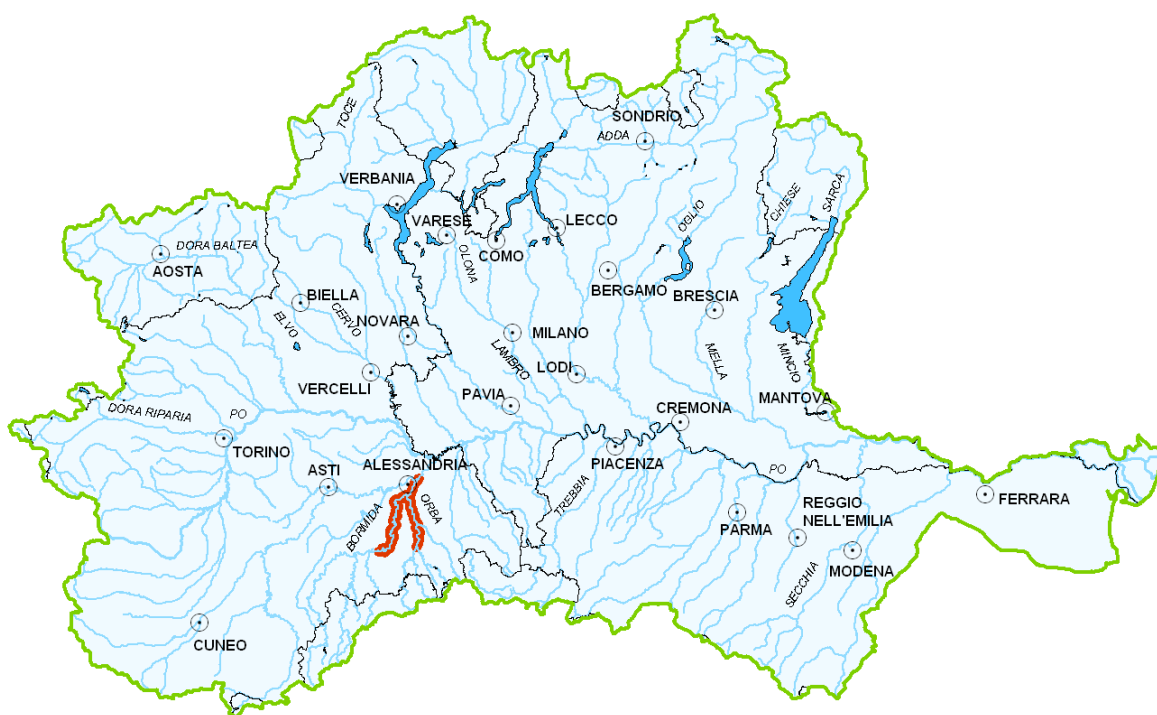




AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO

Studio di fattibilità per la definizione dell'assetto di progetto – interventi di gestione sedimenti, recupero morfologico e sistemazione idraulica – del fiume Bormida e del torrente Orba (E-SPEC-858)



F. Bormida e T. Orba

Attività	04	Analisi idrologica
Prodotto	01	Metodologie di analisi, contenuti sviluppati, risultati conseguiti
Elaborato	01R	Relazione descrittiva dell'attività

0	Definitiva	Ing. Ivo Fresia	Ing. Mauro Cargnelutti	Ing. Ivo Fresia	Luglio 2011
Rev.	Versione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

Associazione Temporanea di Imprese



Indice

1	PREMESSA.....	2
2	SEZIONI IDROLOGICHE SIGNIFICATIVE	3
3	PORTATE MASSIME AL COLMO	6
3.1	Portate Direttiva PAI	6
3.2	Portate Studio Università di Padova	6
3.3	Portate VAPI – Piemonte	7
3.4	Confronto delle portate	7
3.5	Confronto sui livelli idrici corrispondenti alle portate di piena al colmo	14
3.5.1	Profili idrici stazionari sul fiume Bormida	14
3.5.2	Profili idrici stazionari sul torrente Orba	15
4	PORTATE AL COLMO E IDROGRAMMI DI PIENA	22
4.1	Portate al colmo PAI (tempo di ritorno 200 anni)	23
4.1.1	Fiume Bormida – idrogrammi in portata	23
4.1.1.1	Idrogrammi 1 (evento 12030)	24
4.1.1.2	Idrogrammi 2 (evento 11472)	25
4.1.1.3	Idrogrammi 3 (evento 6578)	26
4.1.2	Fiume Bormida – profili di piena in moto non stazionario	27
4.1.3	Torrente Orba – idrogrammi in portata	38
4.1.3.1	Idrogrammi 1 (evento 5600)	39
4.1.3.2	Idrogrammi 2 (evento 14712)	40
4.1.3.3	Idrogrammi 3 (evento 2238)	41
4.1.4	Torrente Orba – profili di piena in moto non stazionario	42
4.2	Portate al colmo UNIPD (tempo di ritorno 200 anni)	52
4.2.1	Fiume Bormida – idrogrammi in portata	52
4.2.2	Fiume Bormida – profili di piena in moto non stazionario	55
4.2.3	Torrente Orba – idrogrammi in portata	61
4.2.4	Torrente Orba – profili di piena in moto non stazionario	63
4.3	Portate al colmo PAI (tempo di ritorno 500 anni)	69
4.3.1	Fiume Bormida – idrogrammi in portata	69
4.3.2	Torrente Orba – idrogrammi in portata	71
5	SINTESI DEI RISULTATI E PROPOSTA DI ASSUNZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO	74
5.1	Portate massime al colmo per assegnati tempi di ritorno	74
5.2	Idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno	77

1 PREMESSA

Le finalità della sezione di lavoro dedicata agli “*approfondimenti sulle determinazioni delle portate di piena al colmo, delle onde e dei volumi di piena*” sono rivolte all'individuazione delle portate di riferimento dei due corsi d'acqua in studio, necessarie per le analisi idrauliche; tali portate riguardano sia i valori correlabili alla caratteristiche morfologiche dell'alveo (portate formative, TR 2 – 10 anni) sia quelle di piene a maggiore gravosità (TR 20, 100, 200 e 500 anni).

Per l'estensione dello studio al tratto di torrente Orba compreso tra Silvano e Molare, l'interesse sui dati idrologici è limitato alla portate con tempo di ritorno modesto (2 – 10 anni), utili per gli aspetti legati alla gestione dei sedimenti, non dovendosi affrontare i temi relativi alla delimitazione delle fasce fluviali e alla definizione degli interventi di protezione dalle piene.

L'attività svolta è costituita prioritariamente dalla ricognizione dei risultati derivanti delle diverse elaborazioni idrologiche disponibili; i valori delle portate al colmo e quelli relativi alle corrispondenti onde di piena sono stati inoltre impiegati in simulazioni idrodinamiche lungo le aste dei due corsi d'acqua indagati, allo scopo di fornire ulteriori elementi utili all'assunzione delle portate di riferimento. In tale modo è possibile valutare l'effetto di laminazione sui colmi di piena dovuto al deflusso lungo le aste dei due corsi d'acqua, che non è preso in conto nelle stime di tipo idrologico.

Le portate di piena analizzate derivano dai seguenti documenti:

- la Direttiva relativa alle piene di progetto allegata al PAI dell'Autorità di bacino del fiume Po;
- il "Modello matematico della risposta idrologica del fiume Tanaro (chiuso ad Alessandria)"; AIPO - Università degli Studi di Padova;
- lo "Studio idraulico funzionale alla sistemazione del fiume Bormida da Acqui a confluenza Tanaro e del torrente Orba nel tratto fasciato da Rocca Grimalda a confluenza Bormida con definizione dei possibili scenari di intervento"; AIPO - Università degli Studi di Genova;
- Variante al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con DPCM 24 maggio 2001, approvata con Delibera del 22/07/2009 n. 8 del C.I. per il torrente Orba da Molare a Silvano d'Orba e il torrente Stura di Ovada nel tratto di confluenza in Orba ad Ovada.

I risultati idrologici sopra indicati sono stati inoltre paragonati con i valori delle portate al colmo con assegnato tempo di ritorno che si ottengono con l'applicazione del metodo VAPI – Piemonte.

Nel seguito si illustrano in sintesi i risultati della analisi condotte, organizzati secondo i seguenti temi:

- confronti tra i valori istantanei delle portate al colmo per assegnati tempi di ritorno;
- effetti sui profili di piena dei diversi valori delle portate al colmo, a parità di tempo di ritorno;
- analisi degli idrogrammi di piena e degli effetti di laminazione in alveo.

2 SEZIONI IDROLOGICHE SIGNIFICATIVE

Il primo elemento di riferimento per i valori delle portate al colmo per assegnato tempo di ritorno è costituito dalla Direttiva relativa alle piene di progetto, allegata al PAI dell'Autorità di bacino del fiume Po (Tab. 1).

Tab. 1 Portate di piena di riferimento del fiume Bormida e del torrente Orba nella Direttiva “Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” del PAI (tab. 20)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie	Q20	Q100	Q200	Q500
		Progr.(km)	Cod.	Denominazione	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
Tanaro	Bormida	125.460	38	Acqui Terme	1439	1740	2720	2980	3360
Tanaro	Bormida	147.360	24	Cassine	1483	2010	2750	3020	3400
Tanaro	Bormida	166.066	13	Castellazzo B.	1718	2200	2900	3180	3580
Tanaro	Bormida	177.391	5	Alessandria	2540	2510	3310	3640	4100
Tanaro	Orba	47.620	21	Silvano d'Orba	432	1410	1860	2050	2300
Tanaro	Orba	74.070	1	Confl. Bormida	792	1690	2230	2450	2760

Un ulteriore elemento di riferimento è costituito dai valori delle portate di piena al colmo per il tratto di tratto di Orba a monte di Silvano contenuti nell'Allegato 1T alla Relazione della Variante del PAI approvata con Delibera del C.I. del 22/07/2009 (Tab. 2).

Tab. 2 Portate di piena del torrente Orba nel tratto dal confine regionale alla confluenza del torrente Piota (da Allegato 1T alla Variante del PAI approvata con Del. n. 8 del 22/07/2009)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		Progr.(km)	Cod.	Denominazione	km ²	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	
Tanaro	Orba	46.776	51	Albereto	143	760	890	990	1090	1210
Tanaro	Orba	49.774	38	Belletto	176	870	1020	1130	1240	1390
Tanaro	Orba	51.752	31	Valle confl. Stura di O.	323	1440	1690	1870	2060	2310

A partire queste fonti conoscitive, sono state individuate le sezioni idrologiche significative lungo le aste dei due corsi d'acqua, tenendo conto delle confluenze principali e dell'aumento della superficie del bacino idrografico sotteso (Fig. 1).



Fig. 1 Sezioni idrologiche significative lungo il fiume Bormida e il torrente Orba

Tab. 3 Sezioni idrologiche assunte per il fiume Bormida e il torrente Orba

Corso d'acqua	Sezione	Superficie (km²)
Bormida	Acqui Terme	1355
Bormida	Strevi	1457
Bormida	Cassine	1513
Bormida	Sezzadio	1607
Bormida	Castellazzo B.	1693
Bormida	Alessandria	2566
Orba	Albereto	143
Orba	Belletto	176
Orba	Ovada -Valle confl. Stura di Ovada	323
Orba	Silvano d'Orba – Valle confl. Piota	434
Orba	Predosa	543
Orba	Fresonara	723
Orba	Confl. Bormida	798

3 PORTATE MASSIME AL COLMO

3.1 Portate Direttiva PAI

I valori delle portate al colmo della direttiva PAI sono stati estesi per estrapolazione ai tempi di ritorno di 2, 5, 10 e 50 anni, non contenuti nella Direttiva, utilizzando l'espressione di Gumbel; sono stati inoltre interpolati per le sezioni intermedie ed estrapolati nel tratto del torrente Orba a monte della sezione di Silvano in funzione delle dimensioni del bacino idrografico sotteso. Per quest'ultimo tratto le portate idrologiche stimate sono relative solamente ai tempi di ritorno compresi tra 2 e 10 anni, che rappresentano il campo di interesse per le elaborazioni previste.

Tab. 4 Portate massime al colmo per tempi di ritorno da 5 a 500 anni derivanti dalla Direttiva PAI (in grassetto le portate contenute nella Direttiva)

Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		km²	(m³/s)							
Bormida	Acqui Terme	1355	490	1060	1440	1740	2270	2720	2980	3360
Bormida	Strevi	1457	730	1250	1600	1900	2360	2740	3010	3390
Bormida	Cassine	1513	910	1390	1720	2010	2420	2750	3020	3400
Bormida	Sezzadio	1607	1010	1490	1810	2110	2520	2840	3110	3500
Bormida	Castellazzo B.	1693	1100	1580	1900	2200	2600	2900	3180	3580
Bormida	Alessandria	2566	1240	1790	2160	2510	2970	3310	3640	4100
Orba	Albereto	143	510	730	870	--	--	--	--	--
Orba	Belletto	176	540	770	930	--	--	--	--	--
Orba	Confl. Stura di O. (V)	323	650	930	1110	--	--	--	--	--
Orba	Silvano d'Orba	434	700	1010	1210	1410	1670	1860	2050	2300
Orba	Predosa	543	750	1080	1300	1510	1780	1990	2190	2460
Orba	Fresonara	723	810	1170	1410	1640	1940	2170	2380	2680
Orba	Confl. Bormida	798	830	1210	1450	1690	2000	2230	2450	2760

3.2 Portate Studio Università di Padova

Le portate di piena determinate nello Studio dell'Università di Padova derivano dall'applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi, sulla base di una serie molto estesa di eventi di pioggia (3200 anni) creata attraverso un metodo tipo Monte Carlo.

I valori massimi al colmo per assegnato tempo di ritorno sono determinati semplicemente attraverso la lettura, nella serie ordinata dei colmi in ciascuna sezione idrologica, del valore la cui frequenza corrisponde al tempo di ritorno specifico.

Tab. 5 Portate al colmo per tempi di ritorno da 5 a 500 anni derivanti dallo Studio dell'Università di Padova

Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		km²	(m³/s)						
Bormida	Acqui Terme	1355	748	1182	1481	1793	2114	2326	2882
Bormida	Strevi	1457	783	1252	1555	1898	2220	2458	2992

Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		km ²	(m ³ /s)						
Bormida	Cassine	1513	794	1265	1580	1937	2245	2490	3007
Bormida	Sezzadio	1607	804	1280	1595	1965	2253	2506	3013
Bormida	Castellazzo B.	1693	824	1302	1614	1993	2302	2551	3032
Bormida	Alessandria	2566	1436	2084	2520	3113	3605	4015	4413
Orba	Silvano d'Orba	434	553	771	929	1219	1426	1625	1836
Orba	Predosa	543	618	866	1035	1340	1577	1779	1972
Orba	Fresonara	723	778	1068	1300	1708	1952	2206	2670
Orba	Confl. Bormida	798	799	1102	1337	1741	1974	2276	2739

3.3 Portate VAPI – Piemonte

Per le sezioni idrologiche selezionate è stato applicato anche il metodo VAPI – Piemonte (Tab. 6).

Tab. 6 Portate al colmo per tempi di ritorno da 5 a 500 anni calcolate mediante l'applicazione del metodo VAPI della Regione Piemonte

Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		km ²	(m ³ /s)						
Bormida	Acqui Terme	1355	1232	1611	2052	2757	3363	3995	4844
Bormida	Strevi	1457	1264	1655	2106	2827	3443	4086	4949
Bormida	Cassine	1513	1255	1645	2093	2807	3417	4054	4909
Bormida	Sezzadio	1607	1256	1644	2090	2800	3404	4038	4888
Bormida	Castellazzo B.	1693	1237	1619	2055	2748	3341	3961	4793
Bormida	Alessandria	2566	2071	2716	3448	4584	5538	6532	7865
Orba	Silvano d'Orba	434	1011	1399	1876	2599	3168	3740	4497
Orba	Predosa	543	1100	1516	2023	2795	3404	4018	4828
Orba	Fresonara	723	1302	1783	2362	3243	3944	4650	5585
Orba	Confl. Bormida	798	1370	1871	2472	3390	4121	4858	5835

I valori derivanti dal metodo VAPI risultano superiori a quelli dei due metodi precedenti; tale caratteristica è per altro nota a chi a messo a punto il VAPI, procedura che tende a essere di tipo maggiorante, approssimando la valutazione alla massima potenzialità idrologica del singolo bacino idrografico. Per altro risulta che la prassi normale, indicata nell'ambito dello stesso metodo, è di fare riferimento alle stime di portate di piena della Direttiva dell'Autorità di bacino, in caso di discordanza, per tutti i tratti di corso d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali.

3.4 Confronto delle portate

Per tutte le sezioni idrologiche considerate (laddove è stata proposta la revisione dell'assetto di progetto del corpo idrico), le portate per i tempi di ritorno assegnati derivanti dai tre metodi sopra indicati sono state confrontate direttamente. Le figure successive mostrano graficamente le differenze.

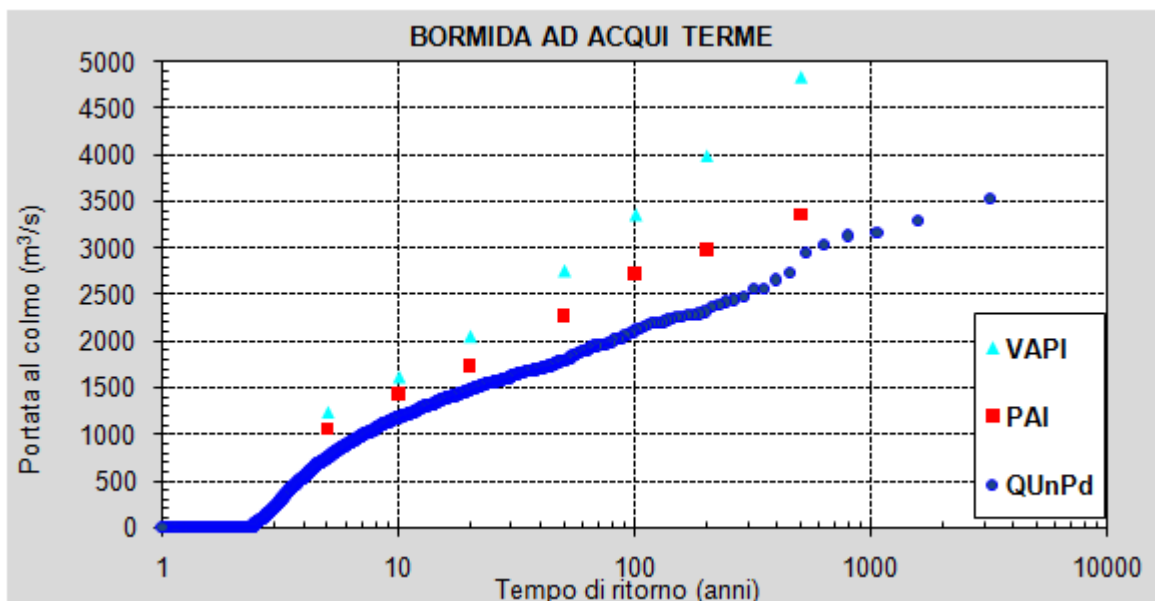


Fig. 2 Portate massime al colmo nella sezione di Acqui Terme del fiume Bormida derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

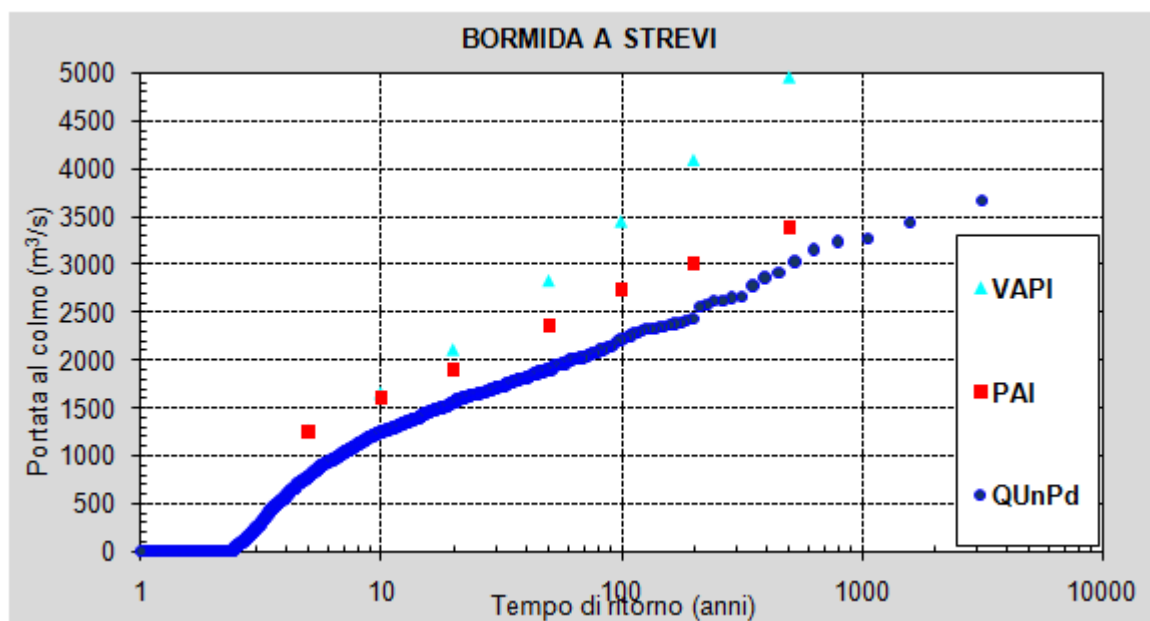


Fig. 3 Portate massime al colmo nella sezione di Strevi del fiume Bormida derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

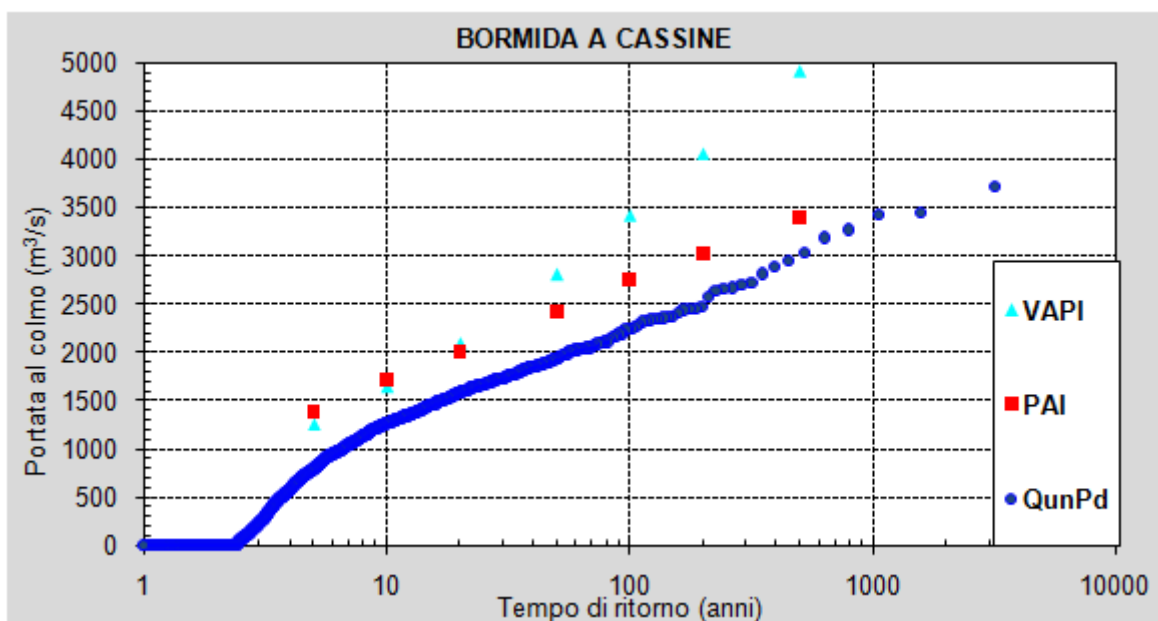


Fig. 4 Portate massime al colmo nella sezione di Cassine del fiume Bormida derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

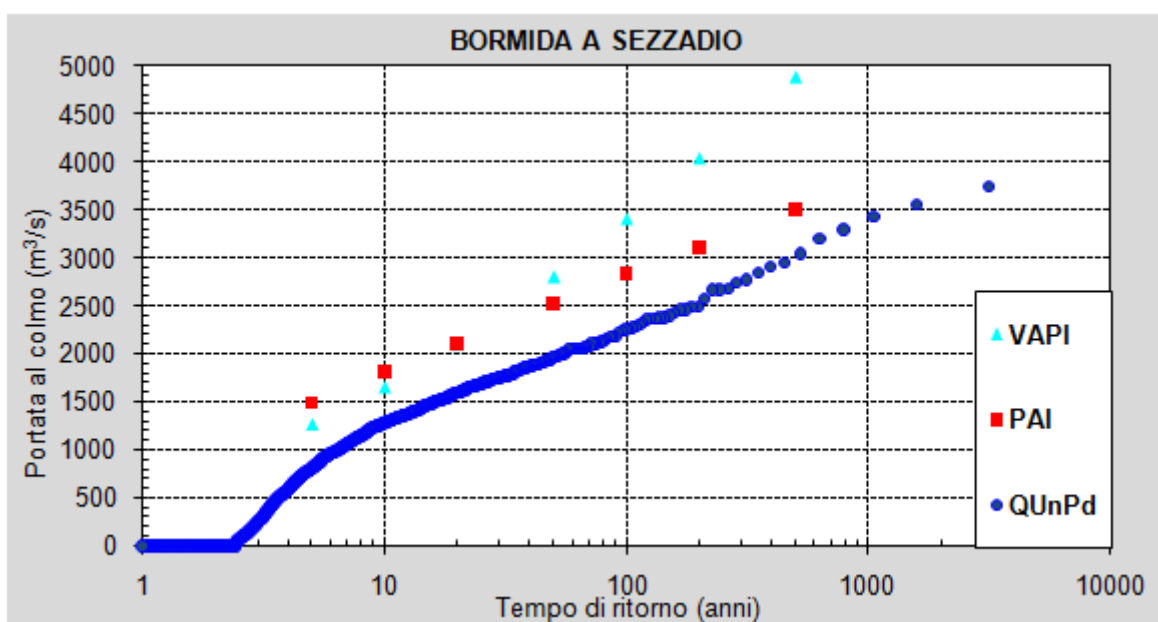


Fig. 5 Portate massime al colmo nella sezione di Sezzadio del fiume Bormida derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

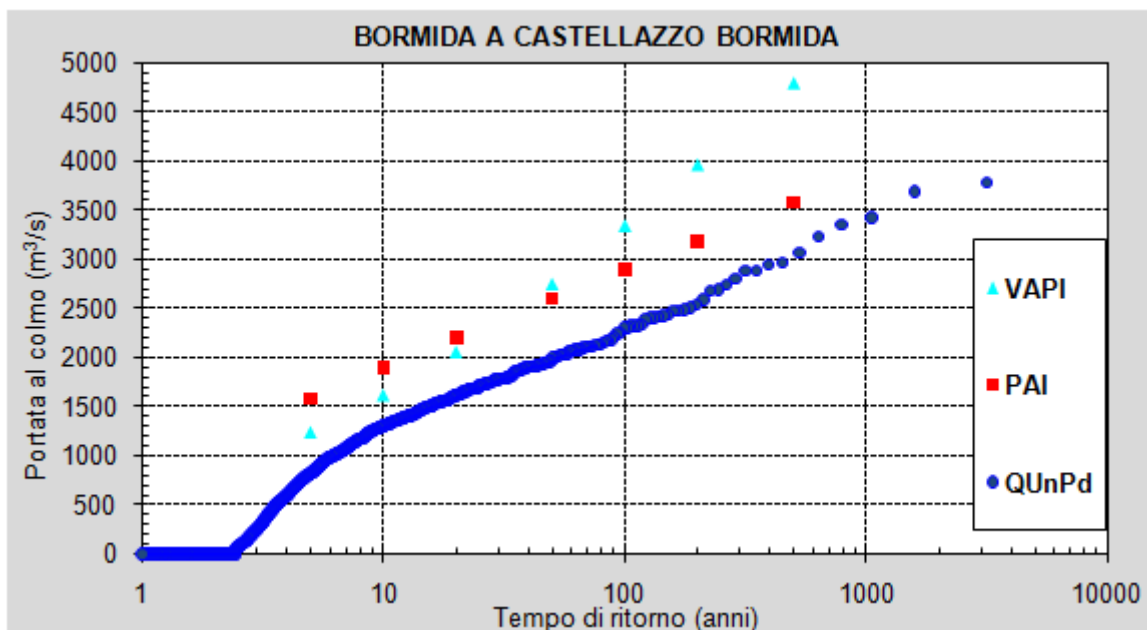


Fig. 6 Portate massime al colmo nella sezione di Castellazzo B. del fiume Bormida derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

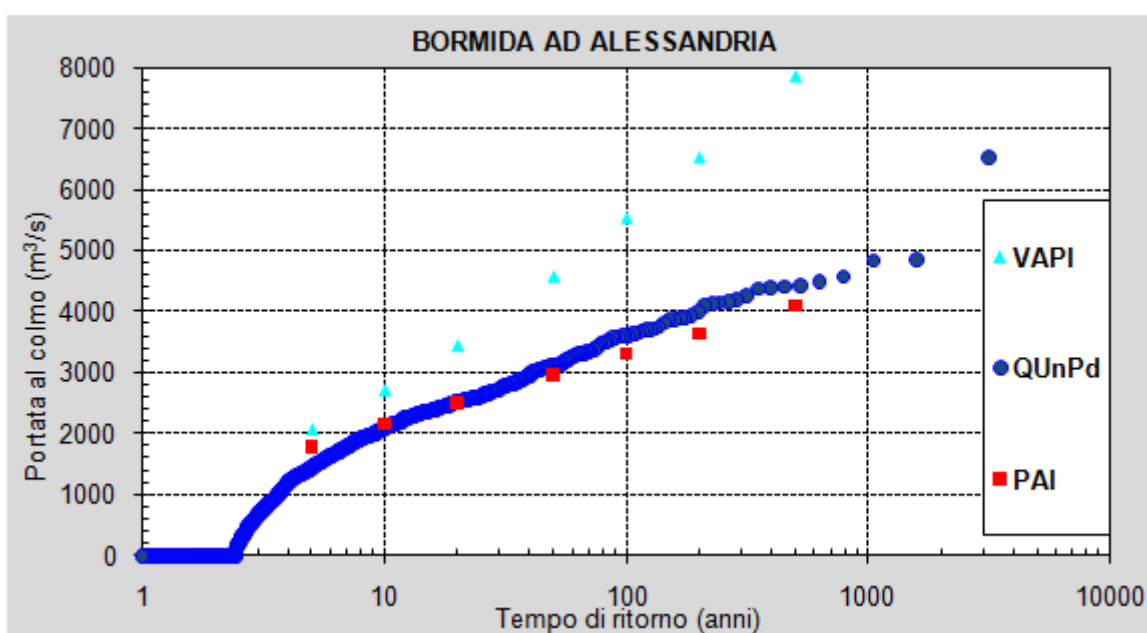


Fig. 7 Portate massime al colmo nella sezione di Alessandria del fiume Bormida derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

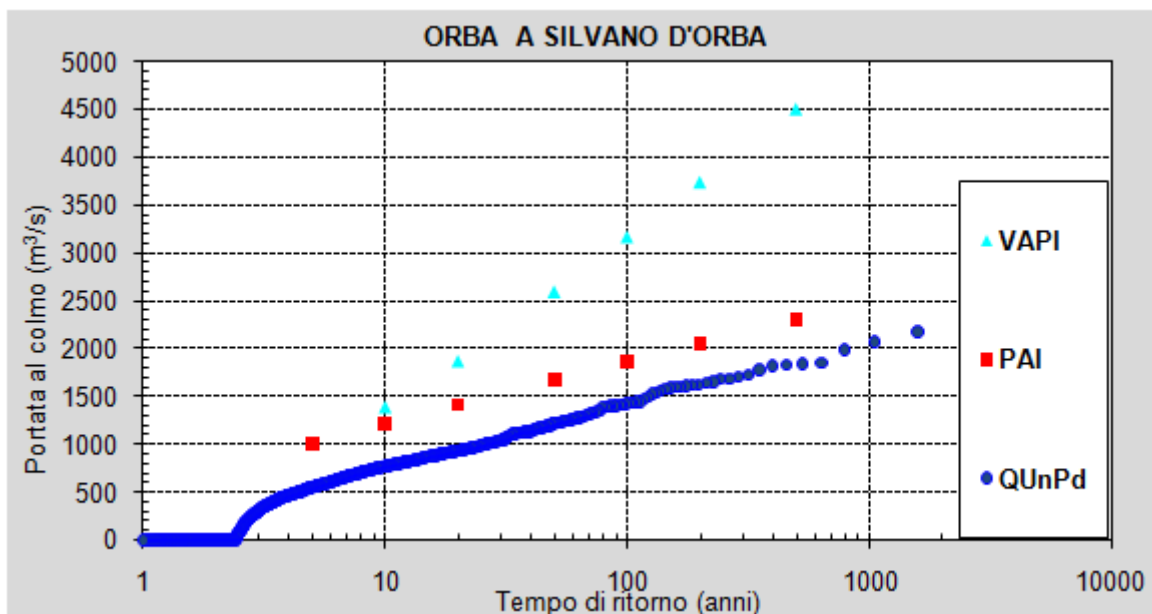


Fig. 8 Portate massime al colmo nella sezione di Silvano d'Orba del torrente Orba, derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

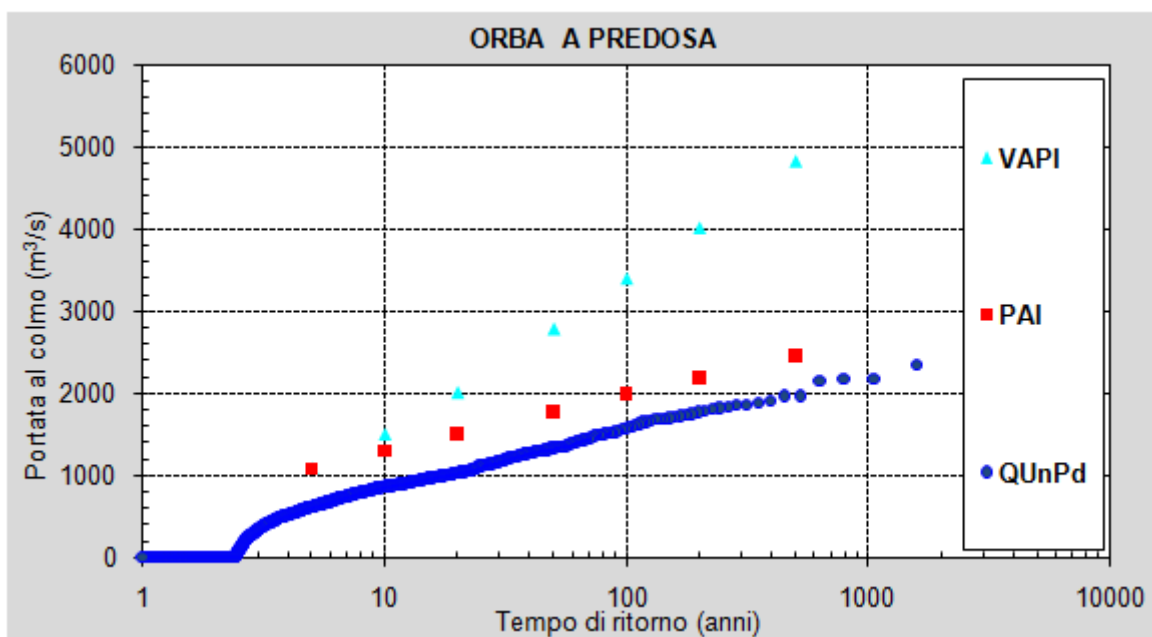


Fig. 9 Portate massime al colmo nella sezione di Predosa del torrente Orba, derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

