



CONSORZIO STABILE IDRA BUILDING
 Società consortile a R.L.
 con sede in Via Luigi Dalla Via, 3/B - 36015 Schio (VI)

**INTERVENTI PER LA SICUREZZA IDRAULICA DELL'AREA
 METROPOLITANA DI VICENZA, BACINO DI LAMINAZIONE LUNGO IL
 TORRENTE TIMONCHIO IN COMUNE DI CALDOGNO (VI)**

**STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO PER LA DEFINIZIONE DELLE
 LOGICHE DI GESTIONE DEL BACINO DI CALDOGNO E
 IMPLEMENTAZIONE DELLE PROCEDURE PER L'ATTIVAZIONE DELLE
 OPERE DI REGOLAZIONE DEI MANUFATTI**

ELABORATO N.

1

SCALA:

FILE:

ip1616_mgca_rev_00.docx

DATA:

Ottobre 2016

RAPPORTO CONCLUSIVO

ESECUZIONE:

I PROS



INGEGNERIA AMBIENTALE

IPROS Ingegneria Ambientale S.r.l.

Corso del Popolo, 8 – 35131 Padova

e-mail: ipros@ipros.it

0	OTT. 2016	Prima emissione	D.Canesso/B.Matticchio/S.Cocco	B.Matticchio/S.Cocco	P.Peretti
REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	<i>Premesse</i>	4
2	<i>Dati utilizzati</i>	6
2.1	Dati idrologici	6
2.1.1	Dati idrometrici e pluviometrici	6
2.1.2	Scale di portata	12
2.2	Dati topografici	16
2.2.1	Rilievi e sezioni degli alvei fluviali	16
2.2.2	Dati Lidar	18
3	<i>Modello idrologico afflussi-deflussi per la generazione delle onde di piena nel sistema Leogra-Timonchio, Orolo, Bacchiglione, Retrone</i>	20
3.1	Schematizzazione idrologica del territorio	20
3.2	Identificazione degli eventi di piena di riferimento	24
3.3	Calibrazione del modello idrologico	26
3.4	Valutazioni ed elaborazioni sui risultati ottenuti	47
3.5	Condizioni al contorno per le simulazioni con il modello uni-bidimensionale	50
3.5.1	Eventi storici	50
3.5.2	Eventi sintetici	56
4	<i>Modello idrodinamico di propagazione delle onde di piena</i>	62
4.1	Costruzione del reticolo di calcolo	62
4.2	Taratura del modello	65
4.3	Schematizzazione dell'opera di presa e della traversa in alveo	83
5	<i>Valutazione dei parametri funzionali alle logiche di gestione</i>	86
5.1	La portata limite e la portata di riferimento per il Bacchiglione a Ponte degli Angeli	86
5.1.1	Il profilo attuale delle sommità arginali nel tratto cittadino di Vicenza	86
5.1.2	Risultati delle simulazioni a moto permanente	87
5.2	Ritardo di propagazione dell'onda di piena da Caldogno a Vicenza Ponte degli Angeli	92
5.3	La portata di riferimento per il Timonchio all'opera di presa e il livello limite del Bacchiglione a Ponte degli Angeli	94
5.4	Modello semplificato per la previsione delle portate a Ponte degli Angeli	99
5.4.1	Generalità	99

5.4.2	Previsione della piena a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo	101
6	<i>Definizione delle procedure per la manovra delle paratoie dei manufatti</i>	107
6.1	Procedura semplificata a breve termine per la gestione dell'opera di presa	107
6.2	Procedura a lungo termine per la gestione dell'opera di presa	112
6.3	Procedura per la gestione delle paratoie degli scarichi di fondo e del manufatto di interconnessione	123
6.3.1	Gli scarichi di fondo	123
6.3.2	Il manufatto di interconnessione	125
6.4	Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino sugli eventi del passato e sugli eventi sintetici	127
6.5	Effetti sugli allagamenti	138
6.6	Sintesi procedure	144
6.6.1	Procedura a breve termine (FASE 1)	144
6.6.2	Procedura a lungo termine (FASE 2)	147
7	<i>Riferimenti bibliografici</i>	152
8	<i>APPENDICE A – Descrizione del modello idrologico di piena</i>	153
9	<i>APPENDICE B – Descrizione del modello idrodinamico</i>	155
10	<i>APPENDICE C – Risultati delle simulazioni con il modello idrodinamico</i>	160
10.1	Eventi reali – procedura a breve termine	160
10.2	Eventi sintetici – procedura a breve termine	170
10.3	Eventi reali – procedura a lungo termine	179
10.4	Eventi sintetici – procedura a lungo termine	183

1 Premesse

Su incarico del Consorzio Stabile Idrabuilding, Società consortile a R.L. la scrivente società Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l. ha predisposto il presente studio finalizzato a definire le logiche di gestione e ad implementare le procedure per l'esercizio del bacino di laminazione di Caldogno, attivando e regolando i manufatti di controllo posti a presidio dell'opera di presa e degli scarichi e gestendo le fasi di riempimento e di vuotamento delle due casse che formano il bacino stesso.

Lo studio si inquadra tra le attività previste nell'appalto di "Interventi per la sicurezza idraulica dell'area metropolitana di Vicenza, bacino di laminazione lungo il torrente Timonchio in comune di Caldogno", di cui il Consorzio Idrabuilding è affidatario da parte della Regione Veneto, Segreteria Regionale per l'Ambiente, Direzione Difesa del Suolo.

Le attività svolte sono state le seguenti:

- esecuzione di uno studio idrologico e idraulico del sistema Bacchiglione-Timonchio-Orolo-Igna, necessario per supportare tutte le scelte da adottare per le procedure di gestione;
- definizione e implementazione di una procedura di gestione a breve termine del bacino di laminazione, da attivare alla fine dei lavori di realizzazione del bacino stesso;
- definizione e implementazione di una procedura di gestione a lungo termine del bacino di laminazione, da tarare nel corso dei primi 5 anni di esercizio dell'opera mediante l'acquisizione dei dati provenienti dalle stazioni di misura del sistema di telecontrollo che tenga conto anche delle altre casse di espansione in corso di realizzazione nel bacino del F. Bacchiglione.

La figura seguente rappresenta lo schema logico delle attività svolte per arrivare alla messa a punto e all'implementazione delle procedure di gestione.

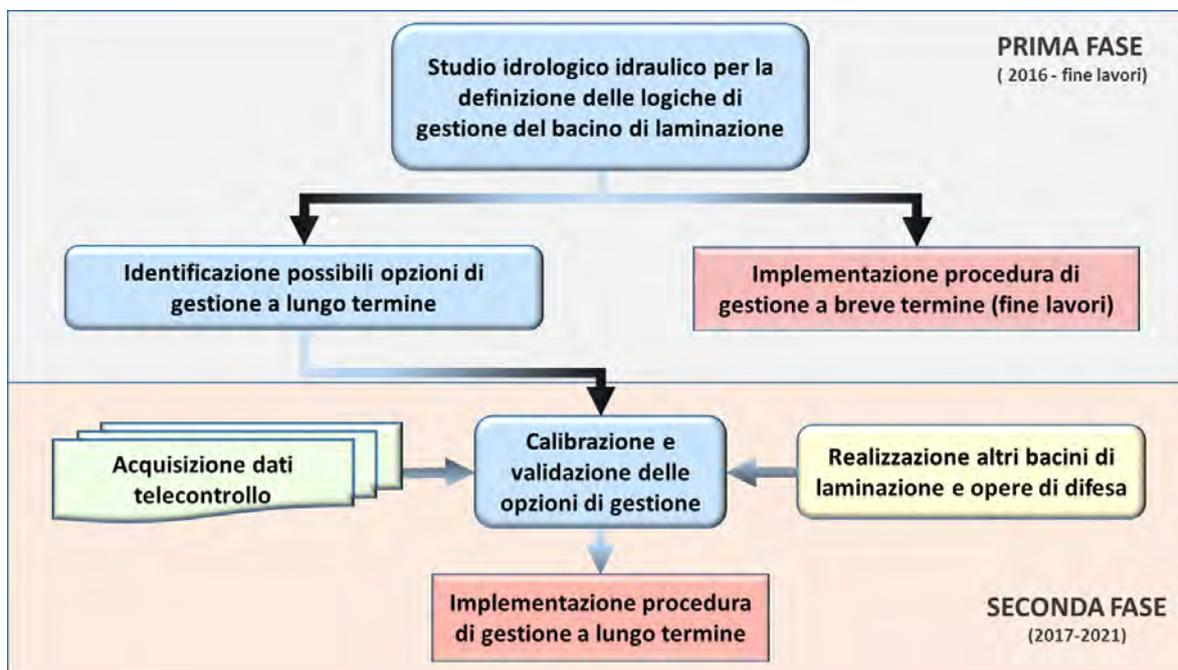


Fig. 1.1 – Schema logico delle attività svolte nello studio

Il presente documento costituisce il Rapporto Conclusivo dello studio e descrive nel dettaglio le attività svolte e i risultati ottenuti. Esso è articolato nel modo seguente.

Nel Capitolo 2 è illustrata l'analisi svolta per la identificazione degli eventi di piena significativi per il funzionamento del bacino di Caldogno, che è stata basata sull'elaborazione dei dati idrometrici e pluviometrici rilevate nelle stazioni di riferimento di ARPAV negli ultimi 20 anni.

Nel Capitolo 3 è illustrato il modello idrologico afflussi-deflussi che è stato appositamente messo a punto e calibrato dagli scriventi per gli scopi dello studio. Esso ha consentito di analizzare sia gli eventi di piena di riferimento sia una serie di altri eventi reali e sintetici per simulare le situazioni che possono determinare l'entrata in funzione del bacino di laminazione.

Nel Capitolo 4 è illustrato il modello idrodinamico bidimensionale predisposto per simulare la propagazione delle onde di piena reali e sintetiche nel sistema Bacchiglione-Timonchio-Orolo-Igna verso il centro storico di Vicenza e gli effetti di attenuazione delle onde stesse esercitate dal bacino di laminazione.

Nel Capitolo 5 sono illustrate alcune valutazioni sui risultati dei calcoli modellistici, che hanno portato alla definizione dei parametri necessari per le procedure di gestione dei manufatti di controllo del bacino.

Nel Capitolo 6 sono illustrate le procedure proposte per la gestione dell'opera di presa nelle fasi iniziali di vita dell'opera (a breve termine) e nella situazione di regime (lungo termine). Sono altresì illustrate le procedure proposte per la gestione dell'opera di interconnessione e degli scarichi di fondo. Le valutazioni sono supportate da una serie di verifiche effettuate con i modelli idrologico e idraulico sugli eventi di riferimento.

Il Capitolo 7 riporta i principali riferimenti bibliografici.

Il rapporto è corredato da 3 Appendici, che riportano, rispettivamente, la descrizione del modello idrologico, la descrizione del modello idrodinamico, una serie di elaborati grafici illustrativi dei risultati delle simulazioni modellistiche descritte nel capitolo 6.

2 Dati utilizzati

2.1 Dati idrologici

2.1.1 Dati idrometrici e pluviometrici

I dati idrologici utilizzati per lo studio sono stati principalmente quelli resi disponibili da ARPAV. In Fig. 2.1 sono rappresentate le stazioni idro-pluviometriche prese in considerazione. Si tratta di 14 stazioni, di cui 11 pluviometriche e 3 idrometriche. Le prime sono distribuite nel bacino idrografico e nelle aree limitrofe. Le altre sono installate nei tratti di pianura dei corsi d'acqua ed in particolare sul Timonchio a Ponte del Marchese, sul Retrone a S. Agostino e sul Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

A queste stazioni si aggiungono due stazioni idrometriche gestite dal Centro Idrico di Novoledo (VI), ubicate sul Timonchio immediatamente a monte del bacino di laminazione di Caldogno (Ponte Scartezini) e sul Leogra a Torrebelvicino.

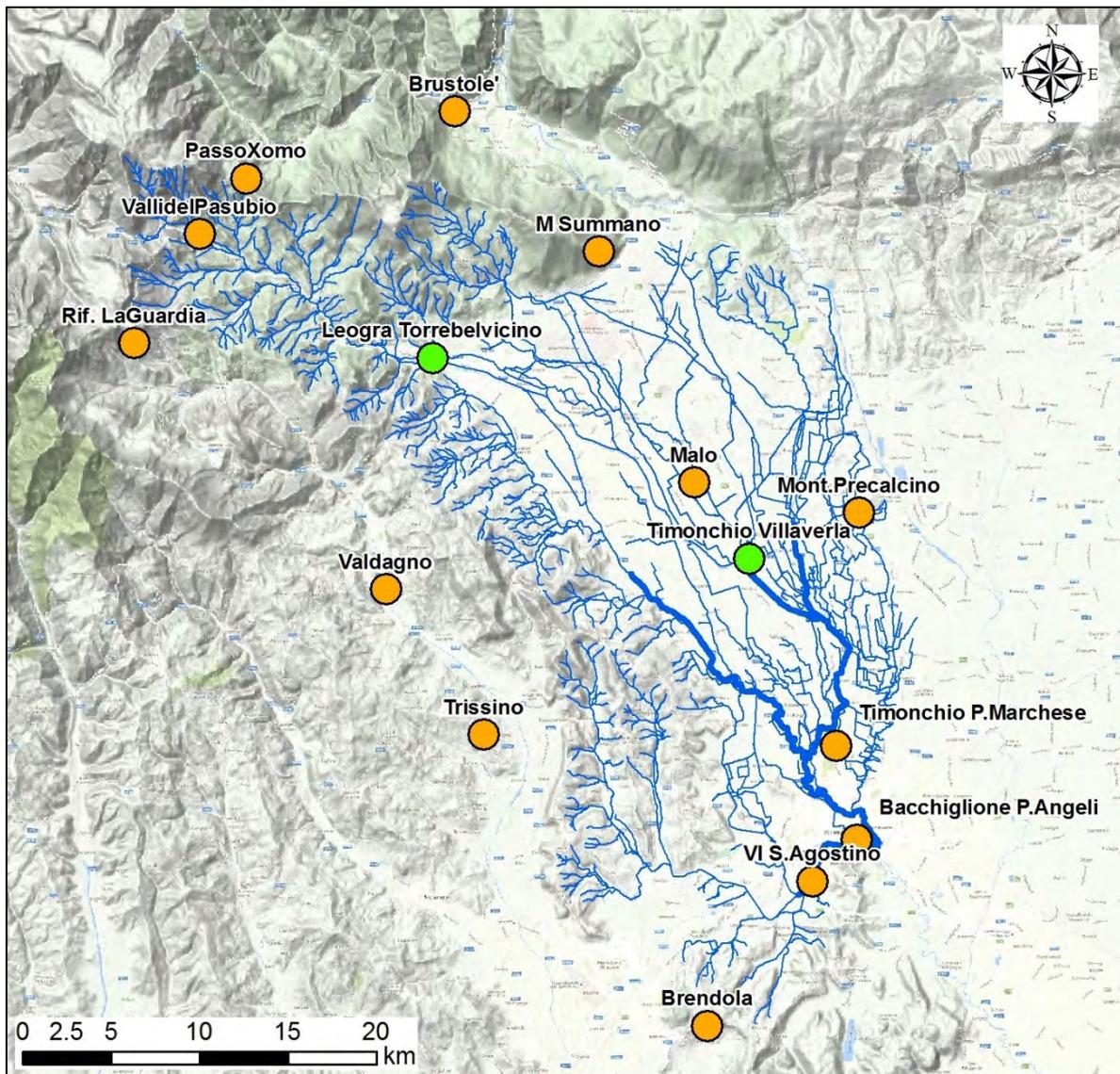


Fig. 2.1 – Mappa delle stazioni idro-meteorologiche nel bacino del Bacchiglione e dei suoi affluenti utilizzate per lo studio. In arancione sono indicate le stazioni della rete ARPAV. In verde sono indicate le ulteriori due stazioni gestite dal Centro Idrico di Novoledo.

L'intervallo temporale considerato per le elaborazioni va dal 1/1/1997 al 31/5/2016, cioè pari a circa 20 anni. In tale periodo, come indicato nella Tab. 2.1, le stazioni ARPAV hanno funzionato con continuità con un numero molto limitato di dati mancanti, se si eccettua la stazione pluviometrica di Vicenza, che è entrata in funzione dal 2002.

Le stazioni del Centro Idrico di Novoledo sono invece state messe in funzione più di recente. La stazione di Torrebelvicino dispone di una serie di dati relativamente estesa essendo stata installata dal 1/1/2000. Di tale stazione è stata acquisita la registrazione degli eventi significativi. La stazione di Villaverla a Ponte Scartezini dispone invece di una serie limitata dato che il sensore di livello è stato installato nella primavera del 2011.

N	Stazione	Dato	data inizio	data fine	copertura	gestore
1	Valdagno	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	99.5%	ARPAV
2	Monte Summano	Pluviometro	04/01/1997	30/05/2016	96.0%	ARPAV
3	Montecchio Precalcino	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	99.2%	ARPAV
4	Malo	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	99.8%	ARPAV
5	Rifugio la Guardia (Recoaro)	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	99.7%	ARPAV
6	Valli del Pasubio	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	100.0%	ARPAV
7	Trissino	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	87.8%	ARPAV
8	Brendola	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	99.4%	ARPAV
9	Brustole' Velo d'Astico	Pluviometro	01/01/1997	30/05/2016	99.6%	ARPAV
10	Passo Xomo Posina	Pluviometro	10/01/1997	30/05/2016	98.8%	ARPAV
11	Vicenza (Retrone) S. Agostino	Pluviometro	01/01/2002	30/05/2016	97.8%	ARPAV
12	Vicenza (Retrone) S. Agostino	Idrometro	01/01/1997	30/05/2016	97.0%	ARPAV
13	Timonchio a P. Marchese	Idrometro	01/01/1997	30/05/2016	97.1%	ARPAV
14	Bacchiglione Vicenza P. Angeli	Idrometro	01/01/1997	30/05/2016	99.2%	ARPAV
15	Leogra Torrebelvicino	Idrometro	01/01/2000	30/05/2016	solo eventi	C.I. Novoledo
16	Timonchio Villaverla P. Scartezini	Idrometro	14/04/2011	30/05/2016	71.0%	C.I. Novoledo

Tab. 2.1 – Elenco delle stazioni idro-meteorologiche nel bacino del Bacchiglione e dei suoi affluenti utilizzate per lo studio, con relativo intervallo di disponibilità e percentuale di copertura.

A titolo di esempio si riportano nei due grafici seguenti delle elaborazioni sulle registrazioni delle piogge campionate a cadenza semi-oraria. Nel grafico di Fig. 2.2 è riportato l'andamento del valore medio tra le piogge registrate dalle 11 stazioni utilizzate per la schematizzazione del sistema del Bacchiglione, Timonchio, Orolo con il modello idrologico.

Nel successivo grafico di Fig. 2.3 sono riportate le piogge (in mm) cadute nelle 24 ore successive ad ogni istante di campionamento (cadenza semi-oraria), anche in questo caso calcolate come valor medio tra i dati delle 11 stazioni suddette. Questo secondo grafico è stato ritenuto più significativo, ai fini della presente indagine, dal momento che, come è meglio precisato nel seguito, le criticità idrauliche del sistema del Bacchiglione sono legate ad eventi pluviometrici con durate di almeno 24 ore.

Entrambi i grafici mostrano una generalizzata dispersione dei dati per cui è difficile identificare una tendenza che consenta di individuare dei periodi a maggiore piovosità. Il grafico di Fig. 3.1 segnala tuttavia che la frequenza e l'intensità degli eventi con durata di 24 ore è maggiore nel periodo 1999-2000 e soprattutto nel periodo 2010-2013 che sono quelli in cui si sono verificate le massime piene del Bacchiglione a Vicenza.

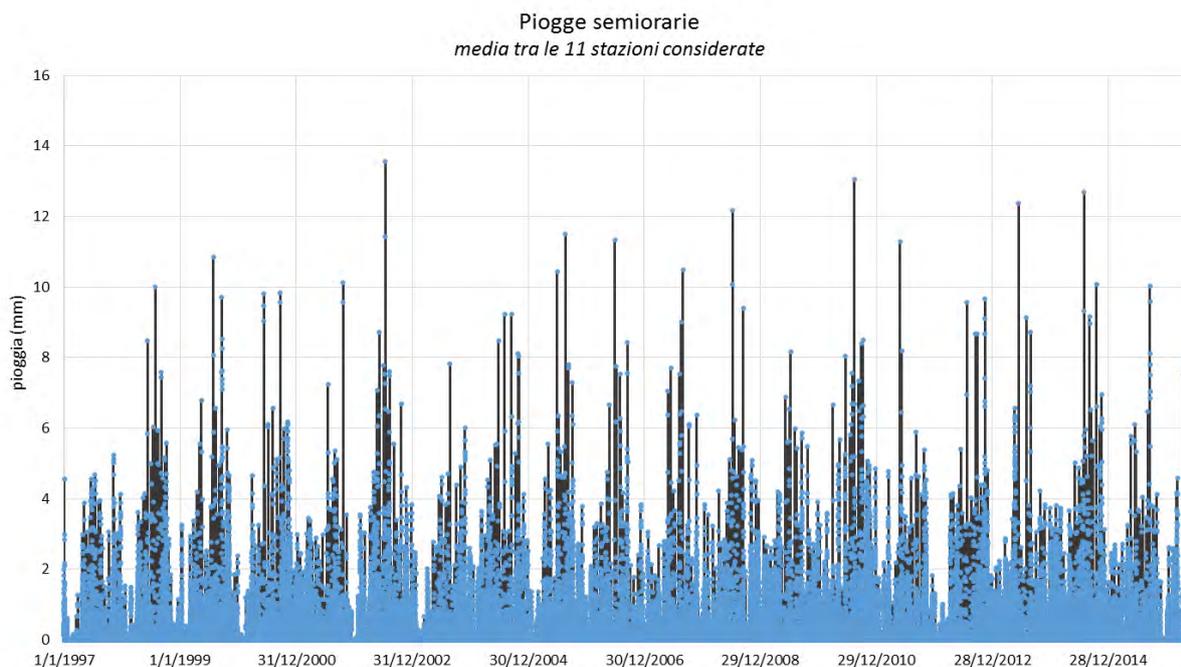


Fig. 2.2 – Andamento delle piogge semiorarie nel periodo 1/1/1997 – 31/5/2016. I valori rappresentati nel grafico sono stati ottenuti calcolando la media aritmetica dei dati registrati nelle 11 stazioni considerate per la schematizzazione del bacino del Timonchio, Orolo, Bacchiglione (Tab. 3.1).

