1870	1711	6.6	93.4	13.1	2.3	15.1	63.0
Canali 1959	20-giu-39	159	1921	318	53	286	1264	2180	2080	7.6	92.4	15.3	2.5	13.8	60.8
Canali 1959	20-giu-39	150	1722	303	49	276	1094	2080	1872	8.0	92.0	16.2	2.6	14.7	58.4
Canali 1959	21-giu-39	129	1757	274	43	260	1180	2010	1886	6.8	93.2	14.5	2.3	13.8	62.6
Canali 1959	21-giu-39	120	1624	254	40	235	1095	2010	1744	6.9	93.1	14.6	2.3	13.5	62.8
Canali 1959	26-nov-40	139	2116	327	49	230	1510	1930	2255	6.2	93.8	14.5	2.2	10.2	67.0
Canali 1959	27-nov-40	116	1992	288	44	212	1448	1810	2108	5.5	94.5	13.7	2.1	10.1	68.7
Canali 1959	26-giu-41	249	2470	442	88	392	1548	2880	2719	9.2	90.8	16.3	3.2	14.4	56.9
Canali 1959	27-giu-41	251	2489	437	82	382	1588	2870	2740	9.2	90.8	15.9	3.0	13.9	58.0
Canali 1959	23-set-52	50	1234	196	47	130	861	1270	1285	3.9	96.1	15.3	3.7	10.1	67.0
Canali 1959	2-set-58	38	823	188	34	167	434	926	861	4.4	95.6	21.8	4.0	19.4	50.4
Canali 1959	30-set-58	35	906	84	16	141	665	835	941	3.7	96.3	8.9	1.7	15.0	70.6
Canali 1959	30-dic-58	283	2360	481	100	380	1399	2760	2643	10.7	89.3	18.2	3.8	14.4	52.9
Canali 1959	27-feb-59	34	956	171	28	69	688	939	990	3.4	96.6	17.3	2.8	7.0	69.5
Canali 1959	27-feb-59	32	973	164	34	80	695	939	1005	3.1	96.9	16.3	3.4	8.0	69.2
Canali 1959	3-apr-59	415	4110	681	178	579	2672	4370	4525	9.2	90.8	15.0	3.9	12.8	59.0
Canali 1959	7-apr-59	208	2110	334	68	319	1389	2090	2318	9.0	91.0	14.4	2.9	13.8	59.9
Canali 1959	5-mag-59	446	3860	580	152	572	2556	4010	4306	10.4	89.6	13.5	3.5	13.3	59.4
Canali 1959	30-mag-59	377	3340	516	130	460	2234	3560	3717	10.1	89.9	13.9	3.5	12.4	60.1
UIPO 1971	13-nov-68	362	3930	628	178	630	2260	4200	4058	8.9	91.1	15.5	4.4	15.5	55.7
UIPO 1981	15-apr-70						649	934							69.5
UIPO 1981	05-mag-70						490	667							73.5
ENEL 1990	26-mag-70						622	1330							46.8
UIPO 1981	27-mag-70						648	1130							57.3
UIPO 1981	21-giu-70						277	1630							17.0
UIPO 1981	22-giu-70						274	1700							16.1
ENEL 1990	23-giu-70					280	778	1650						17.0	47.2
UIPO 1981	24-giu-70						920	1490							61.7
ENEL 1990	21-lug-70					118	302	552						21.4	54.7
ENEL 1990	18-ago-70						294	513							57.3
UIPO 1981	19-ago-70						337	512							65.8
ENEL 1990	01-set-70					217	584	937						23.2	62.3
UIPO 1981	01-set-70						557	1050							53.0
UIPO 1981	02-set-70						645	1110							58.1
ENEL 1990	11-nov-70					140	410	726						19.3	56.5
UIPO 1981	12-nov-70						372	699							53.2
ENEL 1990	09-dic-70					169	528	945						17.9	55.9
UIPO 1981	09-dic-70						559	896							62.4
UIPO 1981	10-dic-70						551	896							61.5
ENEL 1990	19-gen-71					167	443	779						21.4	56.9
UIPO 1981	20-gen-71						412	816							50.5
ENEL 1990	25-feb-71						672	1335							50.3



Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 40 di 44

Fonte	Data	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila	Po a Pontelagoscuro	Qtot	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila
UIPO 1981	25-feb-71						601	1310							45.9
UIPO 1981	26-feb-71						772	1250							61.8
UIPO 1981	27-feb-71						953	1220							78.1
UIPO 1981	01-apr-71						1050	2170							48.4
ENEL 1990	02-apr-71						1145	2115							54.1
UIPO 1981	03-apr-71						1178	2040							57.7
ENEL 1990	13-apr-71					438		2240						19.6	
ENEL 1990	11-mag-71						1033	2275							45.4
UIPO 1981	11-mag-71						1003	2170							46.2
UIPO 1981	12-mag-71						1092	2150							50.8
ENEL 1990	13-mag-71						1158	2240							51.7
UIPO 1981	14-mag-71						1207	2770							43.6
ENEL 1990	07-giu-71						1196	2385							50.1
ENEL 1990	08-giu-71						1321	2650							49.8
UIPO 1981	09-giu-71						1422	3340							42.6
UIPO 1981	16-giu-71						1770	3750							47.2
ENEL 1990	28-lug-71						477	810							58.9
ENEL 1990	29-lug-71						433	685							63.2
UIPO 1981	30-lug-71						342	664							51.5
ENEL 1990	29-ago-71						454	753							60.3
UIPO 1981	30-ago-71						397	764							52.0
ENEL 1990	07-set-71						401	642							62.5
UIPO 1982	08-set-71						247	609							40.6
ENEL 1990	10-set-71					152	320	600						25.3	53.3
UIPO 1984	11-set-71						206	609							33.8
ENEL 1990	20-set-71						475	707							67.2
UIPO 1986	21-set-71						508	742							68.5
ENEL 1990	07-mar-72						1303	2525							51.6
ENEL 1990	08-mar-72					654	1508	2910						22.5	51.8
ENEL 1990	27-lug-72					199		1005						19.8	
ENEL 1990	17-ago-72					151		668						22.6	
ENEL 1990	14-set-72					380		2215						17.2	
ENEL 1990	26-ott-72					221		1105						20.0	
ENEL 1990	20-feb-73						556	1200							46.3
ENEL 1990	22-gen-74						679	1330							51.1
ENEL 1990	24-gen-74					216	633	1180						18.3	53.6
ENEL 1990	25-feb-74						534	1040							51.3
ENEL 1990	07-mar-74					441	1097	2310						19.1	47.5
ENEL 1990	04-giu-74	172	1426	274	77			1660		10.4	85.9	16.5	4.6		
ENEL 1990	20-ago-74					99		440						22.5	
ENEL 1990	22-ago-74					72	202	415						17.3	48.7
ENEL 1990	19-dic-74					143	350	702						20.4	49.9
ENEL 1990	27-feb-75					172	510	990						17.4	51.5
ENEL 1990	08-lug-76						148	411							36.0
ENEL 1990	13-lug-76						87	372							23.4
ENEL 1990	15-lug-76					74	118	348						21.3	33.9
ENEL 1990	16-set-80	111	831	153	42			1035		10.7	80.3	14.8	4.1		
ENEL 1990	11-dic-81			143				833				17.2			
ENEL 1990	14-lug-83						584	1470							39.7
ENEL 1990	13-ott-83						436	1040							41.9



Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 41 di 44

Fonte	Data	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila	Po a Pontelagoscuro	Q tot	Po di Goro	Po di Venezia	Po di Gnocca	Po di Maistra	Po di Tolle	Po di Pila
ENEL 1990	19-gen-84						453	715							63.4
ENEL 1990	13-nov-85						460	761							60.4
ENEL 1990	26-feb-86						660	1350							48.9
ENEL 1990	23-lug-86						574	1315							43.7
ENEL 1990	15-ott-86						408	975							41.8
ENEL 1990	28-gen-87						325	642							50.6
ENEL 1990	29-apr-87						449	1080							41.6
ENEL 1990	14-lug-87						312	789							39.5
ENEL 1990	20-ott-87						1659	3900							42.5
ENEL 1990	19-gen-88						1020	2350							43.4
ENEL 1990	10-mar-88						565	1100							51.4
ENEL 1990	14-apr-88						779	1790							43.5
ENEL 1990	12-lug-88						797	2220							35.9
ENEL 1990	04-ott-88	107	727	132	36	90	469	924		11.6	78.7	14.3	3.9	9.7	50.8
ENEL 1990	28-set-89						338	834							40.5
ENEL 1990	13-dic-89						385	635							60.6
Campagne 2002-2011	14-set-02	542	1782	338	77	390	954	2300	2300	23.6	76.5	14.7	3.3	16.9	41.5
Campagne 2002-2011	30-mag-07	34	623	74	9	103	437	657	657	5.2	94.8	11.2	1.3	15.7	66.6
Campagne 2002-2011	27-nov-07	282	2140	387	102	492	1158	2422	2422	11.7	88.3	16.0	4.2	20.3	47.8
Campagne 2002-2011	22-giu-10	668	4093	743	208	1037	2193	4936	4849	13.8	84.4	15.3	4.3	21.4	45.2
Campagne 2002-2011	06-nov-10	655	4193	789	215	993	2141	5102	4794	13.7	86.3	16.5	4.5	20.7	44.7
Campagne 2002-2011	11-nov-11	748	4785					5803	5532	13.5	86.5				