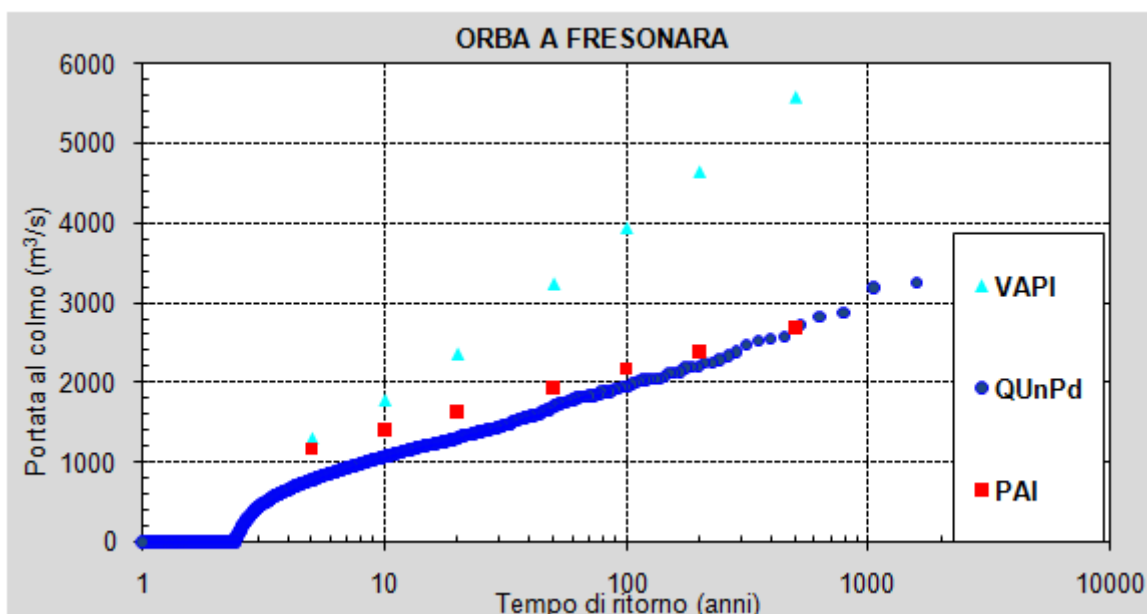


Fig. 10 Portate massime al colmo nella sezione di Fresonara del torrente Orba, derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

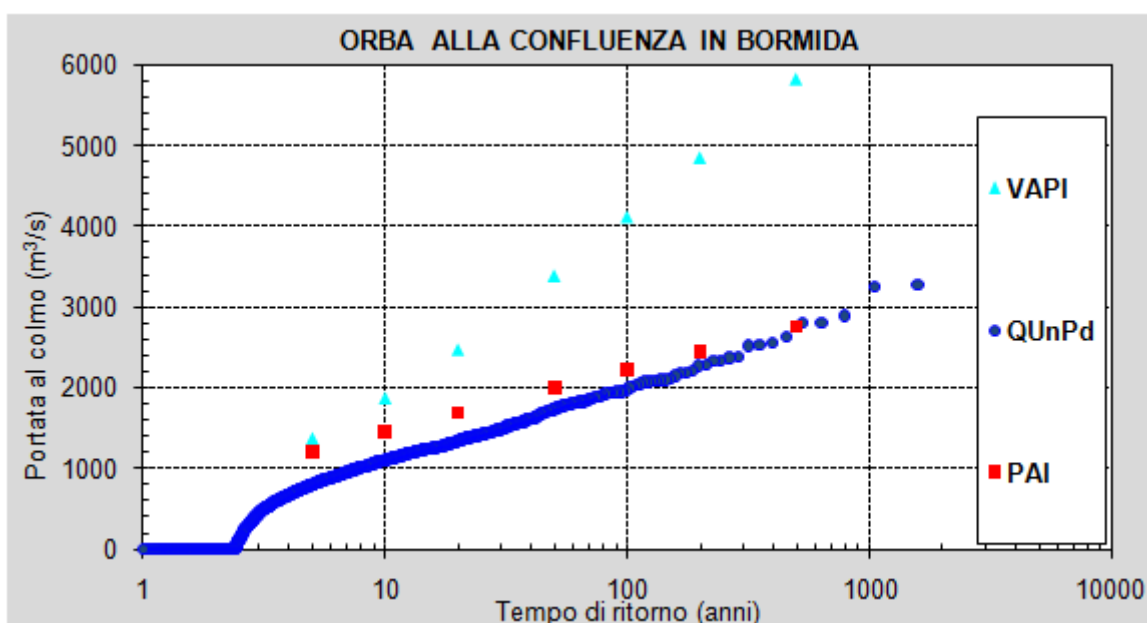


Fig. 11 Portate massime al colmo nella sezione di confluenza in Bormida del torrente Orba, derivanti da PAI, da Studio Università di Padova e da VAPI Piemonte

A livello numerico, le differenze risultanti sono rappresentate nelle Tab. 7 e Tab. 8; considerando la portata con tempo di ritorno di 200 anni, che costituisce il valore di riferimento per la delimitazione delle fasce fluviali e per il dimensionamento delle opere di protezione idraulica, si vede che gli scostamenti tra PAI e UNIPD sono ovunque inferiori o circa uguali al 20%, con le portate PAI che sono generalmente più elevate; fa eccezione la sezione di Alessandria (confluenza in Tanaro) in cui lo scostamento è molto più modesto e rovesciato.

Lo scostamento dell'ordine del 20% rientra nelle tolleranze comunemente accettate nell'ambito delle stime idrologiche prodotte seguendo metodi diversi. Con questo criterio i valori dei due metodi possono essere considerati entrambi validi e si confermano a vicenda. La scelta a favore di sicurezza indirizzerebbe la preferenza verso le portate più elevate.

I grafici sopra presentati mostrano inoltre come la relazione tempo di ritorno – portata al colmo sia molto simile nei due metodi, mentre risulti decisamente divergente per il metodo VAPI.

Differenze considerevolmente superiori si hanno invece nel confronto tra PAI e VAPI; mantenendo il riferimento alla portata T 200, si hanno scostamenti che variano tra il 30% e circa il 100%, che portano a considerare i valori VAPI eccessivamente sovrastimati.

Tab. 7 Differenze percentuali tra le portate di piena al colmo determinate nella Direttiva PAI (interpolate per le sezioni mancanti) e quelle derivanti dal metodo Università di Padova (in grassetto le differenze superiori al 20%)

Corso d'acqua	Sezione	QPAI – QunPd (%) per tempo di ritorno (anni)							
		5	10	20	50	100	200	500	MEDIA
Bormida	Acqui Terme	29	18	15	21	22	22	14	20
Bormida	Strevi	37	22	18	20	19	18	12	21
Bormida	Cassine	43	26	21	20	18	18	12	23
Bormida	Sezzadio	46	29	24	22	21	19	14	25
Bormida	Castellazzo B.	48	31	27	23	21	20	15	26
Bormida	Alessandria	20	4	0	-5	-9	-10	-8	-1
Orba	Silvano d'Orba	45	36	34	27	23	21	20	30
Orba	Predosa	43	33	31	25	21	19	20	27
Orba	Fresonara	34	24	21	12	10	7	0	15
Orba	Confl. Bormida	34	24	21	13	11	7	1	16
MEDIA		38	25	21	18	16	14	10	

Tab. 8 Differenze percentuali tra le portate di piena al colmo determinate nella Direttiva PAI (interpolate per le sezioni mancanti) e quelle derivanti dal metodo VAPI – Piemonte (in grassetto le differenze superiori al 20%)

Corso d'acqua	Sezione	QPAI – QVAPI (%) per tempo di ritorno (anni)							
		5	10	20	50	100	200	500	MEDIA
Bormida	Acqui Terme	-16	-12	-18	-21	-24	-34	-44	-24
Bormida	Strevi	-1	-3	-11	-20	-26	-36	-46	-20
Bormida	Cassine	10	4	-4	-16	-24	-34	-44	-16
Bormida	Sezzadio	16	9	1	-11	-20	-30	-40	-11
Bormida	Castellazzo B.	22	15	7	-6	-15	-25	-34	-5
Bormida	Alessandria	-16	-26	-37	-54	-67	-79	-92	-53
Orba	Silvano d'Orba	0	-16	-33	-56	-70	-82	-96	-50
Orba	Predosa	-2	-17	-34	-57	-71	-83	-96	-51
Orba	Fresonara	-11	-26	-44	-67	-82	-95	-108	-62
Orba	Confl. Bormida	-13	-29	-46	-70	-85	-98	-111	-65
MEDIA		-1	-10	-22	-38	-48	-60	-71	

3.5 Confronto sui livelli idrici corrispondenti alle portate di piena al colmo

Un ulteriore elemento preso in considerazione per fare una scelta tra le portate stimate consiste nella valutazione delle differenze che si manifestano nei livelli idrici corrispondenti, a parità delle altre condizioni e di tempo di ritorno.

Il confronto è fatto per il tempo di ritorno di 200 anni, sulla base del modello di simulazione implementato per i due corsi d'acqua.

Il modello numerico, che utilizza il codice di calcolo Mike 11, è illustrato in dettaglio in altra parte del lavoro; ha le seguenti caratteristiche principali che descrivono lo stato attuale del corso d'acqua:

- modello geometrico dell'alveo appoggiato alle sezioni trasversali topografiche più recenti disponibili (2004 per il Bormida e 2007 per l'Orba), integrate con il DTM Lidar 2008 per le aree emerse;
- caratteristiche topografiche di tutte le opere trasversali (ponti e derivazioni);
- passo medio delle sezioni di calcolo circa 600 m per il Bormida e 300 m per l'Orba;
- assunzione di non tracimabilità per tutti gli argini presenti, classificati come tali nella banca dati opere idrauliche.

I profili di calcolo sono rappresentati graficamente in Fig. 12 ÷ Fig. 17 dove sono riportati rispettivamente:

- quello derivante dalle portate della Direttiva PAI,
- quello relativo alle portate dello studio dell'Università di Padova (UNIPD),
- quello contenuto nella Direttiva PAI.

L'ultimo profilo è rappresentato in quanto contenuto nella Direttiva, ma è meno significativo dei primi due, derivando da simulazioni idrauliche appoggiate a una descrizione dell'alveo molto più approssimata e riferita a informazioni non aggiornate.

Vengono inoltre rappresentati i punti di attribuzione delle portate lungo le due aste e gli scostamenti risultanti tra il profilo PAI e quello UNIPD, in termini di valori medi per tronchi.

3.5.1 Profili idrici stazionari sul fiume Bormida

I risultati mostrano che il profilo idrico del PAI, nel tratto alto e centrale, a fronte di portate più elevate di circa il 20% rispetto a quelle UNIPD, è più elevato a seconda dei punti di 0,5 ÷ 0,9 m, che corrispondono a valori compresi tra l'8% e il 5% delle altezze idriche, che sono dell'ordine di circa 10 m.

Tratto	ΔQ_{200} (PAI – UNIPD) (%)	Δh_{200} (PAI – UNIPD) (m)	Δh_{200} (PAI – UNIPD) (%)
Tratto alto	18 ÷ 22	0,87 ÷ 0,57	8,2 ÷ 4,8
Tratto centrale	18 ÷ 19	0,51	4,6
Tratto focivo	20 ÷ -10	0,61 ÷ -0,28	4,7 ÷ -2,4

Nel tratto terminale, la portata UNIPD è ancora inferiore a quella PAI fino alla confluenza dell'Orba (Castellazzo B., 20%) e in questo tratto i livelli PAI sono superiori in media di 0,4 ÷ 0,6 m, che corrispondono a circa il 5% dell'altezza idrica (circa 12,8 m).

A valle della confluenza dell'Orba, le portate UNIPD superano quelle PAI del 10% e comportano livelli idrici superiori rispetto al PAI di circa 0,3 m (circa il 2,5% delle altezze idriche, che raggiungono valori attorno ai 12 m).

3.5.2 Profili idrici stazionari sul torrente Orba

Sul torrente Orba le portate PAI si mantengono costantemente superiori a quelle UNIPD, circa il 20% all'estremo di monte che si riduce al 7% alla confluenza in Bormida; la differenza di livello si riduce progressivamente da monte verso valle, con circa $0,5 \div 0,6$ m che passano a poco meno di 0,3 m.

Tratto	ΔQ_{200} (PAI – UNIPD) (%)	Δh_{200} (PAI – UNIPD) (m)	Δh_{200} (PAI – UNIPD) (%)
Tratto alto	19 \div 21	0,52 \div 0,62	8,4
Tratto centrale	7 \div 19	0,62 \div 0,26	8,4 \div 5,3
Tratto focivo	7	0,26	3,0

Le altezze medie di corrente variano da 6 m circa all'estremo di monte a 8,5 m alla confluenza.

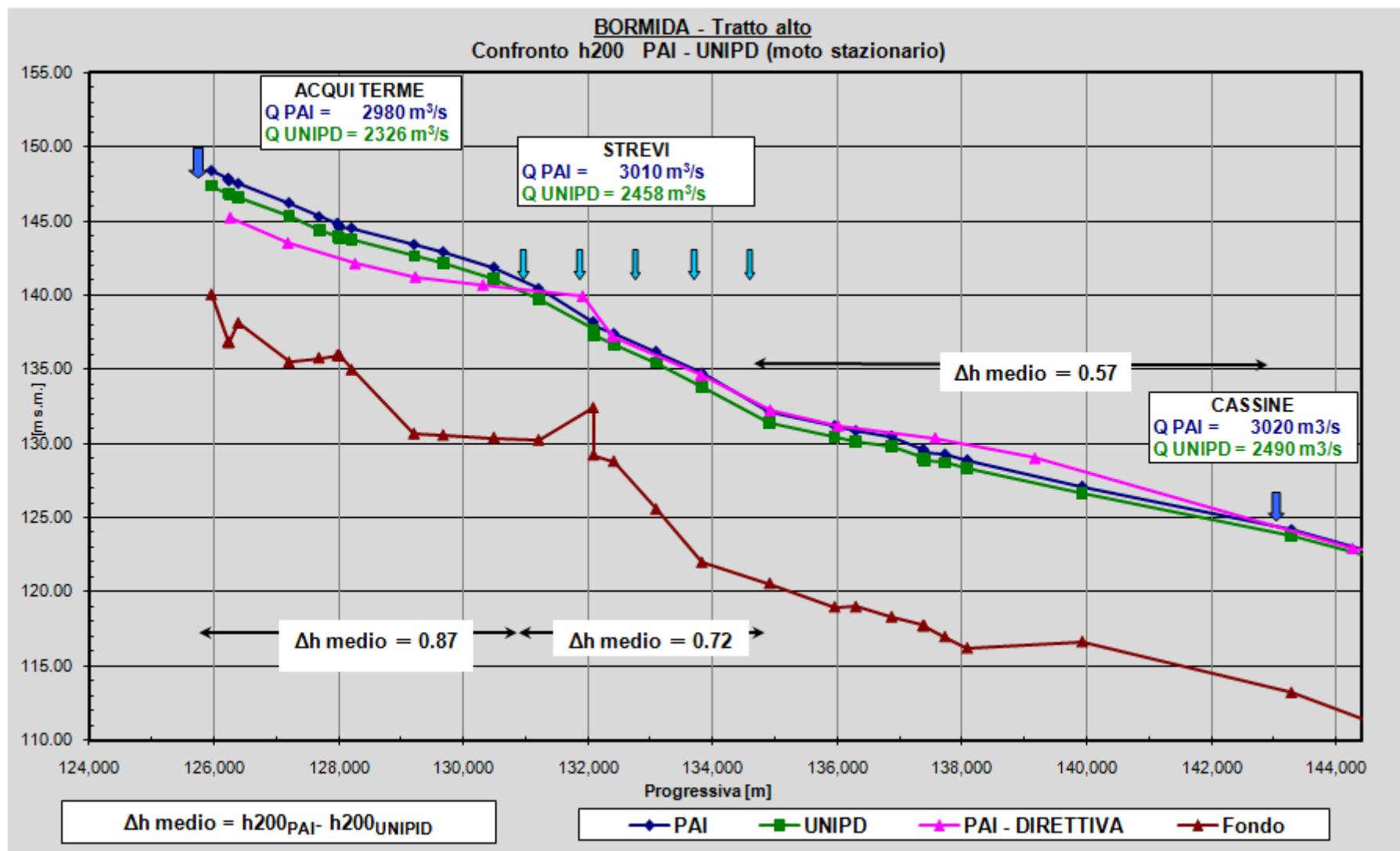


Fig. 12 Profili di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sul tratto alto del fiume Bormida (simulazione nella configurazione attuale, in moto stazionario)

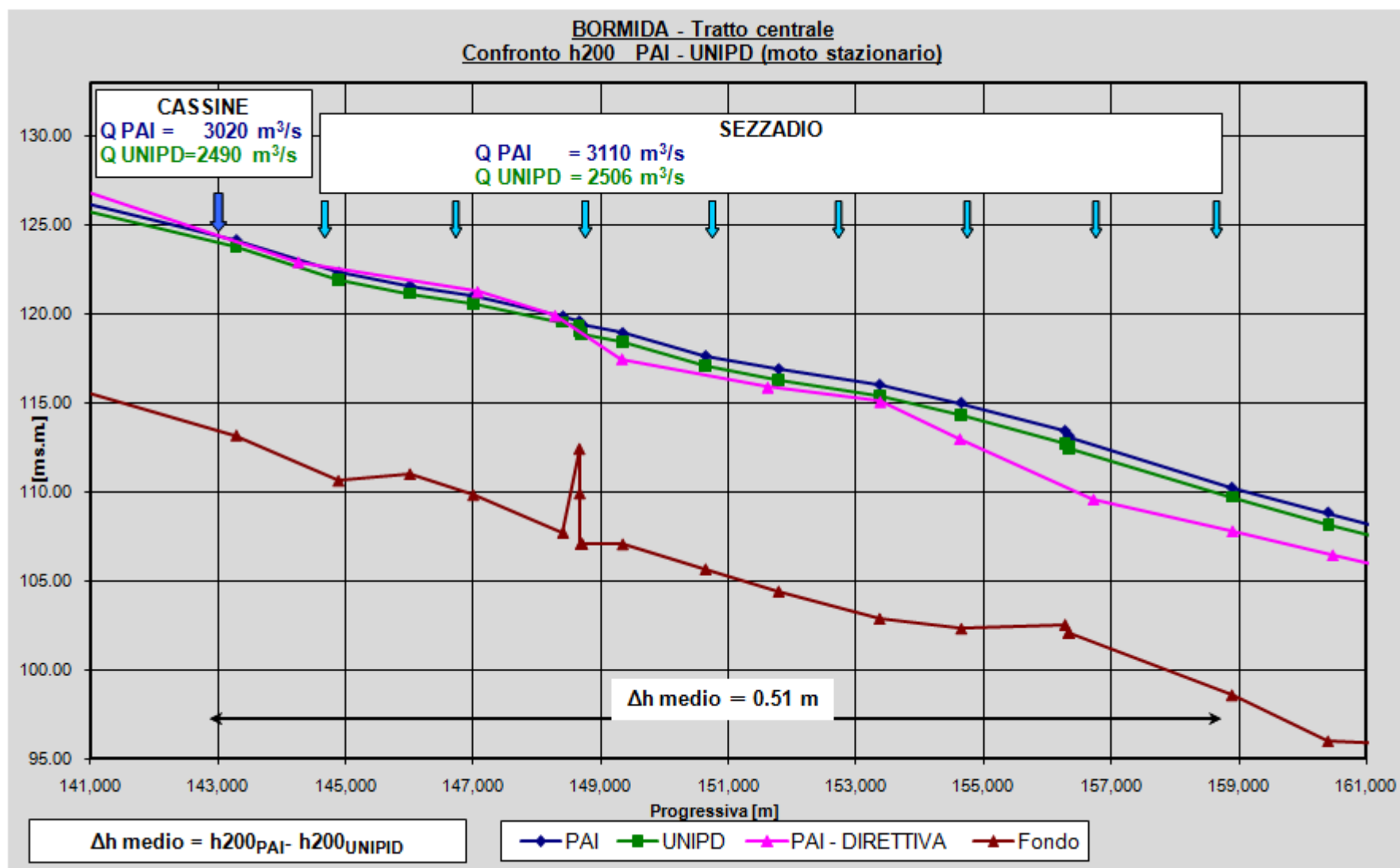


Fig. 13 Profili di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sul tratto contrale del fiume Bormida (simulazione nella configurazione attuale, in moto stazionario)

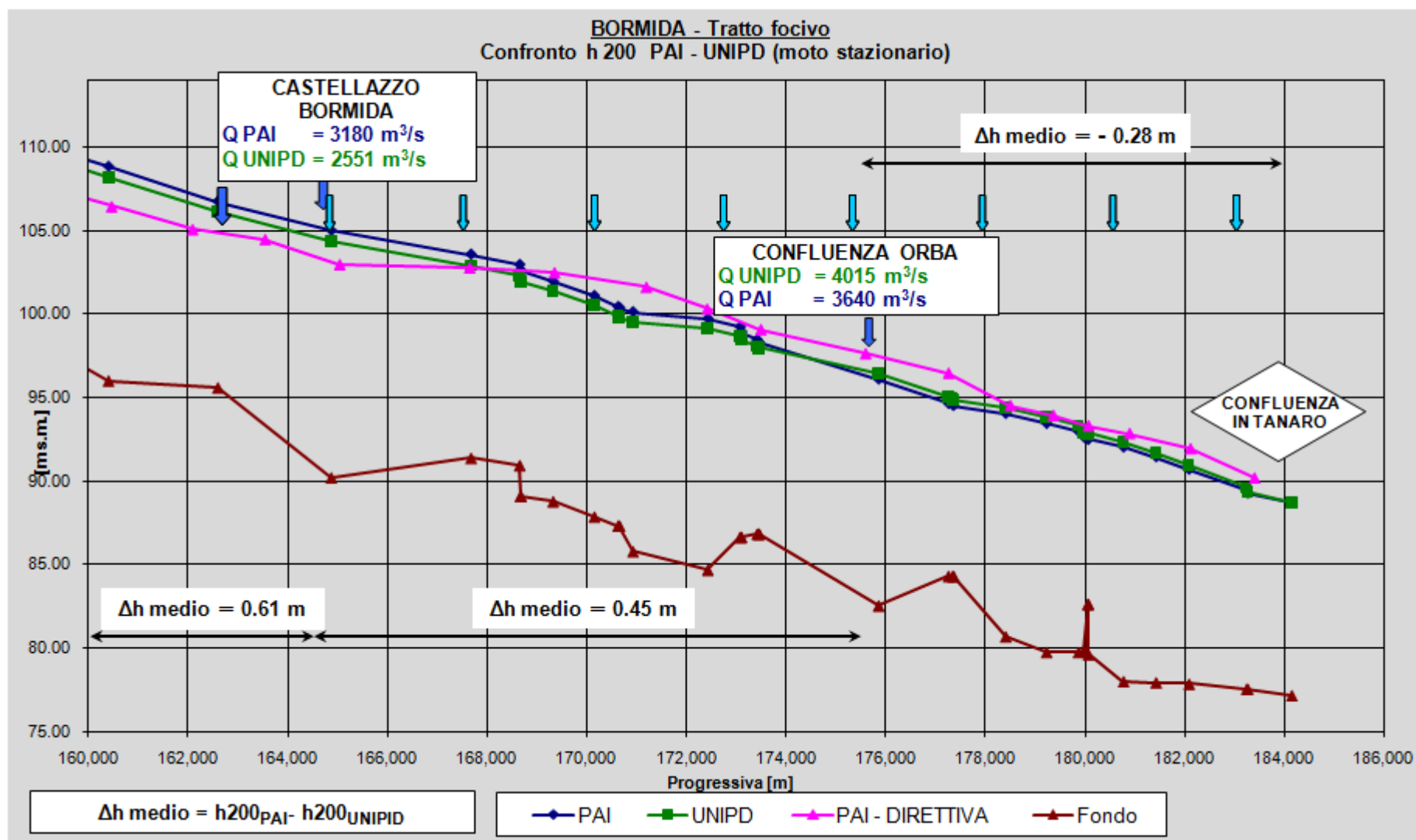


Fig. 14 Profili di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sul tratto contrale del fiume Bormida (simulazione nella configurazione attuale, in moto stazionario)

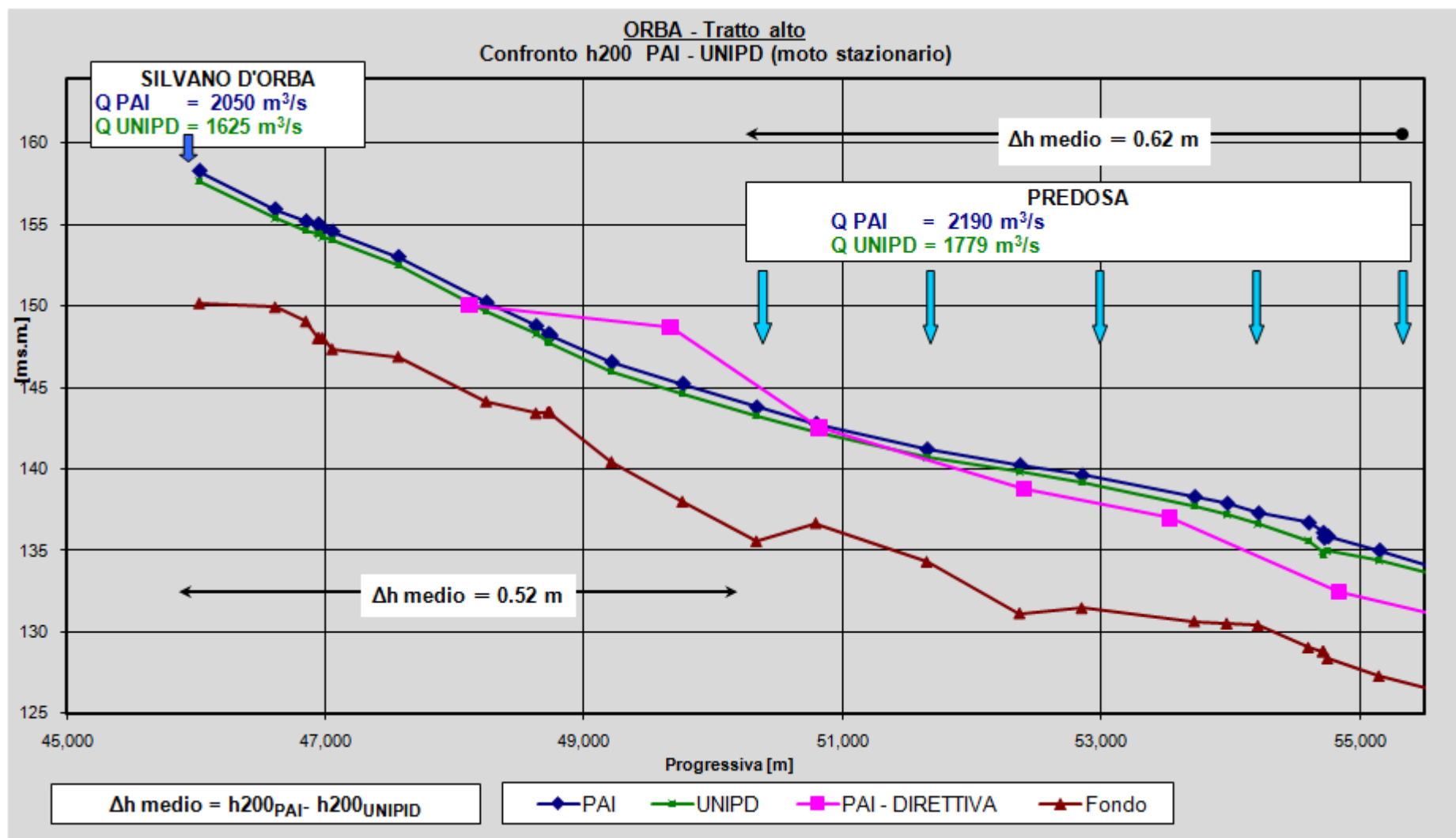


Fig. 15 Profili di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sul tratto alto del torrente Orba (simulazione nella configurazione attuale, in moto stazionario)

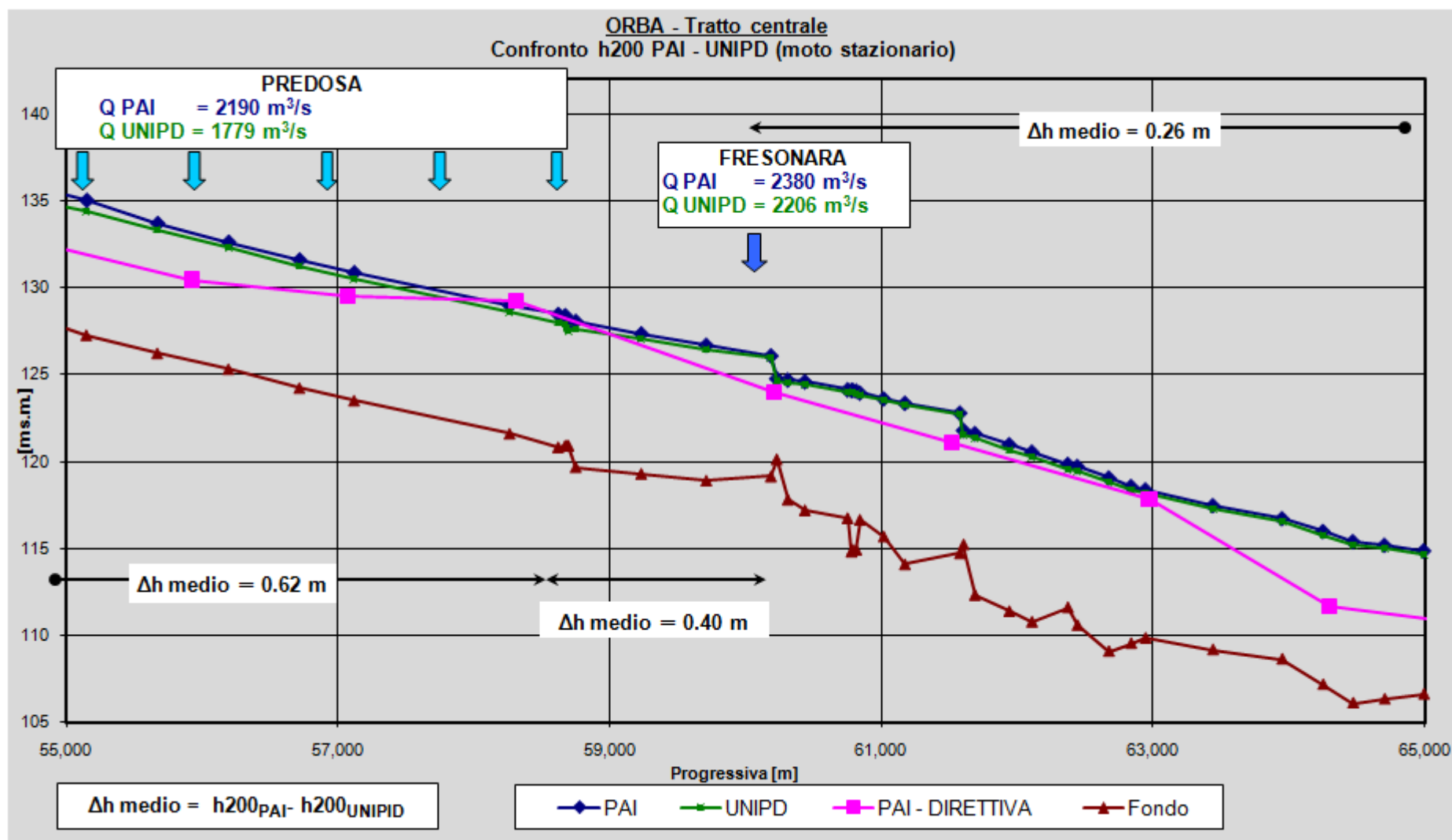


Fig. 16 Profili di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sul tratto centrale del torrente Orba (simulazione nella configurazione attuale, in moto stazionario)

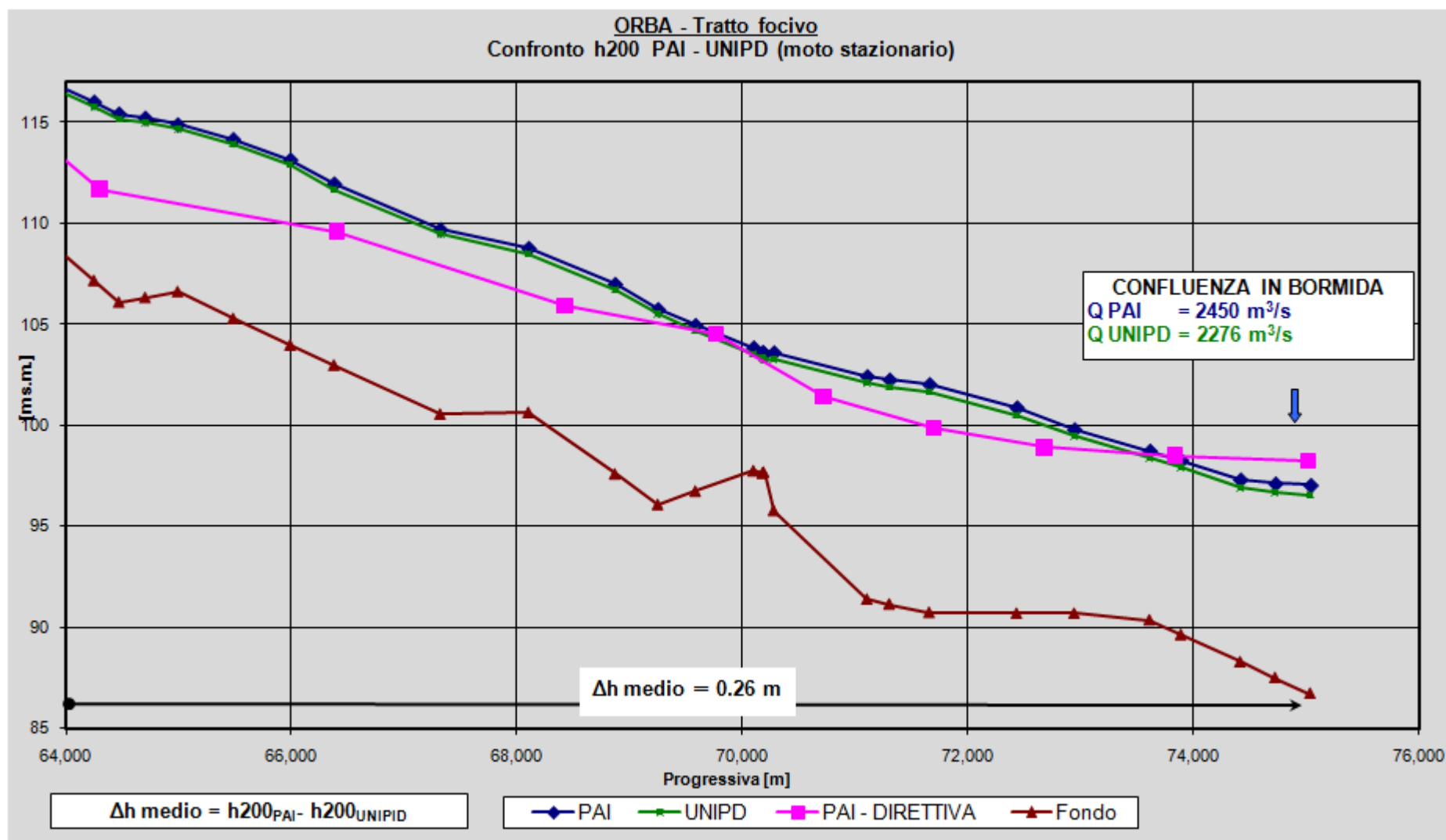


Fig. 17 Profili di piena per il tempo di ritorno di 200 anni sul tratto medio del torrente Orba (simulazione nella configurazione attuale, in moto stazionario)

Per la scelta di idrogrammi di piena di riferimento si è fatto ricorso allo studio dell'Università di Padova, che oltre ai valori al colmo, ha ricostruito in numerose sezioni del reticolo idrografico gli idrogrammi dei deflussi in portata, rappresentativi della risposta idrologica del bacino idrografico alle precipitazioni rilevanti. Le serie delle precipitazioni sono ricostruite dal modello, sulla base dei caratteri delle serie temporali storiche attraverso processi di tipo geostatistici e stocastici.