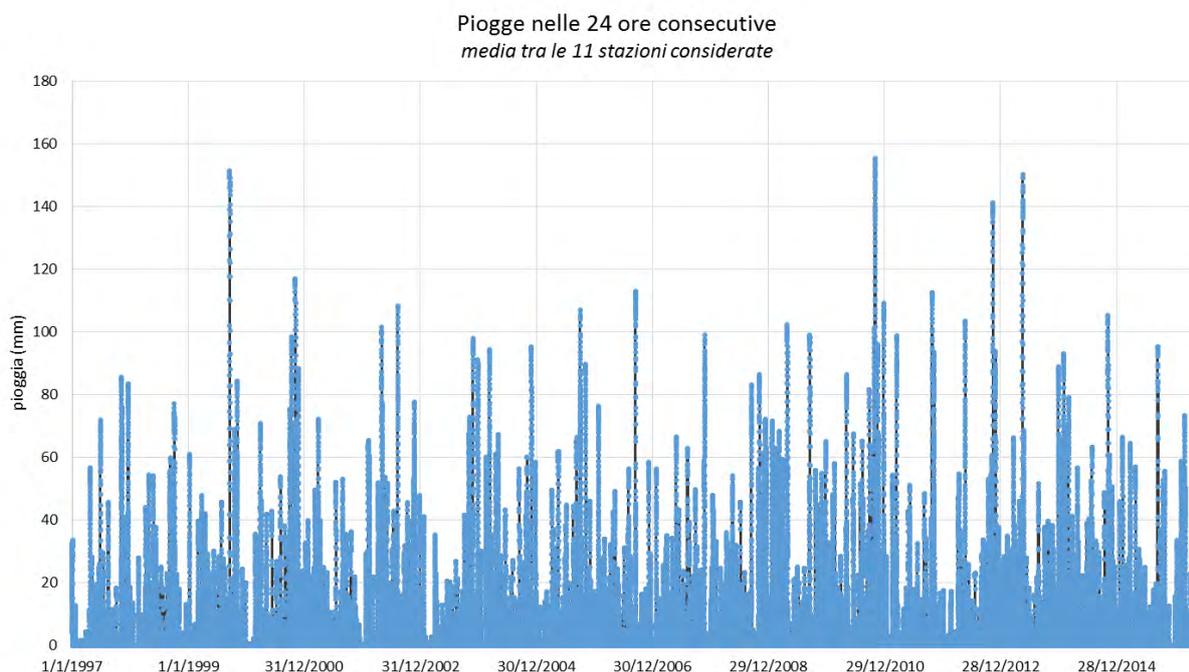


Fig. 2.3 – Andamento delle piogge di durata 24 ore nel periodo 1/1/1997 – 31/5/2016. I valori rappresentati nel grafico sono stati ottenuti calcolando la media aritmetica dei dati registrati nelle 11 stazioni considerate per la schematizzazione del bacino del Timonchio, Orolo, Bacchiglione (Tab. 2.1).

Il grafico di Fig. 2.4 rappresenta l'andamento del livello idrometrico del Bacchiglione a Ponte degli Angeli registrato dal teleidrometro dell'ARPAV con frequenza semi-oraria.

In questo caso è molto evidente come la frequenza degli episodi di piena del Bacchiglione sia maggiore nell'intorno dell'anno 2000 e, soprattutto degli anni 2010-2012.

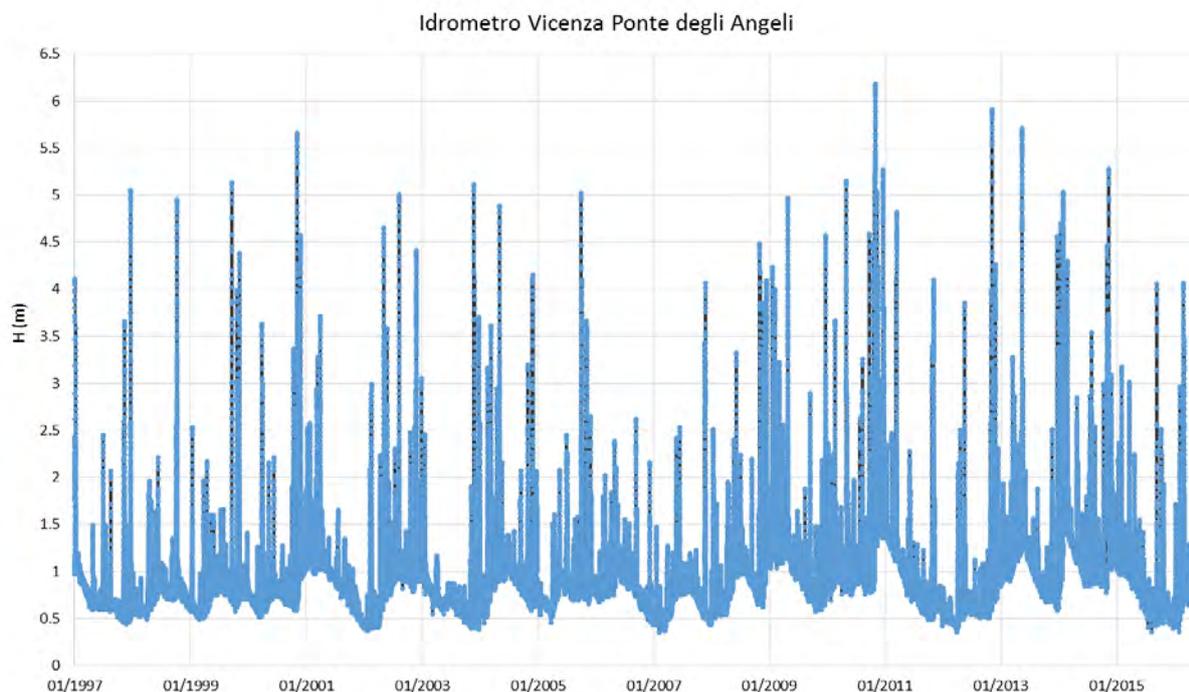


Fig. 2.4 – Andamento dei livelli idrometrici nel Bacchiglione registrati dalla stazione ARPAV di Ponte degli Angeli nel periodo 1/1/1997 – 31/5/2016.

La successiva Tab. 2.2 riporta numericamente alcuni dati di riferimento per gli eventi di piena che hanno caratterizzato il periodo di 20 anni considerato.

Sono stati classificati come eventi di piena tutti quelli in cui il livello massimo ha superato la soglia di 4.6 m, che corrisponde alla soglia di Allarme 2 identificata dalle procedure di allerta della Protezione Civile (C.F.D.) e del Genio Civile della Regione Veneto.

Per ciascuno di questi eventi sono stati selezionati i periodi nell'intorno del valore massimo, per un intervallo temporale di 3 giorni, che si estende da 24 ore prima del colmo a 48 ore dopo il colmo stesso.

In questo modo sono stati individuati 21 eventi, il più gravoso dei quali è ovviamente quello del 1/11/2010 in cui il livello massimo a Ponte degli Angeli ha raggiunto la quota di 6.18 m sopra il locale riferimento.

Il grafico di Fig. 2.5 mostra la distribuzione mensile degli eventi selezionati. Si osserva che, pur essendovi una chiara prevalenza dei mesi autunnali e invernali (in particolare novembre), gli eventi sono distribuiti nell'arco di tutto l'anno, ad eccezione dei mesi di giugno e luglio.

Per ciascuno di questi eventi è stato calcolato il volume totale della piena, valutando la portata fluente mediante la scala delle portate della sezione di Ponte degli Angeli (si veda il par. 2.1.2). Sono stati valutati inoltre il tempo di permanenza della piena al di sopra della soglia di 4.6 m, e i volumi di piena al di sopra delle soglie di 4.6, 5.0 e 5.4 m. Quest'ultima soglia è stata scelta perché corrisponde alla terza e più alta soglia di allarme identificata dalle procedure della Regione Veneto – CFD.

In base a tali valutazioni si evince che la piena più gravosa (quella del 1/11/2010) è stata caratterizzata da un volume di $52 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ e una permanenza sopra i 4.6 m superiore a 50 ore. Essa

presenta un'entità di gran lunga superiore a quella degli altri eventi dal momento che il secondo in ordine di altezza massima (quello del 11/11/2012) è stato caratterizzato da un volume di poco meno di $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ed una permanenza sopra i 4.6 m di meno di 12 ore.

In effetti, come sarà messo in evidenza anche nel seguito, l'evento del 2012 è stato caratterizzato da una portata massima al colmo molto elevata ma da una durata relativamente breve, per cui il volume complessivo non è risultato eccezionale.

Più gravoso dal punto di vista del volume di piena e della permanenza sopra la soglia di 4.6 risulta il terzo evento in ordine di livello massimo, ossia quello del 16/5/2013. Per quest'ultimo il volume complessivo della piena ammonta a circa $30 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ e la permanenza oltre i 4.6 m è stata di quasi 30 ore. Altrettanto significativo, dal punto di vista dei volumi di piena e della permanenza dei livelli superiori a 4.6 m è stato l'evento del 24/12/2010.

Da quanto esposto consegue che, come è evidenziato anche dal grafico di Fig. 2.6 i volumi associati a ciascun evento di piena non sono sempre direttamente correlati al valore massimo raggiunto dal livello a Ponte degli Angeli.

Vi sono peraltro anche alcuni casi, come quello del 3/2/2014, in cui la valutazione del volume di piena è poco significativa perché l'evento si è presentato con due picchi distanziati di alcuni giorni, per cui il volume computato si riferisce, almeno in parte, anche all'evento contiguo.

N.evento	data colmo	H colmo	V piena	Durata > 4.6 m	V > 4.6 m	V > 5.0 m	V > 5.4 m
		(m)	$\text{m}^3 \cdot 10^6$	(ore)	$\text{m}^3 \cdot 10^6$	$\text{m}^3 \cdot 10^6$	$\text{m}^3 \cdot 10^6$
1	01/11/2010	6.18	52.40	51	14.45	9.42	4.77
2	11/11/2012	5.91	19.97	11.5	2.74	1.66	0.73
3	16/05/2013	5.71	31.95	29	4.78	2.38	0.62
4	07/11/2000	5.66	20.41	13	2.55	1.35	0.37
5	16/11/2014	5.28	14.06	4.5	0.52	0.14	0.00
6	24/12/2010	5.27	31.50	21	2.24	0.50	0.00
7	04/05/2010	5.15	20.02	7	0.59	0.09	0.00
8	20/09/1999	5.13	10.53	4	0.40	0.06	0.00
9	28/11/2003	5.11	12.95	5.5	0.49	0.05	0.00
10	20/12/1997	5.05	16.86	7.5	0.57	0.03	0.00
11	16/11/2010	5.03	19.44	6	0.43	0.01	0.00
12	31/01/2014	5.03	21.79	6	0.40	0.01	0.00
13	04/10/2005	5.02	15.79	4	0.29	0.00	0.00
14	11/08/2002	5.00	15.68	7	0.56	0.00	0.00
15	28/04/2009	4.97	26.06	9	0.52	0.00	0.00
16	07/10/1998	4.95	18.99	6	0.32	0.00	0.00
17	03/02/2014	4.95	31.05	11.5	0.67	0.00	0.00
18	06/05/2004	4.89	17.12	4	0.19	0.00	0.00
19	16/03/2011	4.81	21.69	7	0.23	0.00	0.00
20	19/01/2014	4.70	17.35	2.5	0.04	0.00	0.00
21	04/05/2002	4.65	14.25	1.5	0.02	0.00	0.00

Tab. 2.2 – Caratteristiche principali degli eventi di piena che hanno superato la quota di 4.60 m a Ponte degli Angeli. I volumi della piena sono stati calcolati mediante la scala delle portate della sezione di Ponte degli Angeli (par. 2.1.2), considerando un intervallo di 3 giorni che va da 24 ore prima del colmo di piena a 48 ore dopo lo stesso.

Bacchiglione a Ponte degli Angeli
Distribuzione mensile degli eventi di piena

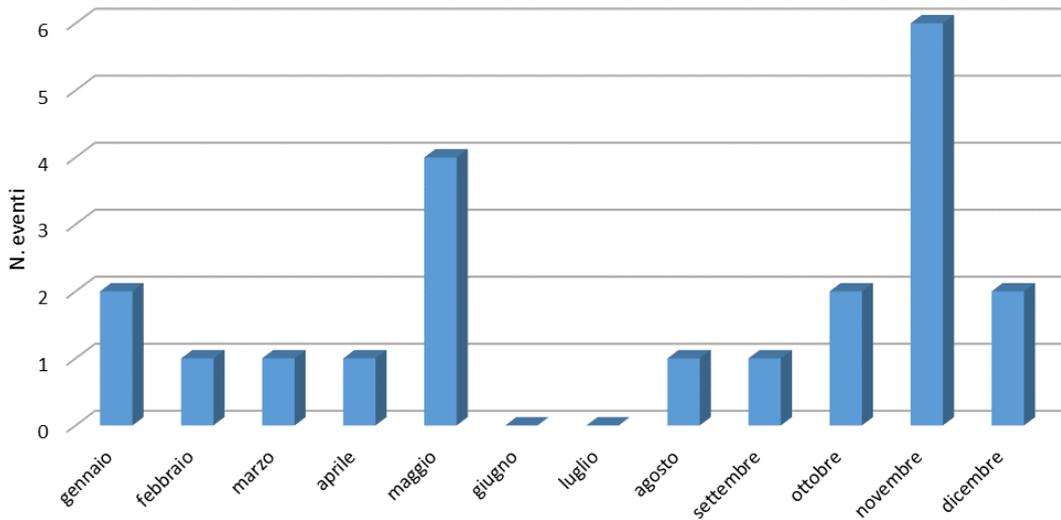


Fig. 2.5 – Distribuzione mensile dei 21 eventi di piena a Ponte degli Angeli superiori a 4.6 m nel periodo 1/1/1997 – 31/5/2016.

Bacchiglione a Ponte degli Angeli
Quote idrometriche massime e volumi di piena



Fig. 2.6 – Valori massimi del livello idrometrico registrato dall'idrometro di Ponte degli Angeli per i 21 eventi superiori a 4.6 m nel periodo 1/1/1997 – 31/5/2016. Il grafico riporta anche il volume della piena valutato mediante la scala delle portate della sezione di Ponte degli Angeli (par. 2.1.2), considerando un intervallo di 3 giorni che va da 24 ore prima del colmo di piena a 48 ore dopo lo stesso.

2.1.2 Scale di portata

Per la calibrazione del modello idrologico si utilizzano dati sull'andamento dei deflussi (le portate) nelle sezioni di chiusura dei bacini, che generalmente si determinano a partire dalle registrazioni di livello, applicando la cosiddetta "scala delle portate" propria della generica sezione, ricostruita sulla base di misure contemporanee di livello e portata. Nel caso in esame è disponibile la scala delle portate in 3 sezioni, ossia il Bacchiglione a Ponte degli Angeli, il Leogra a Torrebelvicino e il Timonchio a Ponte Scartezini.

Per quanto riguarda il Bacchiglione a Ponte degli Angeli, esiste una serie numerosa di misure di portata eseguite negli anni recenti da ARPAV, che consente di ottenere una scala delle portate di buona affidabilità.

L'elaborazione di tali misure è stata effettuata dall'Università di Padova, dipartimento ICEA, nell'ambito del recente studio "Modellazione idrologica e idraulica per la previsione in tempo reale delle piene del Bacchiglione chiuso a Montegalda" svolto per conto della Regione Veneto nel 2016, giungendo a definire la relazione seguente:

$$Q=7.9877 \cdot h^2-4.2567 \cdot h+11.621$$

Questa relazione è stata ottenuta a partire da una precedente scala delle portate pubblicata da ARPAV nel documento "Livelli e portate medie giornaliere del fiume Bacchiglione a Vicenza negli anni 2012-2013. Relazione n. 14/14, 2014" considerando però un'ulteriore misura effettuata da Ipros Ingegneria Ambientale per conto della Regione Veneto nel corso della piena dell'11/11/2012, ritenuta rilevante data la particolare gravità dell'evento.

In tale occasione fu misurata una portata nel Bacchiglione a Vicenza a valle della confluenza con il Retrone pari a 323 m³/s (Ponte di via dello Stadio, 11/11/2012 ore 17:00) e una portata nel Retrone a monte della confluenza pari a 53 m³/s (Ponte del Quarelo, 11/11/2012 ore 15:30). Tenendo conto degli sfasamenti temporali tra le misure e dei tempi di propagazione della piena tra il Ponte del Quarelo e il Ponte di Via dello Stadio si è stimato che la portata nel Bacchiglione alle ore 16:00 del 11/11/2012 quando l'idrometro misurava il massimo valore al colmo di 5.91 m fosse pari a 270 m³/s.

Per verificare comunque la validità della scala delle portate proposta dall'Università di Padova, sono state prese in esame tutte le misure contemporanee di livello e portata effettuate da ARPAV a partire dal 2009, che sono illustrate nei seguenti documenti pubblicati da ARPAV e disponibili nel sito www.arpa.veneto.it:

- "Livelli e portate medie giornaliere del fiume Bacchiglione a Vicenza negli anni 2009-11"
- "Misure di portata eseguite da ARPAV nell'anno 2012"
- "Misure di portata eseguite da ARPAV nell'anno 2013"

Come si vede dal grafico di Fig. 3.2 la sovrapposizione delle misure ARPAV alla curva determinata dall'Università di Padova utilizzando anche la summenzionata misura in piena del 11/11/2012 mostra un ottimo adattamento ed è quindi stata ritenuta affidabile.

Si fa comunque notare che, come è stato evidenziato anche nel citato studio dell'Università di Padova, la scala delle portate proposta differisce da quella attualmente in uso presso ARPAV, in particolare per i livelli più elevati, superiori a 4.5 m. In tali situazioni la portata stimata dalla scala ARPAV risulta inferiore a quella fornita dalla scala proposta. Ad esempio, per il livello idrometrico di 6.0 m la prima fornisce una portata di circa 240 m³/s mentre la seconda fornisce una portata di circa 275 m³/s.

data	H idr. Ponte Angeli (m)	Portata misurata (m ³ /s)	data	H idr. Ponte Angeli (m)	Portata misurata (m ³ /s)
09/02/2009	1.76	22.8	16/05/2011	0.89	14.6
30/03/2009	2.39	53.2	07/07/2011	0.86	12
26/05/2009	1.06	15.4	26/10/2011	1.62	29.4
23/07/2009	0.95	10.9	07/11/2011	3.26	89.3
12/01/2010	1.03	14.8	08/11/2011	4.06	131.7
02/03/2010	0.93	11.9	11/11/2012	5.91	270
05/05/2010	3.76	98.5	21/05/2012	2.83	69.44
20/07/2010	0.93	9.6	05/11/2012	2.73	64.5
08/11/2010	1.83	33.4	20/11/2012	0.7	10.42
16/11/2010	5.03	194.1	24/01/2013	1.1	17.04
22/11/2010	3.73	94.4	27/03/2013	1.225	19.45
25/01/2011	1.36	22.3	15/05/2013	1.245	20.37
03/03/2011	1.21	20.9	16/07/2013	1.095	16.87

Tab. 2.3 – Misure di portata effettuate da ARPAV dal 2009 al 2013 utilizzate per determinare la scala delle portate. In azzurro è evidenziato il dato del 11/11/2012 estrapolato in base alle misure effettuate da Ipros Ingegneria Ambientale su Bacchiglione e Retrone.

Si deve peraltro sempre tenere presente che, in un corso d'acqua di pianura come è il Bacchiglione a Vicenza, la definizione di una scala delle portate resta comunque affetta da notevoli incertezze, soprattutto perché il legame tra livello idrometrico e portata in condizioni di piena non è univocamente determinato. Esso può essere sensibilmente influenzato sia dalle condizioni idrometriche che si stabiliscono a valle, sia dagli effetti di moto vario che si sviluppano nel corso del passaggio dell'onda di piena (il cosiddetto "cappio").

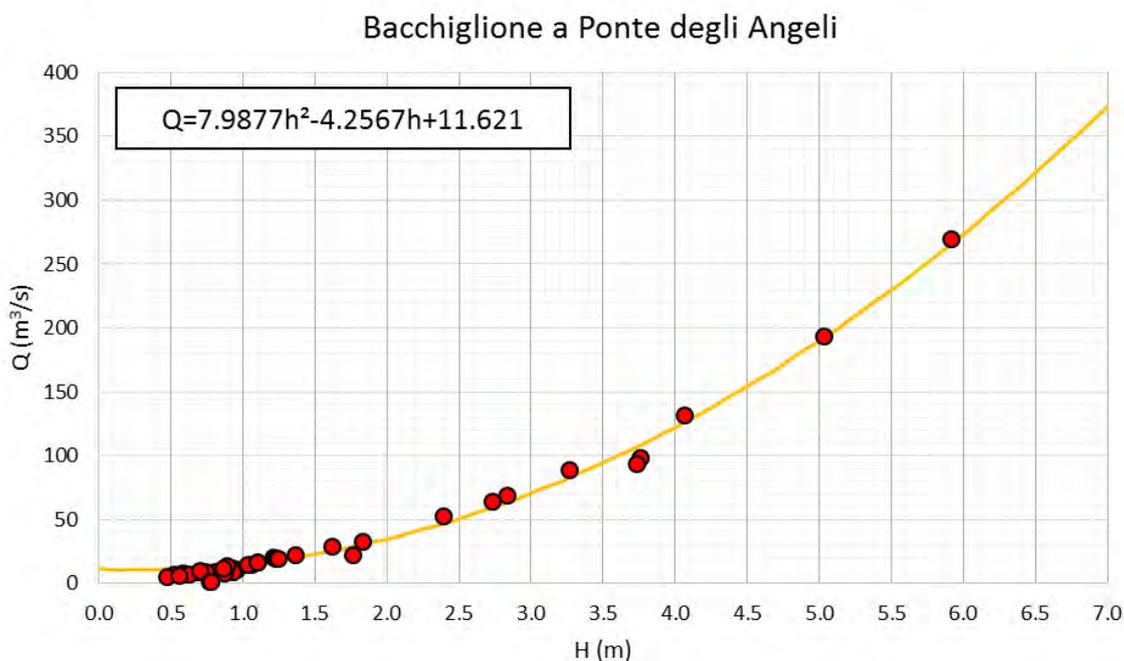


Fig. 2.7 – Scala delle portate del Bacchiglione a Ponte degli Angeli proposta da Università di Padova, Dip. ICEA, tenendo conto della misura di piena del 11/11/2012.

La scala delle portate del T. Leogra a Torrebelvicino è stata tratta dalla Relazione Idraulica allegata al Progetto Definitivo del Bacino di Laminazione di Caldogno, redatta da Beta Studio s.r.l., ed è espressa dalle relazioni seguenti:

$$Q = 32 \cdot h^{2.5} \quad \text{per } h \leq 1.32\text{m}$$

$$Q = 33.553 \cdot h^2 + 1.2951 \cdot h + 4.0257 \quad \text{per } h > 1.32\text{m}$$

Essa è stata ricavata dagli estensori dello studio suddetto sulla base della scala delle portate fornita dal gestore dello strumento (il Centro Idrico di Novoledo) valida per le basse portate, e di un'elaborazione appositamente effettuata con un modello unidimensionale Hec Ras valida per le portate maggiori. In Fig. 2.8 è riportata la seconda di queste due curve, di maggiore interesse per le finalità del presente studio.