ALLEGATO 02 – EQUAZIONI DI RIPARTIZIONE DELLE PORTATE PER I RAMI PRINCIPALI DEL DELTA

	Portate		Percentuali di ripartizione					
	Ramo	P1 Po a Pontelagoscuro	S0 Po di Goro	S1 Po di Venezia	S2 Po di Gnocca	S3 Po di Maistra	S4 Po di Tolle	S4b Po di Pila
Fonte	Data	m ³ /s (media giornaliera)	%	%	%	%	%	%
CANALI 1959	1926-1952	500	0.20	99.80	8.80	0.70	11.80	78.50
CANALI 1959	1926-1952	750	2.20	97.80	11.00	1.50	14.30	71.00
CANALI 1959	1926-1952	1000	3.50	96.50	12.00	1.90	15.20	67.40
CANALI 1959	1926-1952	1250	4.50	95.50	12.60	2.10	15.70	65.10
CANALI 1959	1926-1952	1500	5.40	94.60	12.90	2.20	16.00	63.50
CANALI 1959	1926-1952	1750	6.10	93.90	13.10	2.40	16.10	62.30
CANALI 1959	1926-1952	2000	6.80	93.20	13.20	2.30	16.20	61.50
CANALI 1959	1926-1952	2500	7.80	92.20	13.30	2.30	16.20	60.40
CANALI 1959	1926-1952	3000	8.50	91.50	13.00	2.30	16.10	60.10
CANALI 1959	1926-1952	3500	9.20	90.80	12.80	2.30	16.00	59.70
CANALI 1959	1926-1952	4000	9.80	90.20	12.40	2.20	15.90	59.70
CANALI 1959	1926-1952	4500	10.30	89.70	12.10	2.10	15.70	59.80
CANALI 1959	1926-1952	5000	10.80	89.20	11.80	2.00		
CANALI 1959	1926-1952	5500			11.60			
CANALI 1959	1958-1959	500			20.00	3.00	10.60	
CANALI 1959	1958-1959	750	1.90	98.10	19.50	3.30	12.80	62.50
CANALI 1959	1958-1959	1000	4.50	95.50	19.00	3.40	13.70	59.40
CANALI 1959	1958-1959	1250	5.90	94.10	18.70	3.40	14.20	57.80
CANALI 1959	1958-1959	1500	6.80	93.20	18.20	3.50	14.30	57.20
CANALI 1959	1958-1959	1750	7.70	92.30	17.80	3.50	14.30	56.70
CANALI 1959	1958-1959	2000	8.20	91.80	17.40	3.60	14.20	56.60
CANALI 1959	1958-1959	2500	8.90	91.10	16.60	3.60	14.00	56.90
CANALI 1959	1958-1959	3000	9.30	90.70	15.90	3.60	13.70	57.50
CANALI 1959	1958-1959	3500	9.60	90.40	15.40	3.60	13.30	58.00
CANALI 1959	1958-1959	4000	10.00	90.00	14.80	3.70	13.00	58.50
CANALI 1959	1958-1959	4500	10.20	89.80	14.30	3.70	12.80	59.00
CANALI 1959	1958-1959	5000	10.60	89.40	13.90	3.70	12.50	59.30
CANALI 1959	1958-1959	5500				3.70		
UIPO 1962	1960	1000	3.40	96.60	15.40	2.50	13.10	65.60
UIPO 1962	1960	1200	5.10	94.90	15.60	2.60	13.50	63.20
UIPO 1962	1960	1400	6.50	93.50	15.70	2.60	13.90	61.30
UIPO 1962	1960	1600	7.50	92.50	15.90	2.60	14.10	59.90
UIPO 1962	1960	1800	8.40	91.60	16.10	2.70	14.20	58.60
UIPO 1962	1960	2000	8.90	91.10	16.10	2.80	14.20	58.00
UIPO 1962	1960	2200	9.30	90.70	16.00	2.80	14.20	57.70