Vista la differenza tra le portate al colmo determinate per via strettamente idrologica derivanti dal PAI e dallo studio UNIPD, sono state elaborate due ipotesi per giungere all'assunzione dei valori di riferimento per l'assetto dei due corsi d'acqua correlato alle portate di piena.

Va tenuto conto in proposito che, per la struttura del metodo UNIPD che ricostruisce singoli eventi di piena, in ciascuna delle sezioni idrologiche significative (e più in generale in ciascuna delle sezioni delle due aste indagate) l'evento che dà luogo a un colmo con un assegnato tempo di ritorno (p.e. 200 anni) è potenzialmente diverso da quello che genera lo stesso tempo di ritorno nelle sezioni di monte o di valle.

In altre parole, il metodo UNIPD genera una serie di singoli eventi di piena, sulla base di input idrologici ricostruiti con criteri stocastici nello spazio e nel tempo, che hanno colmi la cui gravosità – in termini di tempo di ritorno – è diversa lungo il corso d'acqua (come per altro accade per una singola piena reale). Questa variazione dipende principalmente dalla specifica distribuzione spazio-temporale delle precipitazioni sul bacino idrografico sotteso.

Impiegando il metodo UNIPD, è stata associata, a ciascuna delle ipotesi di onde di piena assunte, la verifica degli effetti di laminazione lungo le due aste, attraverso la simulazione idrodinamica delle condizioni di deflusso, effettuata con l'impiego del modello descritto al precedente punto 3.5 in condizioni di moto non stazionario.

La verifica va per altro considerata con attenzione, in quanto il metodo UNIPD risulta tarato su eventi di piena recenti, prendendo in considerazione anche le stazioni idrometriche di misura sulla parte di valle dei corsi d'acqua principali; l'operazione di taratura dovrebbe aver conteggiato implicitamente anche la laminazione dovuta al deflusso lungo il fondovalle e nelle aree di espansione in pianura.

In relazione alle finalità del lavoro, le analisi della rispondenza delle diverse ipotesi sono state fatte avendo come riferimento le portate con tempo di ritorno di 200 anni. Inoltre le stesse analisi hanno escluso il tratto di torrente Orba a monte della sezione di Silvano, in quanto in esso non sono svolte valutazioni in ordine ai temi di protezione idraulica.

a) Portate al colmo PAI per i tempi di ritorno assegnati

Per associare ai valori di colmo gli idrogrammi di piena, per ciascun tempo di ritorno, viene fatto riferimento agli eventi ricostruiti da UNIPD, andando a scegliere per ciascuna asta quelli relativi agli eventi che nelle sezioni idrologiche significative hanno portate al colmo prossime a quelle PAI.

Si dà preferenza al criterio di avere, per ciascun corso d'acqua e per ciascun tempo di ritorno, un unico evento che sollecita l'intera asta indagata; ciò richiede, per conservare i colmi PAI nelle sezioni idrologiche significative, di modificare – “risalare” – gli idrogrammi UNIPD.

Va ricordato che, in ragione delle differenze evidenziate al precedente punto 3 tra le portate al colmo PAI e UNIPD a parità di tempo di ritorno, gli idrogrammi UNIPD che approssimano nelle varie sezioni idrologiche il colmo PAI hanno portate massime con tempo di ritorno superiore; fa eccezione la sezione di Bormida ad Alessandria in cui lo scostamento è invertito.

Le simulazioni idrodinamiche in condizioni di moto non stazionario con gli idrogrammi di piena selezionati permettono di avere ulteriori parametri di valutazione, in funzione delle differenze tra i livelli idrici e tra le portate al colmo, in relazione soprattutto alla funzione di laminazione lungo l'asta per le singole onde.

b) Portate al colmo UNIPD per i tempi di ritorno assegnati

L'ipotesi prevede l'assunzione diretta dei risultati derivanti dal metodo UNIPD; in questo caso l'associazione ai valori di colmo per assegnato tempo di ritorno del rispettivo idrogramma di piena non consente di mantenere lo stesso evento per ciascuno dei due corsi d'acqua. Come è stato osservato in precedenza, infatti, nelle diverse sezioni della stessa asta un valore di colmo di assegnato tempo di ritorno (p.e. 200 anni) viene raggiunto da eventi di piena diversi.

Tale condizione comporta quindi di avere eventi (idrogrammi di piena) diversi per i diversi tronchi in cui l'asta è suddivisa dalle sezioni idrologiche significative.

4.1 Portate al colmo PAI (tempo di ritorno 200 anni)

4.1.1 Fiume Bormida – idrogrammi in portata

Per il tempo di ritorno di 200 anni, la Tab. 9 riporta i valori della portata massima al colmo nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida derivanti dal metodo PAI e gli eventi di piena ricostruiti secondo il metodo UNIPD le cui portate al colmo approssimano per eccesso o per difetto quelle PAI.

Si ricorda che le portate massime al colmo degli eventi UNIPD hanno tempo di ritorno, nella scala di frequenze derivante dalla serie ricostruita UNIPD, superiore a 200 anni, con l'eccezione della sezione di Alessandria, come viene evidenziato in Tab. 9; per altro la scala di variazione tempo di ritorno – portata è di tipo logaritmico e quindi a variazioni consistenti del tempo di ritorno corrispondono variazioni modeste della portate (che sono contenute, come evidenziato in precedenza, in scostamenti massimi dell'ordine del 20%.

Tab. 9 Portate per il tempo di ritorno di 200 anni del PAI nelle sezioni idrologiche del fiume Bormida e codice degli eventi di piena UNIPD che comportano portate al colmo immediatamente superiori (+) e inferiori (-)

	Sezione idrologica	Cod.	Q ₂₀₀ PAI (m³/s)	Evento +	Evento -	T UNIPD (anni)
Bormida	Acqui Terme	893	2980	11472	12030	~ 500
Bormida	Strevi	896	3010	12030	6578	~ 500
Bormida	Cassine	899	3020	12030	6578	~ 500
Bormida	Sezzadio	903	3110	11472	12030	~ 500
Bormida	Castellazzo B.	907	3180	11472	12030	~ 500
Bormida	Alessandria	912	3640	13108	3408	~ 100

Sulla base di quanto risulta, sono stati selezionati gli eventi:

- 12030, che si ripete in 5 su 6 delle sezioni idrologiche,
- 11472, che si ripete in 3 su 6 delle sezioni idrologiche,
- 6578, che si ripete in 2 su 6 delle sezioni idrologiche.

Per ciascuno degli eventi sono state effettuate operazioni di riscalatura degli idrogrammi nelle sezioni idrologiche per ottenere un'onda di piena che, da monte verso valle, presenti in tutte le sezioni valori di colmo coincidente con quelli che, secondo i dati PIA, hanno tempo di ritorno di 200 anni.

Le Fig. 18, Fig. 19, Fig. 20, Fig. 21, Fig. 22e Fig. 23 mostrano le modifiche operate sugli idrogrammi e i coefficienti correttivi applicati per tutte le sezioni idrologiche. Il valore numerico di tali coefficienti mostra che si tratta di modifiche quantitativamente modeste.

4.1.1.1 *Idrogrammi 1 (evento 12030)*

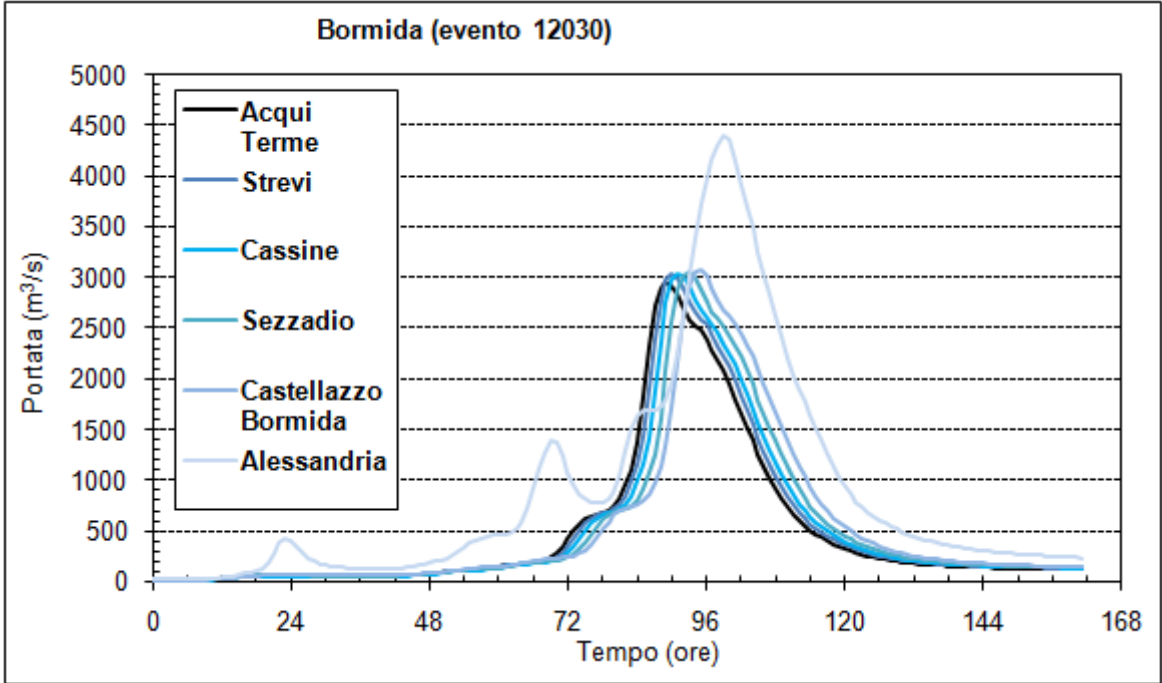


Fig. 18 Idrogrammi di piena dell’evento 12030 nelle sezioni idrologiche lungo l’asta del Bormida

Coefficienti correttivi					
Acqui Terme	Strevi	Cassine	Sezzadio	Castellazzo B.	Alessandria
1.01	0.99	0.99	1.02	1.04	0.83

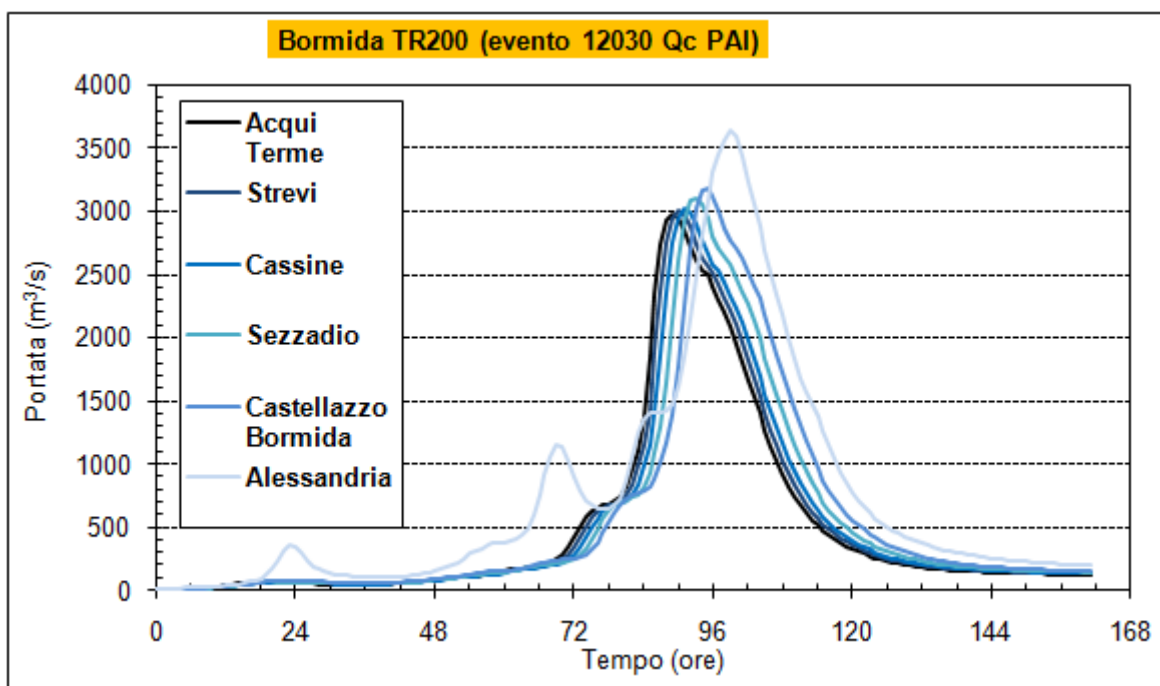


Fig. 19 Idrogrammi di piena dell'evento 12030 riscaldati al valore al colmo PAI nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

4.1.1.2 Idrogrammi 2 (evento 11472)

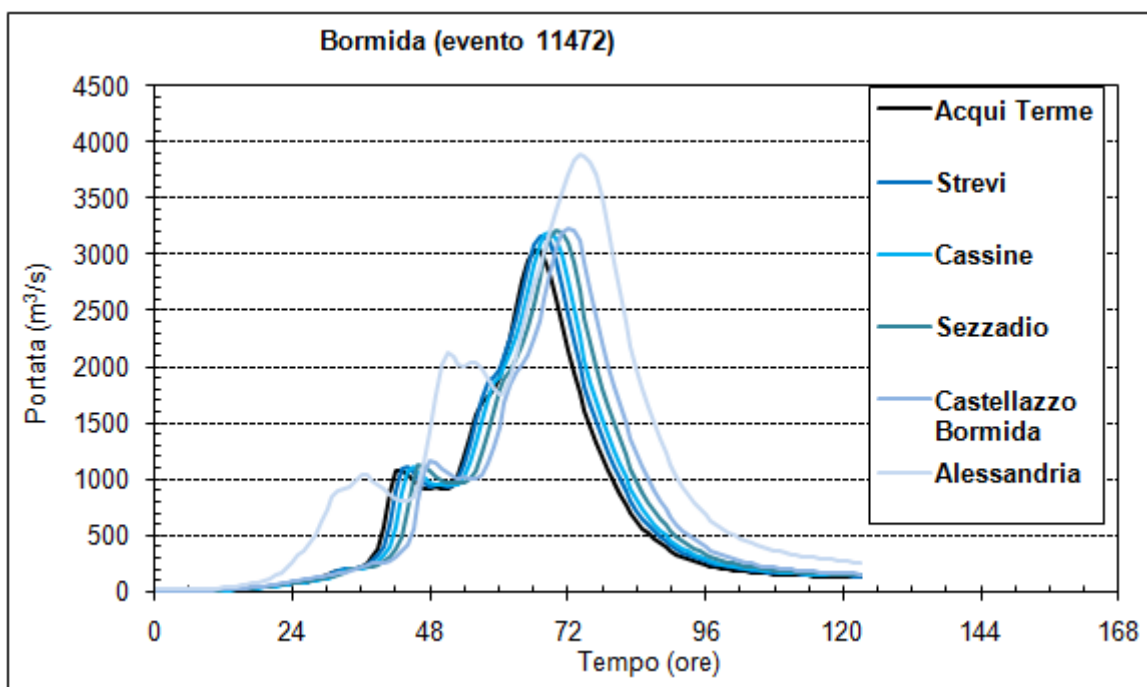


Fig. 20 Idrogrammi di piena dell'evento 11472 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

Coefficienti correttivi					
Acqui Terme	Strevi	Cassine	Sezzadio	Castellazzo B.	Alessandria
0.98	0.95	0.95	0.97	0.98	0.94

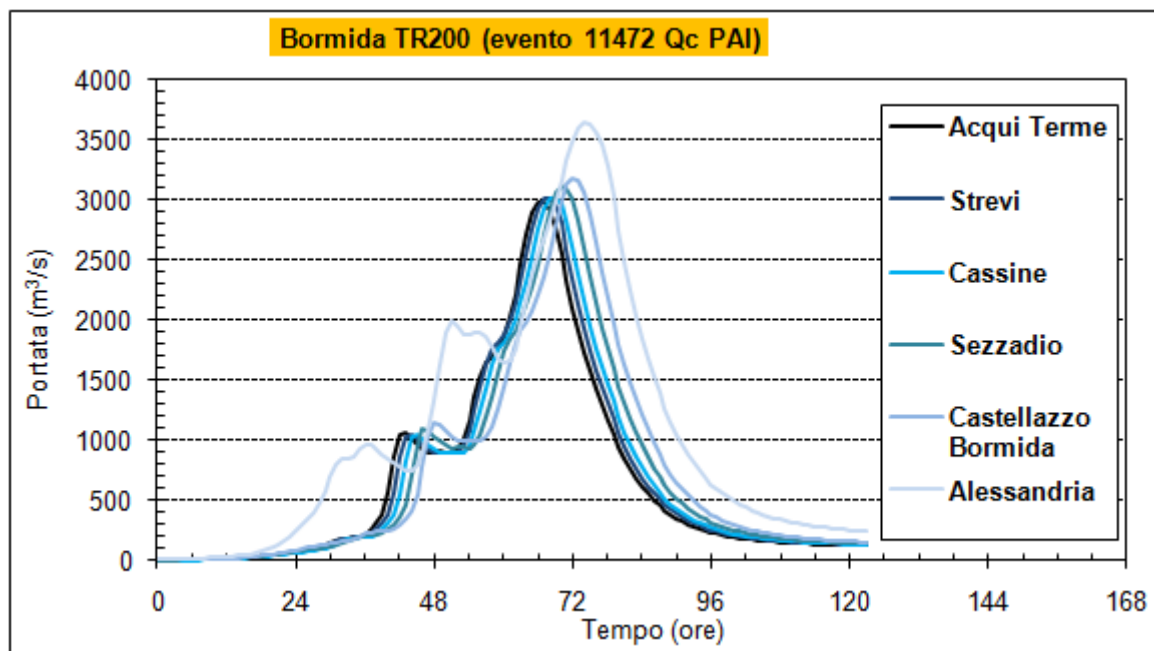


Fig. 21 Idrogrammi di piena dell'evento 11472 riscaldati al valore al colmo PAI nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

4.1.1.3 Idrogrammi 3 (evento 6578)

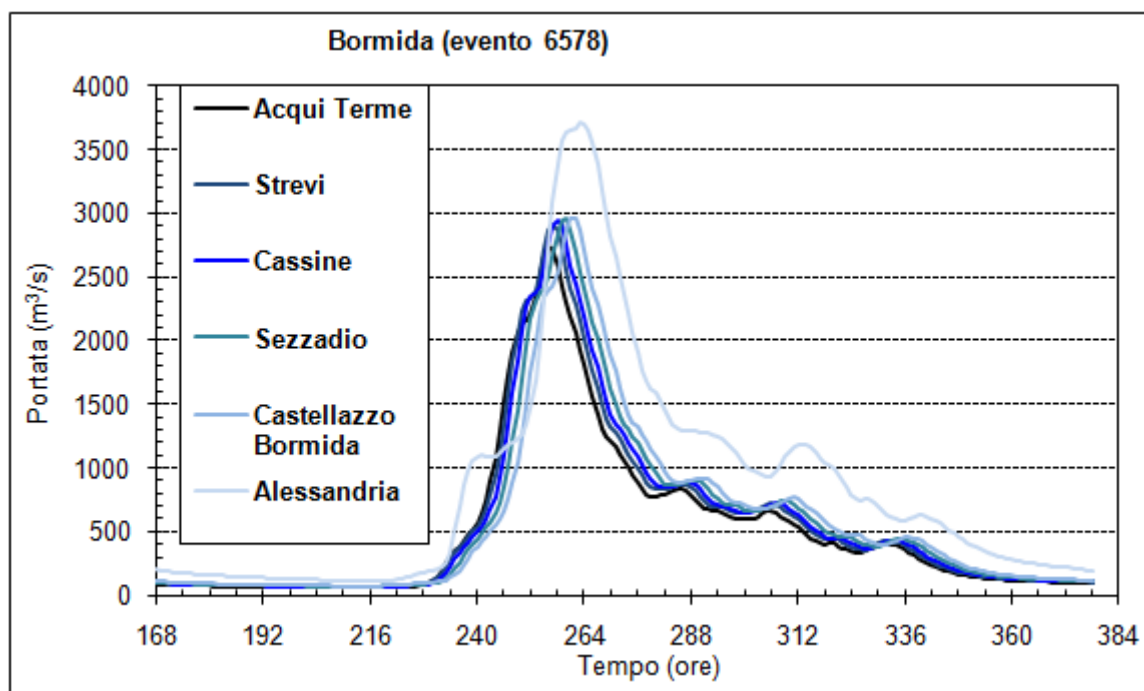


Fig. 22 Idrogrammi di piena dell'evento 6578 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

Coefficienti correttivi					
Acqui Terme	Strevi	Cassine	Sezzadio	Castellazzo B.	Alessandria
1.09	1.03	1.02	1.05	1.07	0.98

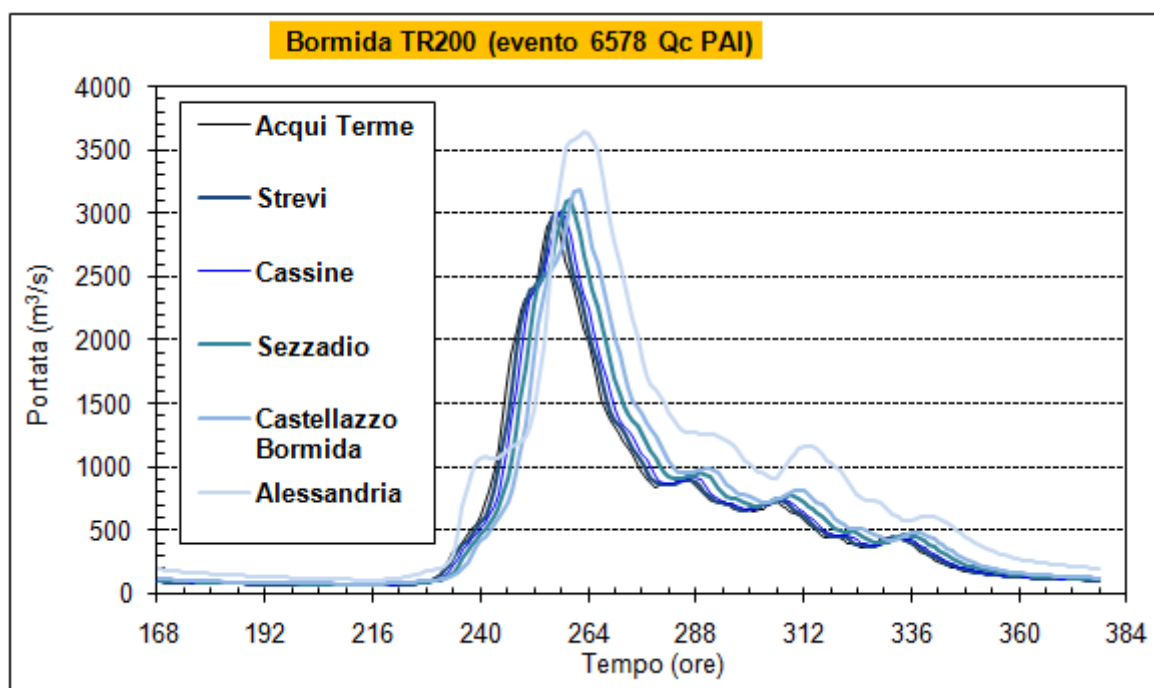


Fig. 23 Idrogrammi di piena dell'evento 6578 riscaldati al valore al colmo PAI nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

4.1.2 Fiume Bormida – profili di piena in moto non stazionario

Le simulazioni idrodinamiche delle condizioni di deflusso degli idrogrammi (modello 1D, in moto vario) sopra determinati hanno permesso di evidenziare i seguenti elementi:

- il profilo inviluppo di piena, confrontabile con quello in condizioni stazionarie, a parità di portata al colmo;
- l'andamento della portata al colmo lungo l'asta risultante dalla simulazione, che tiene conto delle condizioni di laminazione lungo l'alveo.

Le restituzioni grafiche dei risultati sono riportate nelle Fig. 24÷ Fig. 27.

L'analisi dei risultati ottenuti, in termini di portata massima al colmo, mette in evidenza che lungo l'asta la portata rimane circa invariata rispetto a quella idrologica (di moto permanente) fino alla sezione di Cassine, dove la portata idrodinamica ha una riduzione dell'ordine del 3%.

A valle, si ha una riduzione progressiva del colmo idrodinamico per i tre idrogrammi simulati, mentre la portata idrologica cresce progressivamente, secondo il modello di funzionamento del bacino idrografico proprio sia del metodo PAI che del metodo UNIPD.

Da Cassine a Castellazzo B. la riduzione di Q passa dal 3% all'11%; a monte della confluenza dell'Orba arriva al 14%, che rappresenta una laminazione dell'ordine del 17% rispetto al colmo idrologico.

Per due su tre degli idrogrammi simulati si ha una leggera ripresa del valore della portata dovuto al contributo dell'Orba.

Per tutti gli idrogrammi simulati la portata rimane pressoché costante a valle delle confluenze dell'Orba fino alla confluenza in Tanaro, a conferma dell'assenza di laminazione in tale tronco; il valore della laminazione della portata idrodinamica rispetto alla portata idrologica varia dal 22 al 28% per i tre eventi. Tale fatto è dovuto soprattutto all'effetto del contributo concentrato dell'Orba, che nella simulazione idrodinamica viene laminato in misura significativa.

Se si considera quindi quest'ultimo aspetto come l'effetto locale e particolare della confluenza (effetto locale di laminazione di una punta consistente in portata ma poco significativa in volume), si può ritenere che la laminazione media lungo l'asta (per le 3 onde esaminate) sia compresa tra il 15% e il 20%.

L'andamento lungo l'asta dell'involuppo dei livelli idrometrici al colmo è naturalmente coerente con le riduzioni per laminazione delle portate sopra descritte:

- nel tratto alto, fino a Cassine, lo scostamento tra livelli stazionari e valori involucpo della simulazione in moto non stazionario è praticamente trascurabile (valori dell'ordine di qualche cm);
- nel tratto centrale, fino a monte di Castellazzo, la riduzione media di circa un 10% del colmo in portata corrisponde a una riduzione di livelli rispetto a quelli del profilo stazionario compresa tra 20 e 30 cm;
- nel tratto terminale, dove la riduzione di portata è particolarmente consistente, si ha un abbassamento medio delle quote idriche che varia tra 50 ÷ 60 cm a monte dell'Orba e tra 60 e 85 cm a valle.