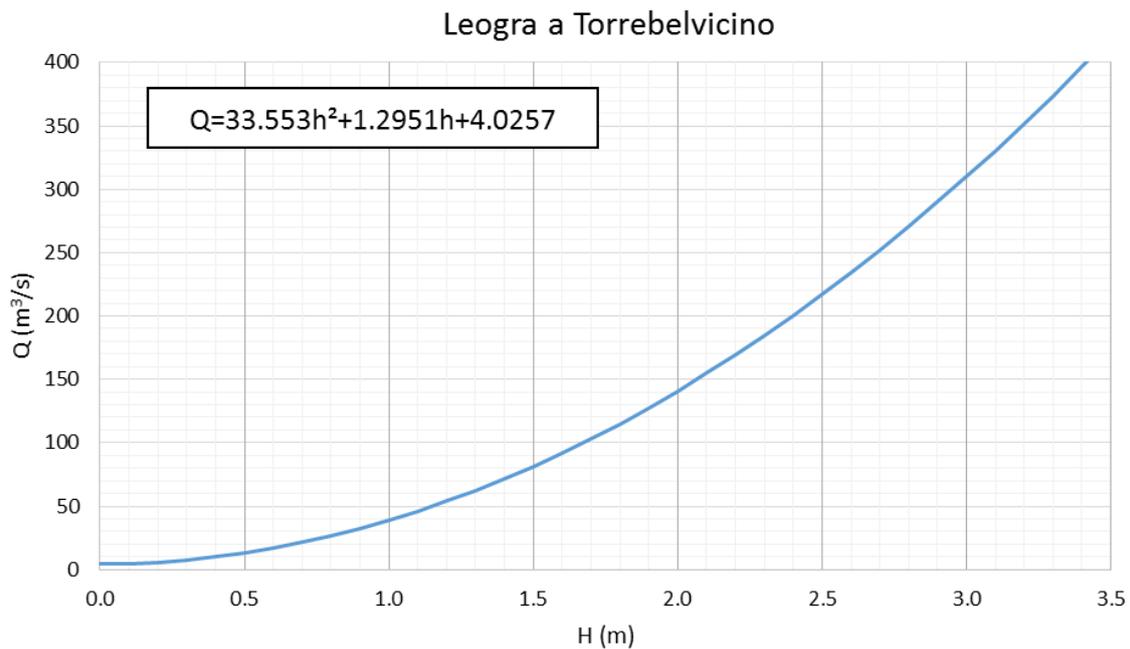


Fig. 2.8 – Scala delle portate del T. Leogra a Torrebelvicino proposta da Beta Studio s.r.l. nella Relazione Idraulica allegata al Progetto Definitivo del Bacino di Laminazione di Caldogno.

Infine è stata considerata la sezione del Timonchio a Ponte Scartezzini, che si trova immediatamente a monte dell'opera di presa del Bacino di laminazione di Caldogno.

Anche per tale sezione è stata utilizzata la scala delle portate proposta da Beta Studio S.r.l. nell'ambito delle attività svolte dalla società stessa a supporto della progettazione e della realizzazione del bacino di laminazione di Caldogno. La determinazione della scala delle portate è avvenuta sulla base di un rilievo topografico della sezione e di una modellazione idraulica con modello unidimensionale Hec-Ras, supportata da due misure di portata, ancorché effettuate con portate relativamente ridotte.

La relazione proposta per il Timonchio a Scartezzini (Fig. 3.4) è la seguente:

$$Q=20.31 \cdot h^2+12.369 \cdot h$$

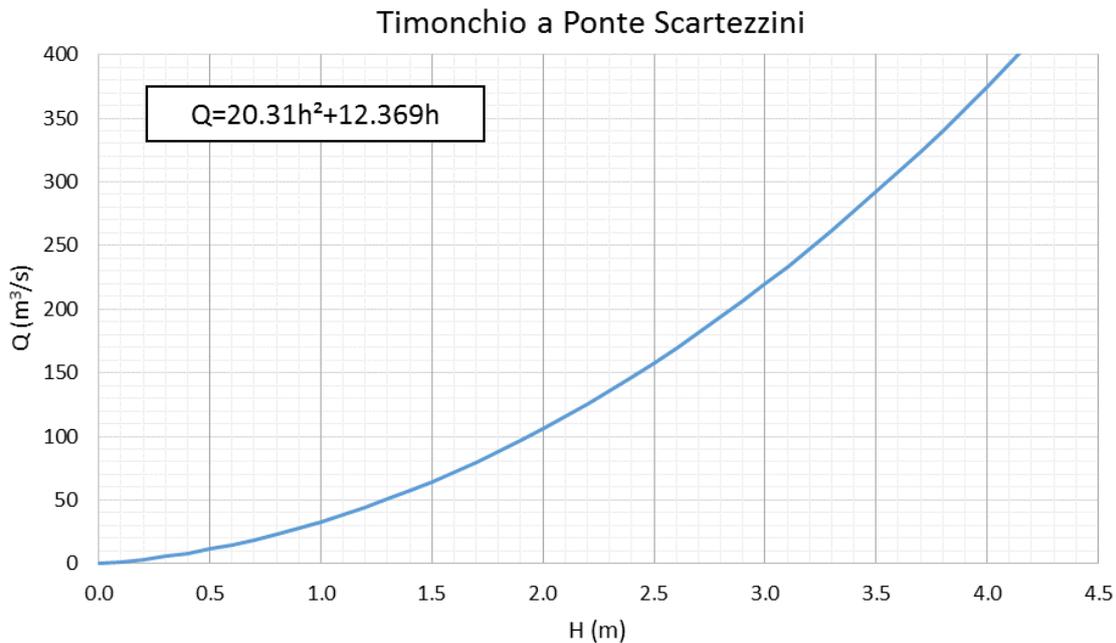


Fig. 2.9 – Scala delle portate del T. Timonchio a Ponte Scartezzini proposta da Beta Studio s.r.l. nell'ambito delle attività svolte dalla stessa Società a supporto della progettazione e della realizzazione del bacino di laminazione di Caldogno.

2.2 Dati topografici

In questo paragrafo si illustrano i dati topografici e altimetrici che sono stati utilizzati per la messa a punto dei modelli matematici impiegati nello studio. Si tratta delle sezioni topografiche di rilievo degli alvei fluviali e delle arginature che hanno consentito di schematizzare i corsi d'acqua, e dei rilievi altimetrici del territorio, in particolare i dati Lidar, che hanno fornito la base per la schematizzazione modellistica bidimensionale anche sulle aree esterne potenzialmente allagabile dagli eventi di piena di entità superiore alla capacità di portata degli alvei. Questi dati altimetrici sono stati integrati con la cartografia disponibile, rappresentata dalla Carta Tecnica Regionale e dalle Ortofoto più recenti, reperibili sul Portale Cartografico Nazionale (<http://www.pcn.minambiente.it/GN/>) o forniti dai provider di servizi web (Google Earth).

2.2.1 Rilievi e sezioni degli alvei fluviali

Sono stati acquisiti i dati dei rilievi topografici effettuati dalla società Beta Studio S.r.l. ai fini della redazione del progetto preliminare e definitivo del Bacino di Laminazione di Caldogno. Questi rilievi, eseguiti tra il dicembre 2010 e il maggio 2011, si compongono di una serie di sezioni trasversali che descrivono l'alveo fluviale e le arginature e si estendono ai seguenti tratti:

- F. Timonchio nel tratto adiacente al bacino di Laminazione, da monte del ponte di via Scartezzini a valle del ponte di via Vegre (L≈3 km).
- F. Timonchio da Caldogno a Ponte del Marchese (L≈4.2 km).
- F. Bacchiglione da Ponte del Marchese a Vicenza e per tutto il tratto cittadino fino alla confluenza con il F. Retrone (L≈9.0 km).
- T. Orolo a monte della confluenza con il Bacchiglione (L≈2.3 km).

Questo rilievi sono stati integrati con i più recenti rilievi effettuati dal Genio Civile di Vicenza tra il 2010 e il 2014 a supporto dei numerosi interventi messi in atto dallo stesso Genio Civile per ripristinare e rinforzare la difesa idraulica della città di Vicenza dopo la disastrosa piena del Bacchiglione del 1/11/2010.

I rilievi del Genio Civile si compongono di un gran numero di sezioni eseguite a più riprese per rappresentare sia la batimetria degli alvei fluviali, sia la conformazione delle sponde e dei manufatti (ponti, briglie, salti di fondo, ecc.), sia i profili delle sommità arginali e comunque le quote delle difese nel centro storico e sul territorio limitrofo.

I tratti per cui sono disponibili i rilievi del Genio Civile sono i seguenti:

- T. Orolo da Isola Vicentina alla confluenza con il Bacchiglione (L≈11.7 km).
- F. Bacchiglione da monte del Ponte di Viale Diaz per tutto il tratto cittadino fino alla confluenza con il Retrone (L≈5.2 km).
- F. Astichello lungo Parco Querini a monte della confluenza con il Bacchiglione (L≈0.6 km).
- F. Bacchiglione a valle della confluenza con il Retrone nel tratto in adiacenza alla SP. Riviera Berica (L≈1.2 km).
- F. Retrone a monte di Vicenza nel tratto in adiacenza ai colli Berici – Via S. Agostino (L≈2.2 km).

La seguente Fig. 2.10 riporta in una planimetria schematica l'ubicazione dei tratti fluviali coperti dalle diverse serie di sezioni topografiche fluviali.

2.2.2 Dati Lidar

Il rilievo Lidar, ossia il rilievo altimetrico del terreno ottenuto utilizzando sensori laser scanner montati su velivoli (aerei o elicotteri), rappresenta ormai da diversi anni il sistema più efficiente per la mappatura di vaste aree di territorio, in particolare al fine di consentire analisi puntuali e accurate sul rischio di allagamenti e inondazioni a seguito di piene fluviali. I dati Lidar, infatti, forniscono un piano quotato ad elevata risoluzione del terreno (tipicamente 1 punto per m²) che consente di rappresentare accuratamente le pendenze del terreno e la conformazione plano-altimetrica di tutti quegli elementi (argini, rilevati stradali e ferroviari, dossi e avvallamenti, scoline, ecc.) che principalmente governano la propagazione dell'onda di sommersione originata da un'esondazione fluviale. La disponibilità di rilievi Lidar è ormai elemento quasi indispensabile per condurre, come nel caso in esame, simulazioni della propagazione delle piene fluviale con modelli di tipo bidimensionale in grado di simulare anche gli effetti delle esondazioni delle acque fluviali sul territorio esterno agli alvei.

Proprio per tali scopi, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) ha realizzato negli anni scorsi, o direttamente o in accordo con altri Enti territoriali, un vasto piano di rilievi Lidar sul territorio italiano nelle aree a maggiore rischio idro-geologico, nell'ambito del cosiddetto "Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale - PST-A".

Nel caso del sistema del Timonchio – Bacchiglione, un primo rilievo Lidar è stato condotto nel 2002 su tutto il sistema del Bacchiglione a cura dell'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico. A questo rilievo si è poi aggiunto, negli anni 2008-2009, il primo volo del MATTM lungo il Timonchio a monte di Caldogno. Questi rilievi sono stati utilizzati nella indagini condotte nelle fasi di progettazione definitiva ed esecutiva del Bacino di Caldogno, anche se la possibilità di utilizzo dei dati del volo dell'Autorità di Bacino è risultata solo parziale a causa di problemi di accuratezza dei dati stessi riscontrati sulla base di controlli con rilievi tradizionali.

Recentemente è stato reso disponibile dal MATTM un ulteriore rilievo Lidar effettuato nel 2014 su tutto il bacino del Timonchio – Bacchiglione, che supera i rilievi precedenti perché molto più esteso, aggiornato ed omogeneo. I dati sono disponibili in forma di griglia con risoluzione a terra pari a 1 metro (dati GROUND, ovvero depurati della vegetazione) e coprono non solo, come i rilievi precedenti, le fasce nell'intorno degli alvei fluviali, ma anche tutto il territorio esterno.

Essi forniscono pertanto, nel caso della città di Vicenza e del suo territorio potenzialmente allagabile, una rappresentazione molto dettagliata e aggiornata dell'altimetria, che consente anche di ottenere importanti riscontri sulle quote delle sponde e delle arginature utili per le valutazioni modellistiche sulla quote di massima piena ammissibili lungo il Bacchiglione allo stato attuale.

Nel caso del T. Timonchio ed in particolare dell'area del bacino di laminazione di Caldogno, purtroppo il nuovo rilievo non include l'ambito fluviale e le fasce immediatamente adiacenti, perché queste aree erano già coperte dal precedente rilievo del MATTM del 2008-2009. Per il tratto del Timonchio in corrispondenza del bacino di laminazione il nuovo rilievo Lidar descrive pertanto l'altimetria aggiornata (al 2014) solo per il territorio esterno al fiume ma non per l'alveo fluviale e per l'area occupata dallo stesso bacino di laminazione.

La Fig. 2.11 rappresenta l'area coperta dal rilievo Lidar utilizzato per la schematizzazione con il modello bidimensionale.

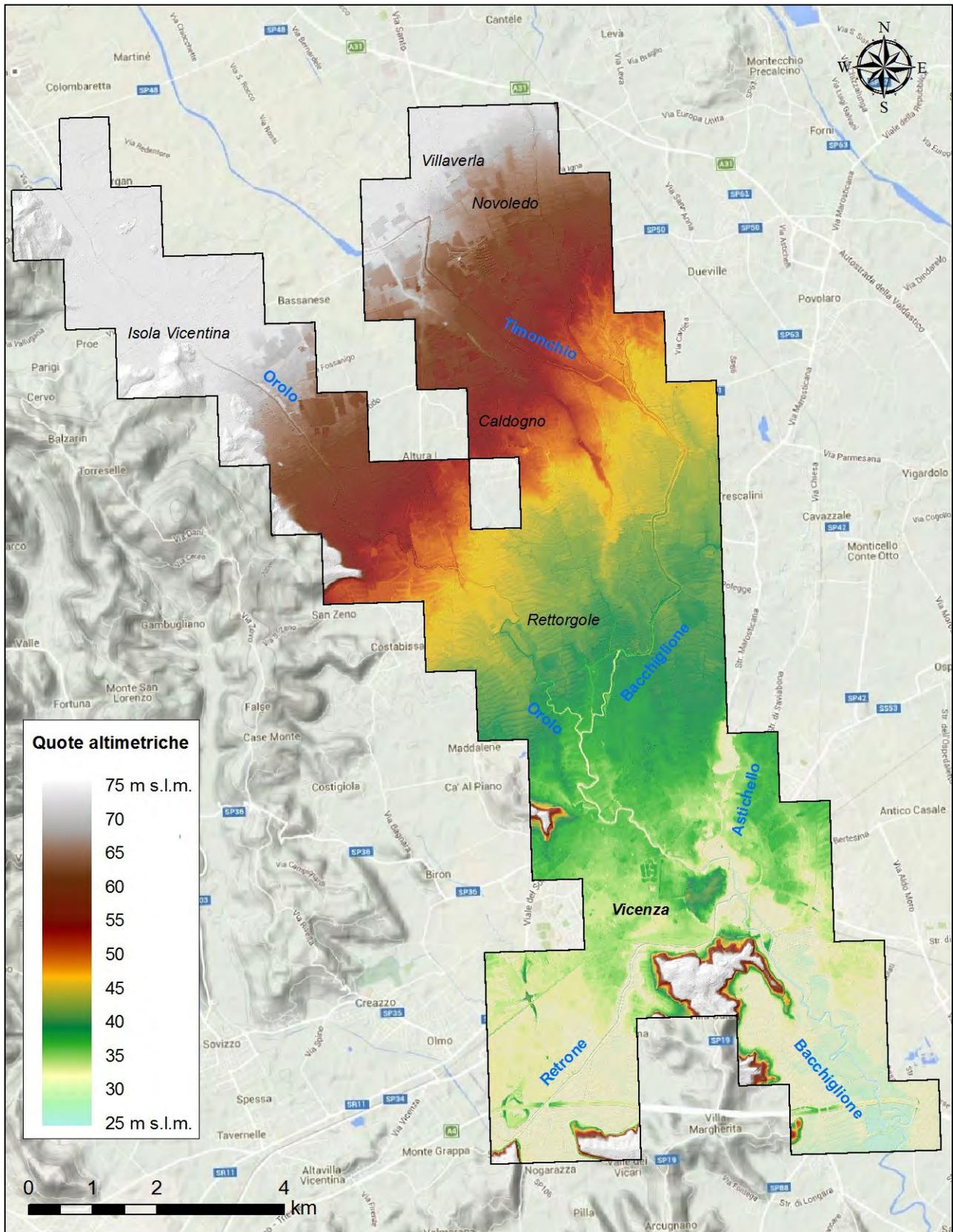


Fig. 2.11 – Planimetria dell'area coperta dai rilievi Lidar utilizzati per la costruzione del modello idraulico bidimensionale.

3 Modello idrologico afflussi-deflussi per la generazione delle onde di piena nel sistema Leogra-Timonchio, Orolo, Bacchiglione, Retrone

3.1 Schematizzazione idrologica del territorio

Il modello idrologico di piena illustrato in forma sintetica in Appendice A (capitolo 8) è stato utilizzato per caratterizzare compiutamente dal punto di vista idrologico il bacino idrografico del Bacchiglione chiuso alla sezione di confluenza con il Retrone a Vicenza (Fig. 3.1). Si tratta di un territorio che ha una estensione di oltre 520 km² che può essere suddiviso in 4 bacini principali, quelli del Leogra-Timonchio, del Giara-Orolo, dell'Interbacino Bacchiglione con l'Astichello e del Retrone, rappresentati in Fig. 3.1. Se si considera lo stesso bacino idrografico del Bacchiglione, ma chiuso alla sezione di Ponte degli Angeli in Vicenza, la superficie complessiva si riduce a poco meno di 400 km².

Per simulare il comportamento idrologico di questo territorio in concomitanza con eventi meteorici significativi, come quelli verificatisi negli ultimi vent'anni oppure quelli generati sinteticamente a partire dalle altezze di precipitazione aventi una determinata frequenza probabile, si è quindi realizzata una adeguata schematizzazione del territorio stesso.

In linea di principio, il codice di calcolo utilizzato non pone limiti particolari al numero di sottobacini che è possibile considerare nella schematizzazione di un bacino idrografico, né tanto meno alla struttura della relativa rete di collegamento. È evidente, tuttavia, che per una suddivisione ragionevole del bacino in sottobacini elementari si devono considerare altri vincoli. Tale suddivisione, infatti, risulta condizionata da una parte dalle sezioni del reticolo idrografico in corrispondenza alle quali si vuole determinare l'andamento della piena, dall'altra dalla possibilità di disporre, per ciascun sottobacino, di stazioni pluviografiche che consentano di valutare correttamente gli apporti meteorici sul bacino e di controllare gli andamenti degli idrogrammi di piena calcolati con quelli registrati in corrispondenza a sezioni intermedie del reticolo idrografico stesso.

Tenuto conto di queste considerazioni, dopo alcuni tentativi preliminari, si è pervenuti a suddividere l'intero bacino del sistema Timonchio-Orolo-Retrone-Bacchiglione in 23 sottobacini come illustrato nella corografia in Fig. 3.2 e nello schema del modello idrologico in Fig. 3.3. In particolare, la suddivisione adottata ha comportato per i bacini principali considerati l'individuazione, rispettivamente, di 11 sottobacini per il Leogra-Timonchio, di 4 sottobacini per il Giara-Orolo, di 2 sottobacini per l'Interbacino Bacchiglione e l'Astichello ed infine di 6 sottobacini per il Retrone.

Per la perimetrazione dei sottobacini stessi, per l'orografia e per l'idrografia relative si è fatto riferimento alla suddivisione in sottobacini ed ai dati tematici reperibili nel Sistema Informativo, Territoriale e Cartografico della Regione Veneto. A tale riguardo, in Tab. 3.1 sono riportati per ogni sottobacino considerato i valori di alcune grandezze morfometriche caratteristiche (lunghezza, area, quota media e quota della sezione di chiusura) e di alcuni parametri idrologici, come il tempo di corrivazione, da quelli derivati.

Si segnalano, infine, in Fig. 3.2, le posizioni delle stazioni pluviografiche ed idrometriche dell'ARPAV utilizzate per il modello idrologico e, successivamente, anche per il modello idrodinamico.

In particolare, le 12 stazioni pluviografiche, riportate anche nella schematizzazione di Fig. 3.3, sono quelle di 1-ValliDelPasubio, 2-PassoXomo, 3-RifugioLaGuardia, 4-Brustolè, 5-MonteSummano, 6-Malo, 7-MontecchioPrecalcino, 8-Valdagno, 9-Trissino, 10-VicenzaCittà, 11-RetroneSant'Agostino e 12-Brendola.

Relativamente alle stazioni idrometriche, quelle ubicate nelle sezioni più a monte, del Leogra a Torrebelticino e del Timonchio a Ponte Scartezzini, poco a monte della posizione dell'opera di presa della cassa di Caldogno (Fig. 3.2), sono attualmente gestite dal Centro Idrico di Novoledo, mentre quelle delle sezioni di valle, del Timonchio a Ponte Marchese e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, sono invece gestite da ARPAV.