UIPO 1962	1960	2400	9.50	90.50	15.90	2.90	14.10	57.60
UIPO 1962	1960	2600	9.70	90.30	15.70	2.90	14.00	57.70
UIPO 1962	1960	2800	9.70	90.30	15.50	3.00	13.90	57.90
UIPO 1962	1960	3000	9.70	90.30	15.40	3.00	13.80	58.10
UIPO 1962	1960	3200	9.70	90.30	15.20	3.00	13.70	58.40
UIPO 1962	1960	3400	9.70	90.30	14.90	3.10	13.40	58.90
UIPO 1962	1960	3800	9.60	90.40	14.60	3.20	13.20	59.40
UIPO 1962	1960	4200	9.50	90.50	14.30	3.30	13.00	59.90
UIPO 1962	1960	4600	9.40	90.60	14.00	3.40	12.80	60.40
UIPO 1962	1960	5000	9.20	90.80	13.70	3.50	12.60	61.00

	Portate		Percentuali di ripartizione					
	Ramo	P1 Po a Pontelagoscuro	S0 Po di Goro	S1 Po di Venezia	S2 Po di Gnocca	S3 Po di Maistra	S4 Po di Tolle	S4b Po di Pila
Fonte	Data	m ³ /s (media giornaliera)	%	%	%	%	%	%
UIPO 1962	1960	5400	9.10	90.90	13.40	3.60	12.40	61.50
UIPO 1962	1960	5800	8.90	91.10	13.10	3.70	12.20	62.10
UIPO 1962	1960	6200	8.80	91.20	12.70	3.80	12.00	62.70
UIPO 1962	1960	6600	8.60	91.40	12.50	3.90	11.80	63.20
UIPO 1962	1961	400	0.90	99.10	16.60	3.80	15.90	62.80
UIPO 1962	1961	600	2.40	97.60	16.50	3.60	16.00	61.50
UIPO 1962	1961	800	3.60	96.40	16.40	3.50	16.90	59.60
UIPO 1962	1961	1000	4.50	95.50	16.40	3.40	17.50	58.20
UIPO 1962	1961	1200	5.20	94.80	16.40	3.40	18.30	56.70
UIPO 1962	1961	1400	5.90	94.10	16.40	3.30	19.30	55.10
UIPO 1962	1961	1600	6.90	93.10	16.30	3.30	19.60	53.90
UIPO 1962	1961	1800	7.70	92.30	16.10	3.30	19.90	53.00
UIPO 1962	1961	2000	8.30	91.70	16.00	3.30	19.90	52.50
UIPO 1962	1961	2200	8.80	91.20	15.90	3.30	19.90	52.10
UIPO 1962	1961	2400	9.20	90.80	15.70	3.40	19.90	51.80
UIPO 1962	1961	2600	9.50	90.50	15.50	3.40	19.90	51.70
UIPO 1962	1961	2800	9.70	90.30	15.40	3.50	19.90	51.50
UIPO 1962	1961	3000	9.70	90.30	15.10	3.50	19.90	51.80
UIPO 1962	1961	3200	9.70	90.30	15.00	3.60	19.80	51.90
UIPO 1962	1961	3400	9.70	90.30	14.80	3.60	19.60	52.30
UIPO 1962	1961	3800	9.60	90.40	14.40	3.70	19.40	52.90
UIPO 1962	1961	4200	9.50	90.50	14.20	3.70	19.30	53.30
UIPO 1962	1961	4600	9.30	90.70	13.80	3.80	19.20	53.90
UIPO 1962	1961	5000	9.20	90.80	13.50	3.80	19.00	54.50
Modello ARPAER*	2005	1000	9.42	90.58	16.99	4.11	12.92	56.56
Modello ARPAER*	2005	3000	9.82	90.18	17.59	4.31	14.52	53.76
Modello ARPAER*	2005	4000	10.62	89.38	17.89	4.41	14.42	52.66
Modello ARPAER*	2005	5000	11.82	88.18	18.19	4.51	13.72	51.76