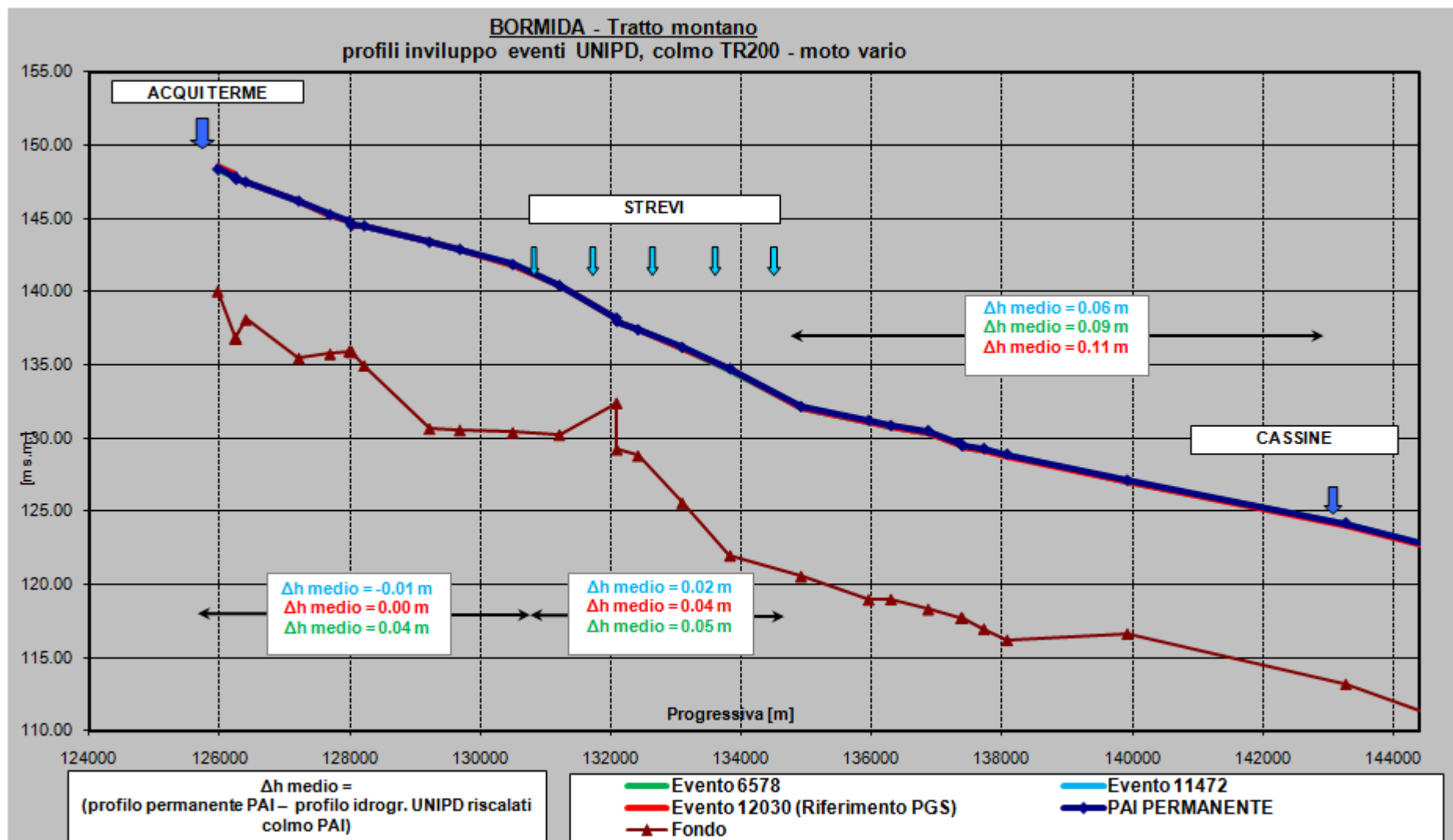


Fig. 24 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

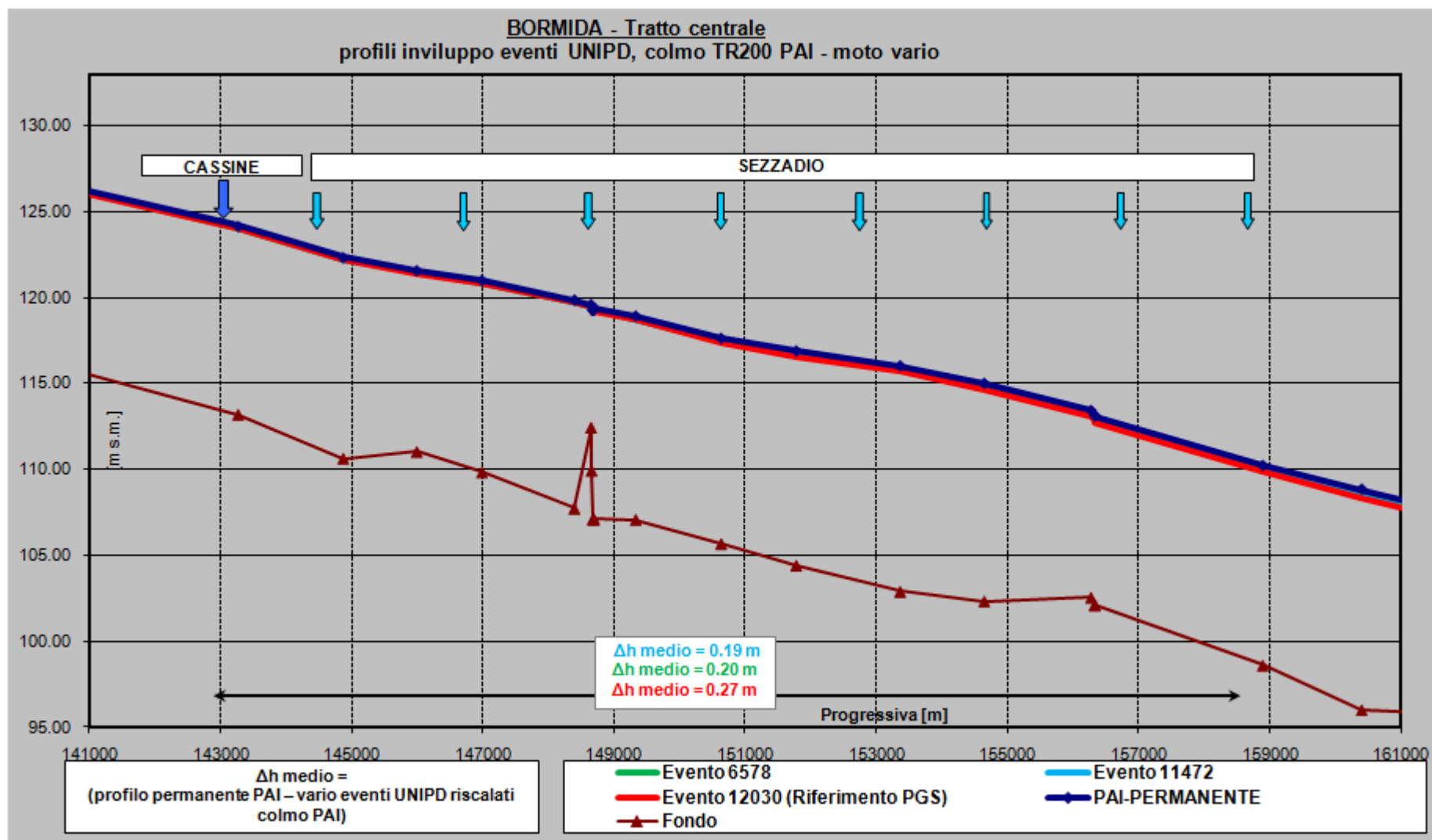


Fig. 25 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

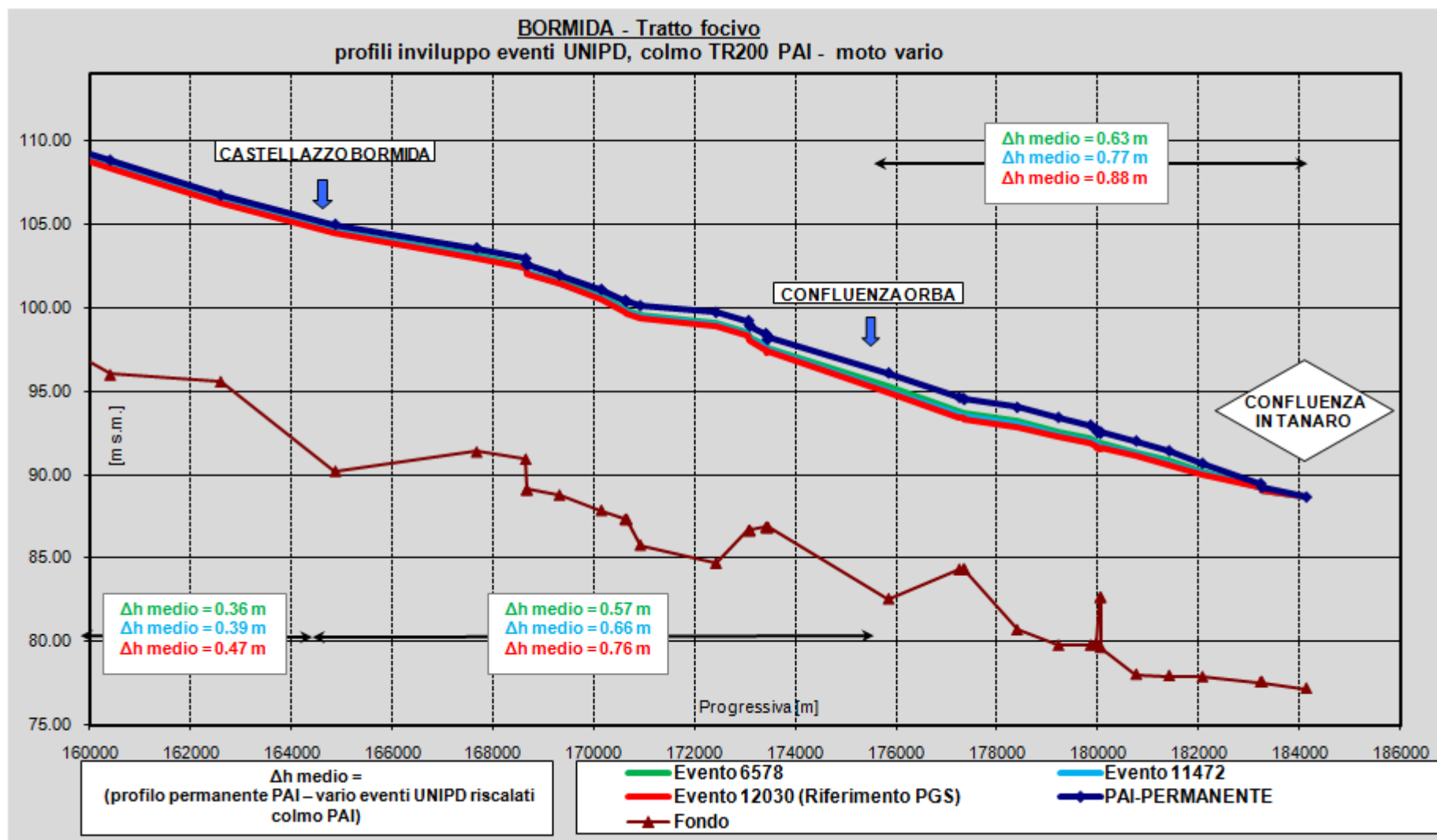


Fig. 26 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

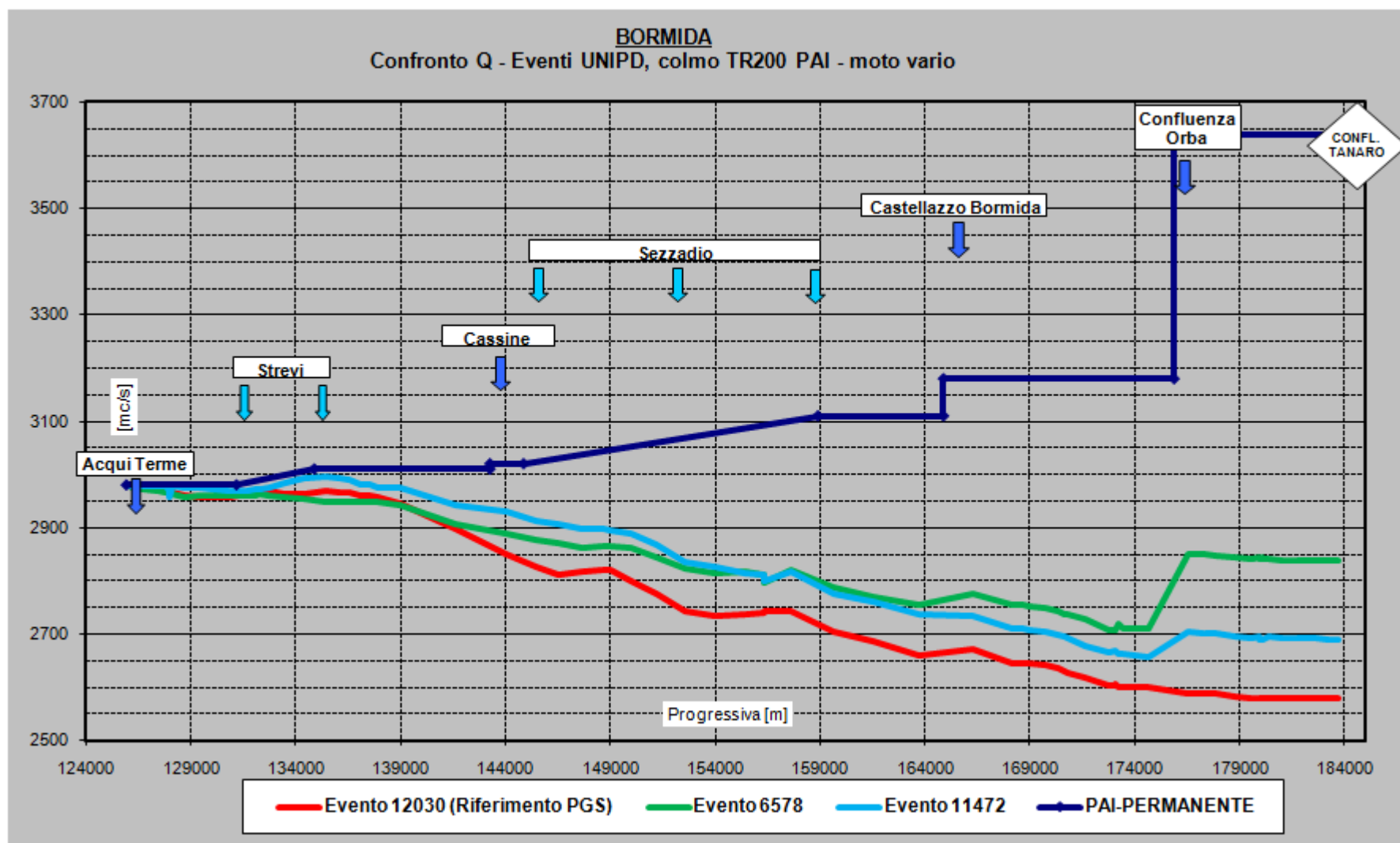


Fig. 27 Portate PAI in condizioni di moto permanente e portate in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

Una ulteriore verifica delle modalità di deflusso è stata condotta applicando la simulazione idrodinamica alle stesse onde di piena prima considerate, *senza operare l'operazione di adattamento ai valori di colmo del PAI*.

Le restituzioni grafiche dei risultati sono riportate nelle Fig. 28÷ Fig. 31.

In termini di *portata massima al colmo*, i risultati mostrano un andamento complessivamente più diversificato in funzione dei singoli eventi simulati, mancando in questo caso l'operazione preliminare di riscalatura ai colmi PAI degli idrogrammi.

Per uno dei tre eventi, il n. 11472, il colmo supera il tempo di ritorno di 200 anni per tutto il tratto fino circa 5 km a valle di Cassine, per poi scendere al di sotto di tale soglia e rimanerci fino alla foce.

Tutti gli eventi mostrano, a partire dall'estremo di monte, una risalita della portata fino all'altezza di Strevi e successivamente un costante trend a decrescere fino alla confluenza Orba; alla confluenza si ha un significativo incremento dovuto all'apporto dell'Orba e successivamente un andamento costante, a conferma dell'assenza di laminazione nel tratto terminale.

L'incremento di portata al colmo alla confluenza dell'Orba è maggiore rispetto alla serie degli idrogrammi precedenti per il fatto che il colmo idrologico di questi eventi è maggiore rispetto al tempo di ritorno di 200 anni.

In termini di laminazione del colmo, il fenomeno si verifica per i 3 eventi tra la sezione di Strevi e la confluenza Orba, con valori differenziati:

- l'evento 11472 ha una riduzione del colmo pari a 13% circa tra Strevi e confluenza Orba, che corrisponde a una laminazione del 29% rispetto al colmo idrologico; nel tratto terminale a valle della confluenza, che non ha laminazione propria, la differenza tra il colmo laminato dell'evento e la portata PAI con tempo di ritorno di 200 anni è del 20%;
- l'evento 12030 ha una riduzione del colmo tra Strevi e Orba del 15%, che corrisponde a una laminazione del 42% rispetto al colmo idrologico; nel tratto terminale la differenza tra il colmo laminato dell'evento e la portata PAI con tempo di ritorno di 200 anni è del 19%, analoga a quella dell'evento precedente;
- l'evento 6578 ha una riduzione del colmo tra Strevi e Orba del 10%, che corrisponde a una laminazione del 31% rispetto al colmo idrologico; nel tratto terminale la differenza tra il colmo laminato e la portata PAI con tempo di ritorno di 200 anni è del 20%.

In conclusione, gli eventi analizzati mostrano una laminazione molto significativa fino alla confluenza Orba, che si attesta tra il 30 e il 40% rispetto al colmo idrologico; il fenomeno si riduce a circa il 20% nel tratto terminale.

L'andamento lungo l'asta dell'involuppo dei livelli idrometrici al colmo è naturalmente coerente con le riduzioni per laminazione delle portate sopra descritte:

- nel tratto alto, fino a Cassine, lo scostamento tra livelli stazionari e valori involuppo della simulazione in moto non stazionario è modesto, compreso tra qualche cm e un massimo di 30 cm per i 3 eventi;
- nel tratto centrale, fino a monte di Castellazzo, si mantiene ancora modesto, con valori medi compresi tra circa 10 cm e 30 cm per i 3 eventi;
- nel tratto terminale, dove la riduzione di portata è particolarmente consistente, si ha un abbassamento medio delle quote idriche per i 3 eventi di 50 ÷ 70 cm a monte dell'Orba e di 55 ÷ 60 cm a valle.

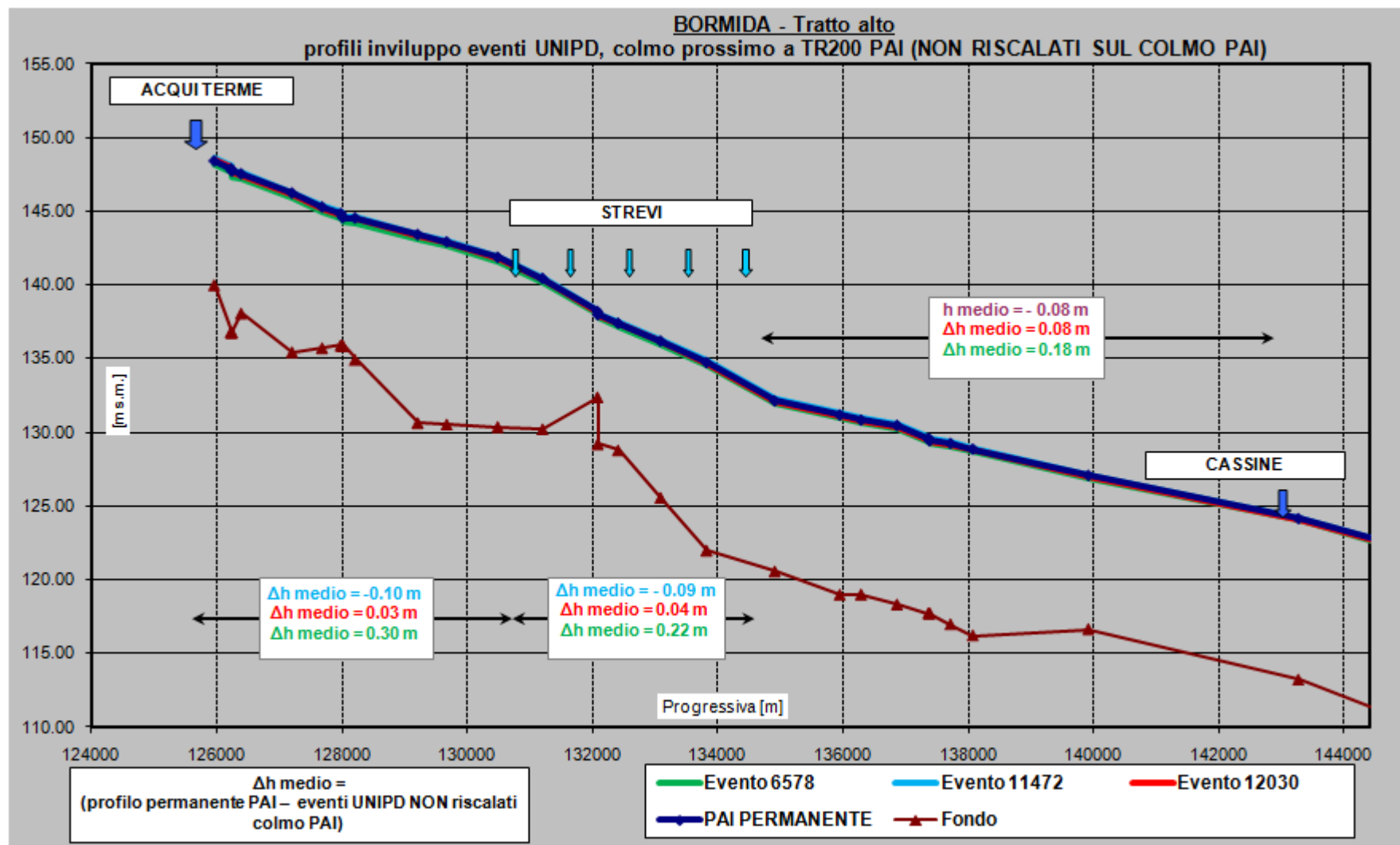


Fig. 28 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo NON riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

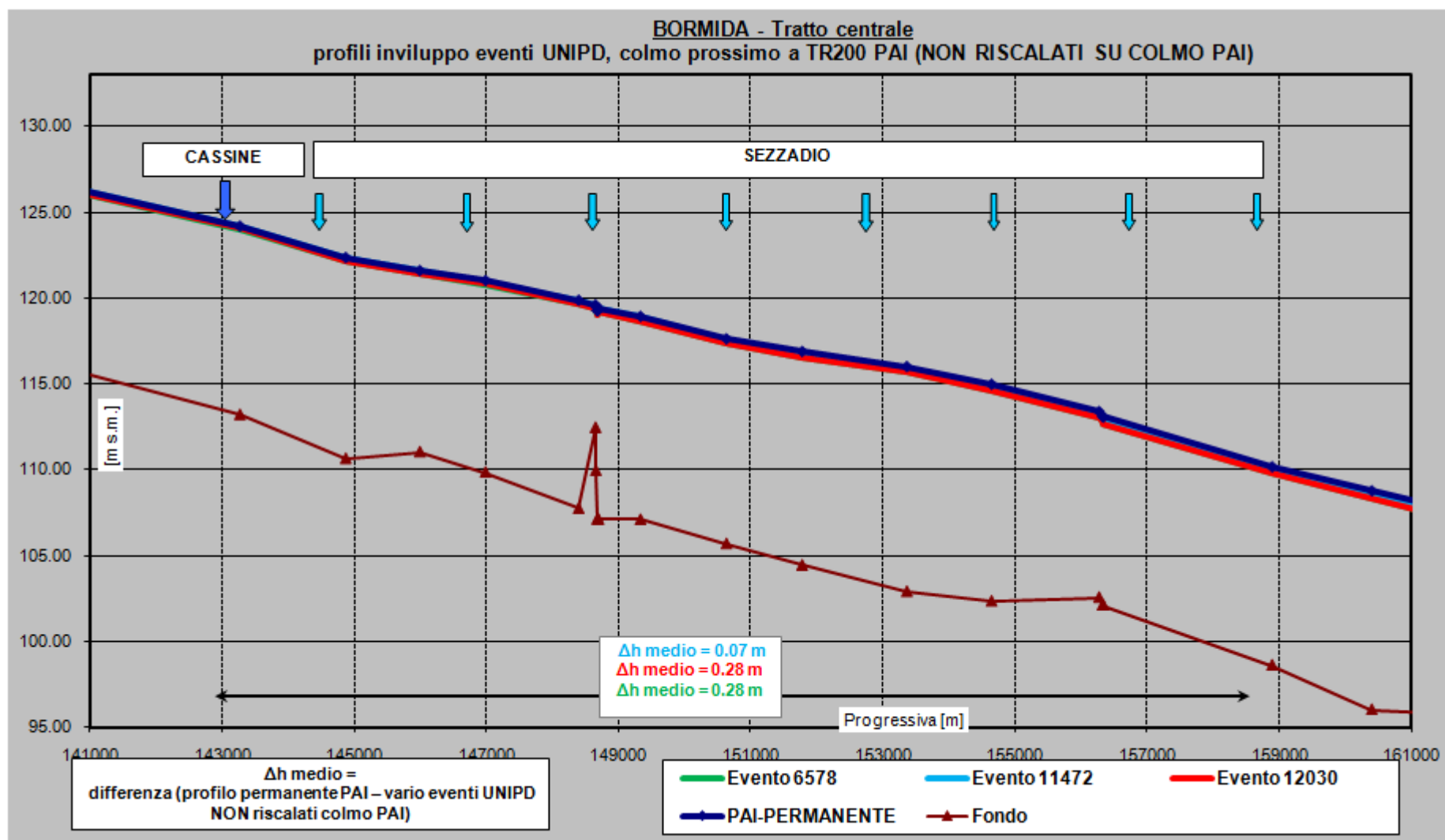


Fig. 29 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo NON riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

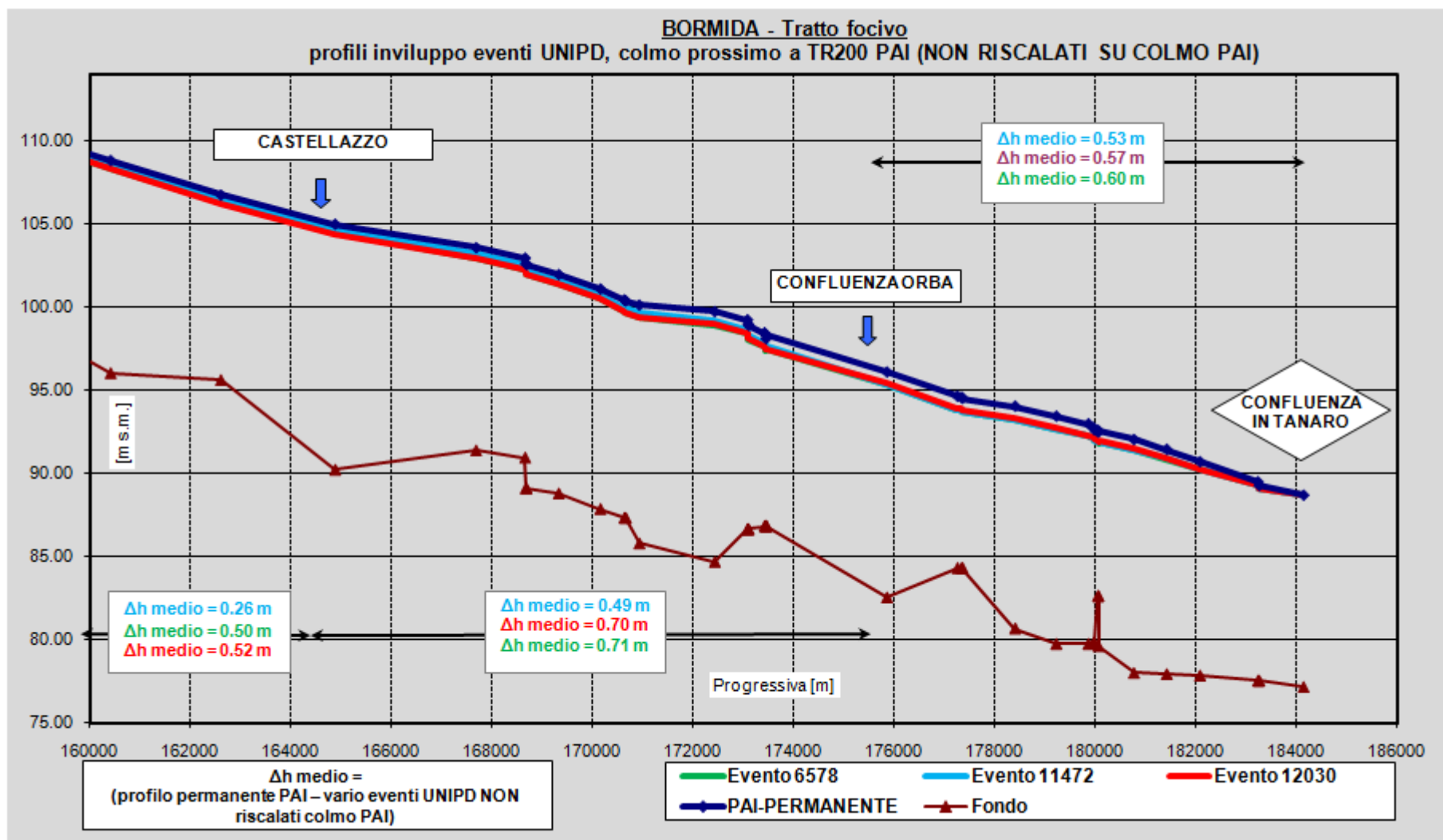


Fig. 30 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo NON riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni

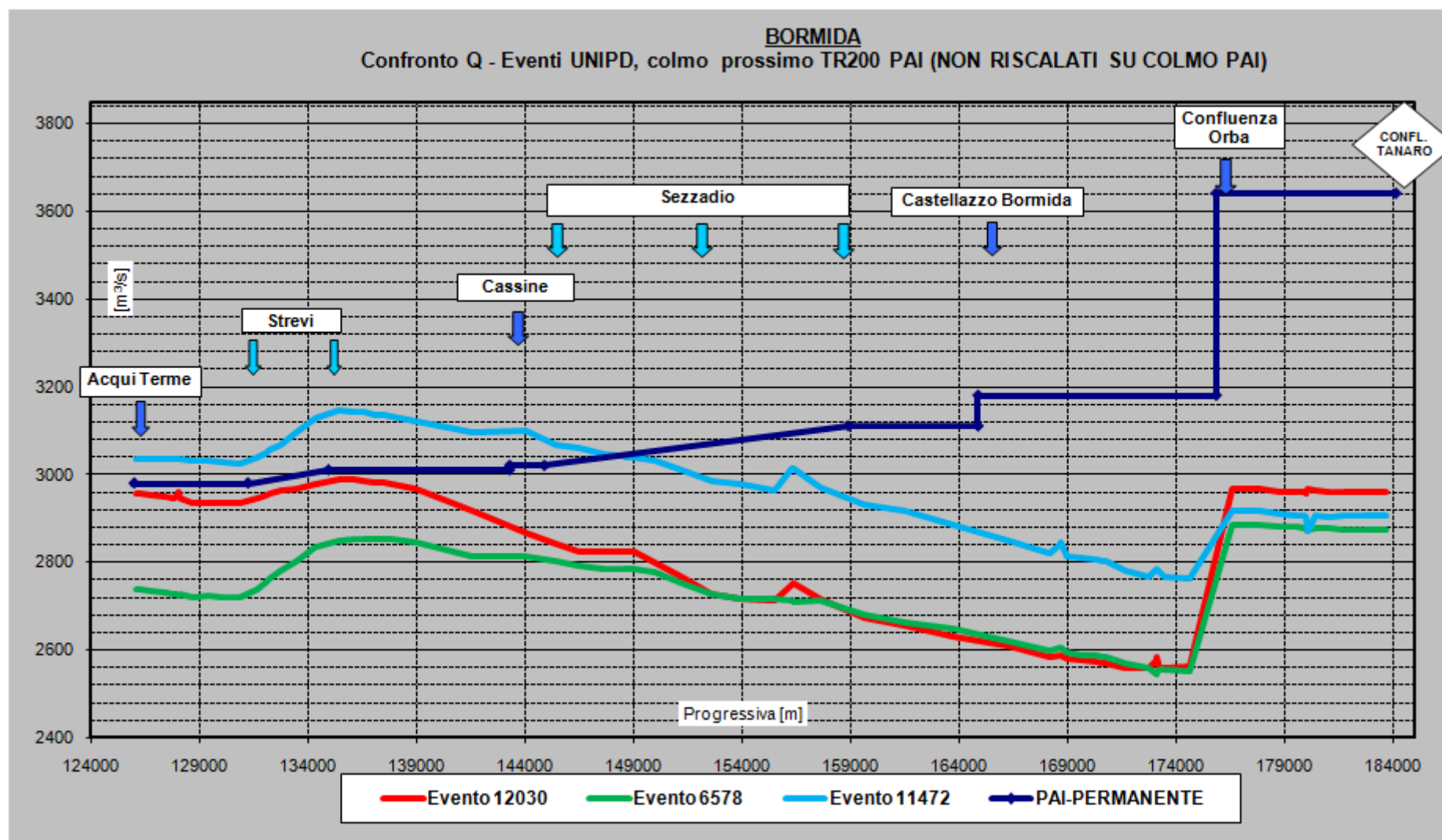


Fig. 31 Portate PAI in condizioni di moto permanente e portate in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con colmo NON riscaldato al valore PAI, per tempo di ritorno di 200 anni

4.1.3 Torrente Orba – idrogrammi in portata

Per il tempo di ritorno di 200 anni, la Tab. 10 riporta i valori della portata massima al colmo nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba derivanti dal metodo PAI e gli eventi di piena ricostruiti secondo il metodo UNIPD le cui portate al colmo approssimano per eccesso o per difetto quelle PAI.

Si ricorda che le portate massime al colmo degli eventi UNIPD hanno tempo di ritorno, nella scala di frequenze derivante dalla serie ricostruita UNIPD, superiore a 200 anni, come viene evidenziato in Tab. 10.

Tab. 10 Portate per il tempo di ritorno di 200 anni del PAI nelle sezioni idrologiche del torrente Orba e codice degli eventi di piena UNIPD che comportano portate al colmo immediatamente superiori (+) e inferiori (-)

	Sezione idrologica	Cod.	Q ₂₀₀ PAI (m ³ /s)	Evento +	Evento -	T UNIPD (anni)
Orba	Silvano d'Orba	504	2050	5600	2238	> 500
Orba	Predosa	510	2190	14712	5600	> 500
Orba	Fresonara	511	2380	5600	2238	~ 300
Orba	Confl. Bormida	515	2450	5600	12404	~ 300

Sono stati selezionati gli eventi:

- 5600, che si ripete in 3 su 4 delle sezioni idrologiche,
- 2238, che si ripete in 2 su 4 delle sezioni idrologiche,
- 14712, presente in 1 delle 4 sezioni.

Per ciascuno degli eventi sono state effettuate operazioni di riscalatura degli idrogrammi nelle sezioni idrologiche per ottenere un'onda di piena che, da monte verso valle, presenti in tutte le sezioni valori di colmo coincidente con quelli che, secondo i dati PIA, hanno tempo di ritorno di 200 anni.

Le Fig. 32 ÷ Fig. 37 mostrano le modifiche operate sugli idrogrammi e i coefficienti correttivi applicati per tutte le sezioni idrologiche. Il valore numerico di tali coefficienti mostra che si tratta di modifiche quantitativamente modeste.

4.1.3.1 Idrogrammi 1 (evento 5600)

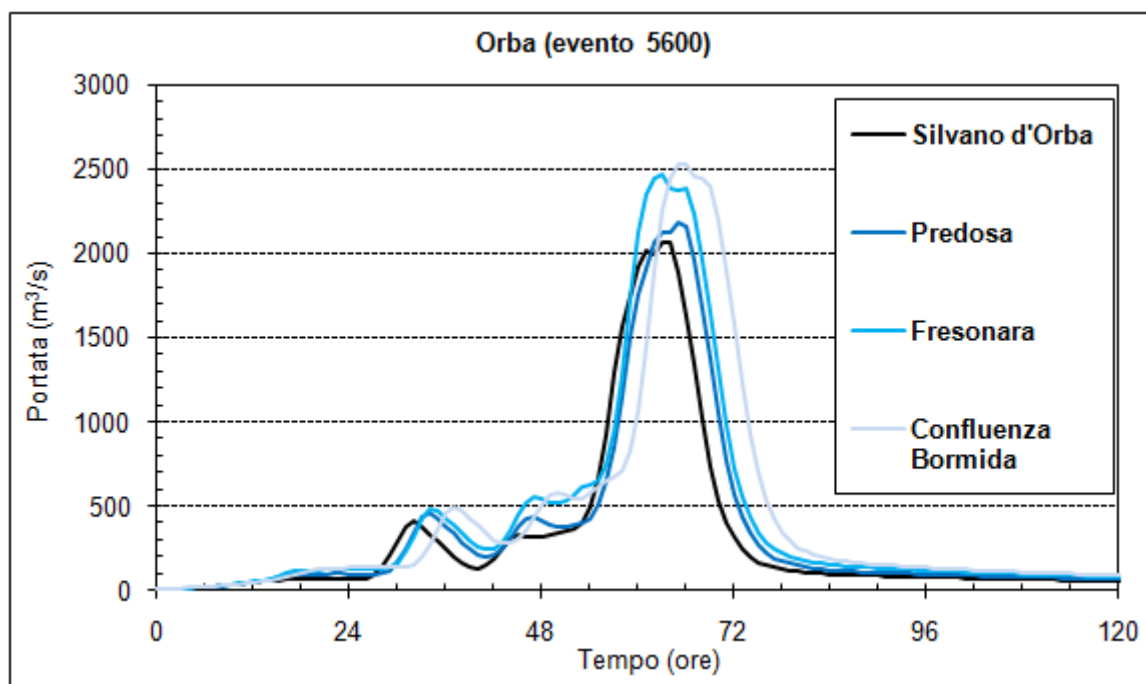


Fig. 32 Idrogrammi di piena dell'evento 5600 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

Coefficienti correttivi			
Silvano d'Orba	Predosa	Fresonara	Confl. Bormida
0.99	1.00	0.97	0.97

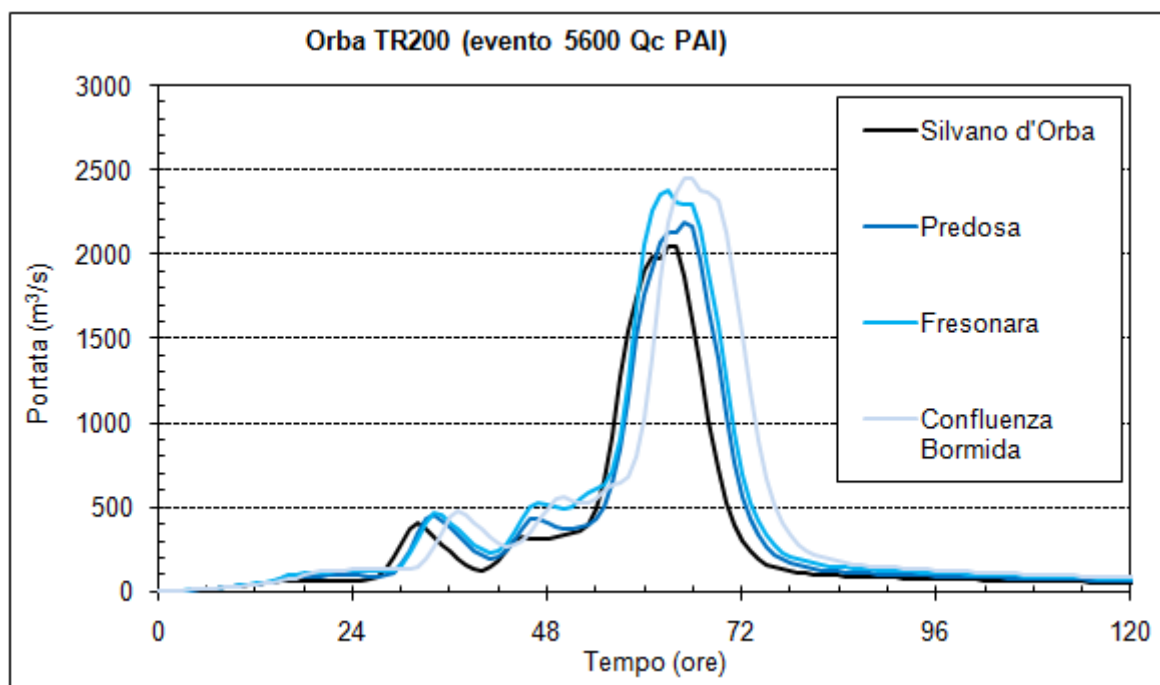


Fig. 33 Idrogrammi di piena dell'evento 5600 riscaldati al valore al colmo PAI nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

4.1.3.2 Idrogrammi 2 (evento 14712)

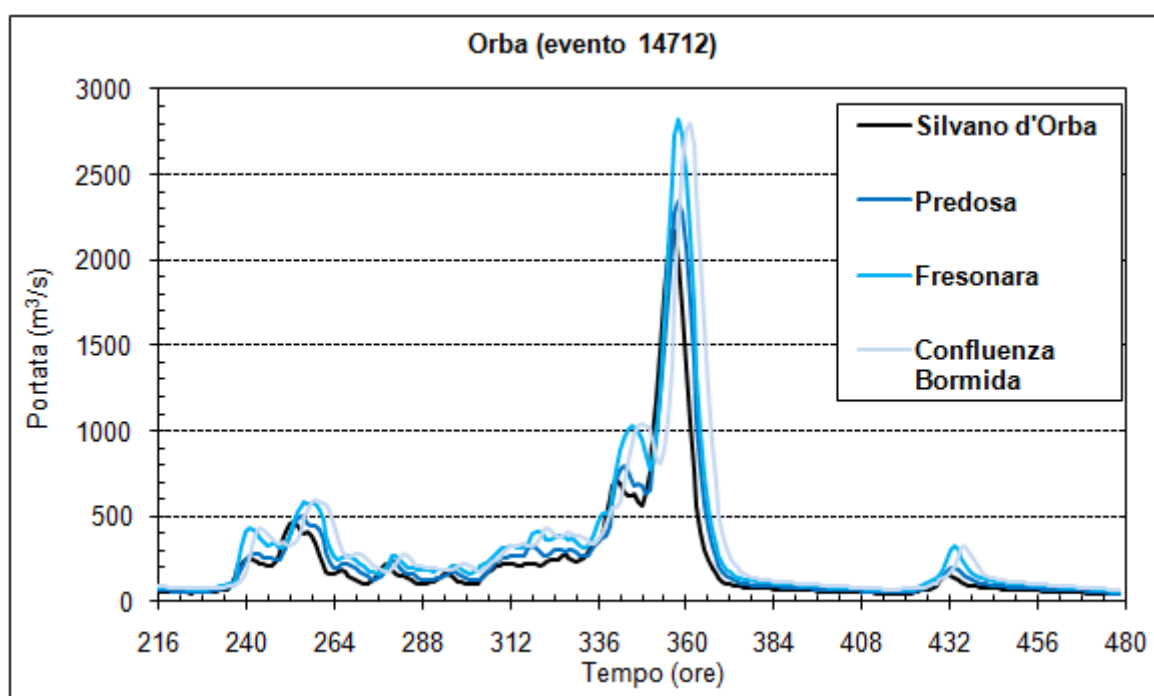


Fig. 34 Idrogrammi di piena dell'evento 14712 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

Coefficienti correttivi			
Silvano d'Orba	Predosa	Fresonara	Confl. Bormida
0.99	1.00	0.97	0.97