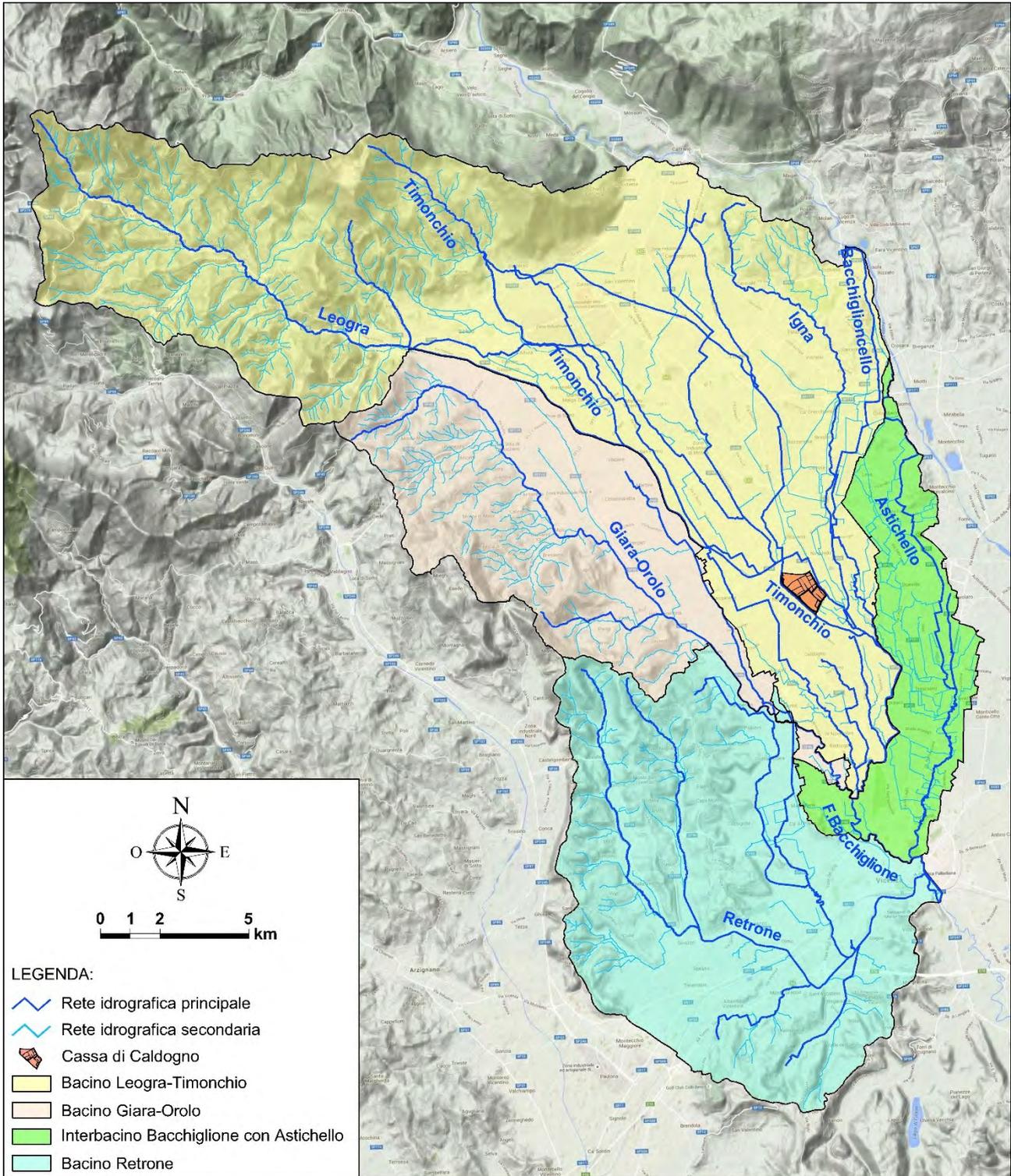


Fig. 3.1 – Bacino idrografico del Bacchiglione chiuso alla sezione di confluenza con il Retrone a Vicenza.

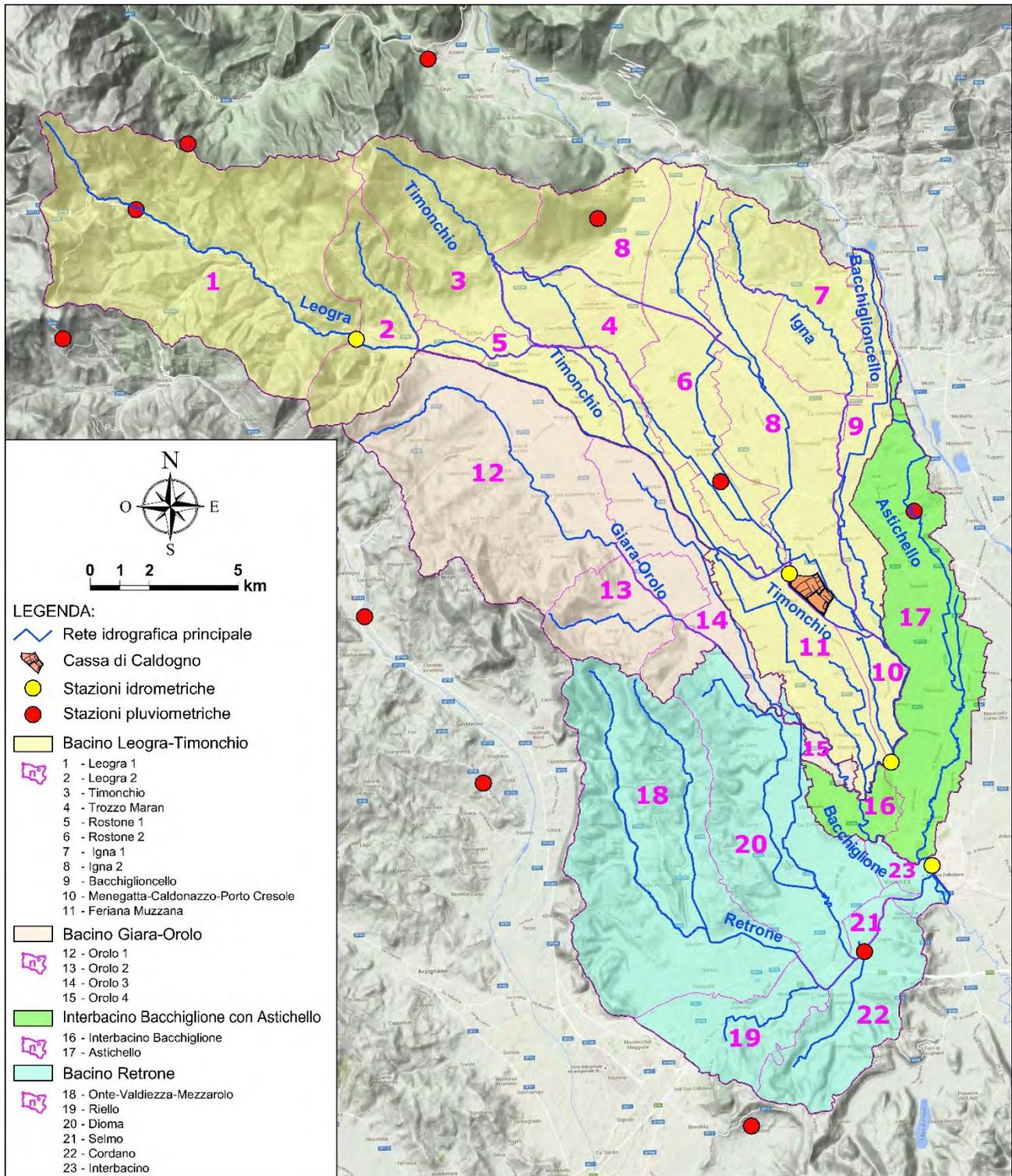


Fig. 3.2 – Bacino idrografico del Bacchiglione chiuso alla sezione di confluenza con il Retrone a Vicenza, con la suddivisione in 23 sottobacini e la posizione delle stazioni pluviometriche e idrometriche.

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle logiche di gestione del bacino di Caldogno e implementazione delle procedure per l'attivazione delle opere di regolazione dei manufatti

BACINO	N.	SOTTOBACINO	CORSI D'ACQUA	SEZIONE	L (km)	A (km ²)	H _{med} (m s.m.)	H _{fin} (m s.m.)	Tc _{Giandotti} (ore)	ts (ore)	tp = 2-3 ts (ore)	ns	np
LEOGRA TIMONCHIO	1	LEOGRA 1	Leogra	Torrebelvicino	15.07	67.82	806.5	240.5	2.9	4	12	3.0	1.5
	2	LEOGRA 2	Interb. e Gogna	-	5.40	16.95	519.4	213.2	1.8	2	6	3.0	1.5
	3	TIMONCHIO	Timonchio	-	15.15	33.20	547.1	123.9	2.8	3	9	3.0	1.5
	4	TROZZO MARAN	Trozzo Maran	-	15.37	18.35	153.0	71.3	5.6	6	18	2.8	1.4
	5	ROSTONE 1	R. Schio-Marano	-	4.98	3.08	200.7	169.6	3.2	3	9	2.8	1.4
	6	ROSTONE 2	Rostone Ovest	-	15.06	26.63	150.1	68.3	6.0	6	18	2.8	1.4
	TOTALE TIM 1	-	-	Cassa Caldogno	33.80	166.04	536.5	68.3	-	-	-	-	-
TIMONCHIO	7	IGNA 1	Igna	Novoledo	13.48	20.03	187.5	80.8	4.6	5	10	3.0	1.5
	8	IGNA 2	Verlata, Rozzola, Thiene	-	22.71	47.95	208.1	48.2	6.1	6	12	3.0	1.5
	9	BACCHIGLIONCELLO	Bacchiglioncello	-	17.14	12.62	93.0	45.0	7.2	7	14	3.0	1.5
	10	MENEGATTA CALDONAZZO PORTO DI CRESOLE	Menegatta, Caldonazzo, Porto di Cresole	-	4.40	4.63	45.0	39.0	7.7	8	16	3.0	1.5
	TOTALE TIM 2	-	-	Ponte Marchese	43.24	251.26	414.7	39.0	-	-	-	-	-
TIMONCHIO	11	FERIANA MUZZANA	Feriana, Muzzana	-	11.98	18.65	54.6	30.1	8.9	9	18	3.0	1.5
	TOTALE TIM 3	-	-	Confl. Orolo	45.56	269.91	389.8	30.1	-	-	-	-	-
OROLO	12	OROLO 1	Livergon Giara Orolo	Isola Vicentina	16.61	49.82	295.8	80.0	4.5	4	8	3.0	1.5
	13	OROLO 2	Valdessaera, Fossona	-	5.14	14.74	163.5	68.1	3.0	3	6	2.8	1.4
	14	OROLO 3	Leogretta, Solarone	-	10.81	17.44	110.8	50.8	5.3	5	10	2.8	1.4
	15	OROLO 4	Interbacino e Archiello	-	5.84	1.70	42.2	31.4	5.3	5	10	2.8	1.4
	TOTALE OR	-	-	Confl. Timonchio	28.27	83.69	228.8	31.4	-	-	-	-	-
BACCHIGLIONE	16	INTERBACINO BACCHIGLIONE	Interbacino e Seriola	-	4.52	5.62	39.7	30.3	6.6	7	14	2.8	1.4
	17	ASTICHELLO	Astichello	-	23.23	35.21	55.5	30.3	14.6	15	30	2.8	1.4
	TOTALE BACCH 1	-	-	Ponte degli Angeli	50.68	394.43	320.8	30.1	-	-	-	-	-
RETRONE	18	ONTE VALDIEZZA MEZZAROLO	Onte, Valdiezza, Mezzarolo	-	15.72	56.61	124.1	34.0	7.1	7	14	2.8	1.4
	19	RIELLO	Riello	-	5.29	13.41	92.1	32.0	3.6	4	8	2.8	1.4
	20	DIOMA	Dioma	-	15.45	36.18	71.7	31.1	9.3	9	18	2.8	1.4
	21	SELMO	Selmo	-	0.54	2.11	34.3	30.0	4.0	4	8	2.8	1.4
	22	CORDANO	Cordano	S. Agostino	5.40	17.54	93.3	29.2	3.9	4	8	2.8	1.4
	23	INTERBACINO	Interbacino e Seriola	-	5.23	3.72	41.5	25.7	4.9	5	10	2.8	1.4
	TOTALE RETR	-	-	Confl. Bacchiglione	24.46	129.57	98.2	25.7	-	-	-	-	-
TOTALE BACCH 2	-	-	Confl. Retrone	52.19	524.00	265.8	25.7	-	-	-	-	-	

Tab. 3.1 – Caratteristiche morfometriche e parametri idrologici dei sottobacini considerati nella ripartizione dei bacini idrografici del Leogra-Timonchio, del Giara-Orolo, dell'Interbacino Bacchiglione e Astichello e del Retrone.

3.2 Identificazione degli eventi di piena di riferimento

Per mettere a punto il modello idrologico di piena si sono utilizzati i dati di precipitazione registrati dalle stazioni pluviografiche gestite da ARPAV e i dati di livello delle stazioni idrometriche del Centro Idrico di Novoledo e di ARPAV stessa. In particolare, per le stazioni idrometriche del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezini e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli si sono utilizzati gli idrogrammi di portata ricostruiti sulla base delle relative scale di deflusso descritte al paragrafo 2.1.2.

Gli eventi di piena considerati per il calcolo con il modello idrologico sono stati scelti tra i 21 eventi di piena verificatisi negli ultimi 20 anni caratterizzati, secondo quanto illustrato al paragrafo 2.1.1, dal superamento della quota di 4.60 m sullo zero di riferimento locale alla sezione del Bacchiglione

di Ponte degli Angeli. Si tratta della quota corrispondente alla soglia di Allarme 2 considerata nella procedura di allerta del C.F.D. della Regione Veneto per la sezione in esame del Bacchiglione.

In particolare, tra questi 21 eventi di piena si sono scelti quelli che hanno fatto registrare all'idrometro di Ponte degli Angeli un livello uguale o superiore a 5.00 m sul riferimento locale. Tale livello rappresenta una soglia significativa per la piena del Bacchiglione a Vicenza, essendo relativamente elevata, compresa tra i livelli di Allarme 2 (4.60 m) e Allarme 3 (5.40 m) considerati nella procedura di allerta del C.F.D., ma al tempo stesso anche relativamente contenuta, poiché una piena che la dovesse appena raggiungere non determinerebbe, attualmente, alcuna criticità nel passaggio attraverso il tratto cittadino del fiume.

Gli eventi di piena che hanno fatto registrare il superamento di tale soglia nel corso degli ultimi 20 anni sono 14. Come si osserva in Tab. 3.2, in cui gli eventi di piena sono elencati secondo l'ordine decrescente dei relativi valori massimi di livello a Ponte degli Angeli, i primi 6 eventi sono caratterizzati da una quota massima superiore a 5.25 m, mentre i successivi 8 eventi sono caratterizzati da un livello massimo compreso tra 5.0 m e 5.25 m. A tali 14 eventi si è fatto riferimento per la taratura del modello idrologico.

In Tab. 3.2, per i 14 eventi di piena selezionati, oltre alla data e all'ora del colmo registrato alla sezione del Bacchiglione di Ponte degli Angeli, sono riportati, con riferimento alla stessa sezione, i valori del volume di piena e del volume di pioggia caduto al suolo nel bacino del fiume chiuso alla stessa sezione ed il relativo valore del coefficiente di deflusso.

Si tratta di valori dei coefficienti di deflusso relativamente variabili, essendo compresi tra valori massimi di circa 0.5 (eventi di ottobre-novembre 2010, di maggio 2013 e di dicembre 2010) e valori minimi di circa 0.2 o inferiori (eventi di settembre 1999 e ottobre 2005).

Con riferimento ai valori dei volumi di piena riportati in Tab. 3.2, si osserva infine che essi differiscono, in qualche caso di poco ma in qualche altro caso anche di molto, da quelli riportati al paragrafo 2.1.1, poiché ora si è considerata la piena, non solo nell'intorno del colmo, ma anche fino al suo esaurimento.

N. evento	Data colmo		H colmo P.A. (m)	Vol piena P.A. (m ³ ×10 ⁶)	Vol piovuto P.A. (m ³ ×10 ⁶)	Coeff. Deflusso
	giorno	ora				
1	01/11/2010	19:00	6.18	58.22	111.95	0.52
2	11/11/2012	15:30	5.91	21.03	60.23	0.35
3	16/05/2013	23:00	5.71	33.49	70.65	0.47
4	07/11/2000	00:30	5.66	21.36	76.75	0.28
5	16/11/2014	02:00	5.28	18.19	62.58	0.29
6	24/12/2010	03:00	5.27	38.30	72.97	0.52
7	04/05/2010	19:00	5.15	21.93	66.83	0.33
8	20/09/1999	23:30	5.13	8.94	61.27	0.15
9	28/11/2003	04:00	5.11	13.74	58.03	0.24
10	20/12/1997	14:00	5.05	19.39	52.64	0.37
11	16/11/2010	15:30	5.03	23.00	56.18	0.41
12	31/01/2014	08:00	5.03	26.94	88.94	0.30
13	04/10/2005	00:00	5.02	20.53	91.25	0.22
14	11/08/2002	13:00	5.00	15.53	61.80	0.25

Tab. 3.2 – Eventi di piena verificatisi negli ultimi 20 anni con superamento del livello di 5.0 m alla sezione del Bacchiglione di Ponte degli Angeli e valutazione del coefficiente di deflusso nella sezione stessa.

3.3 Calibrazione del modello idrologico

Al fine di individuare i valori più opportuni da attribuire ai parametri del modello idrologico per le parti del bacino in esame, sulla base della schematizzazione illustrata al paragrafo 3.1, si sono utilizzate le registrazioni dei 14 eventi di piena elencati al paragrafo 3.2. Tra questi eventi si segnalano quelli dell'ottobre-novembre 2010 e del novembre 2012 che, nel periodo di funzionamento delle stazioni di misura dell'ARPAV, sono stati caratterizzati dai più elevati livelli idrometrici mai registrati.

Considerati i dati idrologici disponibili, e in particolare gli andamenti delle portate ricostruiti sulla base dei livelli idrometrici registrati e della relativa scala di deflusso, nelle sezioni:

- del Leogra a Torrebelvicino, per 12 dei 14 eventi di riferimento;
- del Timonchio a Ponte Scartezini, a monte dell'opera di presa, per 3 dei 14 eventi di riferimento;
- del Timonchio a Ponte Marchese, per i soli livelli idrometrici, per 12 dei 14 eventi di riferimento;
- del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, per tutti i 14 eventi di riferimento;

si è proceduto alla taratura del modello idrologico di piena del Bacchiglione per zone parziali e per il bacino complessivo.

Infatti, gli andamenti dei livelli/portate registrati/ricostruite:

- nel Leogra a Torrebelvicino, sono stati utilizzati per la messa a punto del modello per la parte montana del bacino del Leogra (sottobacino 1 in Fig. 3.2, in Fig. 3.3 e in Tab. 3.1);

- nel Timonchio a Ponte Scartezzini, per la messa a punto del modello per la parte pedemontana del bacino del Timonchio (sottobacini 2÷6 in Fig. 3.2, in Fig. 3.3 e in Tab. 3.1);
- nel Timonchio a Ponte Marchese, per la messa a punto del modello per il territorio dell'Igna, del Bacchiglioncello e delle rogge di Cresole (sottobacini 7÷10 in Fig. 3.2, in Fig. 3.3 e in Tab. 3.1);
- nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli, per la taratura del modello per le restanti zone del bacino complessivo chiuso alla stessa sezione (sottobacini 11÷17 in Fig. 3.2, in Fig. 3.3 e in Tab. 3.1).

Nella Tab. 3.1 e nella Tab. 3.3 sono indicati, per ciascun sottobacino in cui è stato suddiviso il bacino complessivo, i valori di alcune grandezze morfometriche caratteristiche e quelli dei parametri che descrivono nel modello idrologico, illustrato in forma sintetica in Appendice A (capitolo 8), la risposta agli afflussi meteorici dei diversi sottobacini considerati. In particolare, nella Tab. 3.3 sono elencati i valori dei coefficienti di deflusso adottati per tutti i sottobacini per simulare con il modello idrologico gli eventi di piena reali a partire dalle piogge misurate nelle stazioni pluviometriche di riferimento, anch'esse riportate nella stessa tabella. In buona sostanza, i valori dei parametri sono stati determinati dopo alcuni tentativi eseguiti per riprodurre al meglio, partendo dalle precipitazioni, gli idrogrammi di piena registrati in corrispondenza delle sezioni di misura durante gli eventi sopra citati.

Per quanto riguarda la stima del tempo al colmo dell'idrogramma unitario superficiale (t_s) e, quindi, anche di quello profondo (t_p) si è fatto riferimento al tempo di corrivazione T calcolato mediante la relazione di Giandotti:

$$T = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}}$$

essendo:

- T il tempo di corrivazione del bacino elementare, espresso in ore;
- A l'area del bacino elementare, espressa in km^2 ;
- L la lunghezza dell'asta del corso d'acqua, espressa in km;
- \bar{H} la differenza tra l'altitudine media del bacino e la quota della sezione di chiusura del bacino stesso, espressa in metri.

Al parametro t_s si è quindi attribuito un valore circa pari al tempo di corrivazione così calcolato, mentre per il deflusso profondo si è assunto un valore del tempo al colmo dell'idrogramma unitario (t_p) pari a 2-3 volte quello relativo al deflusso superficiale.

Per quanto riguarda i valori dei parametri n_s ed n_p , dai quali dipende la forma dell'idrogramma, si sono considerati per n_s valori pari a 2.8-3.0 e per n_p valori pari alla metà di questi, che sono confrontabili con quelli reperibili in letteratura per bacini idrologicamente simili a quelli qui presi in esame.

Il coefficiente di deflusso, per tutti i sottobacini considerati, è stato scelto, ricorrendo al metodo del coefficiente globale per la separazione delle piogge, introducendo un parametro di infiltrazione costante con l'intensità della precipitazione per tenere conto dell'effetto di saturazione progressiva dei terreni che generalmente si verifica nella prima fase della piena, durante la quale le registrazioni idrometriche disponibili non segnalano picchi di particolare intensità.

Come sopra accennato, nella Tab. 3.3 sono evidenziate, per ciascun sottobacino, le stazioni pluviografiche di riferimento assunte nei calcoli ed i valori dei coefficienti di deflusso adottati per

simulare ciascuno dei 14 eventi di piena considerati. In qualche caso si sono differenziate le stazioni pluviografiche di riferimento, sia per tenere conto della eventuale non disponibilità dei dati per qualcuna di esse, sia per tenere conto di una maggiore rappresentatività dei dati di una stazione rispetto a quelli di un'altra, comunque vicine tra loro, e quindi della variabilità spaziale delle precipitazioni. I valori dei coefficienti di deflusso sono stati inoltre definiti, variandoli opportunamente caso per caso, ma mantenendo peraltro invariati gli altri parametri che nel modello determinano la trasformazione delle precipitazioni in portata, in modo da non generare con il calcolo, per gli eventi esaminati, scostamenti rilevanti rispetto agli idrogrammi di piena registrati nelle sezioni di misura, con riferimento sia ai valori della portata al colmo sia ai volumi complessivi, tenendo presente anche la natura geologica dei terreni dei sottobacini in esame. In particolare, sulla base dei dati osservati, per i sottobacini montani del Leogra-Timonchio e dell'Orolo gli eventi considerati risultano caratterizzati da valori dei coefficienti di deflusso complessivo in qualche caso molto elevati, che arrivano ad oltre 0.9 per il Leogra ed a 0.7 per l'Orolo. Variazioni più contenute dei coefficienti di deflusso, compresi tra 0.2 e 0.5, caratterizzano invece i sottobacini del Retrone, che peraltro confluisce con il Bacchiglione a valle della sezione di Ponte degli Angeli. Essi sono stati determinati sulla base di alcune misure di portata, come quella eseguita sul colmo della piena per l'evento di novembre 2012 (portata misurata da Ipros Ingegneria Ambientale di 53 m³/s nel Retrone, in corrispondenza del ponte del Quarelo in località S. Agostino a Vicenza, alle ore 15:30 del giorno 11-11-2012). La variabilità dei coefficienti di deflusso per ciascun evento di piena è da ricercarsi, in generale, nelle diverse condizioni idrologiche iniziali del bacino che dipendono dalle precipitazioni verificatesi nei giorni precedenti l'evento considerato e modificano a volte in modo apprezzabile i volumi di pioggia che, a parità di altre condizioni, sono trasformati in portata.