* Valori ricavati dall'applicazione delle seguenti espressioni nel range di portate a Pontelagoscuro 1000-5000 m³/s:

$$\%_{Goro} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot Q_p^2 + 6 \cdot 10^{-4} \cdot Q_p + 9.8206$$

$$\%_{Gnocca} = 3 \cdot 10^{-4} \cdot Q_p + 16.694$$

$$\%_{Maistra} = 10^{-4} \cdot Q_p + 4.0104$$

$$\%_{Tolle} = -3 \cdot 10^{-7} Q_p^2 + 2 \cdot 10^{-3} \cdot Q_p + 11.218$$

$$\%_{Pila} = 10^{-7} \cdot Q_p^2 + 1.8 \cdot 10^{-3} \cdot Q_p + 58.257$$

Q_p = portata media giornaliera a Pontelagoscuro

ALLEGATO 03 – MISURE DI RIPARTIZIONE DELLA PORTATA PER LE BOCCHE A MARE DEL PO DI PILA E DEL PO DI TOLLE

FONTE	DATA	Portate									Percentuali di ripartizione (sul totale delle bocche del Po di Pila)			Percentuali di ripartizione (sulla portata a Pontelagoscuro)				Percentuali di ripartizione (sul totale del Po di Tolle)			
		Ramo	Busa di Tramontana	Busa Dritta	Busa di Scirocco	Tot Buse	Pontelago-scuro	Busa Bastimento	Bocca di Tolle	Busa Storiona	Po di Tolle	Busa di Tramontana	Busa Dritta	Busa di Scirocco	Busa di Tramontana	Busa Dritta	Busa di Scirocco	Tot buse	Busa Bastimento	Bocca di Tolle	Busa Storiona
		m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s (media giornaliera)	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	%	%	%	%	%	%	%	% su Tolle	% su Tolle	% su Tolle	
UIPO 1940	15-dic-27	755	621	144	1520	2490					49.7	40.9	9.5	30.3	25.0	5.8	61.1				
UIPO 1940	9-feb-28	273	216	62	551	1130					49.6	39.2	11.2	24.2	19.1	5.5	48.7				
UIPO 1940	9-feb-28	340	387	50	777	1130					43.7	49.8	6.5	30.1	34.2	4.5	68.8				
UIPO 1940	11-lug-29	88	374	21	483	869					18.2	77.5	4.3	10.1	43.0	2.4	55.6				
UIPO 1940	11-lug-29	216	307	44	567	869					38.1	54.2	7.7	24.8	35.4	5.0	65.2				
UIPO 1940	13-lug-29	134	319	31	484	747					27.8	65.8	6.4	18.0	42.7	4.2	64.8				
UIPO 1940	13-lug-29	143	309	29	481	747					29.8	64.1	6.1	19.2	41.3	3.9	64.4				
UIPO 1940	12-set-29	166	186	32	384	581					43.1	48.5	8.4	28.5	32.1	5.6	66.1				
UIPO 1940	14-set-29	153	115	40	308	646					49.7	37.3	13.1	23.7	17.8	6.2	47.7				
UIPO 1940	14-set-29	204	326	33	563	646					36.2	57.9	5.9	31.6	50.5	5.1	87.2				
UIPO 1940	14-giu-30	420	945	94	1459	2730					28.8	64.8	6.4	15.4	34.6	3.4	53.4				
UIPO 1940	7-giu-34	344	1288	76	1707	3270					20.1	75.4	4.4	10.5	39.4	2.3	52.2				
UIPO 1940	8-giu-34	396	1420	78	1893	3540					20.9	75.0	4.1	11.2	40.1	2.2	53.5				
UIPO 1940	9-lug-35	120	674	24	819	1370					14.7	82.4	2.9	8.8	49.2	1.8	59.8				
UIPO 1940	9-lug-35	128	492	33	652	1370					19.7	75.4	5.0	9.4	35.9	2.4	47.6				
UIPO 1940	10-lug-35	117	645	26	787	1300					14.8	81.9	3.3	9.0	49.6	2.0	60.5				
UIPO 1940	10-lug-35	131	527	28	687	1300					19.1	76.8	4.1	10.1	40.5	2.2	52.8				
UIPO 1940	13-ott-36	189	813	37	1039	1620					18.2	78.2	3.6	11.7	50.2	2.3	64.2				
UIPO 1940	13-ott-36	173	982	26	1182	1620					14.6	83.1	2.2	10.7	60.6	1.6	72.9				
UIPO 1940	14-ott-36	188	740	40	968	1510					19.4	76.5	4.1	12.5	49.0	2.6	64.1				
UIPO 1940	14-ott-36	150	945	23	1117	1510					13.4	84.6	2.0	9.9	62.6	1.5	74.0				
UIPO 1940	11-giu-37	363	1572	90	2025	3740					17.9	77.6	4.4	9.7	42.0	2.4	54.1				
UIPO 1940	11-giu-37	333	1522	81	1936	3740					17.2	78.6	4.2	8.9	40.7	2.2	51.8				
UIPO 1940	12-giu-37	364	1481	95	1939	3360					18.7	76.4	4.9	10.8	44.1	2.8	57.7				
UIPO 1940	12-giu-37	323	1505	86	1914	3360					16.9	78.6	4.5	9.6	44.8	2.6	57.0				
UIPO 1940	14-lug-38	86	672	23	781	1110					11.1	86.0	2.9	7.8	60.5	2.1	70.4				
UIPO 1940	14-lug-38	68	564	18	650	1110					10.5	86.7	2.8	6.1	50.8	1.6	58.6				
UIPO 1940	15-lug-38	75	609	21	705	1120					10.6	86.3	3.0	6.7	54.4	1.9	63.0				
UIPO 1940	15-lug-38	69	674	14	758	1120					9.1	88.9	1.9	6.2	60.2	1.3	67.7				
UIPO 1940	11-giu-30		1081			3060									35.3						
UIPO 1940	12-giu-30		1292			3050									42.4						
UIPO 1940	21-set-30		647			1770									36.6						
UIPO 1940	22-set-30		662			1680									39.4						
UIPO 1940	23-set-30		644			1700									37.9						
UIPO 1940	25-set-30		761			1720									44.2						
UIPO 1940	17-giu-31		448			1290									34.7						
UIPO 1940	18-giu-31		485			1290									37.6						
UIPO 1940	19-giu-31		662			1260									52.5						
UIPO 1940	22-giu-31		508			1210									42.0						
UIPO 1940	23-giu-31		441			1190									37.0						
UIPO 1940	24-giu-31		499			1140									43.8						
UIPO 1940	1938-1939																	72.7	27.3		
ENEL 1990	27-lug-72					1005	40			199								20.1			
ENEL 1990	17-ago-72					668	24			151								15.9			
ENEL 1990	14-set-72					2215	97			380								25.5			



Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio
Servizio Idrologico Regionale

SULLA RIPARTIZIONE DELLE PORTATE DEL PO TRA
I VARI RAMI E LE BOCHE A MARE DEL DELTA:
ESPERIENZE STORICHE E NUOVE INDAGINI
ALL'ANNO 2011

Data 22/02/2012
Revisione 0
Relazione n° 02/12

Pagina 44 di 44

FONTE	DATA	Portate									Percentuali di ripartizione (sul totale delle bocche del Po di Pila)			Percentuali di ripartizione (sulla portata a Pontelagoscuro)				Percentuali di ripartizione (sul Po di Tolle)		
		Ramo	Busa di Tramontana	Busa Dritta	Busa di Scirocco	Tot Buse	Pontelago-scuro	Busa Bastimento	Bocca di Tolle	Busa Storiona	Po di Tolle	Busa di Tramontana	Busa Dritta	Busa di Scirocco	Busa di Tramontana	Busa Dritta	Busa di Scirocco	Tot buse	Busa Bastimento	Bocca di Tolle
		m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s (media)	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	%	%	%	%	%	%	%	% su Tolle	% su Tolle	% su Tolle
ENEL 1990	26-ott-72					1105	50			221								22.6		
ENEL 1990	20-feb-73		336			1200									28.0					
ENEL 1990	03-apr-73		243			720									33.8					
ENEL 1990	29-ago-73		240			825									29.1					
ENEL 1990	03-ott-73	196	424			1590								12.3	26.7					
ENEL 1990	22-gen-74	132	383	39	554	1330					23.8	69.1	7.0	9.9	28.8	2.9	41.7			
ENEL 1990	24-gen-74					1180	69			216								31.9		
ENEL 1990	05-mar-74	238	585	63	886	2035					26.9	66.0	7.1	11.7	28.7	3.1	43.5			
ENEL 1990	07-mar-74					2310	106			441								24.0		
ENEL 1990	20-ago-74	9	60	16	85	440					10.6	70.6	18.8	2.0	13.6	3.6	19.3			
ENEL 1990	22-ago-74					415	19			72								26.4		
ENEL 1990	17-dic-74	57	245	34	336	731					17.0	72.9	10.1	7.8	33.5	4.7	46.0			
ENEL 1990	19-dic-74					702	27			143								18.9		
ENEL 1990	25-feb-75	98	388	33	519	1040					18.9	74.8	6.4	9.4	37.3	3.2	49.9			
ENEL 1990	13-lug-76		31	18	49	372						63.3	36.7	0.0	8.3	4.8	13.2			
ENEL 1990	15-lug-76					348	2			74								2.7		
ENEL 1990	14-lug-83	194	368	36	598	1470					32.4	61.5	6.0	13.2	25.0	2.4	40.7			
ENEL 1990	13-ott-83	101	305	37	443	1040					22.8	68.8	8.4	9.7	29.3	3.6	42.6			
ENEL 1990	10-mar-88		316	12		1100									28.7	1.1				
ENEL 1990	06-ott-88	65		28		906								7.2		3.1				
ENEL 1992	15-mag-91					2550		43.5		361								12.0		
ENEL 1990	3-19-giu-78	421	1090	115	1626	3208	487				25.9	67.0	7.1	13.1	34.0	3.6	50.7			
2002-2011	14-set-02	247	623	84	954	2430					25.9	65.3	8.8	10.2	25.6	3.4	39.3			
2002-2011	27-nov-07	263	809	86	1158	2422					22.7	69.9	7.4	10.9	33.4	3.5	47.8			
2002-2011	10-giu-10	671	1215	275	2161	4936					31.1	56.2	12.7	13.6	24.6	5.6	43.8			
2002-2011	06-nov-10	661	1337	286	2284	5102	48	194	845	1087	28.9	58.5	12.5	13.0	26.2	5.6	44.8	4.4	17.8	77.7