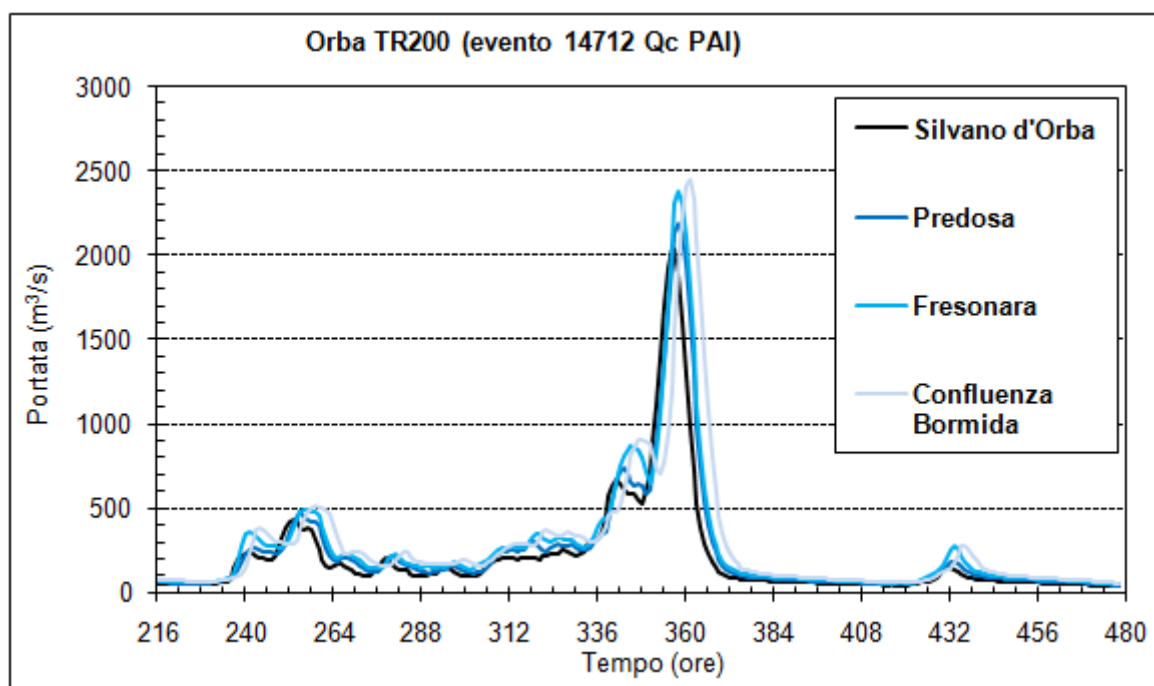


Fig. 35 Idrogrammi di piena dell'evento 14712 riscaldati al valore al colmo PAI nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

4.1.3.3 Idrogrammi 3 (evento 2238)

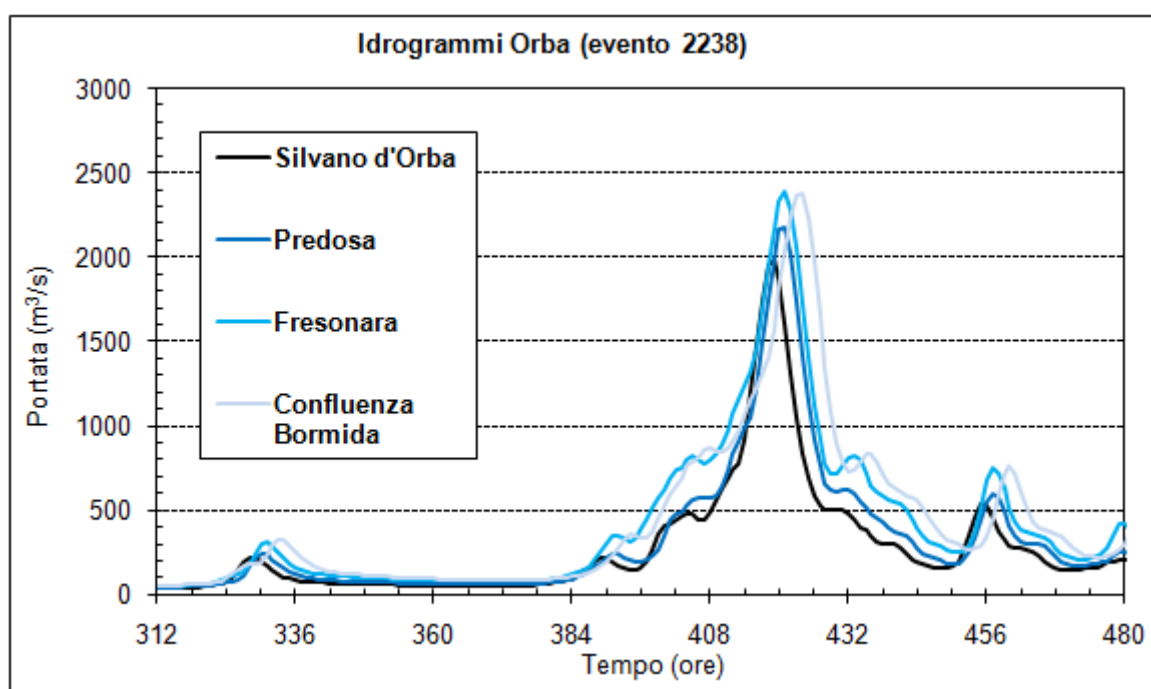


Fig. 36 Idrogrammi di piena dell'evento 2238 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

Coefficienti correttivi			
Silvano d'Orba	Predosa	Fresonara	Confl. Bormida
1.03	1.01	1.00	1.03

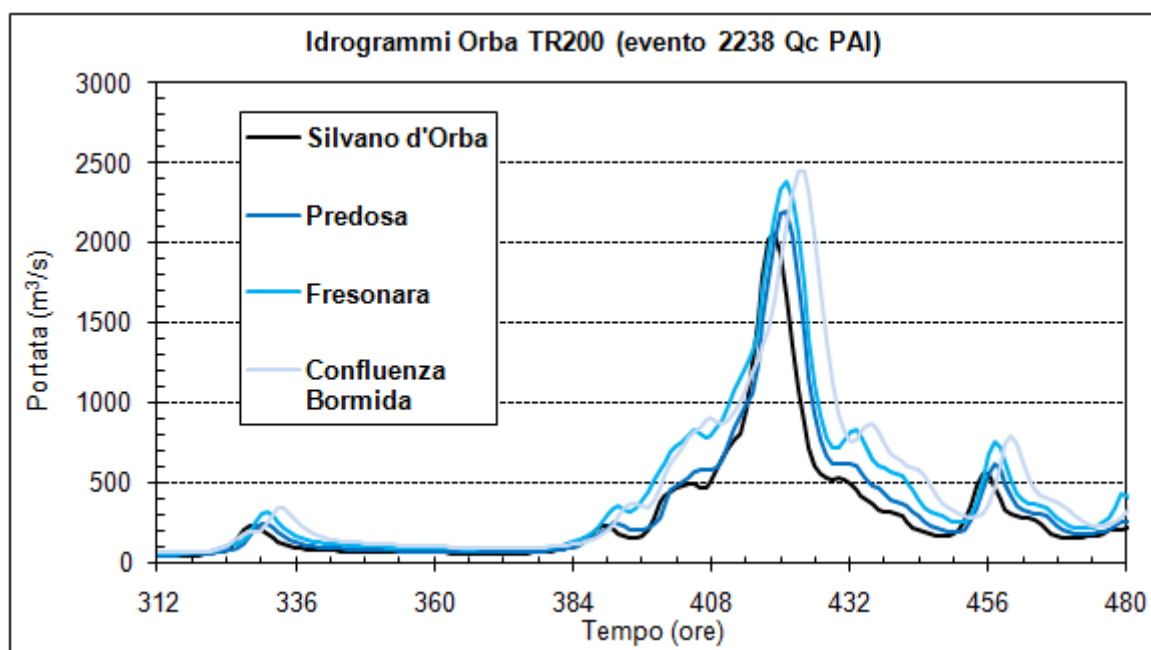


Fig. 37 Idrogrammi di piena dell'evento 2238 risalati al valore al colmo PAI nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

4.1.4 Torrente Orba – profili di piena in moto non stazionario

Le simulazioni idrodinamiche delle condizioni di deflusso degli idrogrammi (modello 1D, in moto vario) sopra determinati hanno permesso di evidenziare il profilo inviluppo di piena, confrontabile con quello in condizioni stazionarie, a parità di portata al colmo e l'andamento della portata al colmo lungo l'asta risultante dalla simulazione, che tiene conto delle condizioni di laminazione lungo l'alveo.

Le restituzioni grafiche dei risultati sono riportate nelle Fig. 38 ÷ Fig. 41.

L'analisi dei risultati ottenuti, in termini di portata massima al colmo, mette in evidenza che lungo l'asta la portata rimane circa invariata rispetto a quella idrologica (di moto permanente) fino alla confluenza in Bormida.

Anche nel tratto centrale e basso del torrente, in particolare da Fresonara alla foce, in cui lo schema di calcolo prevede una sola sezione di immissione, la riduzione della portata non è apprezzabile.

Considerando l'andamento complessivo della portata al colmo lungo l'asta, molto simile per i tre eventi simulati, si nota che nella parte tra Predosa e Fresonara i colmi superano progressivamente i valori della portata PAI fino a raggiungere un massimo proprio in corrispondenza di Fresonara di circa il 3% ($75 \text{ m}^3/\text{s}$); successivamente si mantengono costantemente inferiori di circa il 5% ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) rispetto al valore PAI che rimane invariato fino alla confluenza. Tale andamento è evidentemente dovuto all'effetto delle diverse forme d'onda degli idrogrammi rispetto al valore costante della portata PAI simulata in condizioni stazionarie.

Complessivamente comunque le differenze tra i valori delle portate idrodinamiche e quelle idrologiche appaiono trascurabili.

L'andamento lungo l'asta dell'inviluppo dei livelli idrometrici al colmo rispecchia quello delle portate sopra descritte:

- nel tratto alto, lo scostamento tra livelli stazionari e valori inviluppo della simulazione in moto non stazionario è praticamente nulla per i primi 5 km; successivamente diventa dell'ordine dei 20 cm fino a valle di Predosa (6 km);
- nel tratto centrale, lo scostamento medio dei livelli si mantiene ancora attorno ai 20 cm per circa 4 km a valle di Predosa; si annulla subito a monte di Fresonara e ritorna a valori compresi tra 15 e 25 cm a valle;
- nel tratto terminale, mantiene ancora i valori compresi tra 15 e 25 cm.

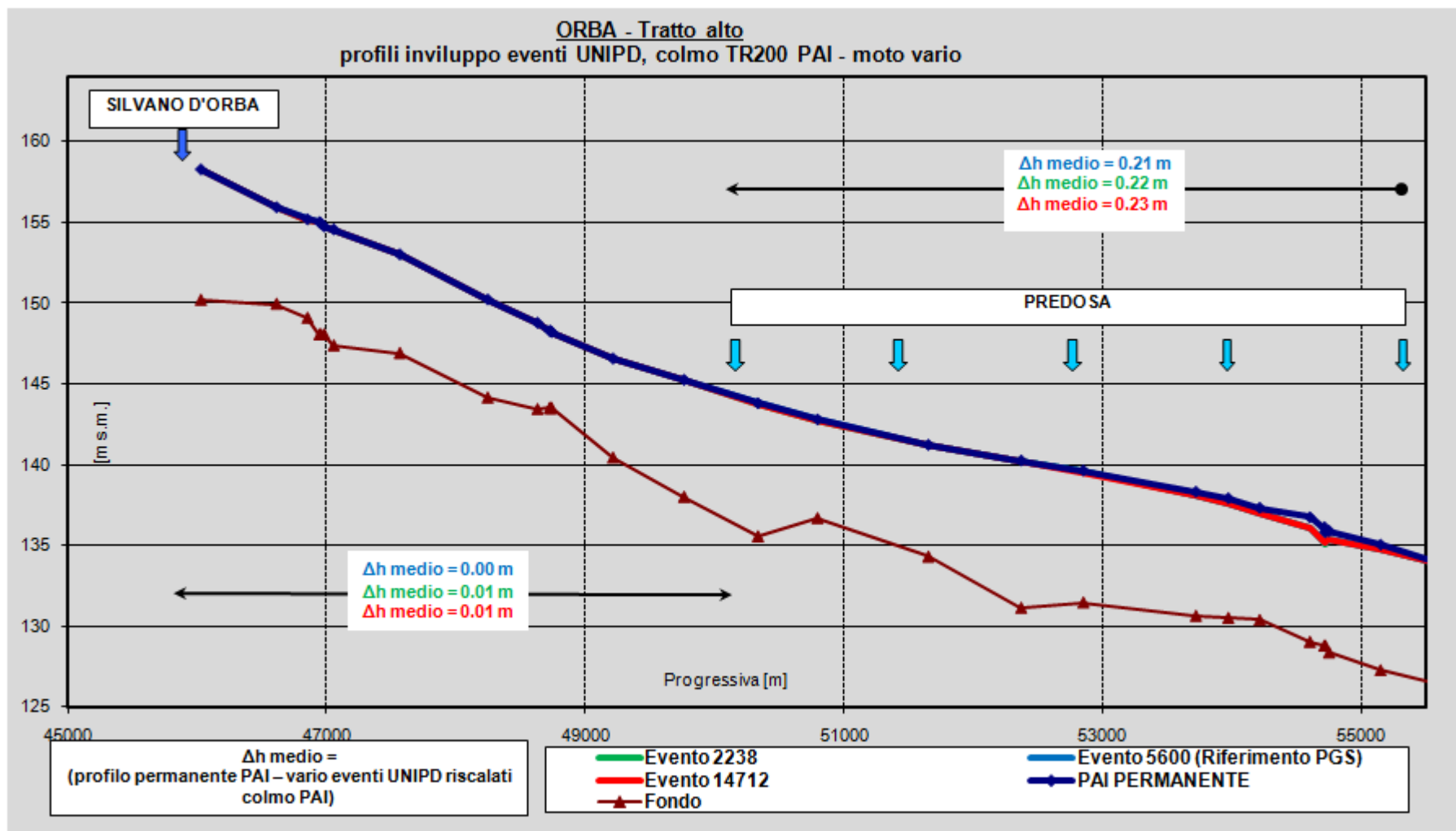


Fig. 38 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni – Orba tratto alto

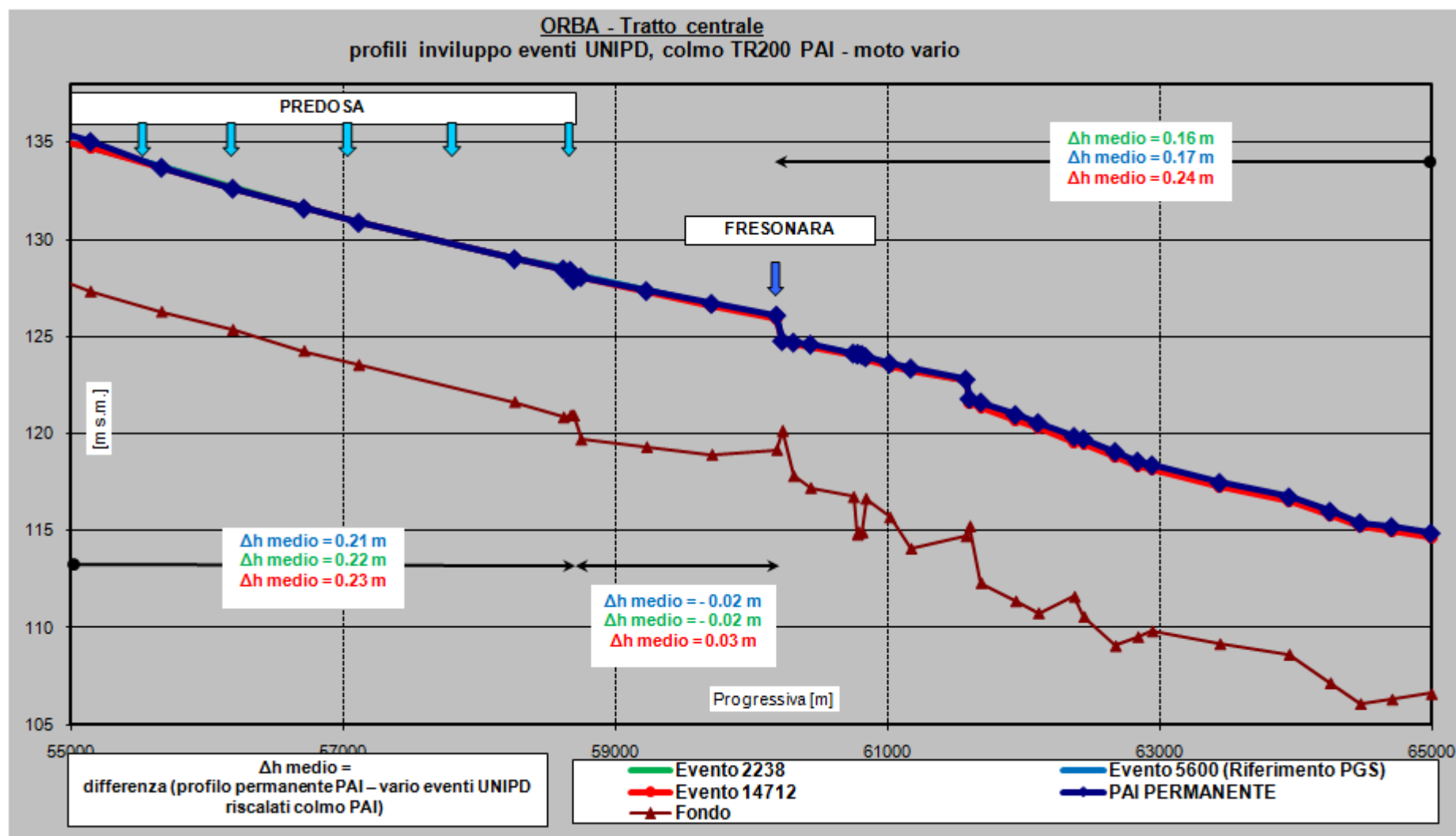


Fig. 39 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni - Orba tratto centrale

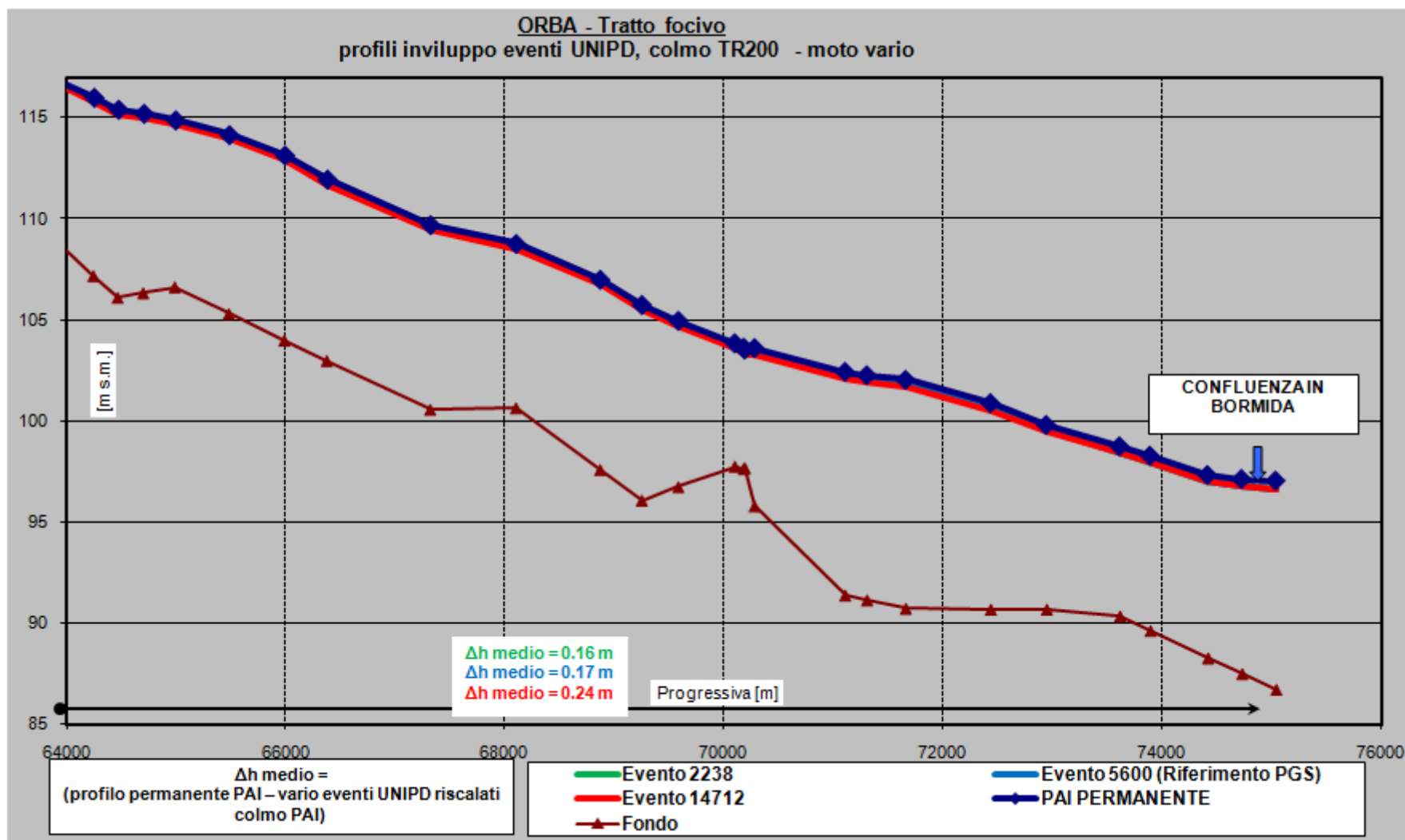


Fig. 40 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni - Orba tratto focivo

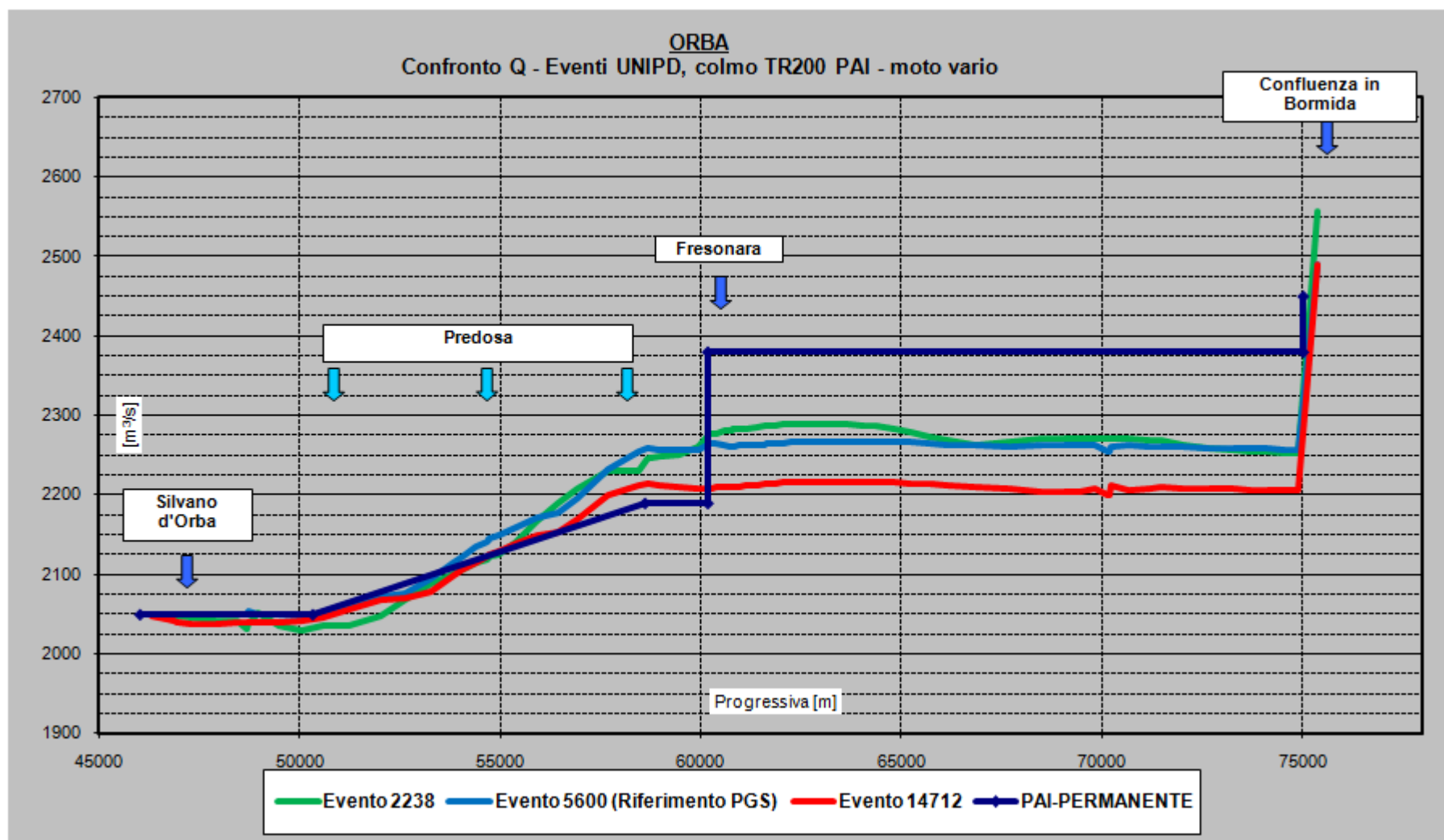


Fig. 41 Portate PAI in condizioni di moto permanente e portate in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni – torrente Orba

Un'ulteriore verifica delle modalità di deflusso è stata condotta applicando la simulazione idrodinamica alle stesse onde di piena prima considerate, senza operare l'operazione di adattamento ai valori di colmo del PAI.

Le restituzioni grafiche dei risultati sono riportate nelle Fig. 42 ÷ Fig. 45.

In termini di portata massima al colmo, i risultati della simulazione dei tre idrogrammi mostrano un andamento che segue complessivamente quello dei colmi PAI, con scostamenti dell'ordine dei $100 \text{ m}^3/\text{s}$ ($4\div5\%$) per i due eventi 2238 e 5600; l'evento 14712 ha invece portate al colmo nettamente superiori a quelle PAI, rispettivamente circa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ (5%) nel tratto di monte fino a Fresonara e circa $200 \text{ m}^3/\text{s}$ (8%) nel tratto di valle (corrisponde al colmo PAI unicamente nella sezione di Fresonara).

In ogni caso l'andamento delle portate al colmo mostra l'assenza di fenomeni di laminazione lungo l'intera asta; anche l'evento 14712, con gravosità in generale corrispondente a un tempo di ritorno molto superiore ai 200 anni, nel tratto tra Fresonara e la foce mostra la pratica assenza di qualsiasi riduzione apprezzabile dei valori di colmo.

L'andamento lungo l'asta dell'inviluppo dei livelli idrometrici al colmo rispecchia quello delle portate sopra descritte:

- nel tratto alto, lo scostamento tra livelli stazionari e valori inviluppo della simulazione in moto non stazionario è comunque modesto, compreso tra 0 e 15 cm a seconda degli idrogrammi per i primi 5 km; successivamente varia tra 10 e 25 cm fino a valle di Predosa (6 km);
- nel tratto centrale, lo scostamento si mantiene compreso tra 10 e 25 cm a seconda degli eventi per circa 4 km a valle di Predosa; varia tra 0 e 20 cm subito a monte di Fresonara e ritorna a valori compresi tra 15 e 25 cm circa a seconda degli eventi di piena a valle;
- nel tratto terminale, mantiene i valori compresi tra 7 e 25 cm a secondo degli idrogrammi per tutto il tratto.

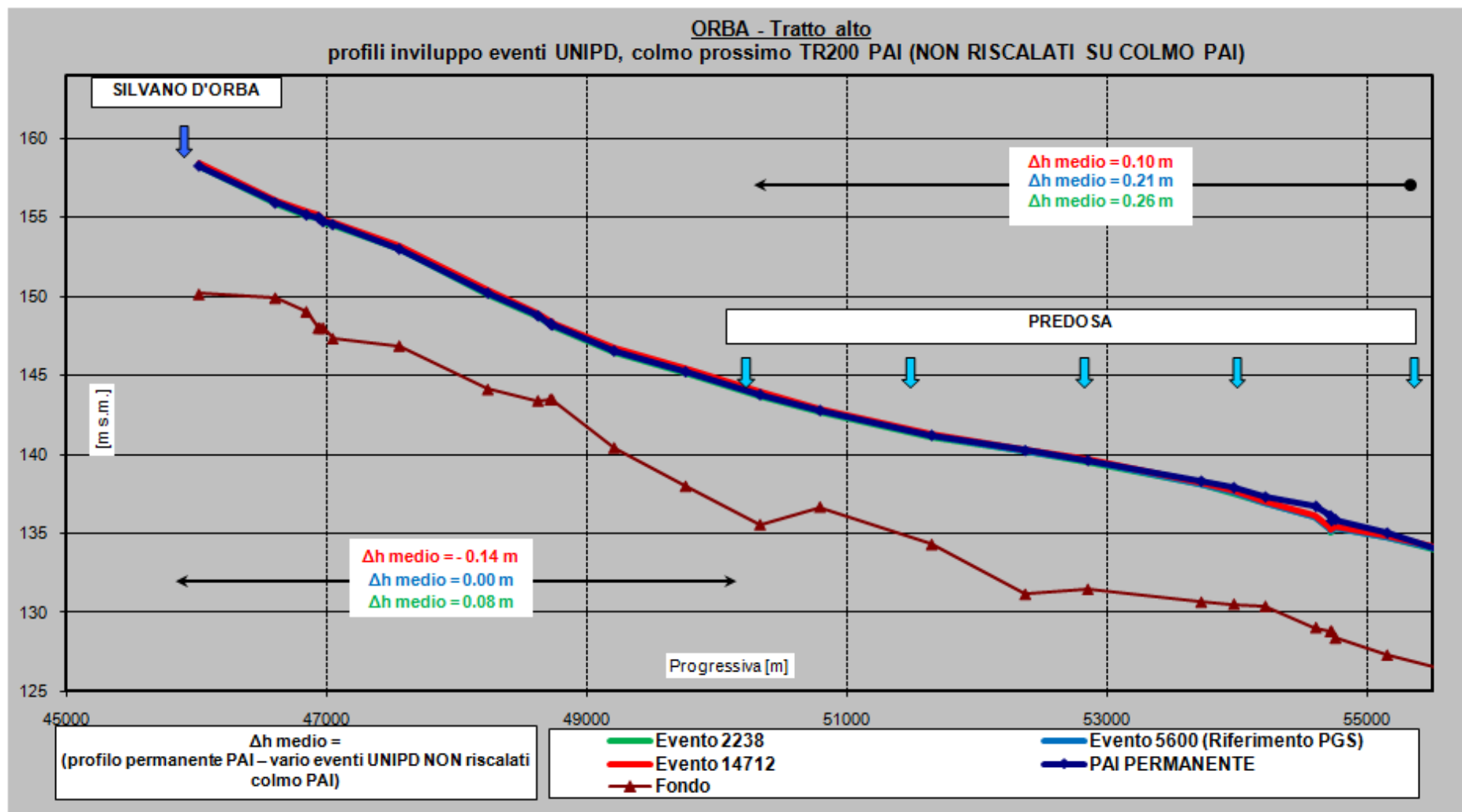


Fig. 42 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo NON riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni – Orba, tratto alto

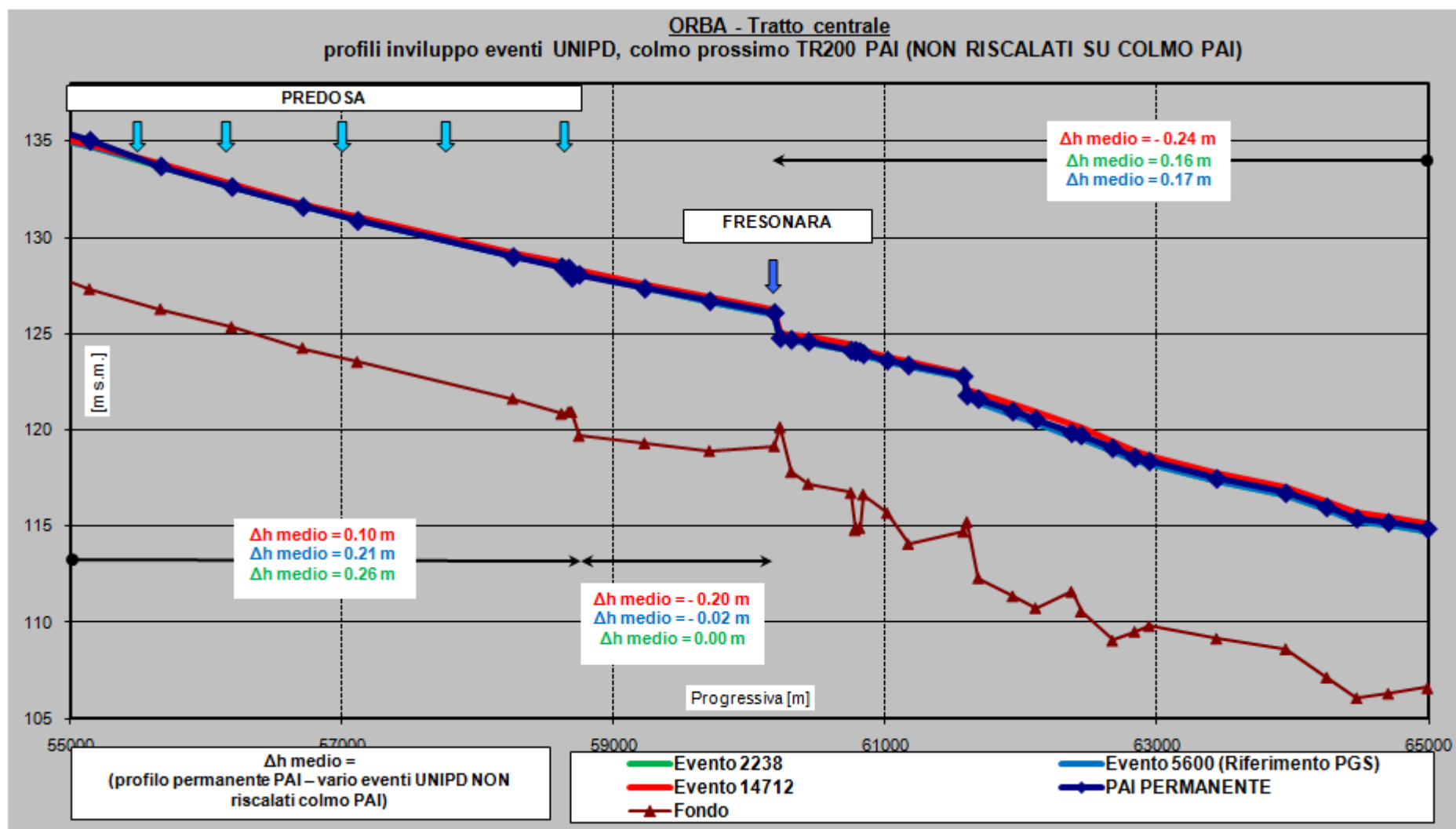


Fig. 43 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo NON riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni – Orba, tratto centrale