Utilizzando lo schema di calcolo messo a punto e la suddivisione in sottobacini del bacino del Bacchiglione precedentemente descritta, si sono quindi generati con il modello gli idrogrammi di piena, relativi ai 14 eventi considerati, in corrispondenza delle stazioni di misura di Torrebelvicino, Ponte Scartezini, Ponte Marchese e Ponte degli Angeli.

Nelle Fig. 3.5÷Fig. 3.18 sono riportati a confronto gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico partendo dalle precipitazioni e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni idrometriche e della scala delle portate nelle sezioni:

- del Leogra a Torrebelvicino;
- del Timonchio a Ponte Scartezini;
- del Timonchio a Ponte Marchese. Per tale sezione, non essendo disponibile una scala dei deflussi, si è riportato per ciascun evento il confronto tra l'andamento calcolato della portata e quello misurato dei livelli idrometrici per illustrare la corrispondenza temporale tra le fasi di ciascuna piena;
- del Bacchiglione a Ponte degli Angeli;

nonché gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

In generale, si rileva una soddisfacente corrispondenza tra gli idrogrammi ricostruiti e calcolati, sia per la forma, sia per i volumi complessivi, sia, infine e soprattutto, per i valori al colmo della portata, osservandosi differenze, tra i valori massimi ricostruiti e calcolati, ridotte e comunque comprese nell'ambito degli scostamenti che usualmente si accettano per simulazioni modellistiche come quelle qui eseguite.

A tale riguardo si segnala la sovrastima delle portate calcolate rispetto a quelle ricostruite in corrispondenza ai valori massimi, sostanzialmente, per la sola sezione di Ponte degli Angeli. Si tratta,

peraltro, di una sovrastima dovuta al fatto che il modello idrologico non tiene conto degli effetti di laminazione dovuti alla propagazione in alveo dell'onda di piena nel tratto tra Ponte Marchese e Ponte degli Angeli e di eventuali fuoriuscite d'acqua dal sistema, come verificatosi nel corso degli eventi di ottobre–novembre 2010 e di novembre 2012. Gli effetti della propagazione delle onde di piena saranno invece esaminati mediante l'applicazione del modello idrodinamico uni-bidimensionale sugli stessi eventi di piena.

Il confronto tra i valori massimi della portata calcolati e ricostruiti è infine riportato in sintesi anche in Tab. 3.4, in forma numerica, e in Fig. 3.4, in forma grafica.

Per le sezioni del Leogra a Torrebelvicino e del Timonchio a Ponte Scartezzini (parti alta e centrale di Fig. 3.4), si osserva una buona corrispondenza tra valori calcolati e ricostruiti, essendo modesta la dispersione dei dati rispetto alla retta di riferimento rappresentata in ciascun grafico per il rapporto di 1/1.

Come già osservato, per la sezione del Bacchiglione a Ponte degli Angeli gli scostamenti tra valori calcolati e ricostruiti sono elevati per gli eventi più importanti, quelli che hanno fatto registrare le massime portate mai osservate (poco meno di 300 m³/s nella parte centrale di Fig. 3.4). Tali scostamenti si riducono e quasi si annullano invece per gli eventi di piena meno importanti, con portate massime che si aggirano su valori di 200 m³/s.

Se si considera infine il rapporto tra i valori massimi di portata calcolati per il Timonchio e l'Orolo alla confluenza, si osserva che quello del Timonchio è sempre superiore a quello dell'Orolo, in media di circa 2 volte. Fa eccezione l'evento dell'agosto 2002, durante il quale si è verificata una rottura dell'argine destro dell'Orolo con conseguente allagamento di una buona parte del territorio di Costabissara. Tale evento è stato caratterizzato, secondo il calcolo, da una portata nell'Orolo superiore, sia pure di poco, a quella nel Timonchio.

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle logiche di gestione del bacino di Caldogeno e implementazione delle procedure per l'attivazione delle opere di regolazione dei manufatti

BACINO	N.	SOTTOBACINO	ott-nov 2010			nov 2012			mag 2013			nov 2000			nov 2014			dic 2010			mag 2010		
			Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot
LEOGRA TIMONCHIO	1	LEOGRA 1	V.Pasubio	25	95	V.Pasubio	20	80	V.Pasubio	30	80	V.Pasubio	15	60	P.Xomo	20	90	P.Xomo	20	95	P.Xomo	15	50
	2	LEOGRA 2	V.Pasubio	25	95	V.Pasubio	12	20	V.Pasubio	20	80	V.Pasubio	8	30	P.Xomo	5	30	P.Xomo	10	30	P.Xomo	5	15
	3	TIMONCHIO	Summano	15	25	Summano	12	20	Summano	15	25	Summano	8	30	Summano	5	30	Summano	10	30	Brustolè	5	15
	4	TROZZO MARAN	Summano	15	25	Summano	12	20	Summano	15	25	Summano	8	30	Summano	5	30	Mont.Prec.	10	30	Brustolè	5	15
	5	ROSTONE 1	Summano	15	25	Summano	12	20	Summano	15	25	Summano	8	30	Summano	5	30	Mont.Prec.	10	30	Brustolè	5	15
	6	ROSTONE 2	Malo	15	25	Malo	12	20	Malo	15	25	Malo	8	30	Malo	5	30	Mont.Prec.	10	30	Malo	5	15
TIMONCHIO	7	IGNA 1	Malo	15	25	Malo	10	20	Malo	10	25	Malo	8	30	Malo	5	20	Malo	10	30	Malo	5	15
	8	IGNA 2	Malo	15	25	Malo	10	20	Malo	10	25	Malo	8	30	Malo	5	20	Malo	10	30	Malo	5	15
	9	BACCHIGLIONCELLO	Mont.Prec.	15	25	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	10	25	Mont.Prec.	8	30	Mont.Prec.	5	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	5	15
TIMONCHIO	10	MENEGATTA CALDONAZZO PORTO DI CRESOLE	Mont.Prec.	15	25	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	10	25	Mont.Prec.	8	30	Mont.Prec.	5	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	5	15
TIMONCHIO	11	FERIANA MUZZANA	Mont.Prec.	15	25	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	15	25	Mont.Prec.	8	30	Mont.Prec.	5	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	5	15
OROLO	12	OROLO 1	Valdagno	50	70	Valdagno	20	70	Valdagno	40	70	Valdagno	12	40	Valdagno	15	35	Valdagno	10	60	Malo	30	50
	13	OROLO 2	Malo	50	70	Malo	15	40	Malo	40	70	Malo	12	40	Malo	15	35	Malo	10	60	Mont.Prec.	15	20
	14	OROLO 3	Malo	20	50	Malo	15	40	Malo	20	40	Malo	12	40	Malo	15	35	Malo	10	60	Mont.Prec.	15	20
	15	OROLO 4	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	15	40	VicenzaC.	20	40	Mont.Prec.	12	40	VicenzaC.	15	35	VicenzaC.	10	60	Mont.Prec.	15	20
BACCHIGLIONE	16	INTERBACINO BACCHIGLIONE	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	15	40	VicenzaC.	20	40	Mont.Prec.	8	30	VicenzaC.	15	35	VicenzaC.	15	40	Mont.Prec.	5	15
	17	ASTICHELLO	Mont.Prec.	20	50	Mont.Prec.	15	40	Mont.Prec.	20	40	Mont.Prec.	8	30	Mont.Prec.	15	35	Mont.Prec.	15	40	Mont.Prec.	5	15
RETRONE	18	ONTE VALDIEZZA MEZZAROLO	Trissino	20	50	Trissino	20	50	Trissino	20	50	Trissino	20	50	Trissino	20	50	Trissino	20	50	Trissino	20	40
	19	RIELLO	Brendola	20	50	Brendola	20	50	Brendola	20	50	Brendola	20	50	Brendola	20	50	Brendola	20	50	Brendola	20	40
	20	DIOMA	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	40
	21	SELMO	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	40
	22	CORDANO	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	40
	23	INTERBACINO	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	50	VicenzaC.	20	50	VicenzaC.	20	50	Brendola	20	40

BACINO	N.	SOTTOBACINO	set 1999			nov 2003			dic 1997			nov 2010			gen 2014			ott 2005			ago 2002		
			Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot	Stazione	Øs	Øtot												
LEOGRA TIMONCHIO	1	LEOGRA 1	P.Xomo	23	25	P.Xomo	25	50	V.Pasubio	20	50	V.Pasubio	15	85	P.Xomo	10	80	P.Xomo	12	40	P.Xomo	15	50
	2	LEOGRA 2	P.Xomo	23	25	P.Xomo	10	20	V.Pasubio	10	35	V.Pasubio	5	20	P.Xomo	5	10	P.Xomo	10	20	P.Xomo	5	15
	3	TIMONCHIO	Summano	15	20	Summano	10	20	Summano	10	35	Brustolè	5	20	Brus-Sum	5	10	Brustolè	10	20	Brustolè	5	15
	4	TROZZO MARAN	Summano	15	20	Summano	10	20	Summano	10	35	Brustolè	5	20	Brus-Sum	5	10	Brustolè	10	20	Brustolè	5	15
	5	ROSTONE 1	Summano	15	20	Summano	10	20	Summano	10	35	Brustolè	5	20	Brus-Sum	5	10	Brustolè	10	20	Brustolè	5	15
	6	ROSTONE 2	Malo	15	20	Malo	10	20	Malo	10	35	Malo	5	20	Malo	5	10	Malo	10	20	Malo	5	15
TIMONCHIO	7	IGNA 1	Malo	15	20	Malo	10	20	Malo	10	30	Malo	5	20	Malo	15	20	RetroneSA	15	30	Malo	5	15
	8	IGNA 2	Malo	15	20	Malo	10	20	Malo	10	30	Malo	5	20	Malo	15	20	RetroneSA	15	30	Malo	5	15
	9	BACCHIGLIONCELLO	Mont.Prec.	15	20	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	5	20	Mont.Prec.	15	20	RetroneSA	15	30	Mont.Prec.	5	15
TIMONCHIO	10	MENEGATTA CALDONAZZO PORTO DI CRESOLE	Mont.Prec.	15	20	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	5	20	Mont.Prec.	15	20	RetroneSA	15	30	Mont.Prec.	5	15
TIMONCHIO	11	FERIANA MUZZANA	Mont.Prec.	15	20	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	5	20	Mont.Prec.	15	20	RetroneSA	15	30	Mont.Prec.	5	15
OROLO	12	OROLO 1	Malo	23	25	Valdagno	15	25	Valdagno	15	40	Valdagno	18	50	Valdagno	40	60	RetroneSA	40	50	Malo	30	50
	13	OROLO 2	Malo	23	25	Malo	15	25	Malo	15	40	Malo	18	50	Malo	30	60	RetroneSA	20	40	Mont.Prec.	15	20
	14	OROLO 3	Malo	23	25	Malo	15	25	Malo	15	40	Malo	18	50	Malo	30	60	RetroneSA	20	40	Mont.Prec.	15	20
	15	OROLO 4	Mont.Prec.	23	25	RetroneSA	15	25	Mont.Prec.	15	40	VicenzaC.	18	50	VicenzaC.	30	60	RetroneSA	20	40	Mont.Prec.	15	20
BACCHIGLIONE	16	INTERBACINO BACCHIGLIONE	Mont.Prec.	15	20	RetroneSA	10	20	Mont.Prec.	10	30	VicenzaC.	18	40	VicenzaC.	30	60	RetroneSA	15	30	Mont.Prec.	5	15
	17	ASTICHELLO	Mont.Prec.	15	20	Mont.Prec.	10	20	Mont.Prec.	10	30	Mont.Prec.	18	40	Mont.Prec.	30	60	RetroneSA	15	30	Mont.Prec.	5	15
RETRONE	18	ONTE VALDIEZZA MEZZAROLO	Trissino	15	30	Trissino	15	30	Trissino	20	40	Trissino	20	40	Trissino	20	40	RetroneSA	20	40	Trissino	20	40
	19	RIELLO	Brendola	15	30	Brendola	15	30	Brendola	20	40	Brendola	20	40	Brendola	20	40	Brendola	20	40	Brendola	20	40
	20	DIOMA	Brendola	15	30	RetroneSA	15	30	Brendola	20	40	VicenzaC.	20	40	VicenzaC.	20	40	RetroneSA	20	40	Brendola	20	40
	21	SELMO	Brendola	15	30	RetroneSA	15	30	Brendola	20	40	VicenzaC.	20	40	VicenzaC.	20	40	RetroneSA	20	40	Brendola	20	40
	22	CORDANO	Brendola	15	30	RetroneSA	15	30	Brendola	20	40	VicenzaC.	20	40	VicenzaC.	20	40	RetroneSA	20	40	Brendola	20	40
	23	INTERBACINO	Brendola	15	30	RetroneSA	15	30	Brendola	20	40	VicenzaC.	20	40	VicenzaC.	20	40	RetroneSA	20	40	Brendola	20	40

Tab. 3.3 – Valori dei coefficienti di deflusso (superficiale e totale) adottati per i sottobacini di Leogra-Timonchio, Orolo, Bacchiglione e Retrone per simulare con il modello idrologico i 14 eventi di piena storici di riferimento a partire dalle piogge nelle stazioni pluviometriche indicate.

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle logiche di gestione del bacino di Caldagno e implementazione delle procedure per l'attivazione delle opere di regolazione dei manufatti

N. evento	Data colmo		H colmo P.A. (m)	Leogra a Torrebelvicino		Timonchio a Ponte Scartezzini		Orolo	Timonchio	Timonchio Orolo	Bacchiglione a Ponte degli Angeli	
	giorno	ora		Qmax calc (m ³ /s)	Qmax ric (m ³ /s)	Qmax calc (m ³ /s)	Qmax ric (m ³ /s)	Qmax calc (m ³ /s)	Qmax calc (m ³ /s)	(-)	Qmax calc (m ³ /s)	Qmax ric (m ³ /s)
1	01/11/2010	19:00	6.18	211.0	210.1	291.5	-	109.9	296.8	2.7	412.5	290.4
2	11/11/2012	15:30	5.91	111.7	120.6	172.3	177.8	102.1	200.6	2.0	309.0	265.5
3	16/05/2013	23:00	5.71	102.3	111.8	143.1	-	99.2	167.7	1.7	265.2	247.8
4	07/11/2000	00:30	5.66	105.3	110.4	163.0	-	90.1	194.2	2.2	286.9	243.4
5	16/11/2014	02:00	5.28	112.4	116.3	148.1	145.6	65.2	160.3	2.5	230.1	211.8
6	24/12/2010	03:00	5.27	102.4	110.7	136.9	-	64.4	166.6	2.6	227.7	211.0
7	04/05/2010	19:00	5.15	74.1	76.5	124.1	-	45.7	151.6	3.3	202.9	201.6
8	20/09/1999	23:30	5.13	76.3	-	127.7	-	49.1	148.1	3.0	196.7	200.0
9	28/11/2003	04:00	5.11	110.0	119.1	139.3	-	49.8	155.8	3.1	207.9	198.4
10	20/12/1997	14:00	5.05	79.2	-	119.2	-	60.8	144.7	2.4	207.7	193.8
11	16/11/2010	15:30	5.03	85.5	87.7	127.2	-	55.7	141.1	2.5	200.0	192.3
12	31/01/2014	08:00	5.03	55.3	57.4	78.2	77.3	81.6	109.6	1.3	203.9	192.3
13	04/10/2005	00:00	5.02	54.2	47.7	92.8	-	70.9	121.9	1.7	195.0	191.6
14	11/08/2002	13:00	5.00	53.5	52.5	70.6	-	106.9	97.4	0.9	198.2	190.0

Tab. 3.4 – Confronto tra i valori massimi degli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per gli eventi storici considerati ai fini dell'indagine, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con il rapporto tra i valori massimi di portata calcolati per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

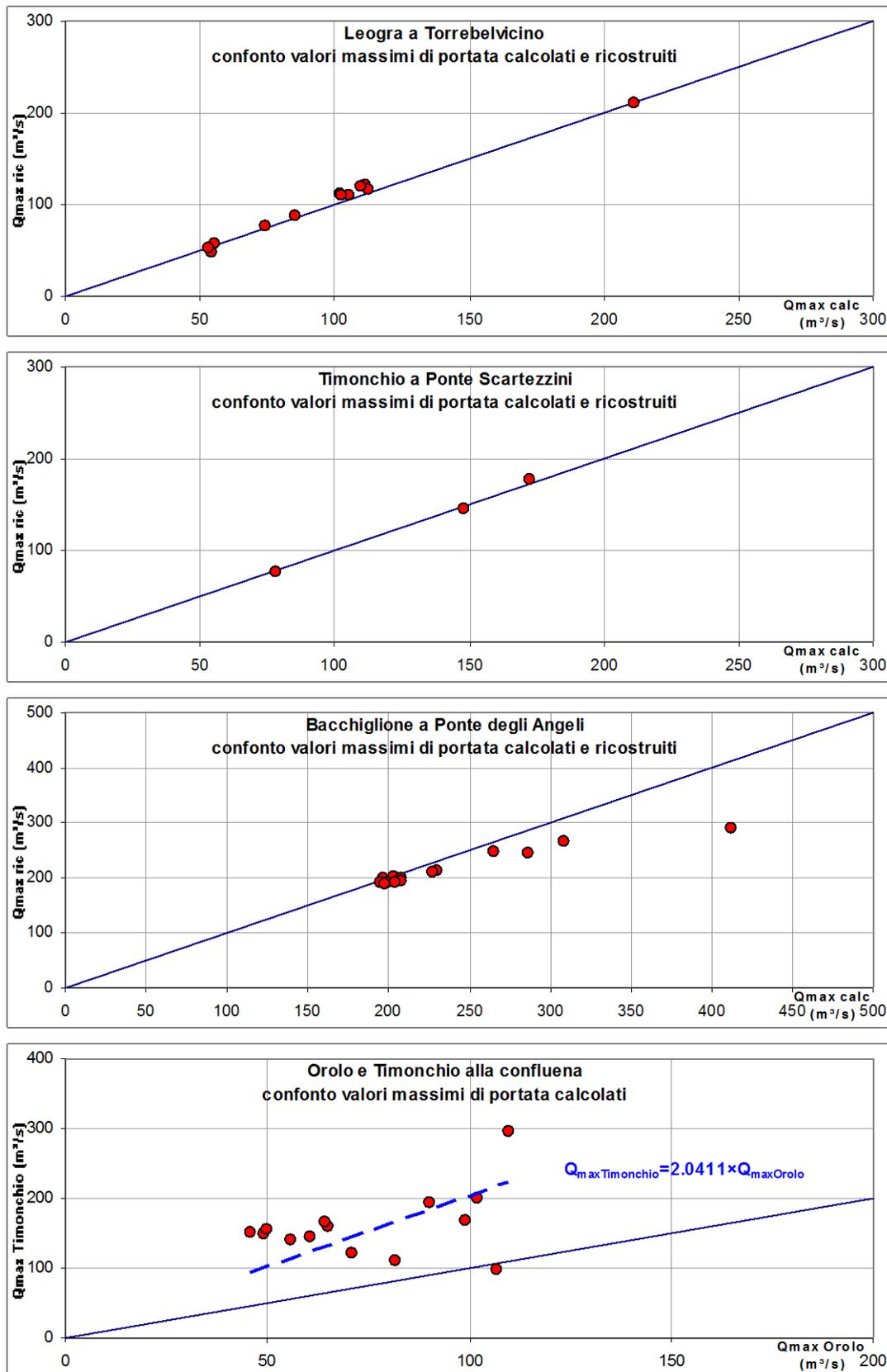


Fig. 3.4 – Confronto tra i valori massimi degli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per gli eventi storici considerati ai fini dell'indagine, nelle sezioni del Leogra a Torrebelticino, del Timonchio a Ponte Scartezzini e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, e tra i valori massimi di portata calcolati per l'Orolo e il Timonchio alla comune confluenza.

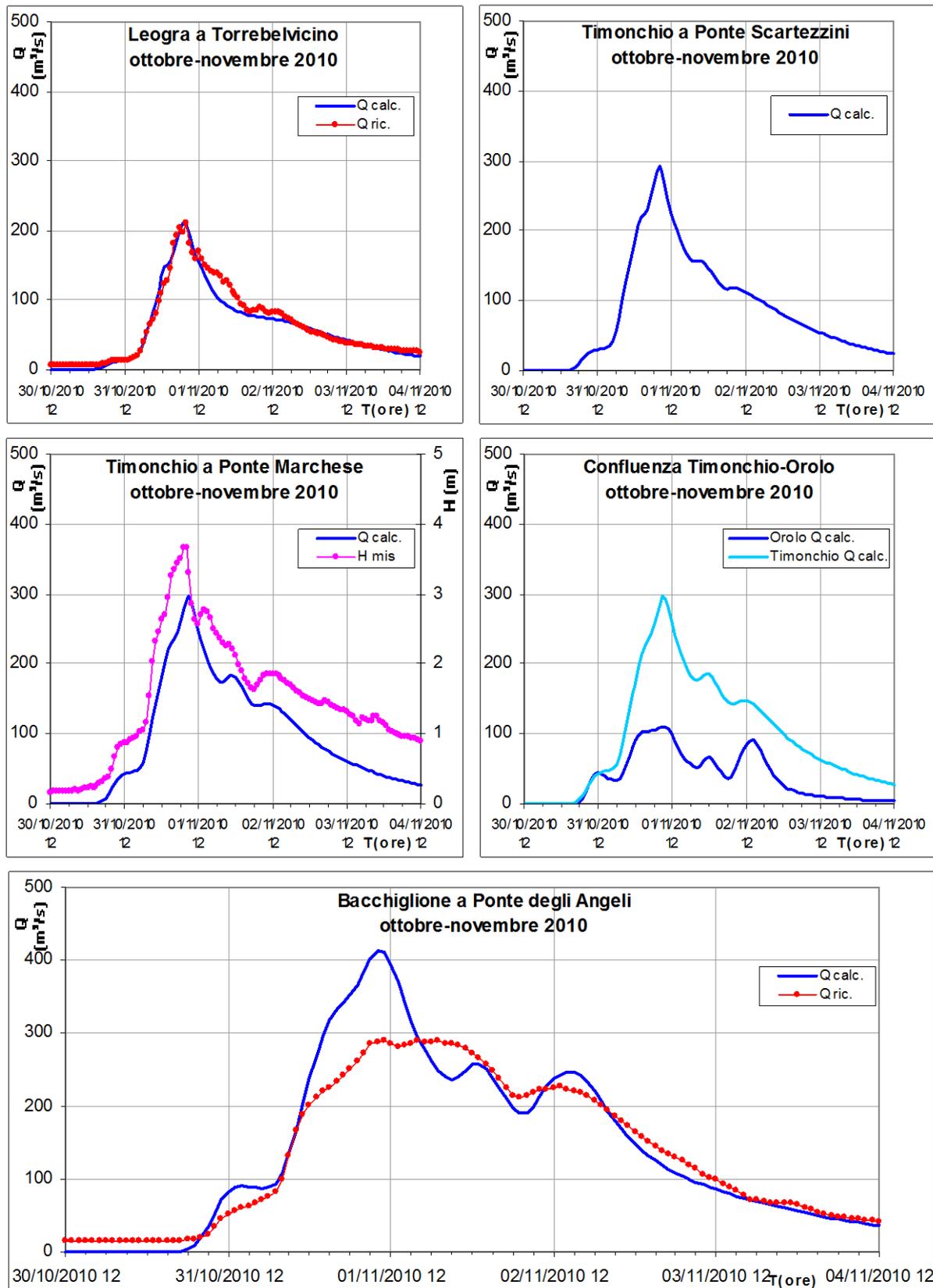


Fig. 3.5 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **ottobre-novembre 2010**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

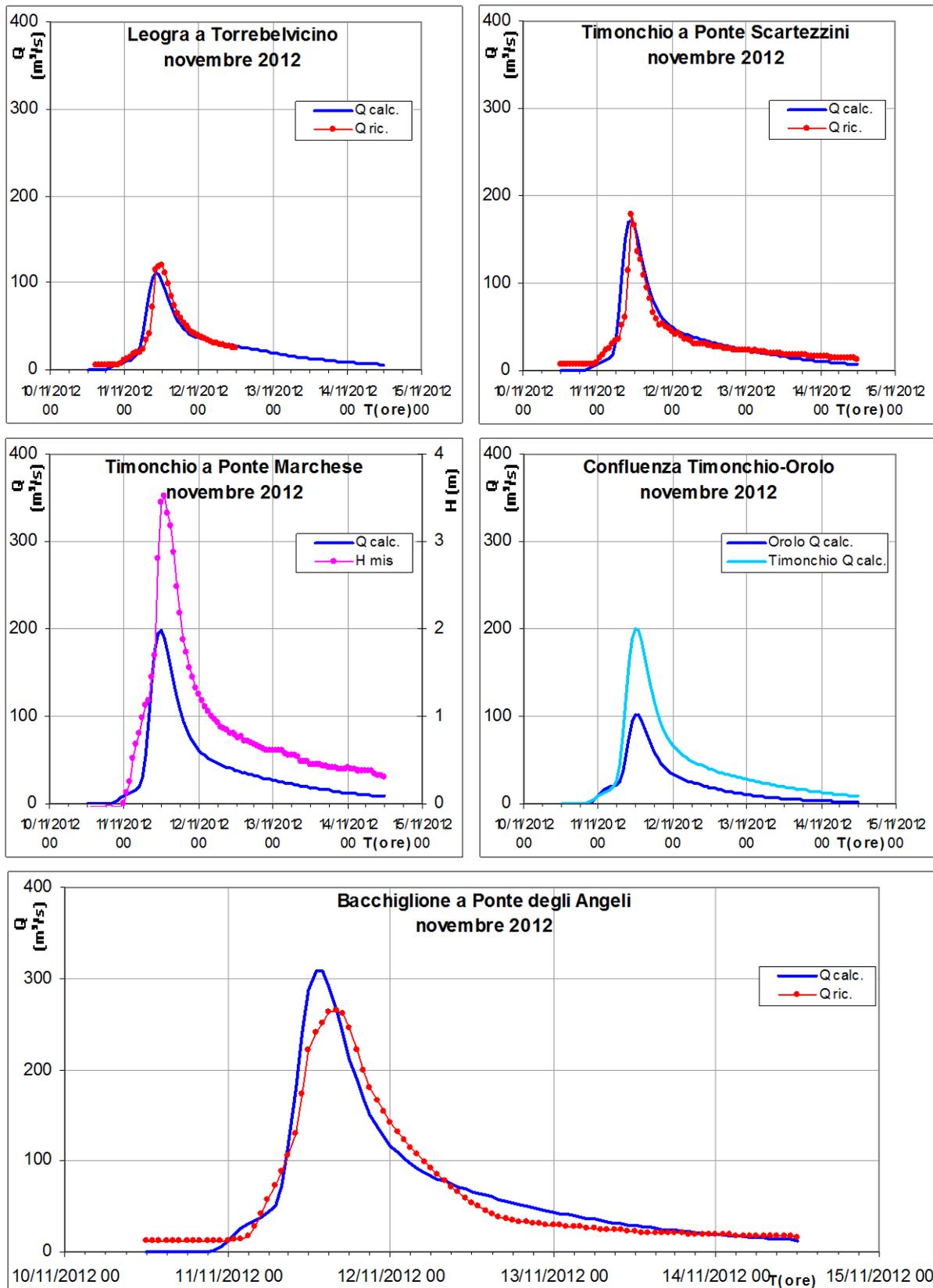


Fig. 3.6 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **novembre 2012**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

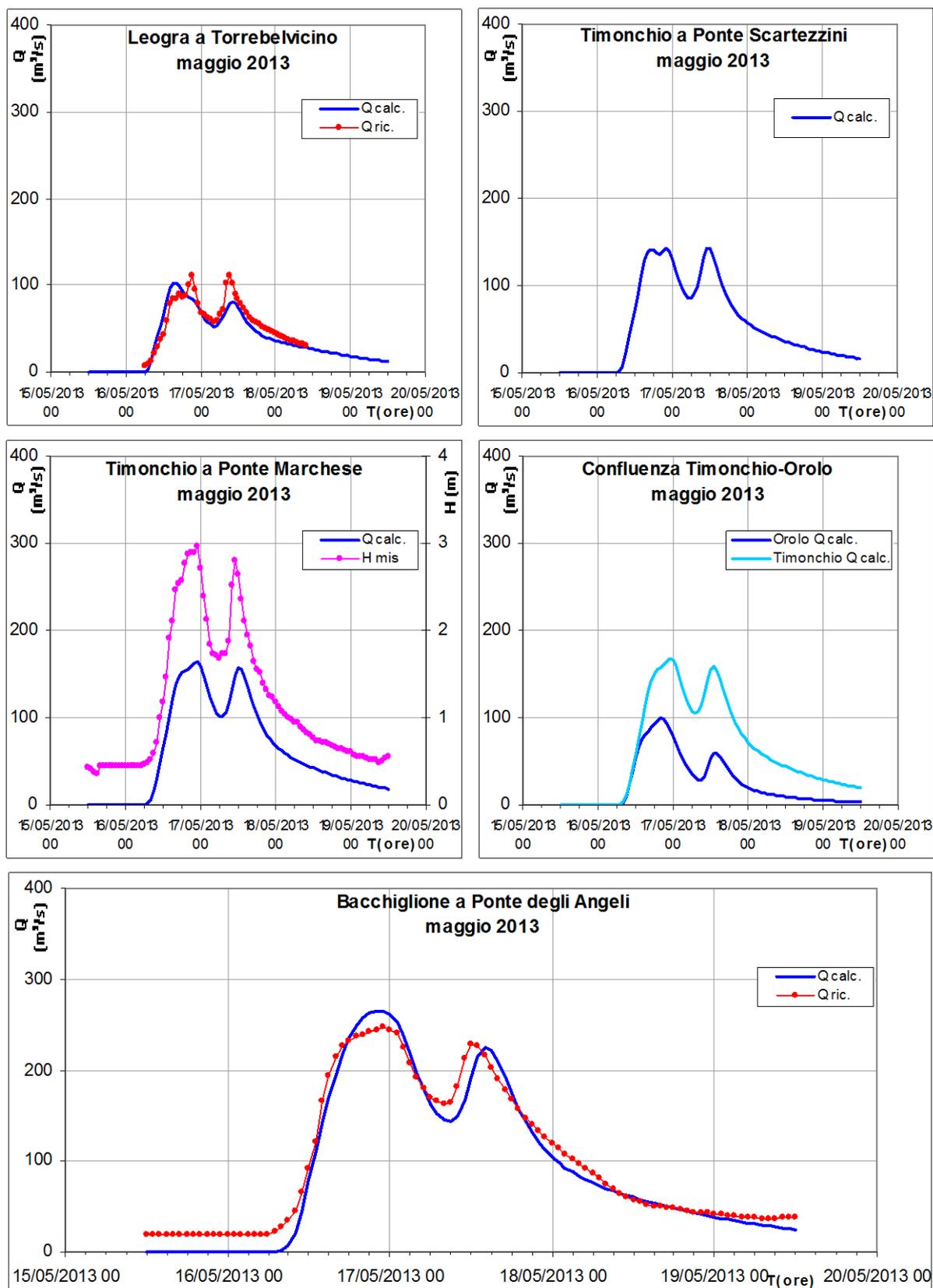


Fig. 3.7 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **maggio 2013**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

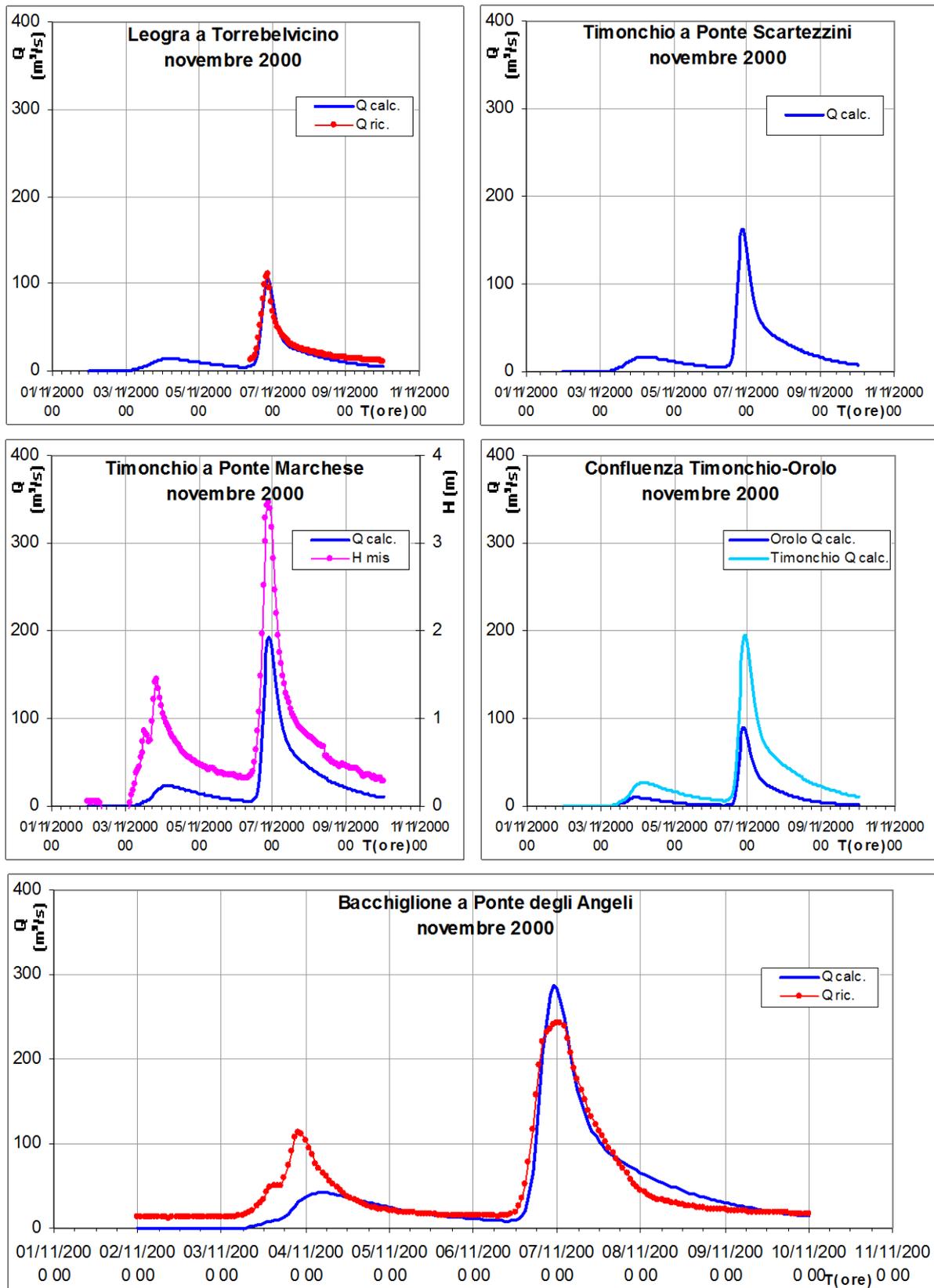


Fig. 3.8 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **novembre 2000**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

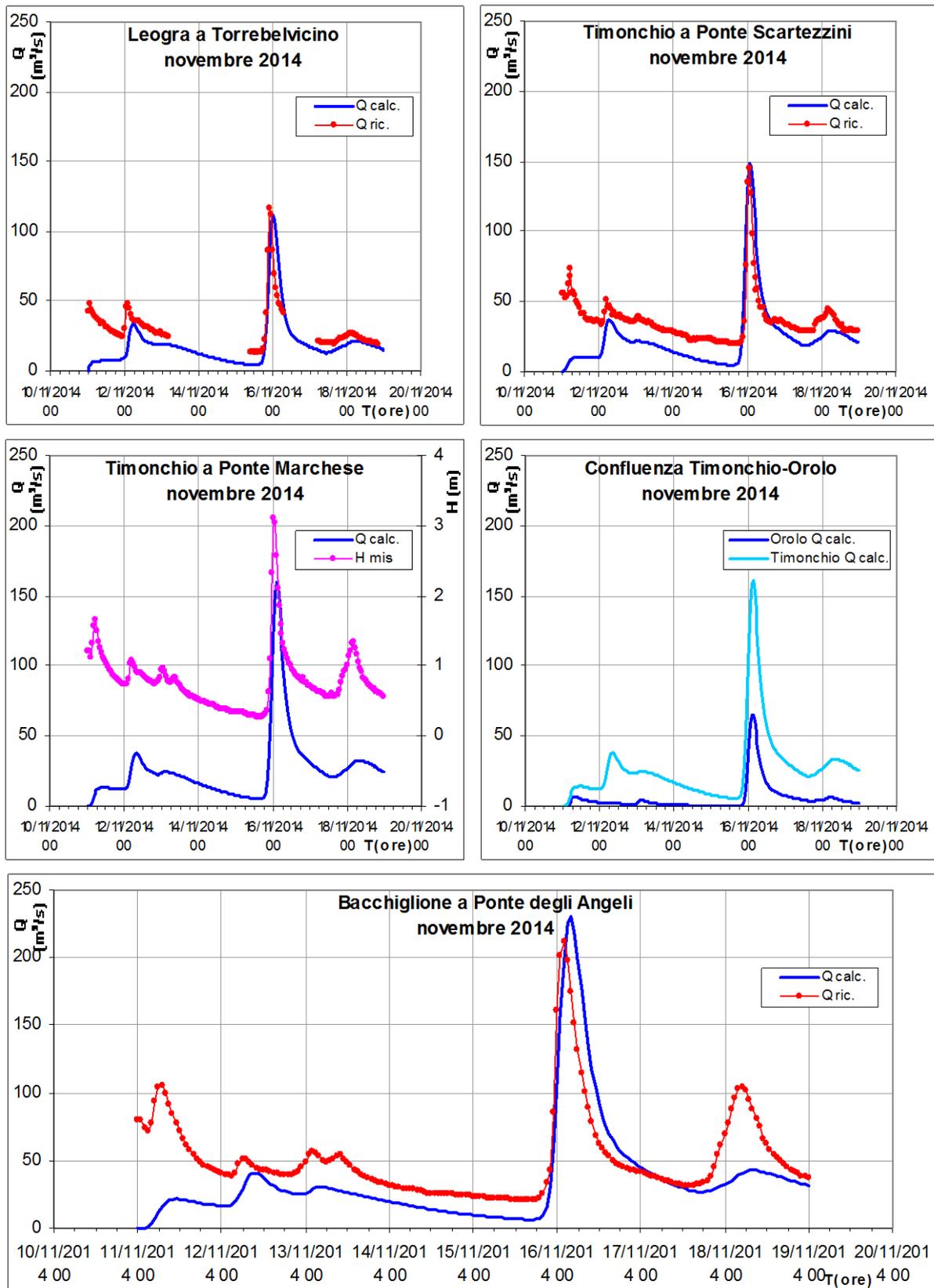


Fig. 3.9 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **novembre 2014**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

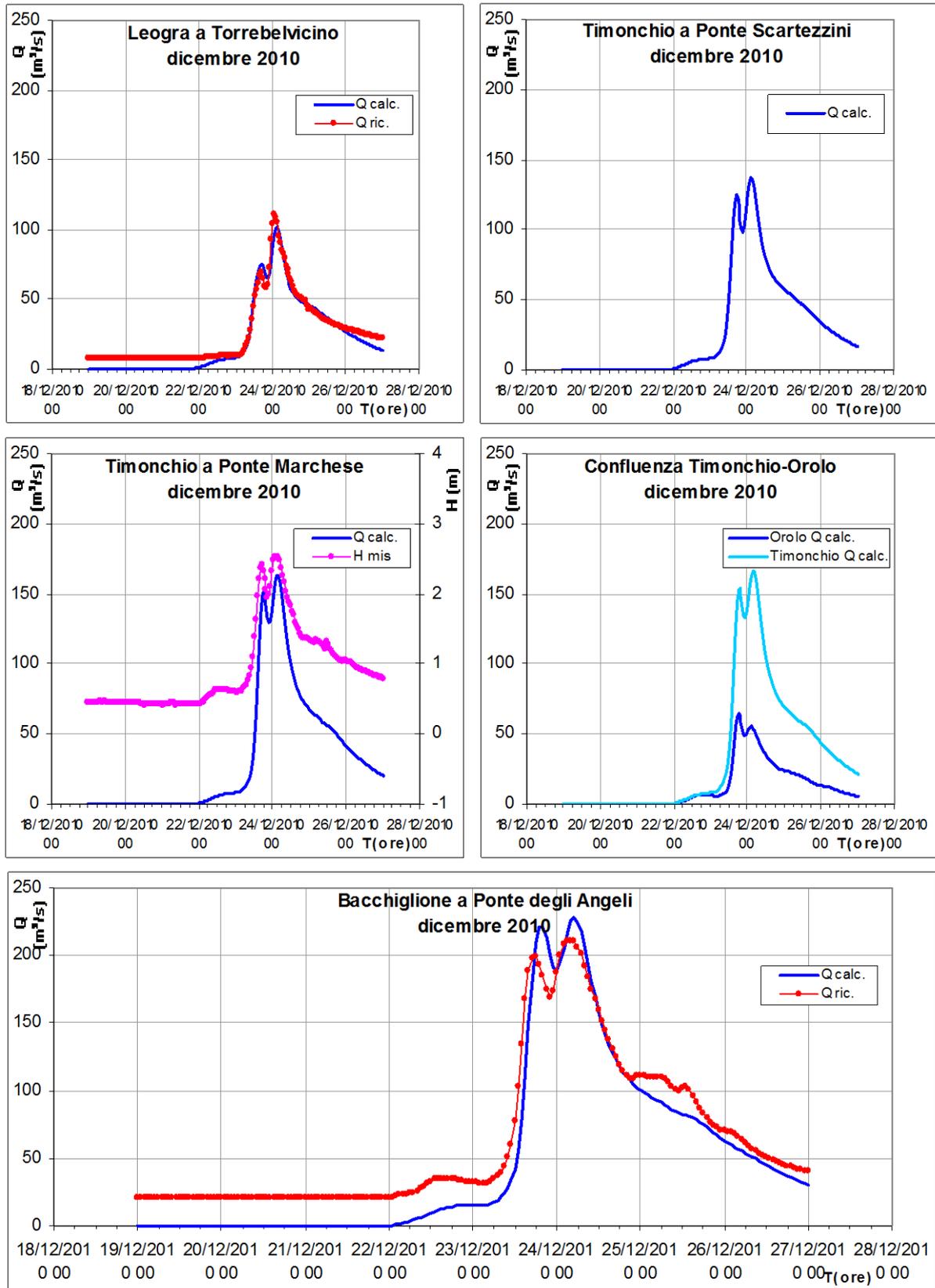


Fig. 3.10 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **dicembre 2010**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