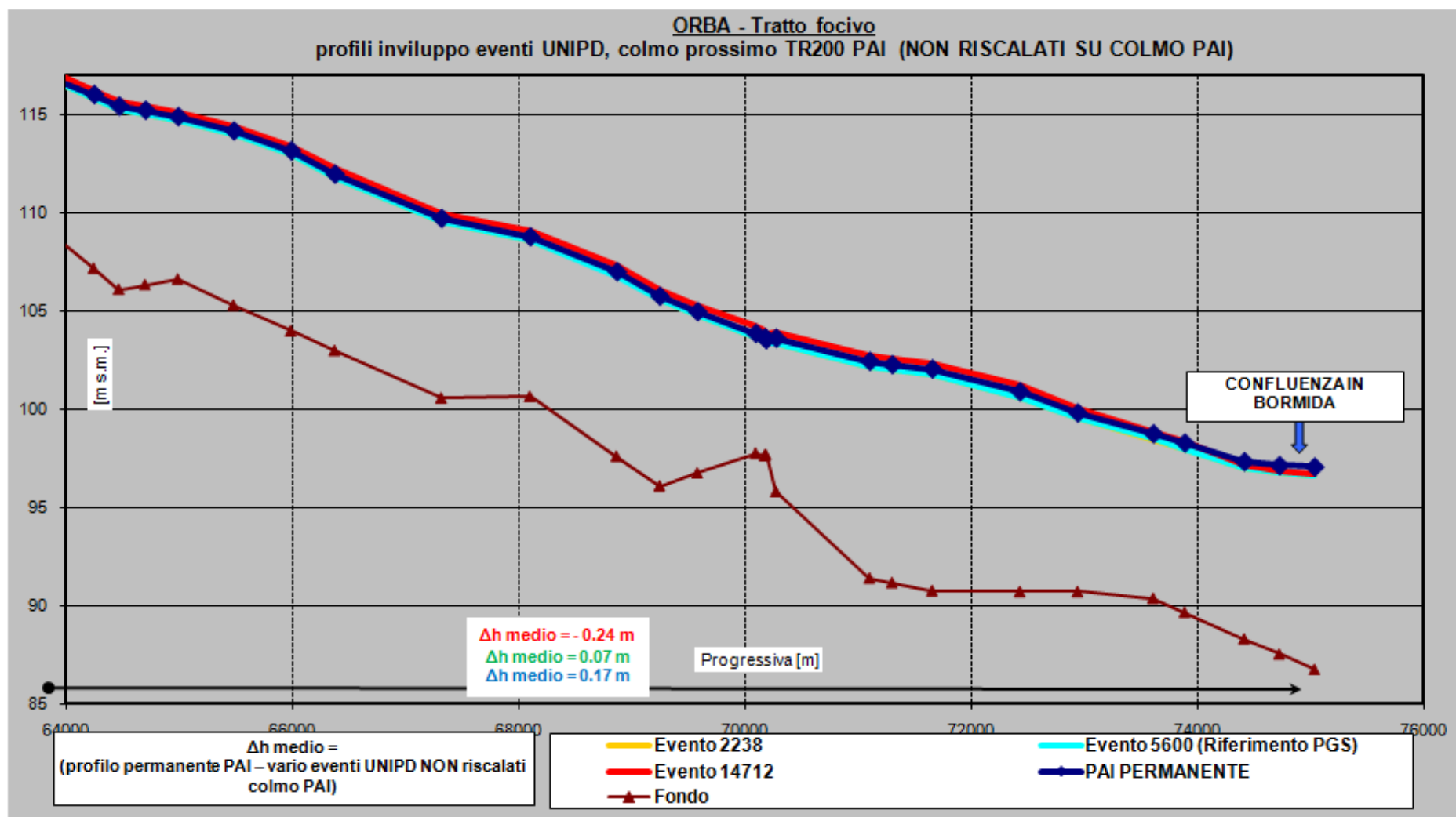


Fig. 44 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate PAI e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata al colmo NON riscalata al valore PAI per tempo di ritorno di 200 anni – Orba, tratto focivo

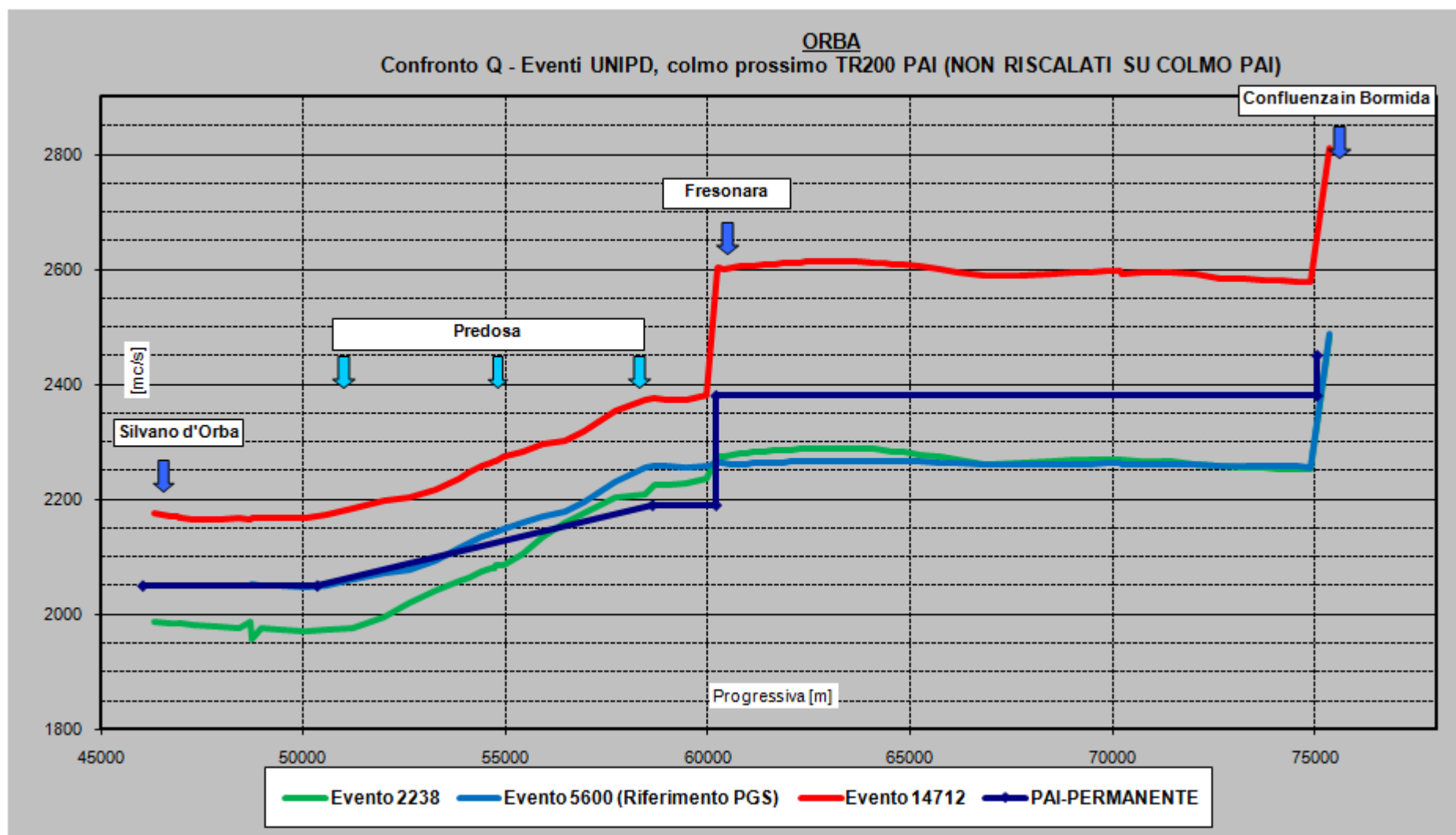


Fig. 45 Portate PAI in condizioni di moto permanente e portate in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con colmo NON riscaldato al valore PAI, per tempo di ritorno di 200 anni

4.2 Portate al colmo UNIPD (tempo di ritorno 200 anni)

4.2.1 Fiume Bormida – idrogrammi in portata

Per il tempo di ritorno di 200 anni, la Tab. 11 riporta i valori della portata massima al colmo nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida derivanti dal metodo UNIPD e gli eventi di piena costruiti con lo stesso metodo le cui portate al colmo approssimano per eccesso o per difetto quelle a cui corrisponde esattamente il tempo di ritorno di 200 anni.

Tab. 11 Portate per il tempo di ritorno di 200 anni del metodo UNIPD nelle sezioni idrologiche del fiume Bormida e codice degli eventi di piena UNIPD che comportano portate al colmo immediatamente superiori (+) e inferiori (-)

	Sezione idrologica	Cod.	Q ₂₀₀ PAI (m ³ /s)	Q ₂₀₀ UNIPD (m ³ /s)	Evento +	Evento -
Bormida	Acqui Terme	893	2980	2326	4258	4366
Bormida	Cassine	899	3020	2490	1044	4366
Bormida	Castellazzo B.	907	3180	2551	1044	2815
Bormida	Alessandria	912	3640	4015	7836	11015

Sulla base di quanto risulta, sono stati selezionati gli eventi:

- 4258, che si ripete in 1 su 4 delle sezioni idrologiche,
- 4366, che si ripete in 2 su 4 delle sezioni idrologiche,
- 1044, che si ripete in 2 su 4 delle sezioni idrologiche,
- 2815, 7836 e 11015, che si ripetono ciascuno in 1 su 4 delle sezioni idrologiche.

Le Fig. 46 ÷ Fig. 51 mostrano gli idrogrammi per le sezioni idrologiche.

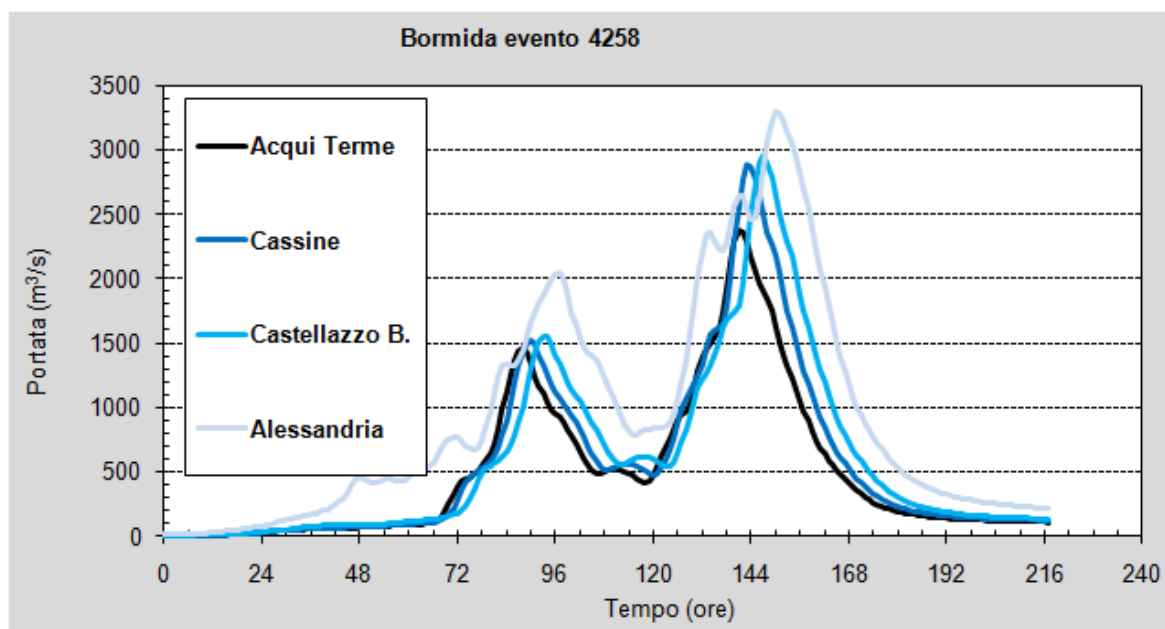


Fig. 46 Idrogrammi di piena dell'evento 4258 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

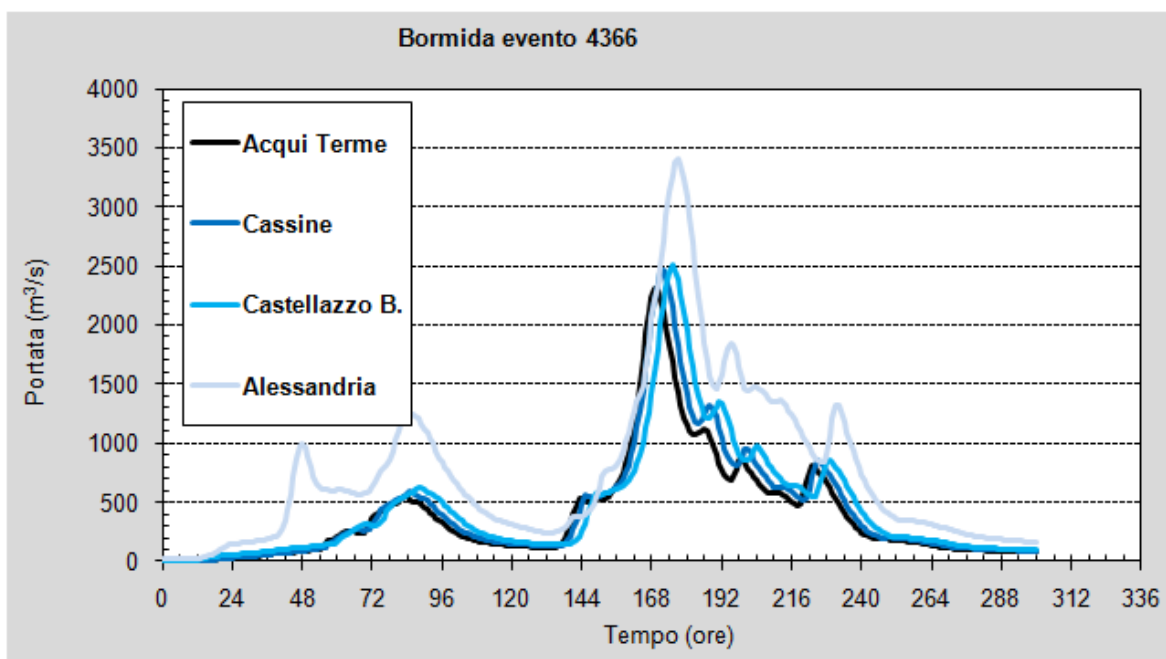


Fig. 47 Idrogrammi di piena dell'evento 4366 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

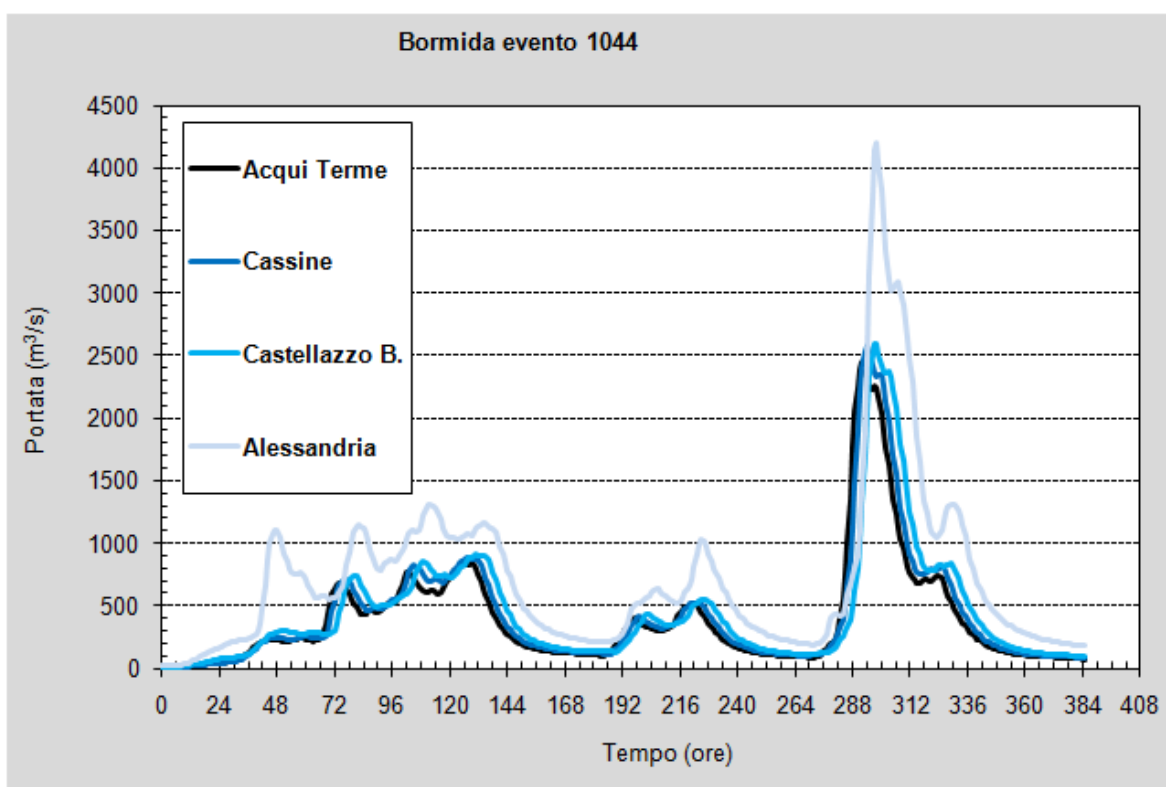


Fig. 48 Idrogrammi di piena dell'evento 1044 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

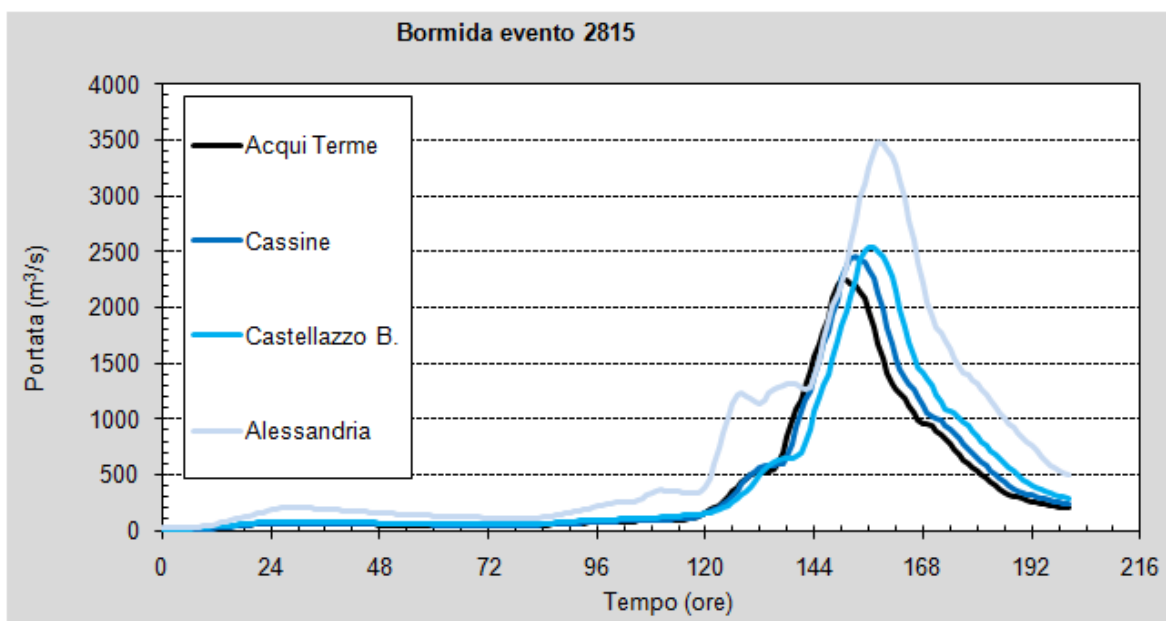


Fig. 49 Idrogrammi di piena dell'evento 2815 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

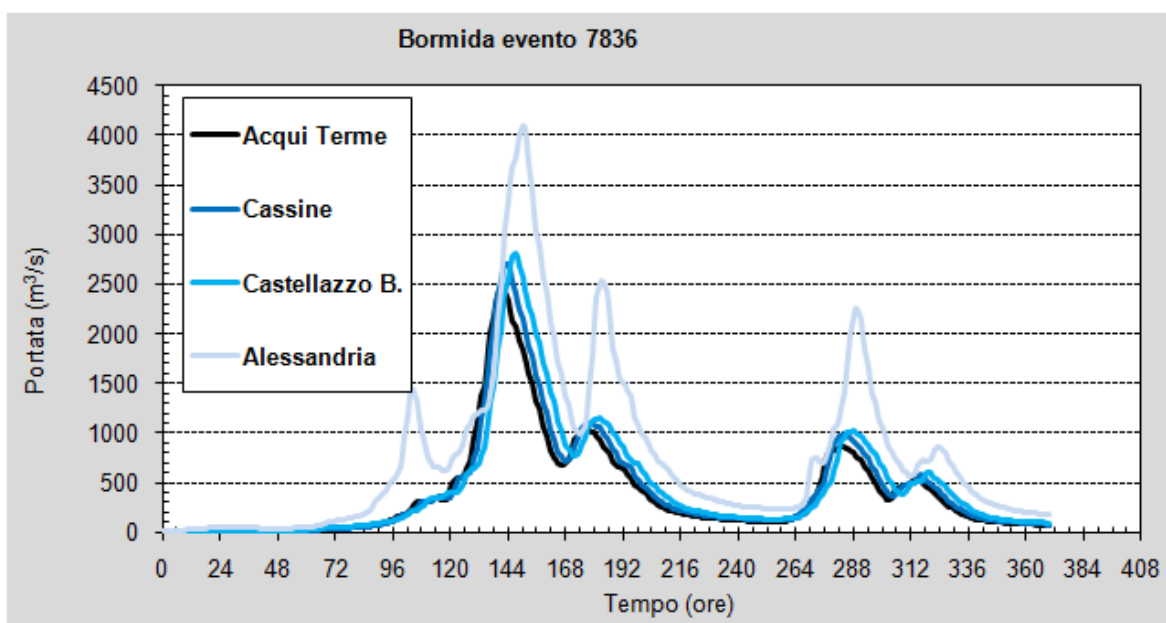


Fig. 50 Idrogrammi di piena dell'evento 7836 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

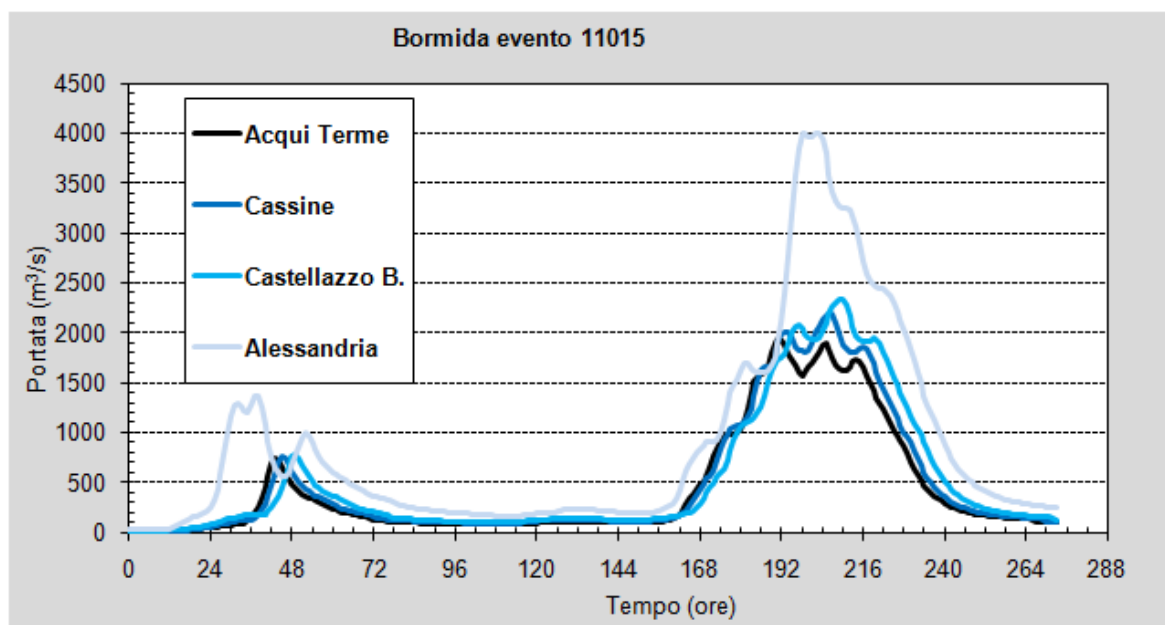


Fig. 51 Idrogrammi di piena dell'evento 11015 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

4.2.2 Fiume Bormida – profili di piena in moto non stazionario

Le simulazioni idrodinamiche delle condizioni di deflusso degli idrogrammi (modello 1D, in moto vario) sopra determinati evidenziano il profilo involuppo di piena, confrontabile con quello in condizioni stazionarie, a parità di portata al colmo e l'andamento della portata al colmo lungo l'asta risultante dalla simulazione, che tiene conto delle condizioni di laminazione lungo l'alveo.

Le restituzioni grafiche dei risultati sono riportate nelle Fig. 52 ÷ Fig. 55.

In termini di *portata massima al colmo*, i risultati mostrano lungo l'asta un comportamento degli idrogrammi di piena con i seguenti elementi salienti:

- da Acqui a confl. Orba l'andamento della portata al colmo dei diversi idrogrammi costituisce un "fascio" dell'ampiezza media dell'ordine di 600 m³/s all'interno del quale corre la linea che rappresenta la Q200, secondo la serie UNIPD (la Q 200 varia tra circa 2300 m³/s a monte a 2550 m³/s alla confluenza); l'ampiezza del fascio è quindi circa il 25% della Q200;
- in tutto tale tratto l'andamento della portata al colmo relativa ai 6 idrogrammi di piena simulati ha caratteristiche sostanzialmente comuni: (i) vi è un primo tratto di modesta crescita tra Acqui e Cassine (mediamente del 5%, in un caso del 15%), che segue circa l'andamento delle Q200 UNIPD; (ii) nel secondo tratto, fino a confl. Orba, il trend è di leggera decrescita per la maggior parte degli idrogrammi (salvo un caso in cui si ha una leggera crescita costante); in questo caso quindi l'andamento prevalente è quindi contrario a quello della Q200 UNIPD che ha una sua crescita verso valle, ancorché modesta;
- per la maggioranza gli idrogrammi simulati quindi l'effetto di laminazione in alveo tra monte e valle è molto modesto, dell'ordine del 9% rispetto ai colmi delle onde idrologiche per i due idrogrammi in cui si hanno le migliori "prestazioni";
- i minori effetti di laminazione sul tratto rispetto alle simulazioni con colmi pari o prossimi alle portate Q200 PAI è probabilmente da imputare almeno in parte ai minori valori delle Q UNIPD che comportano minori altezze idriche e quindi minore impegno

delle area golenali lungo il fondovalle; un secondo possibile fattore è legato alla forma degli idrogrammi (e quindi ai volumi delle onde di piena) su cui non è però possibile esprimere valutazioni;

- l'andamento di tutti gli idrogrammi nel tratto a valle di confl. Orba conferma quanto già emerso in precedenza circa l'assenza di fenomeni di laminazione apprezzabili.

L'andamento lungo l'asta dell'involuppo dei livelli idrometrici al colmo permette le seguenti considerazioni, soprattutto in termini di paragone con il profilo in moto stazionario per le Q200 UNIPD (il profilo stazionario con le Q200 PAI è sempre superiore a quello Q200 UNIPD):

- nel tratto alto, fino a Cassine, lo scostamento tra livelli stazionari e valori involucpo della simulazione in moto non stazionario per gli idrogrammi considerati è contenuto tra circa -20 e +10 cm, con l'eccezione dell'evento 11015, che per altro ha delle portate molto inferiori agli altri;
- nel tratto centrale, lo scostamento varia tra -15 e +20 cm, anche in questo caso con l'eccezione di 11015 la cui portata permane ancora inferiore alle altre;
- nel tratto terminale, gli scostamenti si mantengono ancora dell'ordine di quelli del tronco precedente fino a qualche km a valle di Castellazzo; successivamente, fino all'Orba, gli scostamenti diventano rilevanti, dell'ordine 30÷100 cm, e ancor più marcati (tra 40 e 140 cm) tra Orba e la foce; in questi due tratti le altezze idriche degli idrogrammi di piena sono sempre inferiori a quelle del profilo permanente UNIPD e ciò è in relazione alla forte crescita della portata Q200 idrologica UNIPD a valle della confluenza Orba che nessuno degli eventi simulati registra.

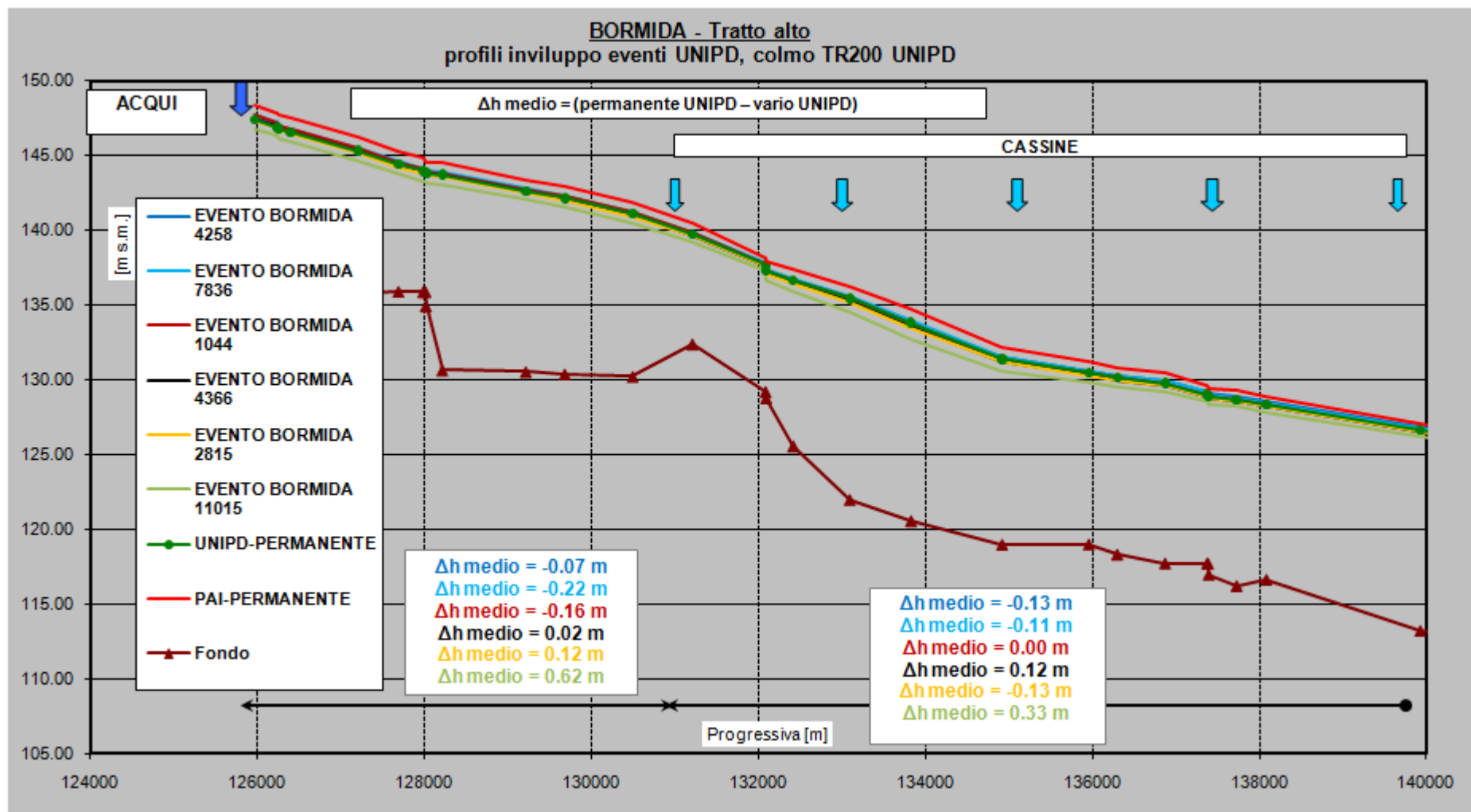


Fig. 52 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate UNIPD (e con portate PAI) e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata di tempo di ritorno di 200 anni UNIPD – Bormida tratto alto

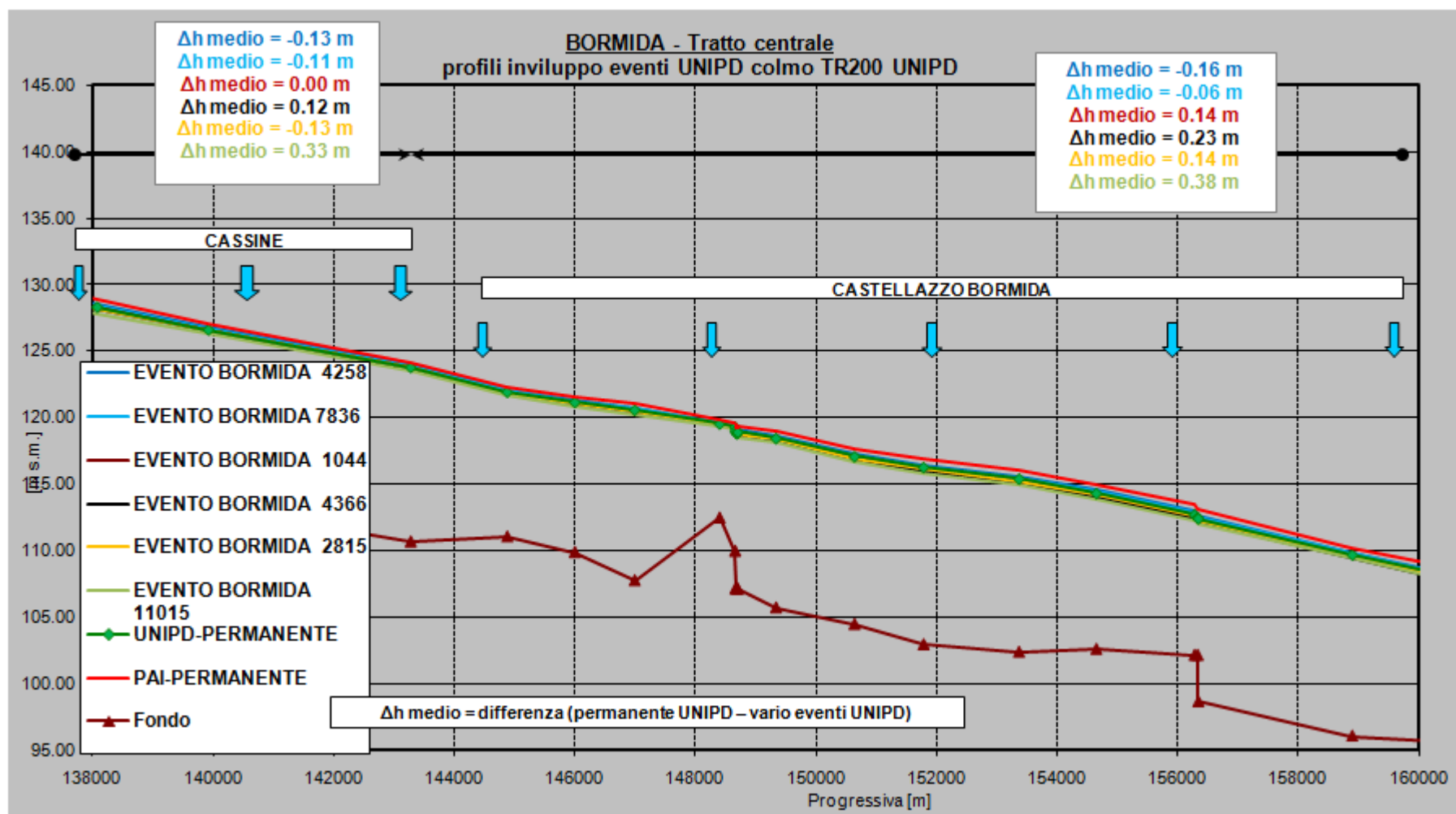


Fig. 53 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate UNIPD (e con portate PAI) e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata di tempo di ritorno di 200 anni UNIPD - Bormida tratto centrale