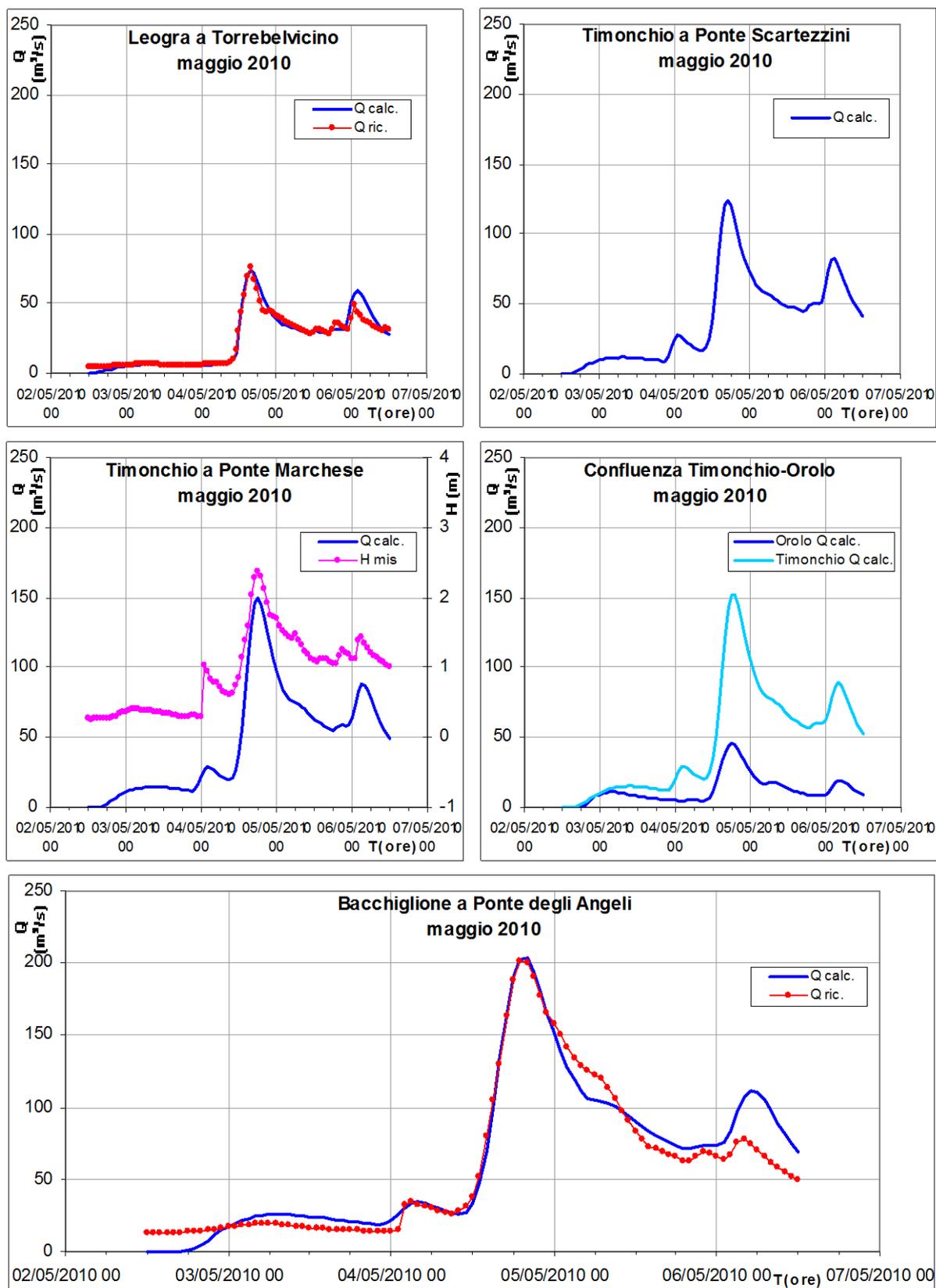


Fig. 3.11 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **maggio 2010**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

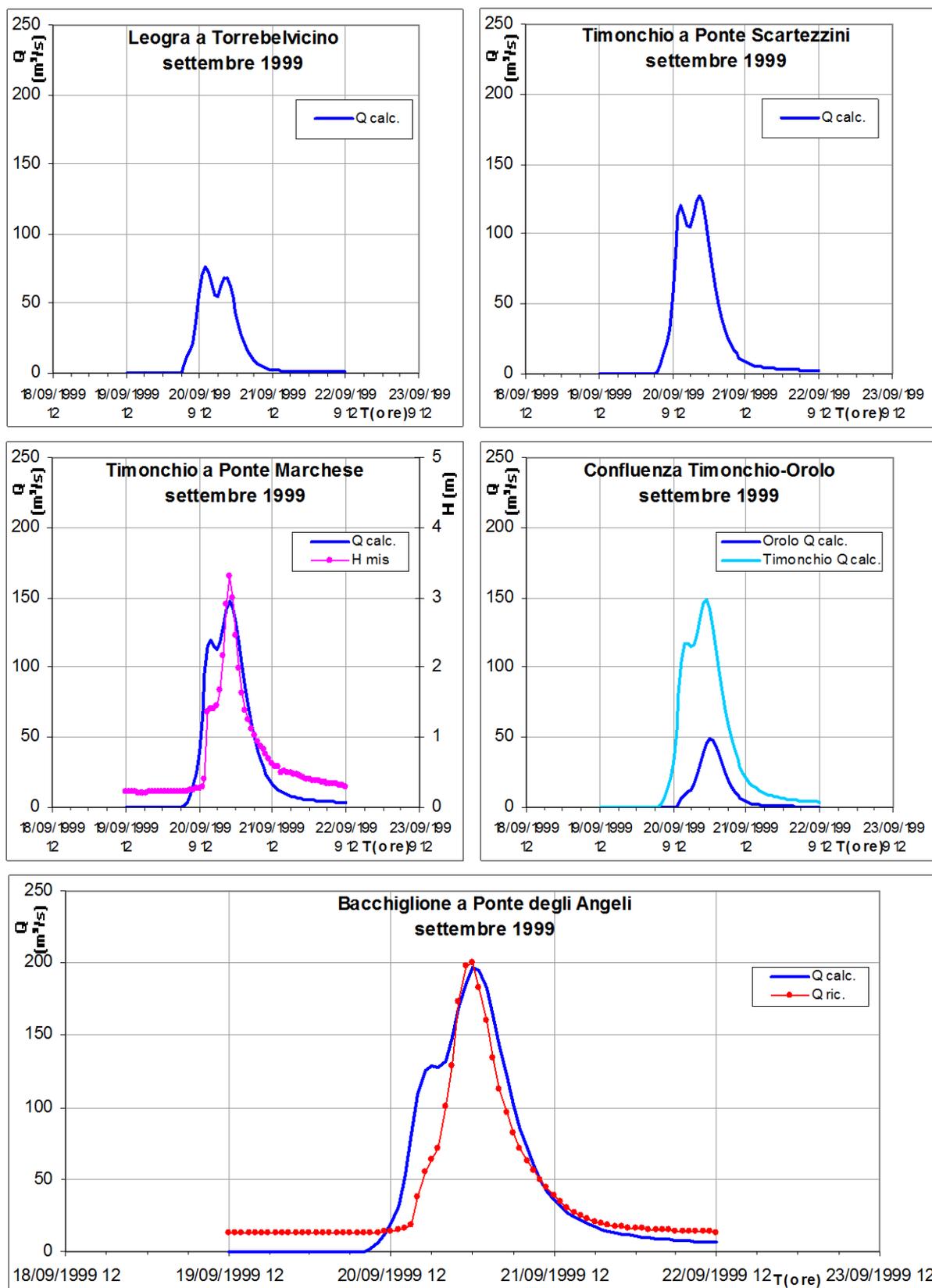


Fig. 3.12 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **settembre 1999**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

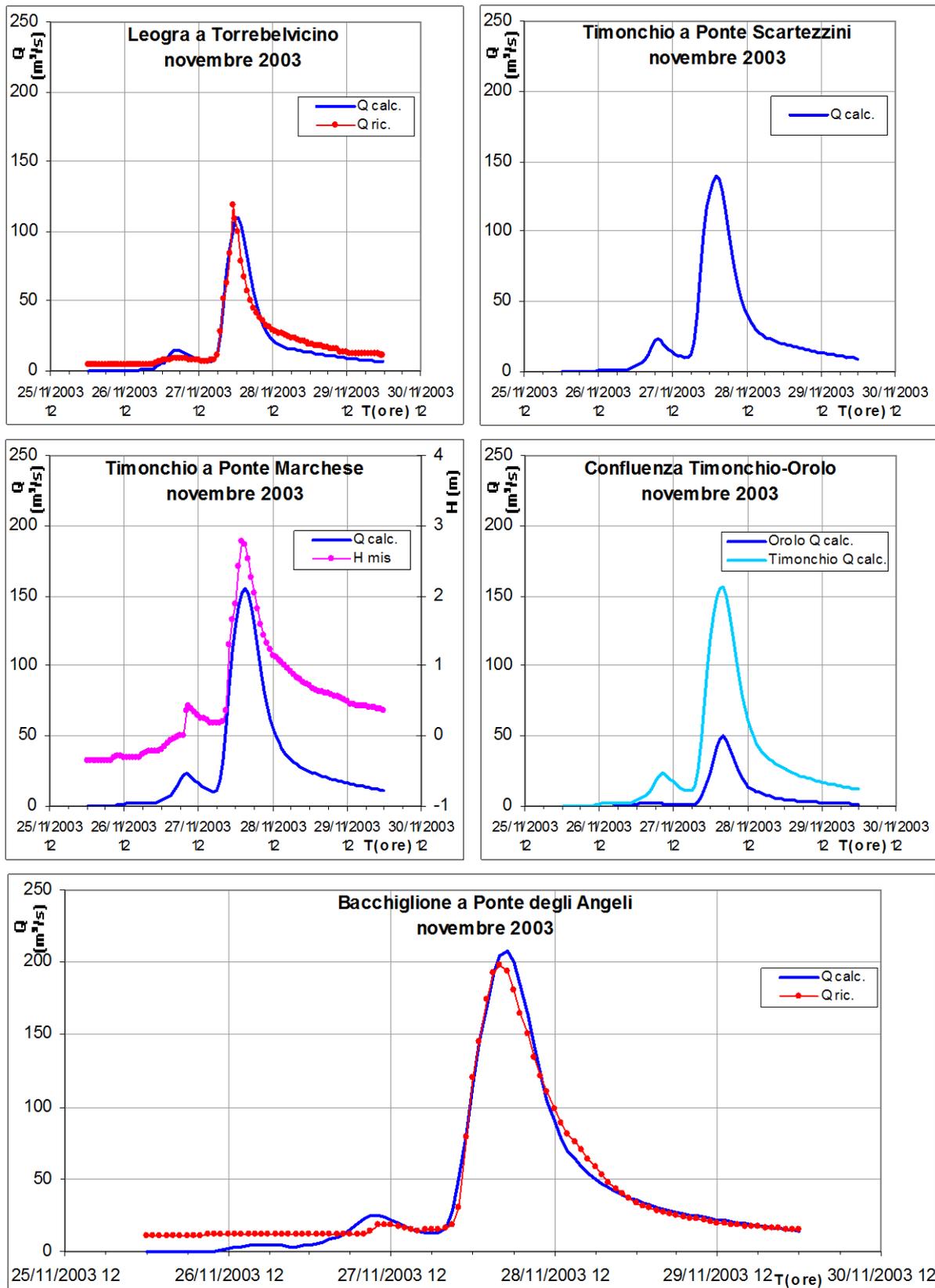


Fig. 3.13 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **novembre 2003**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

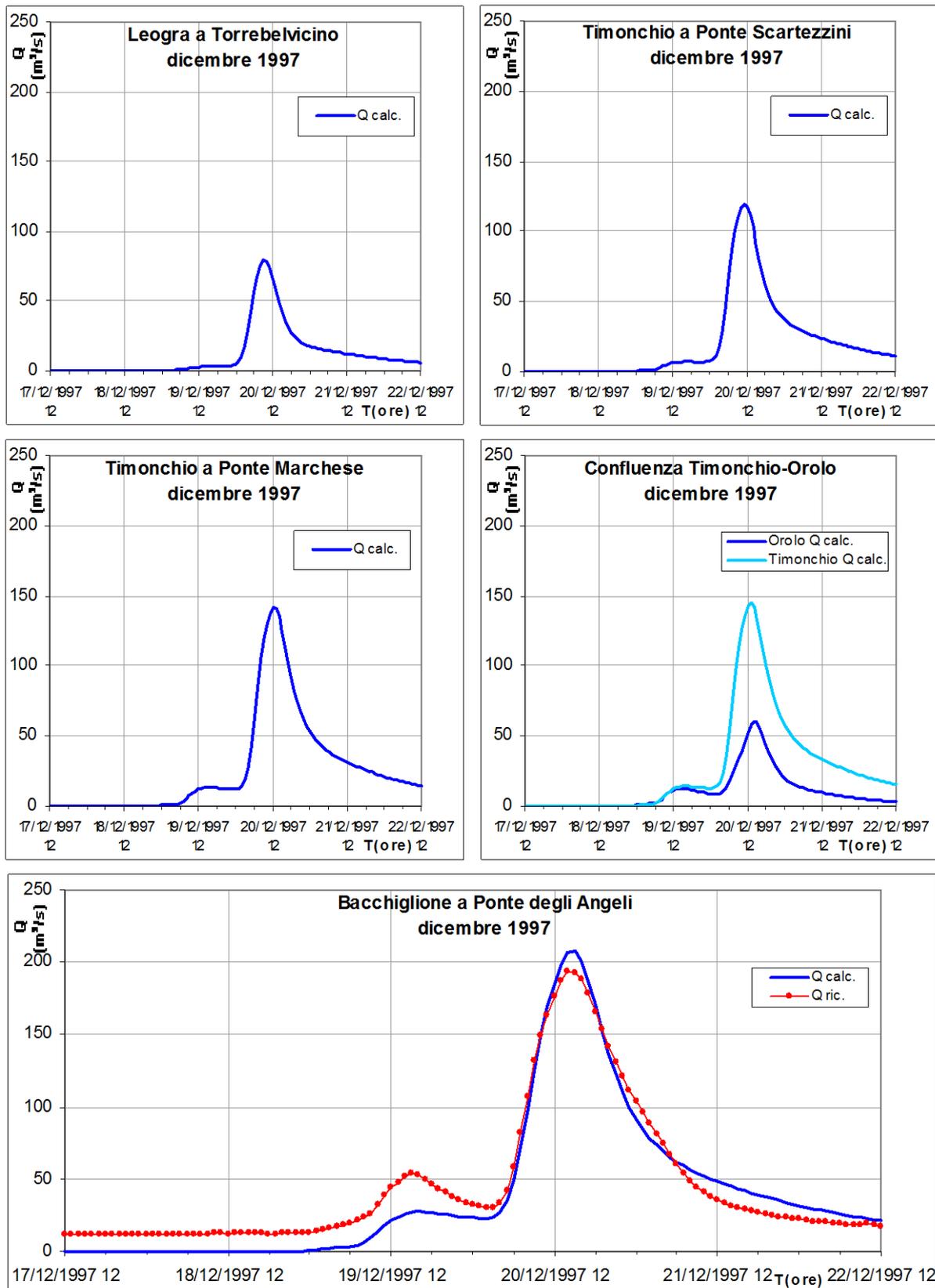


Fig. 3.14 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **dicembre 1997**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

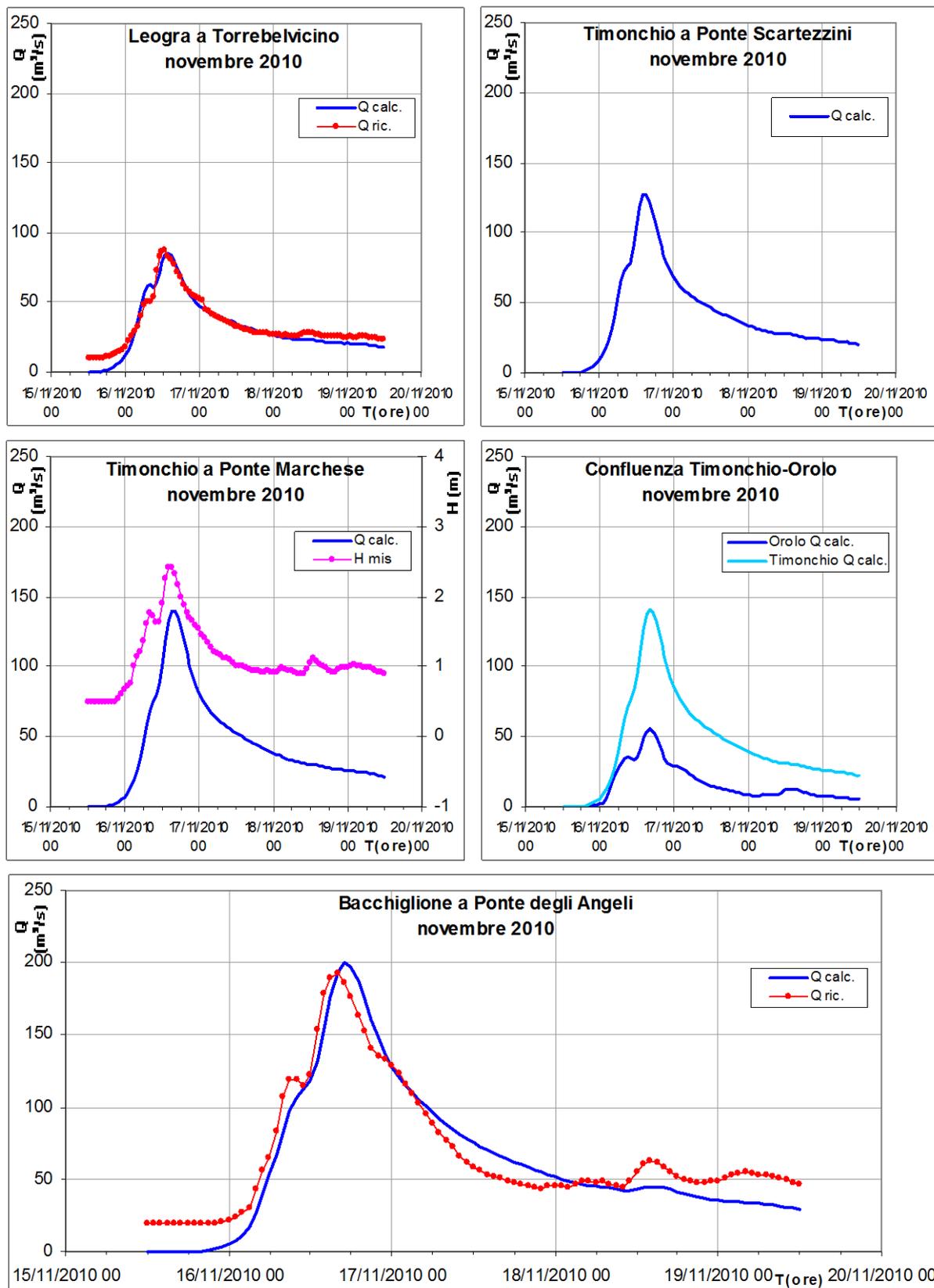


Fig. 3.15 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **novembre 2010**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

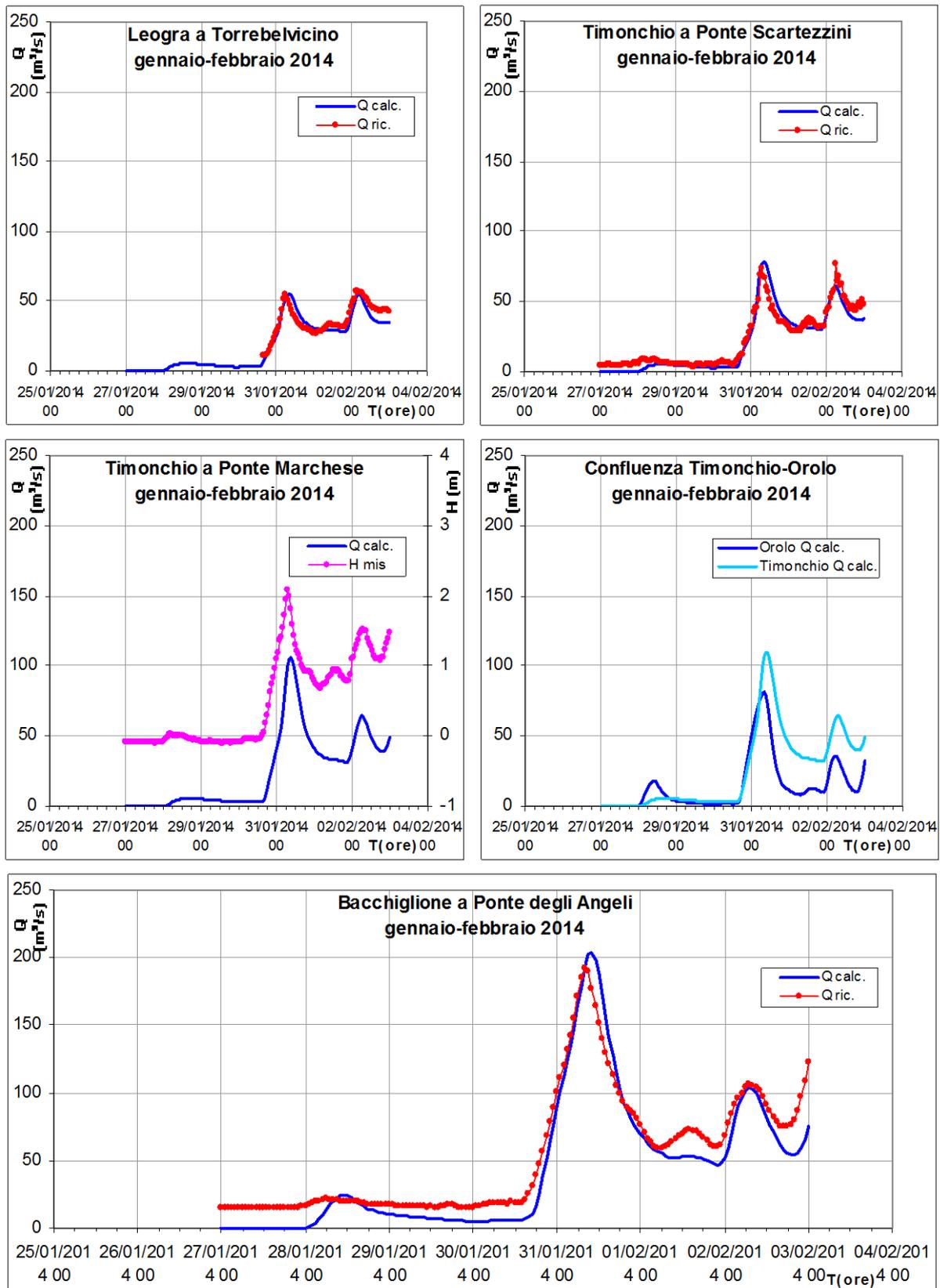


Fig. 3.16 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **gennaio-febbraio 2014**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