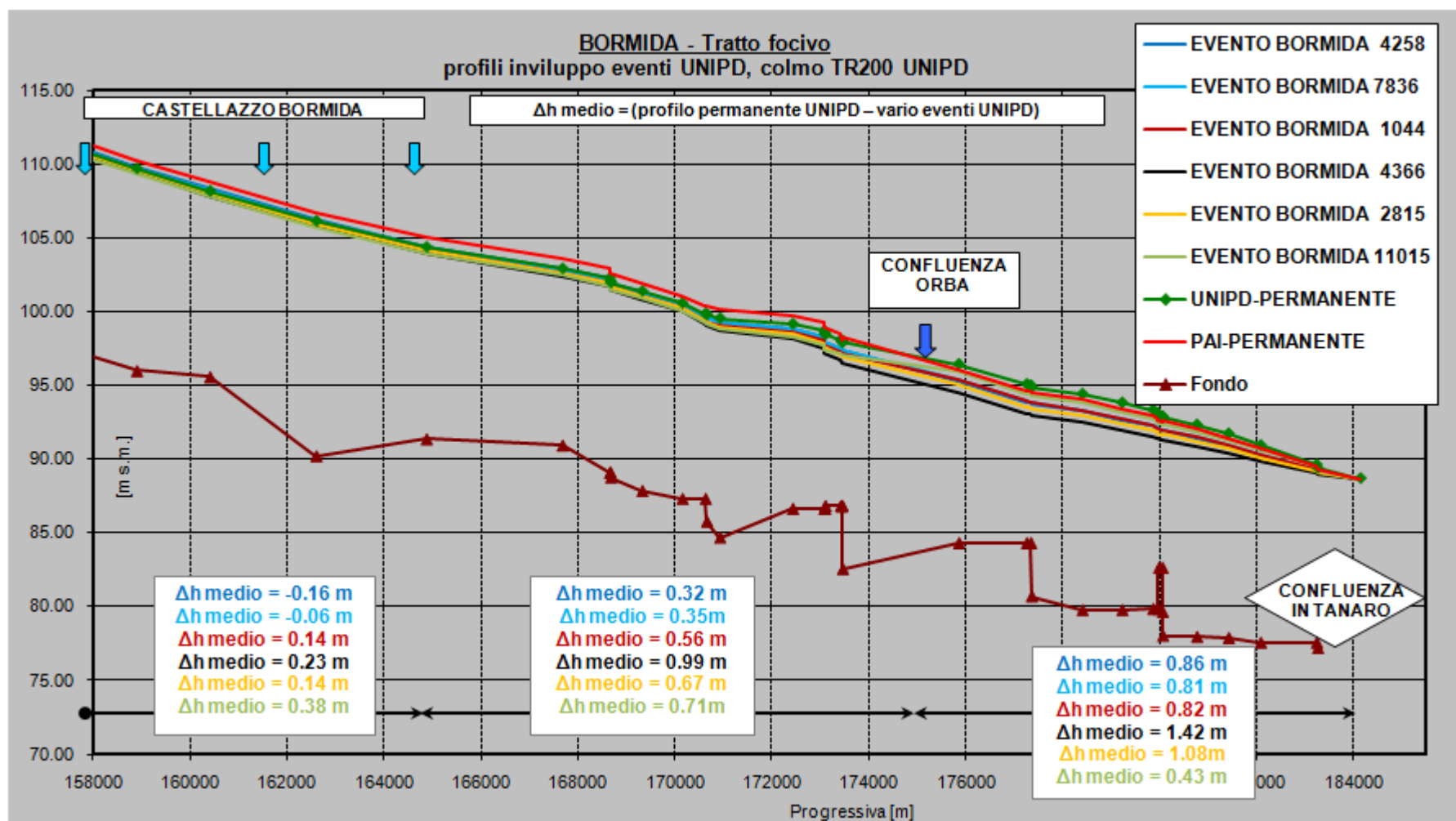


Fig. 54 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate UNIPD (e con portate PAI) e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata di tempo di ritorno di 200 anni UNIPD - Bormida tratto focivo

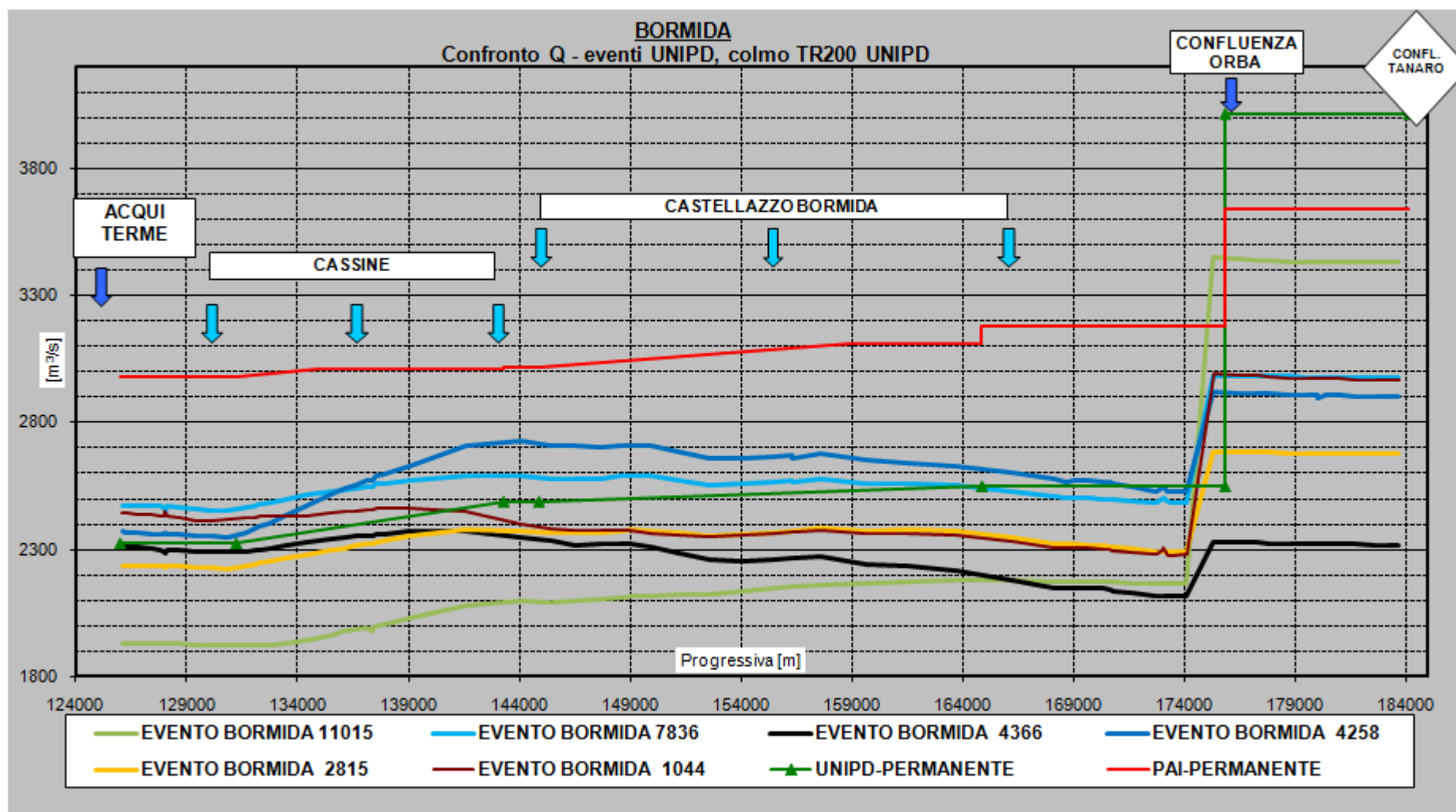


Fig. 55 Portate PAI e UNIPD in condizioni di moto permanente e portate in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD

4.2.3 Torrente Orba – idrogrammi in portata

Per il tempo di ritorno di 200 anni, la riporta i valori della portata massima al colmo nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba derivanti dal metodo UNIPD e gli eventi di piena costruiti con lo stesso metodo le cui portate al colmo approssimano per eccesso o per difetto quelle a cui corrisponde esattamente il tempo di ritorno di 200 anni.

Tab. 12 Portate per il tempo di ritorno di 200 anni del PAI nelle sezioni idrologiche del torrente Orba e codice degli eventi di piena UNIPD che comportano portate al colmo immediatamente superiori (+) e inferiori (-)

	Sezione idrologica	Cod.	Q ₂₀₀ PAI (m ³ /s)	Q ₂₀₀ UNIPD (m ³ /s)	Evento +	Evento -
Orba	Silvano d'Orba	504	2050	1625	3451	3573
Orba	Confl. Bormida	515	2450	2276	1347	2065

Le Fig. 56 ÷ Fig. 59 mostrano gli idrogrammi per le sezioni idrologiche.

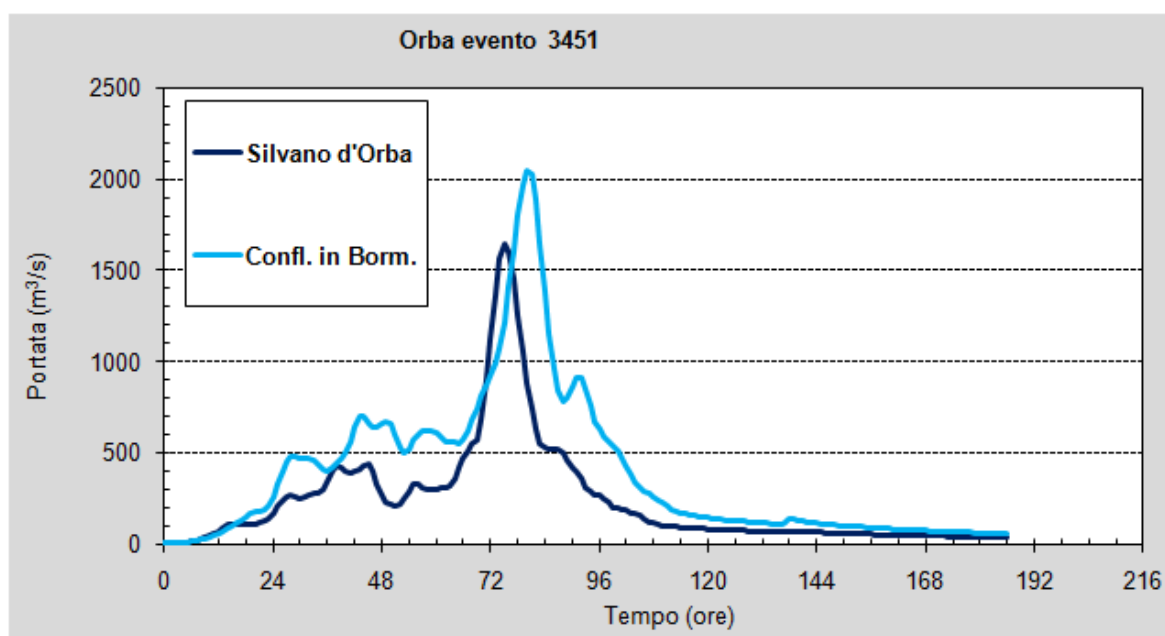


Fig. 56 Idrogrammi di piena dell'evento 3451 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

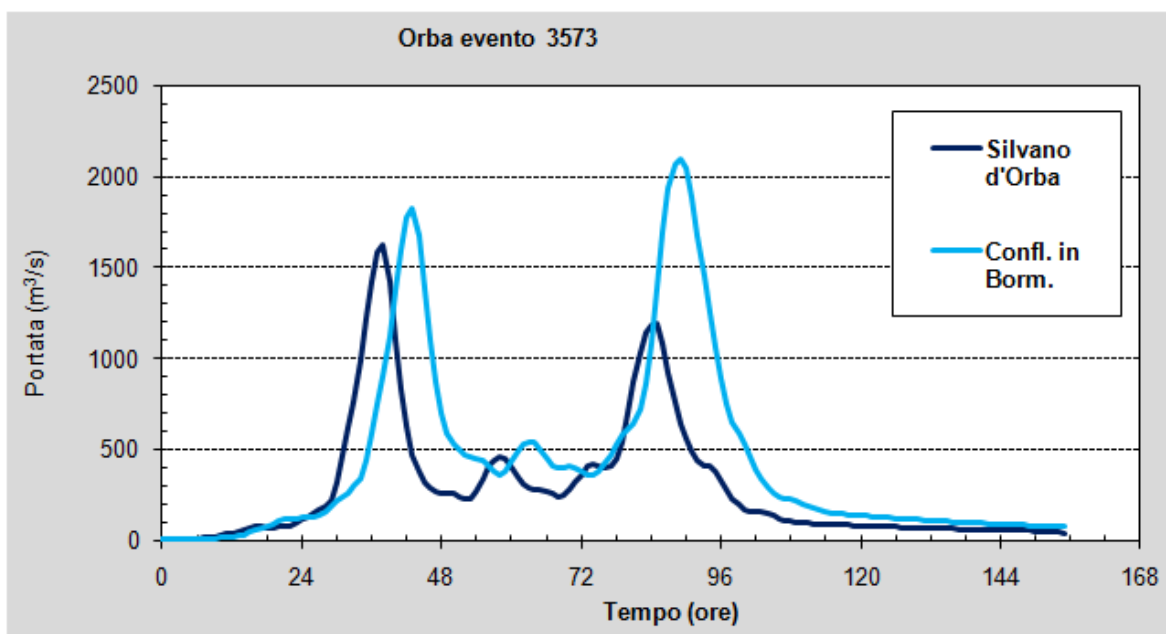


Fig. 57 Idrogrammi di piena dell'evento 3573 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

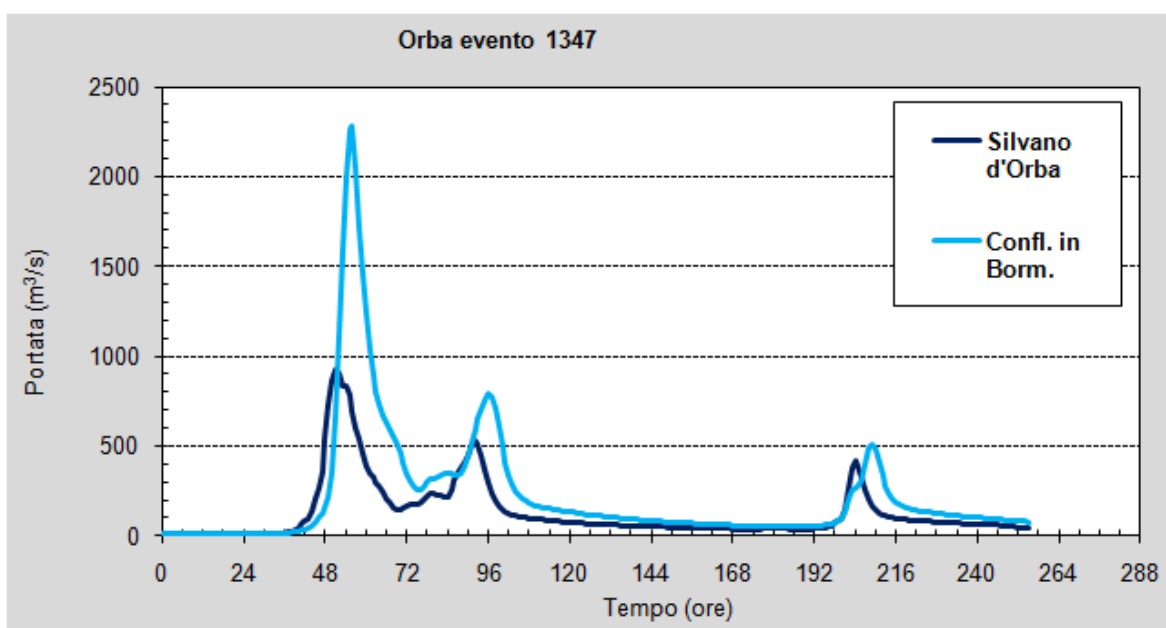


Fig. 58 Idrogrammi di piena dell'evento 1347 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

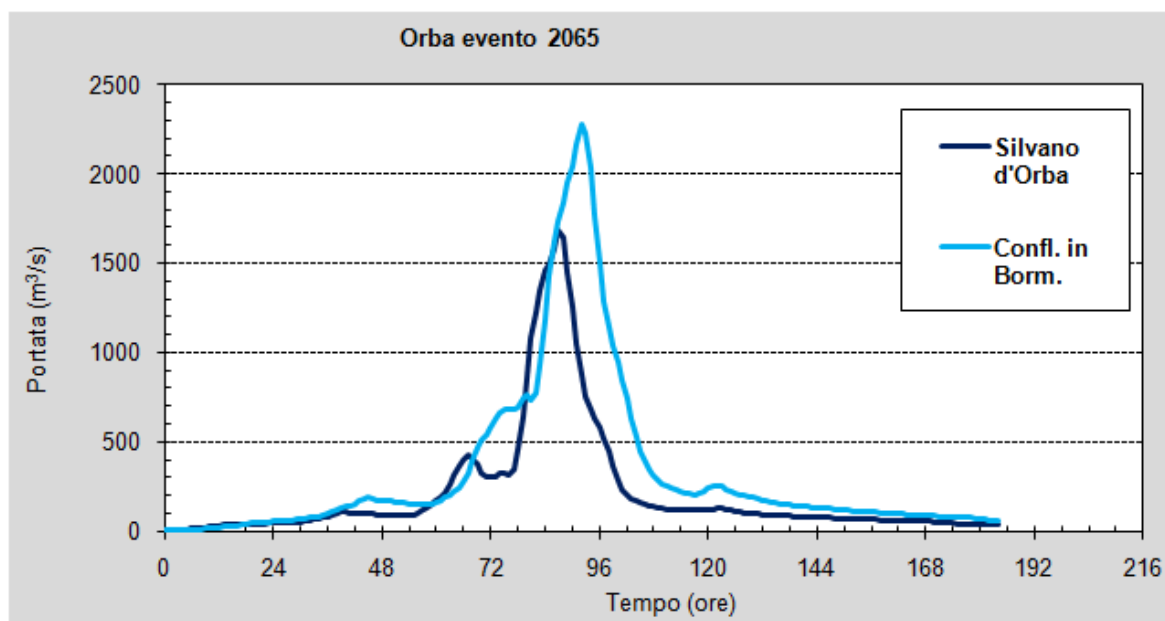


Fig. 59 Idrogrammi di piena dell'evento 2065 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

4.2.4 Torrente Orba – profili di piena in moto non stazionario

Le simulazioni idrodinamiche delle condizioni di deflusso degli idrogrammi (modello 1D, in moto vario) sopra determinati evidenziano il profilo inviluppo di piena, confrontabile con quello in condizioni stazionarie, a parità di portata al colmo e l'andamento della portata al colmo lungo l'asta risultante dalla simulazione, che tiene conto delle condizioni di laminazione lungo l'alveo.

Le restituzioni grafiche dei risultati sono riportate nelle Fig. 60 ÷ Fig. 63.

In termini di portata massima al colmo, i risultati mostrano confermano il dato emergente dai risultati delle simulazioni condotte con riferimento alle portate al colmo PAI; l'effetto di laminazione dei colmi lungo l'asta è praticamente inapprezzabile.

La differenza tra il colmo idrologico degli idrogrammi e quello idrodinamico varia infatti tra il 3% e l'8% per tre dei quattro eventi; l'evento 1347 ha un forte incremento del colmo di portata lungo l'asta (valore idrologico da circa 1100 m³/s all'estremo di monte a circa 1850 m³/s alla confluenza) e una forma molto impulsiva, con picco elevato e modesto volume complessivo dell'onda. In ragione di queste caratteristiche particolarmente favorevoli alla laminazione, il rapporto alla foce tra colmo idrologico e colmo idrodinamico è del 18%.

L'andamento lungo l'asta dell'inviluppo dei livelli idrometrici al colmo permette le seguenti considerazioni, soprattutto in termini di paragone con il profilo in moto stazionario per le Q200 UNIPD (il profilo stazionario con le Q200 PAI è sempre superiore a quello Q200 UNIPD):

- nel tratto alto, per i primi 5 km a valle di Silvano d'Orba, le differenze tra i livelli stazionari UNIPD e quelli di 3 dei 4 idrogrammi simulati sono dell'ordine di pochi cm; l'evento 1347 è sensibilmente più basso a causa di una portata al colmo molto inferiore (30%) e mostra scostamenti di circa 1 m; nella seconda parte del tratto le differenze aumentano e variano tra 20 e 50 cm, con l'evento 1347 che rimane inferiore con scostamenti di circa 1 m;

- nel tratto centrale, si mantiene la situazione della seconda parte del tratto montano, con livelli dei 3 eventi simulati inferiori a quelli uniformi UNIPD di valori di $20 \div 50$ cm e con l'evento 1347 inferiore di circa 1 m;
- nel tratto terminale, la situazione rimane sostanzialmente invariata rispetto al tratto precedente.

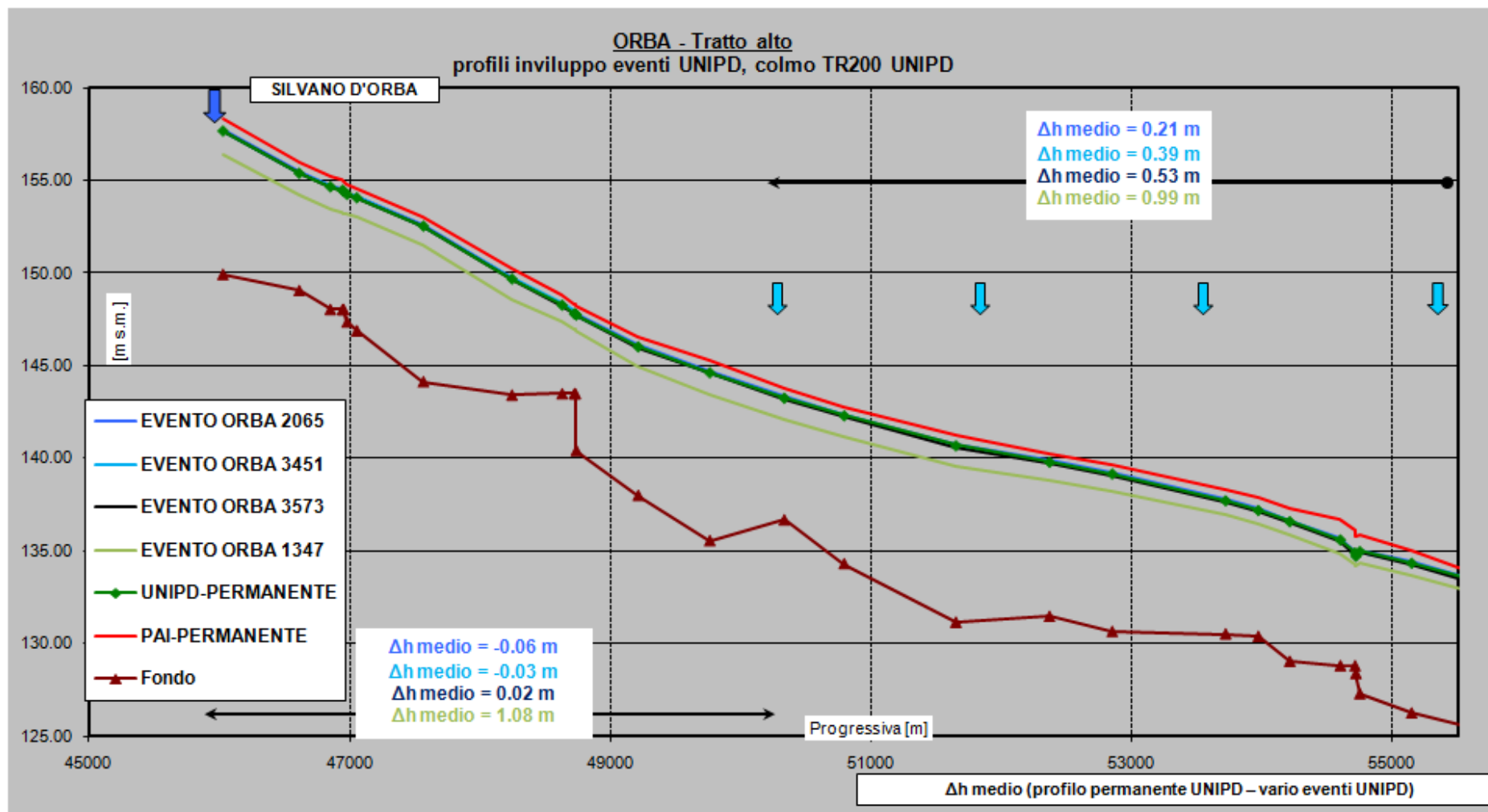


Fig. 60 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate UNIPD (e con portate PAI) e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata di tempo di ritorno di 200 anni UNIPD – Orba tratto alto

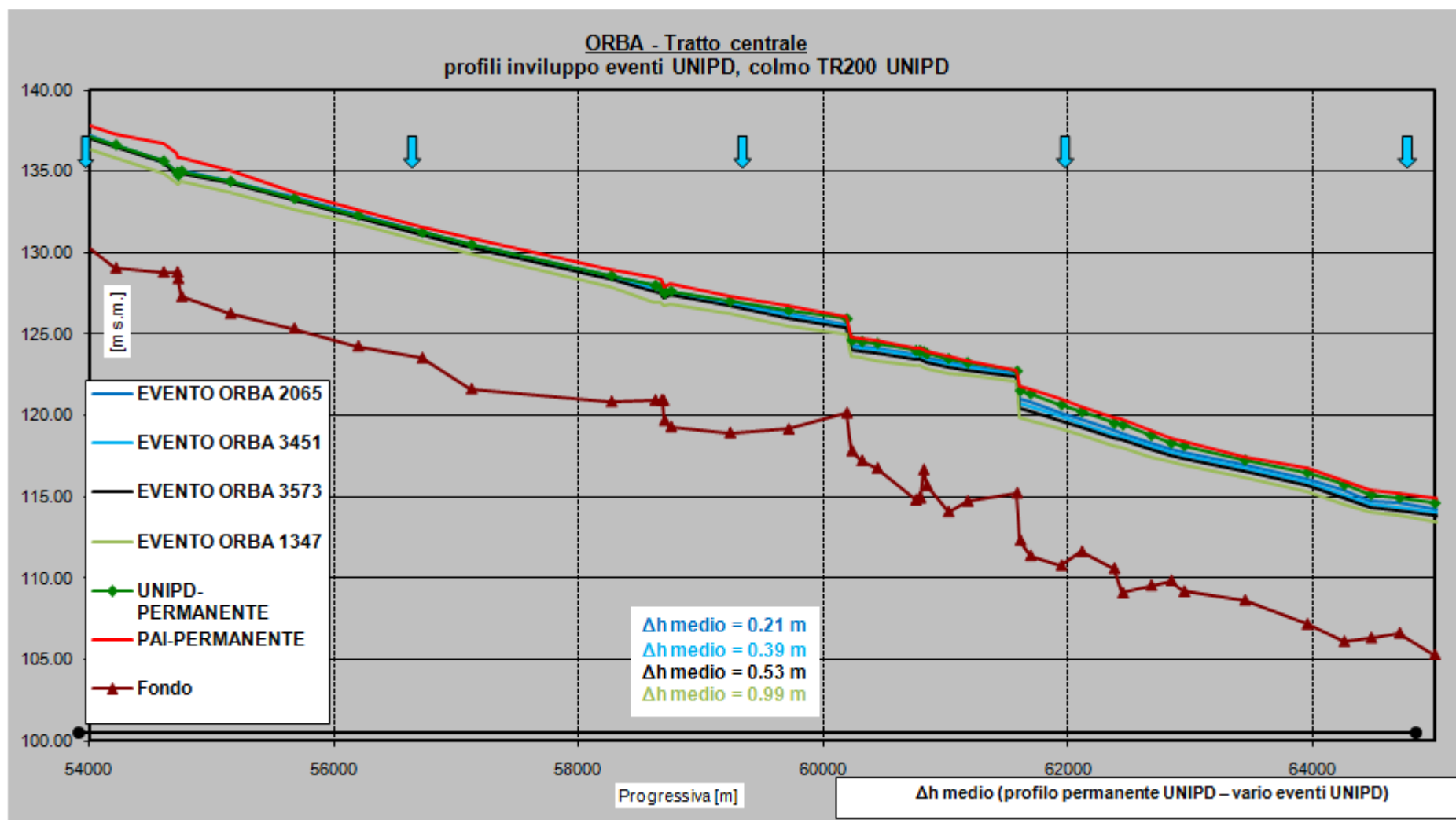


Fig. 61 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate UNIPD (e con portate PAI) e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata di tempo di ritorno di 200 anni UNIPD – Orba tratto centrale

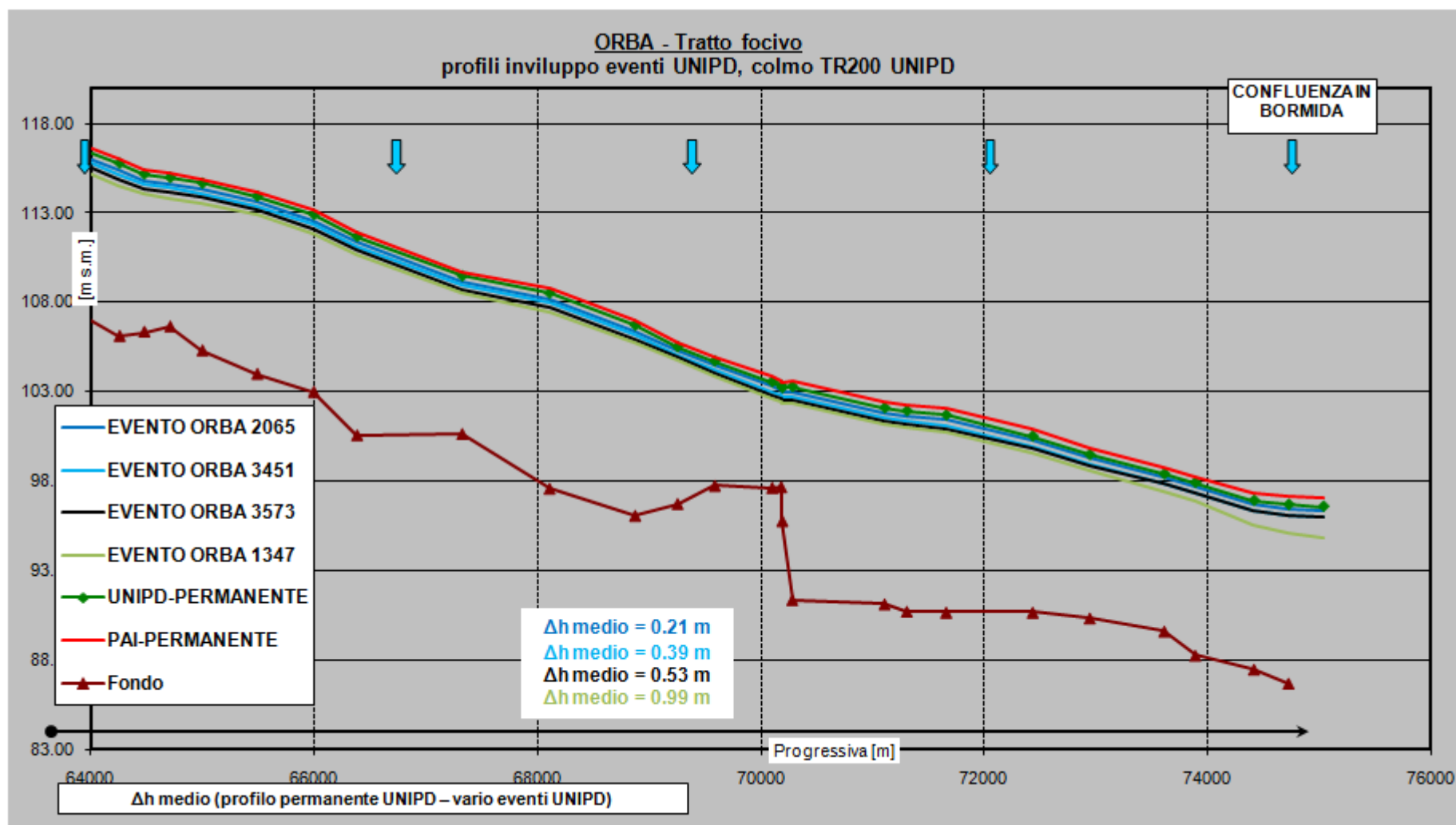


Fig. 62 Confronto tra il profilo di piena in condizioni di moto permanente con portate UNIPD (e con portate PAI) e i profili inviluppo in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD con portata di tempo di ritorno di 200 anni UNIPD – Orba tratto focivo

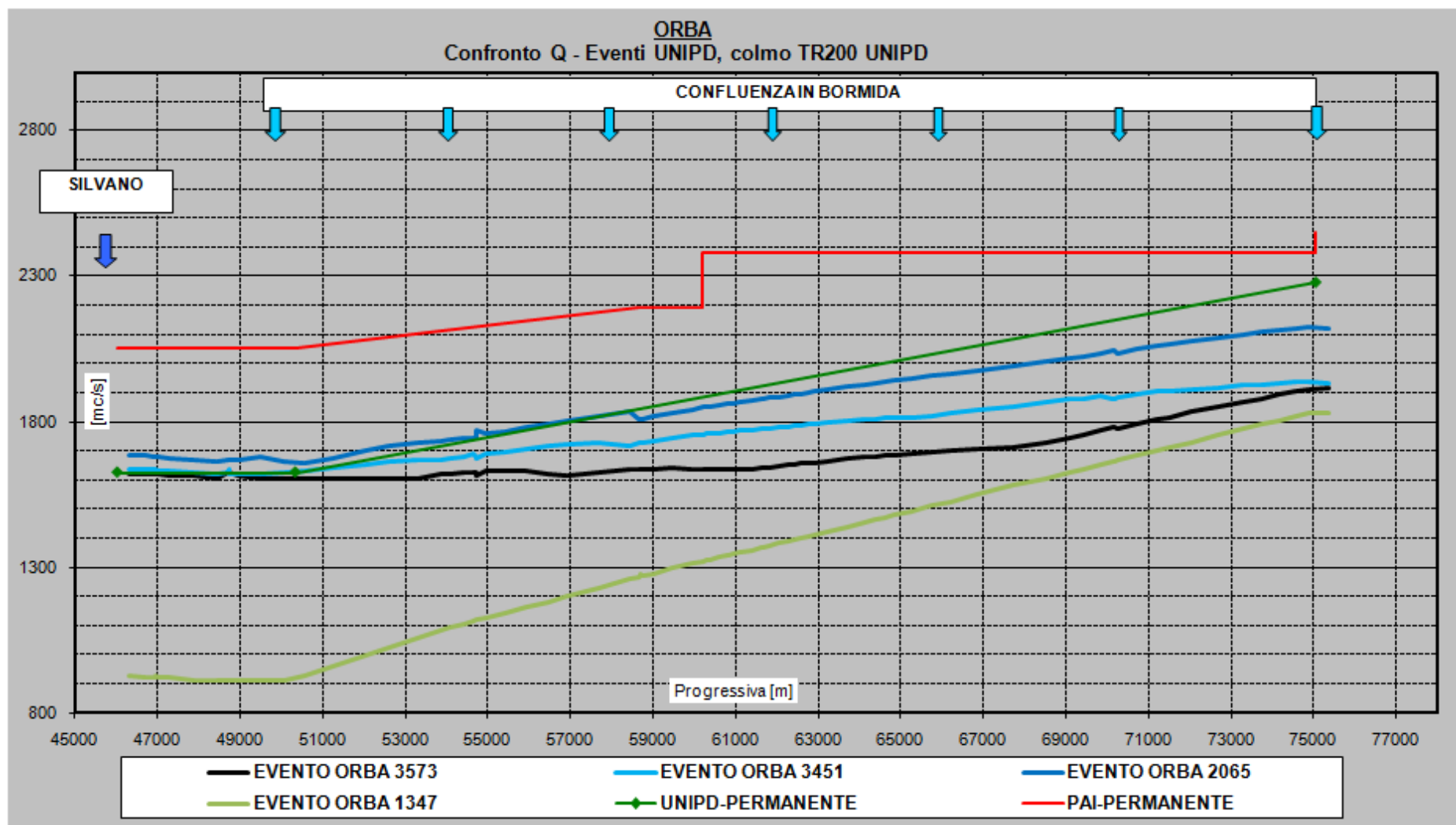


Fig. 63 Portate PAI e UNIPD per tempo di ritorno di 200 anni in condizioni di moto permanente e portate in condizioni di moto non stazionario degli idrogrammi UNIPD

4.3 Portate al colmo PAI (tempo di ritorno 500 anni)

4.3.1 Fiume Bormida – idrogrammi in portata

Per il tempo di ritorno di 500 anni, la Tab. 13 riporta i valori della portata massima al colmo nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida derivanti dal metodo PAI e gli eventi di piena ricostruiti secondo il metodo UNIPD le cui portate al colmo approssimano per eccesso o per difetto quelle PAI.

Tab. 13 Portate per il tempo di ritorno di 500 anni del PAI nelle sezioni idrologiche del fiume Bormida e codice degli eventi di piena UNIPD che comportano portate al colmo immediatamente superiori (+) e inferiori (-)

	Sezione idrologica	Cod.	Q ₂₀₀ PAI (m ³ /s)	Evento +	Evento -
Bormida	Acqui Terme	893	3360	5473	3113
Bormida	Strevi	896	3390	3113	14376
Bormida	Cassine	899	3400	3113	631
Bormida	Sezzadio	903	3500	14376	3113
Bormida	Castellazzo B.	907	3580	14376	3113
Bormida	Alessandria	912	4410	6724	631

Sulla base di quanto risulta, è stato selezionato l'evento 3113, che si ripete in 5 su 6 delle sezioni idrologiche. Sull'evento sono state effettuate operazioni di riscalatura degli idrogrammi nelle sezioni idrologiche per ottenere un'onda di piena che, da monte verso valle, presenti in tutte le sezioni valori di colmo coincidente con quelli che, secondo i dati PIA, hanno tempo di ritorno di 500 anni.

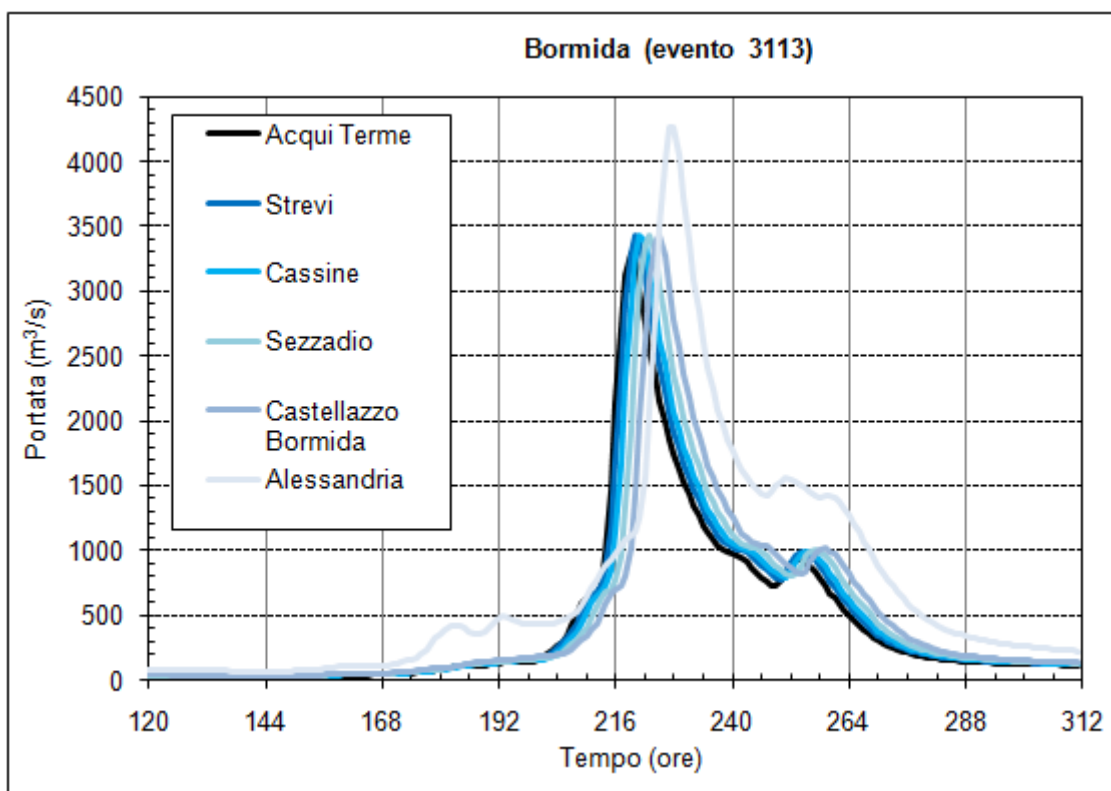


Fig. 64 Idrogrammi di piena dell'evento 3113 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

Nel seguito vengono mostrati i valori delle portate istantanee al colmo assunte dall'evento nelle stazioni idrologiche lungo l'asta del Bormida e i valori dei coefficienti correttivi che permettono di ottenere i colmi definiti per via statistica nel PAI per il tempo di ritorno di 500 anni.

	Acqui Terme	Strevi	Cassine	Sezzadio	Castellazzo B.	Alessandria
Qmax ev. 3113 (m³/s)	3288	3432	3429	3428	3424	4264
Coefficienti correttivi	1.02	0.99	0.99	1.02	1.05	1.03

Il confronto tra la Fig. 64 e la Fig. 65 mostra le modifiche operate sugli idrogrammi e i coefficienti correttivi applicati per tutte le sezioni idrologiche. Il valore numerico di tali coefficienti indica che si tratta di modifiche quantitativamente modeste.

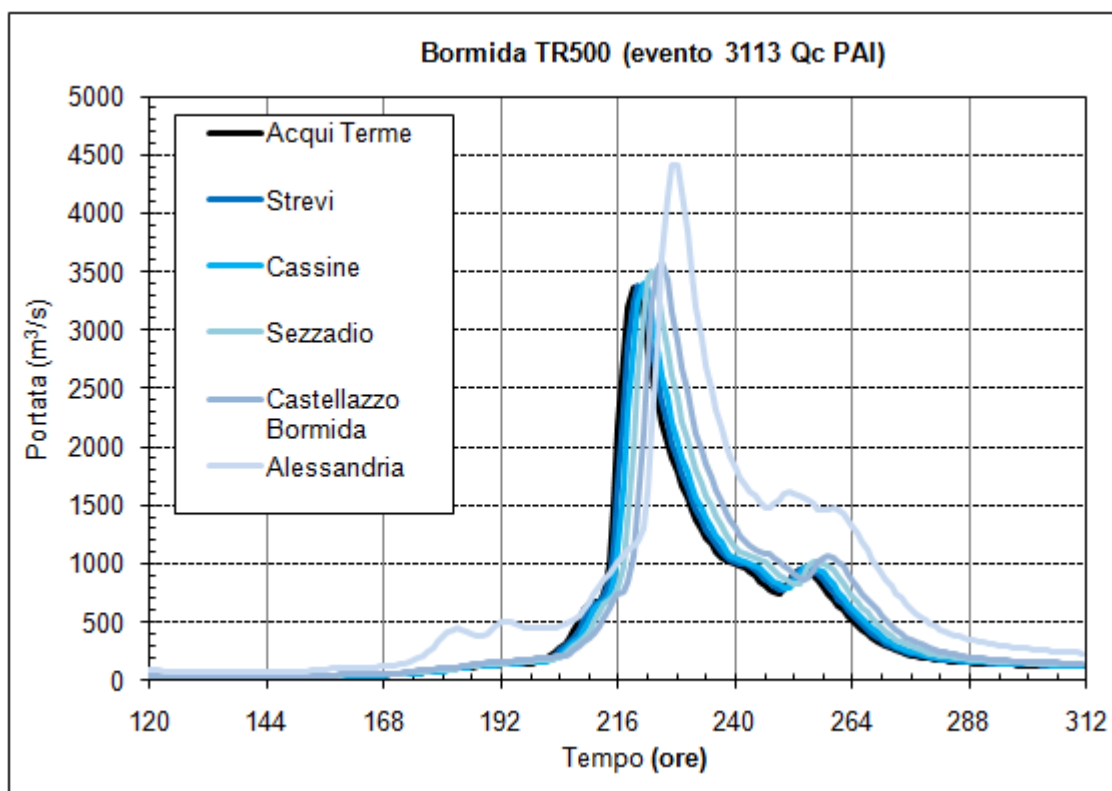


Fig. 65 Idrogrammi di piena dell'evento 3113 riscaldati al valore al colmo PAI per il tempo di ritorno di 500 anni nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida

4.3.2 Torrente Orba – idrogrammi in portata

Per il tempo di ritorno di 500 anni, la Tab. 14 riporta i valori della portata massima al colmo nelle sezioni idrologiche lungo l'asta del Bormida derivanti dal metodo PAI e gli eventi di piena ricostruiti secondo il metodo UNIPD le cui portate al colmo approssimano per eccesso o per difetto quelle PAI.

Tab. 14 Portate per il tempo di ritorno di 500 anni del PAI nelle sezioni idrologiche del torrente Orba e codice degli eventi di piena UNIPD che comportano portate al colmo immediatamente superiori (+) e inferiori (-)

	Sezione idrologica	Cod.	Q_{200} PAI (m³/s)	Evento +	Evento -
Orba	Silvano d'Orba	504	2300	5473	14712
Orba	Predosa	510	2460	5473	14712
Orba	Fresonara	511	2680	5450	4825
Orba	Confl. Bormida	515	2760	14712	4825

E' stato selezionato l'evento 14712 che compare in 3 sezioni idrologiche su 4.

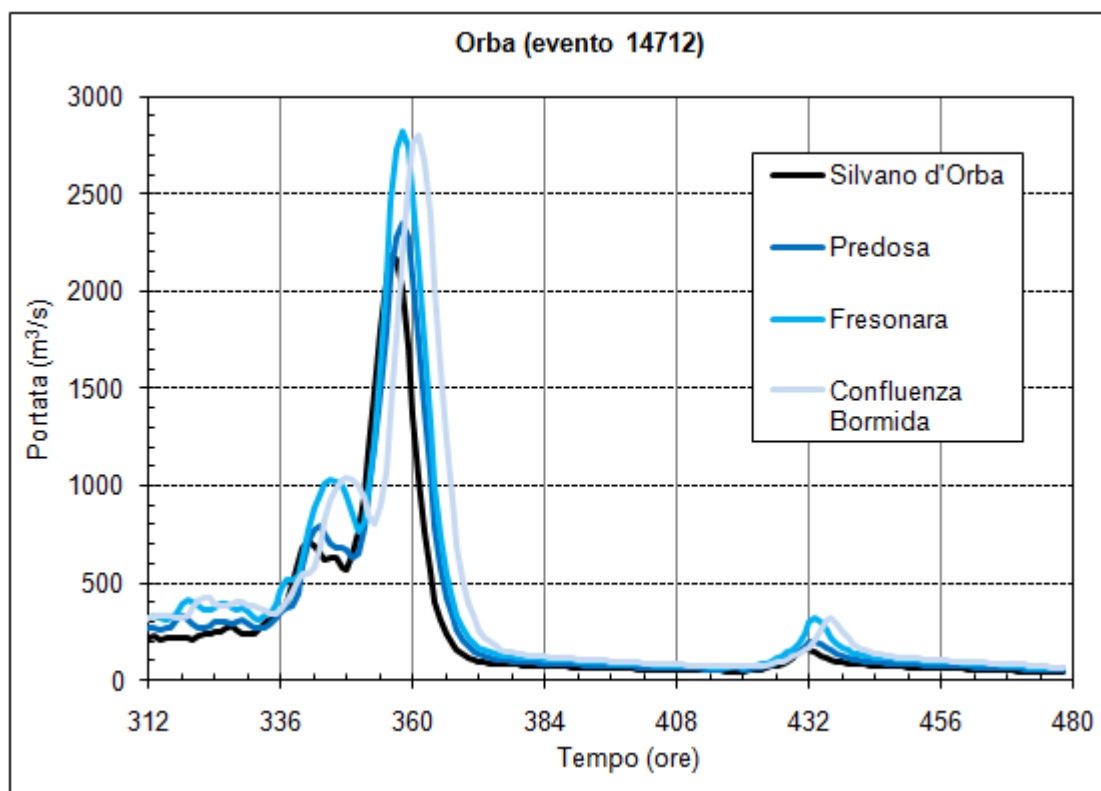


Fig. 66 Idrogrammi di piena dell'evento14712 nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

	Silvano d'Orba	Predosa	Fresonara	Confl. Bormida
Qmax ev. 14712 (m³/s)	2179	2345	2819	2799
Coefficienti correttivi	1.06	1.05	0.95	0.99

Il confronto tra la Fig. 66 e la Fig. 67 mostra le modifiche operate sugli idrogrammi e i coefficienti correttivi applicati per tutte le sezioni idrologiche. Il valore numerico di tali coefficienti indica che si tratta di modifiche quantitativamente modeste.

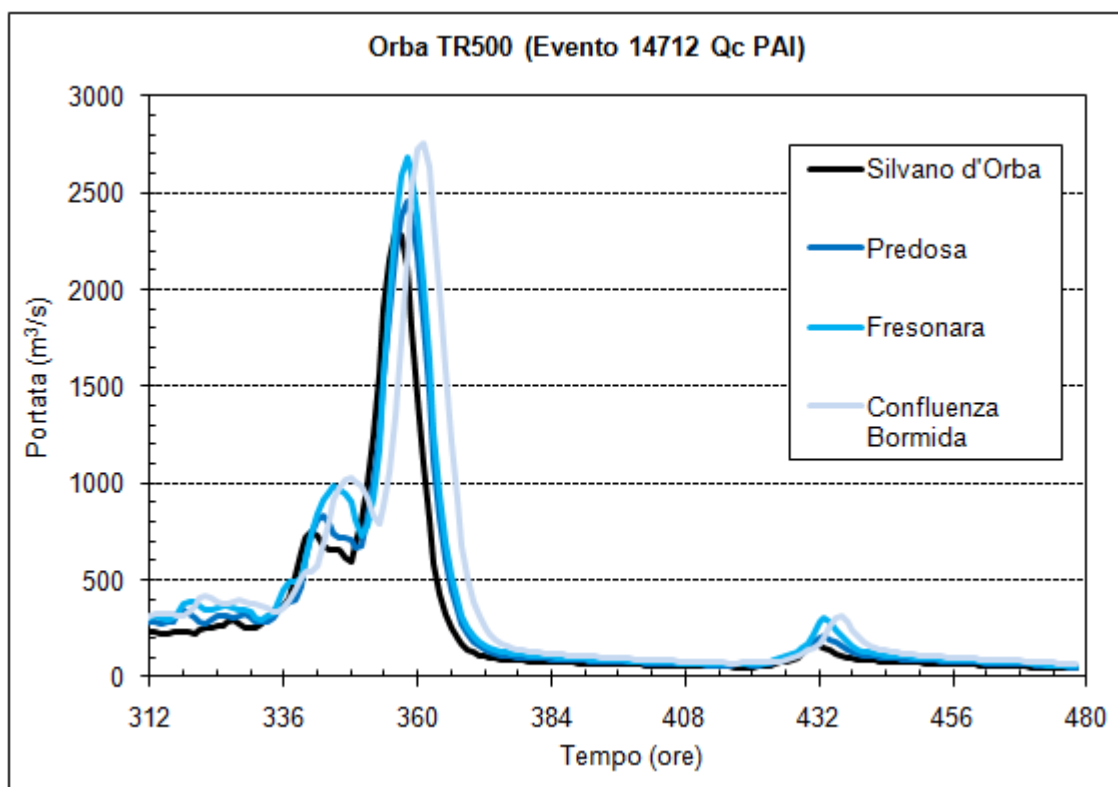


Fig. 67 Idrogrammi di piena dell'evento 14712 riscalati al valore al colmo PAI per il tempo di ritorno di 500 anni nelle sezioni idrologiche lungo l'asta dell'Orba

5 SINTESI DEI RISULTATI E PROPOSTA DI ASSUNZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

Le finalità del lavoro svolto sono di individuare secondo criteri il più possibile oggettivi e verificabili le piene di riferimento da assumere nell'ambito delle attività di analisi previste nello studio.

Con piene di riferimento si intendono i valori delle portate al colmo con assegnato tempo di ritorno, in sezioni idrologiche significative lungo le aste dei corsi d'acqua in studio, e gli idrogrammi in portata relativi a eventi di gravosità paragonabile, da utilizzare in sede di verifica o di progetto di ipotesi di intervento, che permettano di valutare i fenomeni di deflusso di carattere non stazionario che si manifestano nel corso di una piena.

Particolare attenzione merita in proposito la portata che corrisponde al tempo di ritorno di 200 anni, che il PAI assume come valore di progetto per la delimitazione delle fasce fluviali e delle opere di difesa idraulica dalle piene.

Elementi di partenza sono costituiti dalle determinazioni idrologiche disponibili o direttamente desumibili da:

- Direttiva "Piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" del PAI;
- i risultati del "*Modello matematico della risposta idrologica del fiume Tanaro (chiuso ad Alessandria)*" messo a punto dall'Università degli Studi di Padova per conto di AIPO, opportunamente estesi ai bacini idrografici del Bormida e dell'Orba;
- il metodo VAPI della Regione Piemonte che permette facilmente di stimare le portate al colmo nelle sezioni del reticolo idrografico per assegnati tempi di ritorno.

5.1 Portate massime al colmo per assegnati tempi di ritorno

Il confronto tra i risultati derivanti dai tre metodi sopra richiamati ha permesso in prima istanza di osservare come i valori derivanti dal metodo VAPI risultino decisamente superiori a quelli degli altri due; risulta per altro dalla stessa documentazione VAPI, che per tutti i tratti di corso d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali, è data indicazione di fare riferimento alle stime di portate di piena della Direttiva dell'Autorità di bacino.

Nel confronto tra le portate statistiche massime al colmo della Direttiva PAI e quelle UNIPD (ricavate dalla serie storica di lunghissimo periodo dei massimi istantanei annuali ricostruita dal modello numerico), una prima valutazione riguarda il fatto che anche il metodo UNIPD fornisce un modello di correlazione tra la portata Q e il tempo di ritorno o la superficie del bacino idrografico sotteso che è molto simile a quella del PAI (Fig. 68 e Fig. 69).

Ciò risulta di particolare interesse se si tiene conto del fatto che i valori PAI derivano sostanzialmente da una procedura di regionalizzazione idrologica (integrata con applicazioni di una modellazione afflussi – deflussi tarata su alcuni eventi critici per i singoli bacini) e quelli UNIPD derivano da una ricostruzione stocastica di eventi molto più elaborata e approfondita.

Va tenuto conto che il modello UNIPD applicato all'intero bacino del Tanaro ha subito un processo di taratura su eventi di piena recenti (piene del 2000 e del 2002) in numerose sezioni che dovrebbero aver consentito di rappresentare nel complesso le caratteristiche di formazione delle piene, comprensive dei processi di laminazione in alveo.

La taratura ha infatti compreso le stazioni: Belbo a Castelnuovo; Tanaro a Farigliano, Alba e a Montecastello; Orba a Casalcermelli; Stura di D. a Gaiola; Bormida a Cassine. Essendo considerate anche stazioni nell'ambito di pianura, è presumibile che la risposta

idrologica valutata dal modello comprenda anche dei fenomeni di laminazione lungo i fondovalle, che caratterizzano le piene più intense.

Si ritiene quindi che i risultati del modello, anche se quest'ultimo non è dotato di un modulo di simulazione idrodinamica del deflusso, siano rappresentativi a livello statistico dei valori di colmo attesi anche nelle sezioni di valle dei due corsi d'acqua indagati.

Per il tempo di ritorno di 200 anni, le differenze quantitative risultanti tra PAI e UNIPD sono ovunque inferiori o circa uguali al 20%, con le portate PAI che sono generalmente più elevate; fa eccezione la sezione di Alessandria (confluenza in Tanaro) in cui lo scostamento è rovesciato ed è pari al 10%.

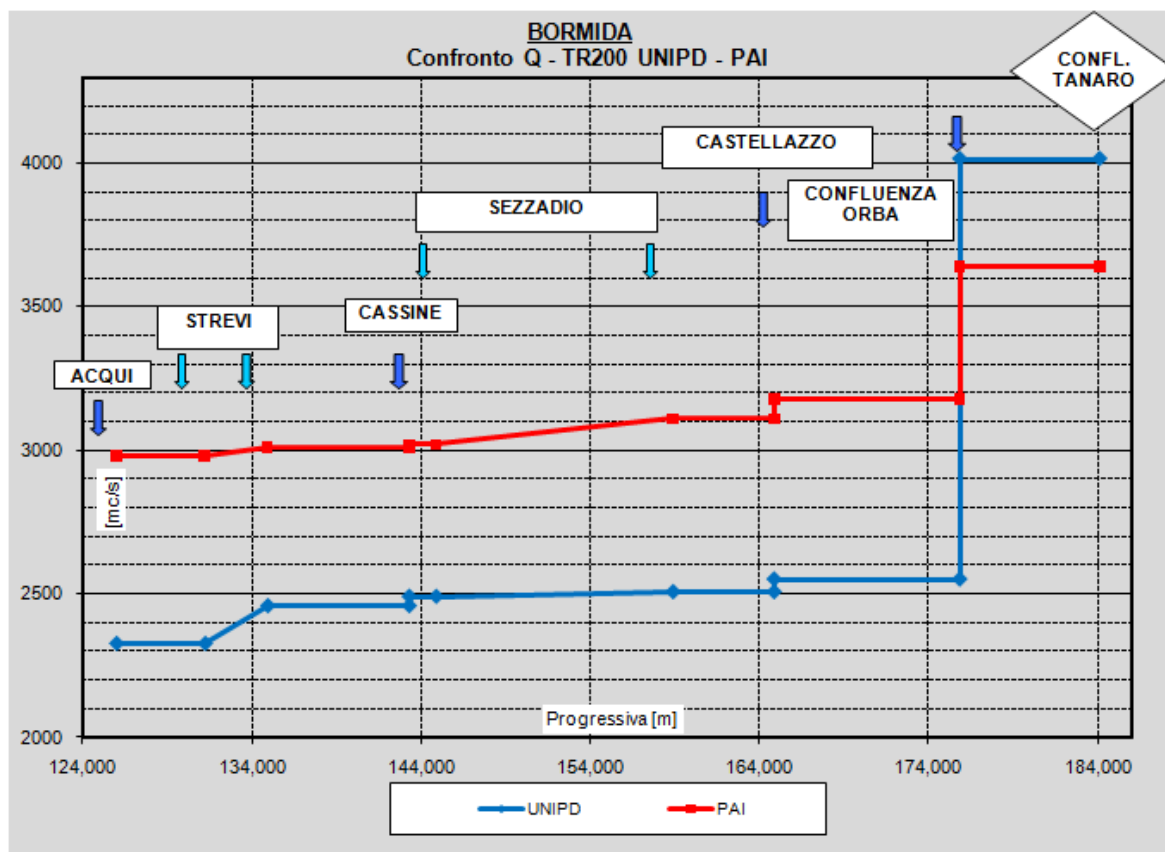


Fig. 68 Fiume Bormida, andamento delle portate al colmo con tempo di ritorno di 200 anni PAI e UNIPD

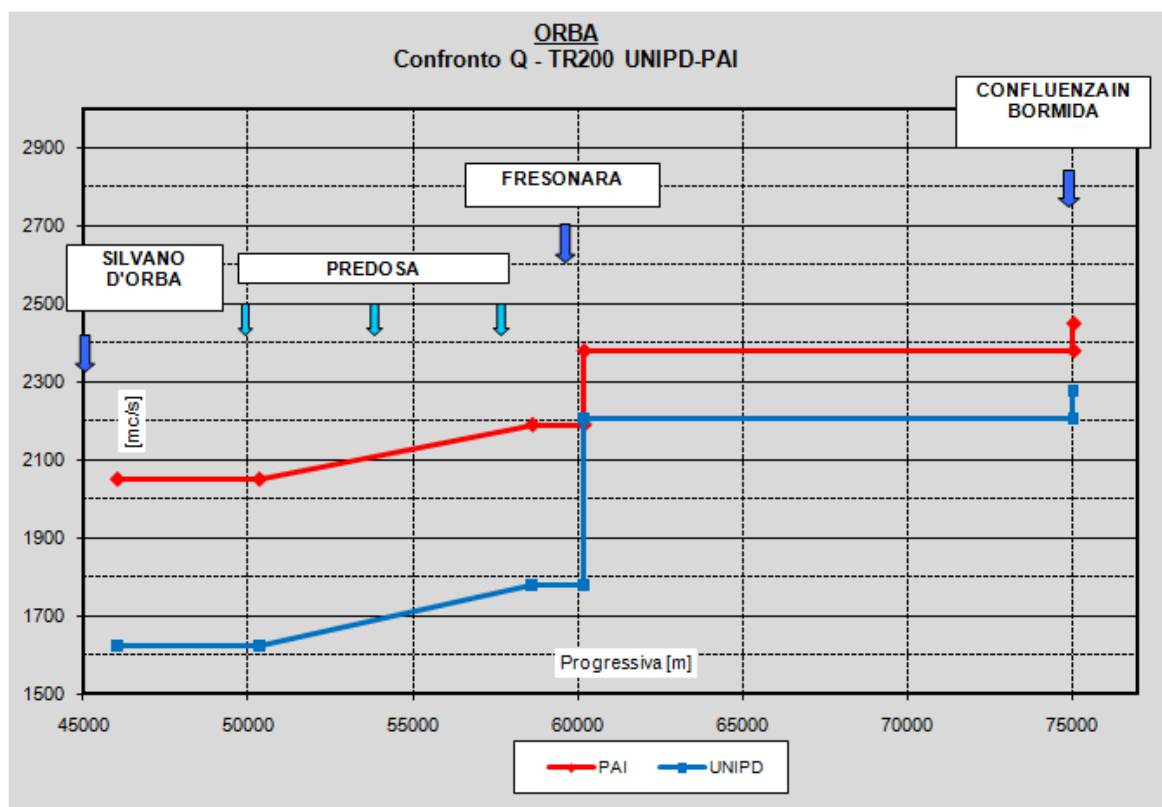


Fig. 69 Torrente Orba, andamento delle portate al colmo con tempo di ritorno di 200 anni PAI e UNIPD

Lo scostamento dell'ordine del 20% rientra nelle tolleranze comunemente accettate nell'ambito delle stime idrologiche prodotte seguendo metodi diversi. Con questo criterio i valori dei due metodi possono essere considerati entrambi validi e si confermano a vicenda.

In termini di scelta, dei valori di riferimento, si propone di assumere, a favore di sicurezza, i dati PAI, che comportano – secondo le simulazioni effettuate in condizioni di moto stazionarie riferite all'assetto attuale dei corsi d'acqua – differenze di livello sul Bormida (con l'eccezione del tratto a valle di confl. Orba) comprese tra 50 e 90 cm e sull'Orba tra 60 e 25 cm.

Sul tratto terminale del Bormida (a valle di confl. Orba), la differenza tra le portate Q200 è come si è detto invertita, pari al 10%; comporta, sulla base delle stesse simulazioni idrauliche sopra richiamate, una differenza di livelli di poco inferiore ai 30 cm. Anche in questo caso, a favore di sicurezza, si propone di adottare il valore più alto tra i due.

Le portate di riferimento per i due corsi d'acqua per i diversi tempi di ritorno sono pertanto quelle riportate in Tab. 15.

Tab. 15 Portate al colmo di riferimento nelle sezioni idrologiche del fiume Bormida e del torrente Orba nei tratti in studio

Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100	Q200	Q500
		km ²	(m ³ /s)							
Bormida	Acqui Terme	1355	490	1060	1440	1740 ¹	2270	2720	2980	3360
Bormida	Strevi	1457	730 ²	1250	1600	1900	2360	2740	3010	3390
Bormida	Cassine	1513	910	1390	1720	2010	2420	2750	3020	3400
Bormida	Sezzadio	1607	1010	1490	1810	2110	2520	2840	3110	3500
Bormida	Castellazzo B.	1693	1100	1580	1900	2200	2600	2900	3180	3580
Bormida	Alessandria	2566	1240 ³	1790	2160	2520 ⁴	3113	3605	4015	4413
Orba	Albereto	143	510	730	870					
Orba	Belletto	176	540	770	930	--	--	--	--	--
Orba	Confl. Stura di O. (V)	323	650	930	1110	--	--	--	--	--
Orba	Silvano d'Orba	434	700	1010	1210	1410	1670	1860	2050	2300
Orba	Predosa	543	750	1080	1300	1510	1780	1990	2190	2460
Orba	Fresonara	723	810	1170	1410	1640	1940	2170	2380	2680
Orba	Confl. Bormida	798	830	1210	1450	1690	2000	2230	2450	2760

52 Idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno

Ai fini di orientare la scelta degli idrogrammi di piena sono state compiute alcune simulazioni idrodinamiche, in condizioni di moto non stazionario riferite all'assetto attuale dei due corsi d'acqua, per un certo numero di eventi di piena che hanno caratteristiche di portate al colmo prossime a Q200 in qualche sezione idrologica lungo le due aste.

Le simulazioni hanno considerato gli eventi di piena ricostruiti con il metodo UNIPD, in un caso adattando il colmo in ogni sezione idrologica al valore Q200 PAI e nell'altro caso non apportando variazioni agli idrogrammi UNIPD e scegliendo quelli più prossimi rispettivamente alla Q200 PAI o alla Q200 UNIPD.

Va ricordato che i risultati delle simulazioni idrodinamiche effettuate dipendono in questo caso, oltre che dal valore della portata di colmo, dalla forma – e quindi dal volume d'acqua – di ciascun idrogramma, dato questo che non è possibile caratterizzare statisticamente.

I risultati, in termini di riduzione del valore della portata al colmo e dei livelli massimi verso valle non sono quindi direttamente associabili a un'attribuzione statistica.

Si riassumono brevemente nel seguito gli elementi ottenuti, con riferimento all'andamento delle portate, essendo i livelli idrici correlati alle stesse.

¹ In grassetto dati da Direttiva PAI

² In azzurro dati interpolati in sezioni di infittimento a partire da dati Direttiva PAI

³ In blu dati estrapolati da serie Direttiva PAI in una specifica sezione

⁴ In rosso dati UNIPD

Portate massime al colmo PAI – simulazioni su 3 eventi di piena

Fiume Bormida – portate riscaldate PAI: la portata massima rimane invariata fino alla sezione di Cassine; da Cassine all'Orba la riduzione passa dal 3% al 20%; a valle delle confluenze dell'Orba vi è assenza di laminazione. La laminazione media lungo l'asta (per le 3 onde esaminate) è compresa tra il 15% e il 20%.

Torrente Orba – portate riscaldate PAI: la portata massima al colmo rimane invariata rispetto a quella idrologica fino alla confluenza in Bormida.

Fiume Bormida – portate non riscaldate PAI: la laminazione è più significativa fino alla confluenza Orba; si attesta tra il 30 e il 40% rispetto al colmo idrologico; il fenomeno si riduce a circa il 20% nel tratto terminale. Si conferma l'assenza di laminazione nel tratto terminale. La differenza rispetto al caso precedente si può attribuire alla minore gravosità degli idrogrammi per valori al colmo e volumi.

Torrente Orba – portate non riscaldate PAI: assenza di fenomeni di laminazione lungo l'intera asta.

Portate massime al colmo UNIPD– simulazioni su 6 eventi di piena per il Bormida e 4 per l'Orba

Fiume Bormida: l'andamento della portata al colmo relativa ai 6 idrogrammi ha caratteristiche comuni: vi è una modesta crescita di portata tra Acqui e Cassine (mediamente del 5%, in un caso del 15%) e poi, fino a confl. Orba, una leggera decrescita per la maggior parte degli idrogrammi. L'andamento prevalente è quindi contrario a quello della Q200 UNIPD. L'effetto di laminazione in alveo tra monte e valle è comunque modesto, dell'ordine del 9% nei casi migliori; i minori effetti rispetto alle simulazioni con le portate Q200 PAI è probabilmente da imputare almeno in parte ai minori valori delle Q UNIPD che comportano minori altezze idriche e quindi minore impegno delle aree golenali lungo il fondovalle; un secondo possibile fattore è legato alla forma degli idrogrammi (e quindi ai volumi delle onde di piena) su cui non è però possibile esprimere valutazioni. L'andamento di tutti gli idrogrammi nel tratto a valle di confl. Orba conferma l'assenza di fenomeni di laminazione apprezzabili.

Torrente Orba: l'effetto di laminazione dei colmi lungo l'asta è inapprezzabile.

I risultati sintetici illustrati mostrano da una lato alcune caratteristiche ricorrenti che possono essere considerate costanti e indipendenti dal singolo evento simulato:

- l'assenza di laminazione lungo l'Orba;
- l'assenza di laminazione nel tratto terminale di Bormida, a valle della confluenza dell'Orba.

Mostrano inoltre, come per altro prevedibile, la variabilità dei risultati in termini di valori di Q e di livelli idrometrici tra un evento e l'altro. A tale elementi, come detto in precedenza non può essere assegnato un parametro di gravosità statistica.

In funzione delle analisi svolte, si sono assunti i seguenti dati di riferimento idrologico:

- per il tempo di ritorno di 200 anni, ai fini delle verifiche idrauliche delle opere di difesa e della revisione della delimitazione delle fasce A e B del PAI, **idrogramma unico** per ciascuna delle due aste, con portate al colmo nelle sezioni idrologiche significative adattate – “riscaldate “ – alle Q200 idrologiche (UNIPD per Bormida ad Alessandria; PAI per tutte le altre); adozione dell'evento 12030 UNIPD per il Bormida e dell'evento 5600 UNIPD per l'Orba come forme di idrogramma, in ragione del fatto che sono quelli più ricorrenti nelle sezioni idrologiche di ciascuna asta;
- per il tempo di ritorno di 500 anni, ai fini della revisione della delimitazione della fascia C del PAI, **idrogramma di progetto unico** per ciascuna delle due aste, con portate

al colmo nelle sezioni idrologiche significative adattate – “riscalate “ – alle Q500 idrologiche (UNIPD per Bormida ad Alessandria; PAI per tutte le altre); adozione dell'evento 3113 UNIPD per il Bormida e dell'evento 14712 UNIPD per l'Orba come forme di idrogramma nelle sezione idrologiche di ciascuna asta.

Non essendo stati individuati lungo i due corsi d'acqua interventi di protezione che comportino una variazione significativa dell'idrogramma di piena e in misura specifica sul colmo rispetto alla situazione attuale – vasche di laminazione – non è risultato di interesse la verifica dell'assetto di progetto, a suo tempo ipotizzata, tramite la simulazione di altri due eventi di piena scelti tra quelli UNIPD.

Viene inoltre stabilito il **profilo idrico di riferimento** per ciascuno dei due corsi d'acqua, relativo rispettivamente alla situazione attuale e a quella di progetto, come derivante dalla simulazione in moto vario per le portate Q200 assunte. In particolare si è fatto riferimento ai seguenti eventi di piena:

- evento 12030: Bormida da Acqui a confluenza Orba;
- evento 5600: Bormida da confluenza Orba a confluenza Tanaro;
- evento 5600: Orba da Silvano a confluenza Bormida.