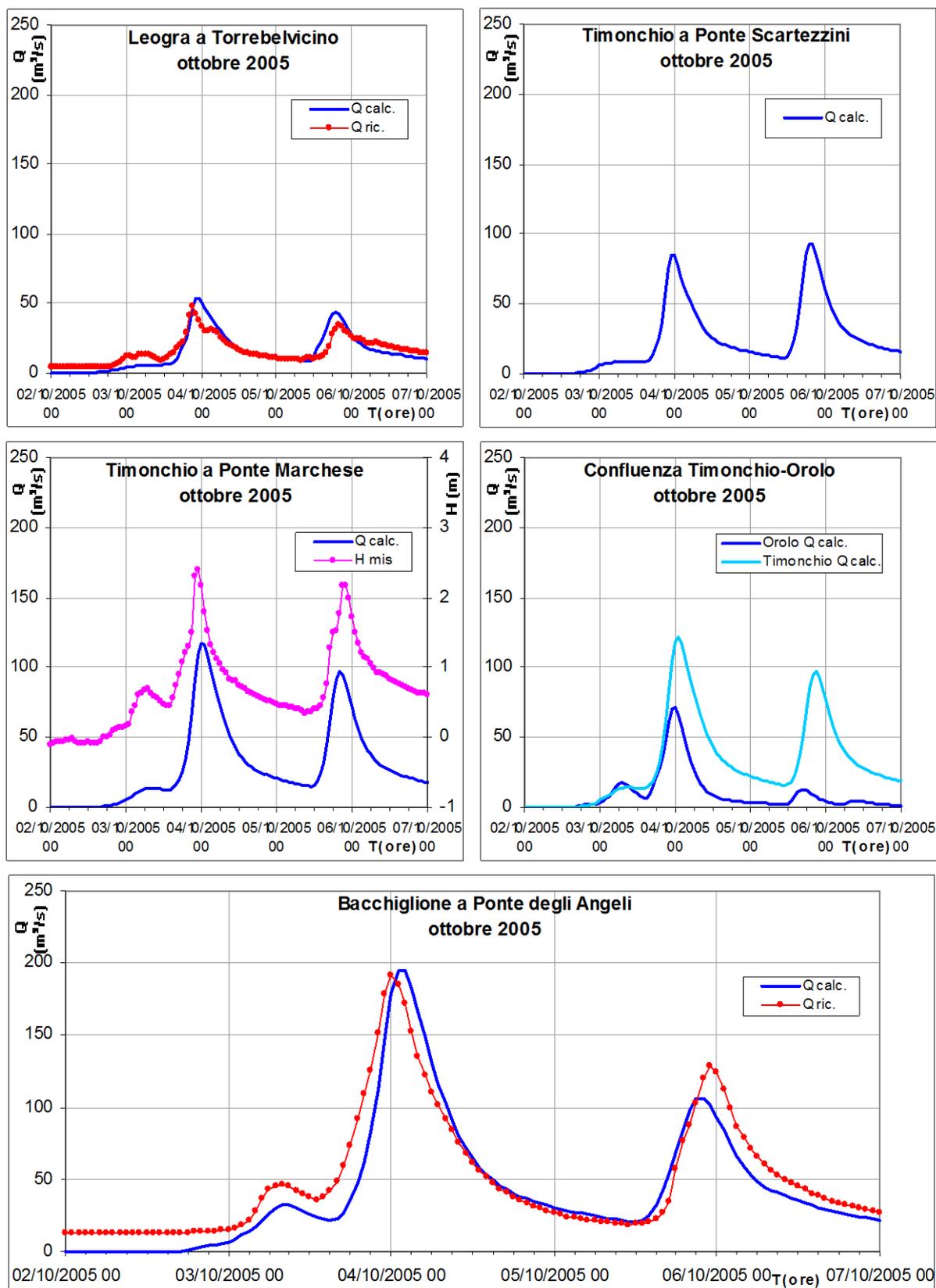


Fig. 3.17 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **ottobre 2005**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

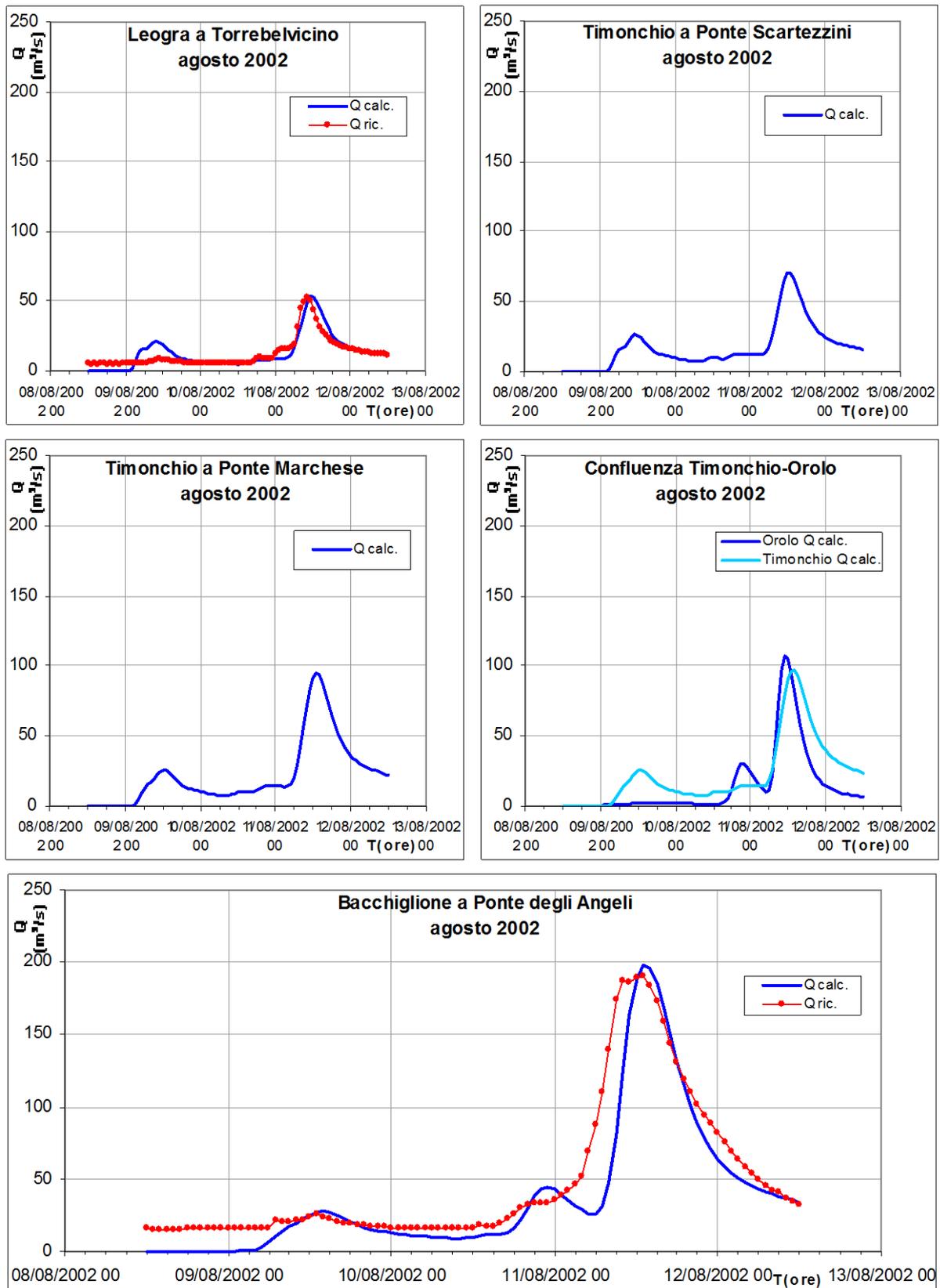


Fig. 3.18 – Confronto tra gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico e quelli ricostruiti sulla base delle registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate, per l'evento di **agosto 2002**, nelle sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte Scartezzini, del Timonchio a Ponte del Marchese (portate calcolate e livelli misurati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, con gli andamenti delle portate calcolate per il Timonchio e l'Orolo alla comune confluenza.

3.4 Valutazioni ed elaborazioni sui risultati ottenuti

I risultati ottenuti applicando il modello idrologico ai 14 eventi di piena osservati consentono di evidenziare che, per riprodurre con il calcolo gli andamenti delle portate ricostruiti sulla base dei livelli registrati e delle relative scale di deflusso nelle stazioni idrometriche esistenti, è necessario considerare, a parità degli altri parametri, valori del coefficiente di deflusso molto variabili sia da un sottobacino ad un altro, sia da un evento ad un altro.

Come già rilevato, tale variabilità dei coefficienti di deflusso per ciascun evento di piena è da ricercarsi nelle diverse condizioni idrologiche iniziali del bacino e di saturazione dei terreni che lo costituiscono che dipendono dalle piogge cadute al suolo nel periodo precedente un determinato evento. Tali condizioni possono modificare in modo sostanziale i volumi di pioggia che sono trasformati in portata, come riscontrato sulla base dei risultati del bilancio idrologico riportati in Tab. 3.5 per i 14 eventi di riferimento e ovviamente anche sulla base del calcolo eseguito per gli stessi eventi.

I risultati riportati al precedente paragrafo 3.3 danno anche conto della estrema variabilità, da un evento ad un altro, del rapporto tra la portata massima calcolata per il Timonchio e quella calcolata per l'Orolo alla confluenza (Tab. 3.4 e Fig. 3.4 in basso). Si tratta di rapporti che possono variare da valori di oltre 3 a valori inferiori a 1, in quest'ultimo caso con apporti dall'Orolo superiori a quelli del Timonchio, come per l'evento dell'agosto 2002.

Risulta quindi importante, per conoscere gli apporti provenienti da ciascun corso d'acqua, la scelta di installare nuove stazioni di misura dei livelli e delle portate negli stessi corsi d'acqua che alimentano i deflussi in arrivo nel Bacchiglione a Vicenza, vale a dire nel Timonchio, nell'Orolo e nell'Igna.

Tanto più che, ai fini del funzionamento del bacino di Caldogno, si prevede di tenere conto ovviamente della portata in arrivo nel Timonchio alla sezione dell'opera di presa, ma anche di quelle che si generano negli altri affluenti del Bacchiglione che, come l'Igna e l'Orolo, concorrono in modo significativo alla formazione della piena alla sezione di Ponte degli Angeli.

Le stazioni di misura previste intercettano peraltro solo una parte dei deflussi che arrivano a Vicenza. A tale riguardo, in Tab. 3.5 e in Fig. 3.19 sono riportati, in forma numerica e grafica, i valori massimi degli idrogrammi di portata calcolati per gli eventi storici nelle sezioni:

- dell'Igna a Novoledo e alla confluenza con il Timonchio;
- del Timonchio a Ponte Scartezini e alla confluenza con l'Orolo;
- dell'Orolo a Isola Vicentina e alla confluenza con il Timonchio.

Si rileva che le portate nel Timonchio e nell'Orolo si incrementano mediamente, passando dalla sezione di misura alla confluenza, rispettivamente del 20% e di poco più del 35%. Incrementi sensibilmente più elevati caratterizzerebbero invece secondo il calcolo la portata dell'Igna tra la sezione di Novoledo e la confluenza con il Timonchio. Si tratta, come espresso in precedenza, di valori di portata che potranno essere meglio valutati mano a mano che nel corso degli anni si verificheranno eventi di morbida e di piena che potranno essere osservati mediante i nuovi strumenti di misura dei livelli e della portata stessa.

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle logiche di gestione del bacino di Caldogno e implementazione delle procedure per l'attivazione delle opere di regolazione dei manufatti

N. evento	Data colmo		H colmo P.A. (m)	Timonchio Qmax calc			Igna Qmax calc			Orolo Qmax calc		
	giorno	ora		P.te Scartezzini (m ³ /s)	confluenza (m ³ /s)	differenza (%)	Novoledo (m ³ /s)	confluenza (m ³ /s)	differenza (%)	Isola Vicentina (m ³ /s)	confluenza (m ³ /s)	differenza (%)
1	01/11/2010	19:00	6.18	291.5	296.8	2%	9.2	28.2	206%	94.4	109.9	17%
2	11/11/2012	15:30	5.91	172.3	200.6	16%	8.5	25.7	201%	79.5	102.1	28%
3	16/05/2013	23:00	5.71	143.1	167.7	17%	6.7	20.2	202%	78.4	99.2	26%
4	07/11/2000	00:30	5.66	163.0	194.2	19%	10.2	31.0	203%	67.9	90.1	33%
5	16/11/2014	02:00	5.28	148.1	160.3	8%	4.3	12.8	201%	53.8	65.2	21%
6	24/12/2010	03:00	5.27	136.9	166.6	22%	9.1	27.2	200%	43.5	64.4	48%
7	04/05/2010	19:00	5.15	124.1	151.6	22%	7.8	24.0	209%	28.3	45.7	61%
8	20/09/1999	23:30	5.13	127.7	148.1	16%	7.8	23.6	204%	31.0	49.1	59%
9	28/11/2003	04:00	5.11	139.3	155.8	12%	5.1	16.0	211%	39.6	49.8	26%
10	20/12/1997	14:00	5.05	119.2	144.7	21%	7.4	23.0	209%	44.4	60.8	37%
11	16/11/2010	15:30	5.03	127.2	141.1	11%	4.4	13.3	200%	35.9	55.7	55%
12	31/01/2014	08:00	5.03	78.2	109.6	40%	7.3	23.1	217%	57.0	81.6	43%
13	04/10/2005	00:00	5.02	92.8	121.9	31%	9.5	29.1	205%	50.7	70.9	40%
14	11/08/2002	13:00	5.00	70.6	97.4	38%	7.7	22.9	198%	83.6	106.9	28%
Valore medio				20%			205%			37%		

Tab. 3.5 – Scostamenti tra i valori massimi degli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico, per gli eventi storici considerati ai fini dell'indagine, nelle sezioni del Timonchio a Ponte Scartezzini e alla confluenza con l'Orolo, dell'Igna a Novoledo e alla confluenza con il Timonchio e dell'Orolo a Isola Vicentina e alla confluenza con il Timonchio.

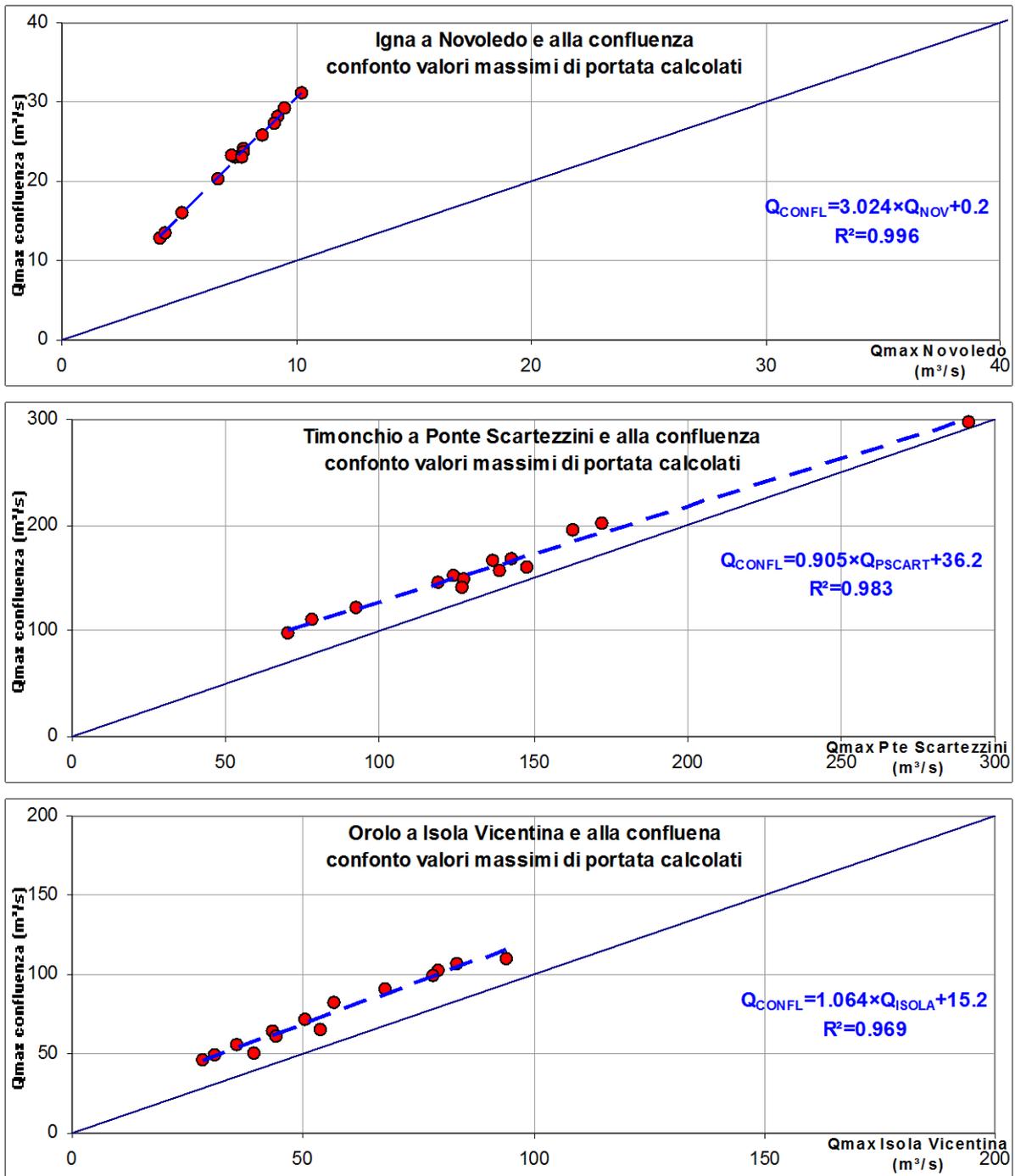


Fig. 3.19 – Rapporto tra i valori massimi degli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico, per gli eventi storici considerati ai fini dell'indagine, nelle sezioni del Timonchio a Ponte Scartezzini e alla confluenza con l'Orolo, dell'Igna a Novoledo e alla confluenza con il Timonchio e dell'Orolo a Isola Vicentina e alla confluenza con il Timonchio.

3.5 Condizioni al contorno per le simulazioni con il modello uni-bidimensionale

3.5.1 Eventi storici

La calibrazione del modello idrologico per il bacino complessivo del sistema Bacchiglione chiuso a Vicenza è stata condotta in una fase successiva anche per via indiretta, utilizzando a catena il modello idrologico e il modello idrodinamico uni-bidimensionale.

In buona sostanza, una volta calcolati con il modello idrologico gli idrogrammi di portata per i 14 eventi di piena di riferimento ed assunti questi come condizioni al contorno del modello idrodinamico, da introdurre nelle sezioni di monte dello schema dei corsi d'acqua in esame, Timonchio, Igna, Orolo, Bacchiglione e Retrone, si è cercato di riprodurre con il modello idrodinamico stesso gli andamenti dei livelli idrometrici registrati nelle stazioni idrometriche dell'ARPAV, in particolare in quelle del Timonchio a Ponte Marchese e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

Utilizzando quindi il modello idrologico si sono generati gli idrogrammi di piena relativi agli eventi considerati, partendo dalle corrispondenti precipitazioni registrate nelle stazioni indicate in Tab. 3.3 per ciascun sottobacino idrografico. Nella stessa tabella sono altresì riportati i valori dei coefficienti di deflusso utilizzati per ciascun sottobacino, adottati in modo da riprodurre al meglio gli eventi reali citati in tutto il sistema in esame, secondo la metodologia già sinteticamente descritta al precedente paragrafo 3.3.

I risultati del calcolo sono illustrati nelle Fig. 3.20÷Fig. 3.24 in cui sono riportati gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico per i 14 eventi di piena considerati in alcuni nodi principali e per alcuni interbacini del sistema idrografico in esame, vale a dire:

- il Timonchio a Ponte Scartezzini, a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno;
- l'Igna alla confluenza con il Timonchio;
- l'Interbacino del Timonchio tra Caldogno e Vicenza;
- l'Orolo a Isola Vicentina;
- l'Interbacino dell'Orolo tra Isola Vicentina e la confluenza con il Bacchiglione;
- il Retrone alla confluenza con il Bacchiglione.

Si tratta degli idrogrammi che, opportunamente ridistribuiti sui nodi del reticolo di calcolo, sono stati considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per riprodurre, come sopra accennato, i 14 eventi di piena storici esaminati.

In Tab. 3.6 sono infine riportati in sintesi i valori di alcune grandezze caratteristiche delle onde di piena calcolate per ciascun evento negli stessi nodi idraulici sopra elencati. Si tratta dei valori della portata massima e del volume delle onde di piena stesse, nonché del volume d'acqua complessivo immesso nel sistema idrografico considerato, mediante l'assegnazione delle condizioni al contorno sopra descritte.

Per il Timonchio, il corso d'acqua che in condizioni di piena convoglia i maggiori apporti verso Vicenza, si rilevano a Ponte Scartezzini valori massimi della portata calcolata variabili da poco più di 290 m³/s, per l'evento dell'ottobre-novembre 2010 in Fig. 3.20, a circa 70 m³/s, per l'evento dell'agosto 2002 in Fig. 3.24. Per tale ultimo evento, la portata massima nell'Orolo a Isola Vicentina, pari a quasi 85 m³/s in Fig. 3.24, avrebbe superato, unico caso, quella del Timonchio a Ponte Scartezzini.

Alla luce dei risultati ottenuti con il modello idrologico in fase di taratura, si è ritenuto quindi che con la stima dei parametri del modello matematico adottata, si potesse simulare con sufficiente attendibilità il comportamento idrologico del bacino del Bacchiglione durante gli eventi di piena considerati.

N. evento	Data colmo		H colmo P.A. (m)	Timonchio a Ponte Scartezini		Igna alla confluenza		Timonchio interbacino		Orolo a Isola Vicentina		Orolo interbacino		Retrone alla confluenza		Volume totale (m ³ ×10 ⁶)
				Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	
	giorno	ora		(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	
1	01/11/2010	19:00	6.18	291.5	37.72	28.2	3.65	23.9	4.25	94.4	12.06	27.3	4.29	61.3	10.31	72.28
2	11/11/2012	15:30	5.91	172.3	11.78	25.7	1.66	17.5	2.15	79.5	5.17	26.2	1.64	68.0	6.37	28.78
3	16/05/2013	23:00	5.71	143.1	18.85	20.2	2.04	15.6	2.33	78.4	6.55	28.6	2.25	73.8	7.87	39.89
4	07/11/2000	00:30	5.66	163.0	15.29	31.0	2.98	13.8	3.15	67.9	4.86	26.1	2.05	52.4	7.52	35.85
5	16/11/2014	02:00	5.28	148.1	16.77	12.8	1.54	10.1	2.15	53.8	2.73	14.7	1.36	47.8	5.57	30.13
6	24/12/2010	03:00	5.27	136.9	19.67	27.2	3.11	14.8	2.68	43.5	5.53	21.8	3.04	48.9	8.49	42.51
7	04/05/2010	19:00	5.15	124.1	13.63	24.0	2.37	15.3	1.98	28.3	2.77	18.7	1.66	42.7	4.77	27.17
8	20/09/1999	23:30	5.13	127.7	6.95	23.6	1.16	15.0	1.16	31.0	1.13	19.6	0.76	41.8	2.74	13.90
9	28/11/2003	04:00	5.11	139.3	8.97	16.0	1.22	8.3	0.87	39.6	1.67	12.0	0.78	34.9	2.75	16.26
10	20/12/1997	14:00	5.05	119.2	8.96	23.0	2.14	13.5	1.70	44.4	3.14	17.5	1.46	67.9	5.59	22.98
11	16/11/2010	15:30	5.03	127.2	14.26	13.3	1.20	7.8	1.07	35.9	4.04	20.4	1.44	34.1	3.62	25.62
12	31/01/2014	08:00	5.03	78.2	12.83	23.1	1.83	24.4	3.51	57.0	6.18	25.9	2.99	51.8	6.82	34.16
13	04/10/2005	00:00	5.02	92.8	10.42	29.1	2.16	17.9	2.11	50.7	2.77	22.8	1.45	57.8	5.34	24.25
14	11/08/2002	13:00	5.00	70.6	6.15	22.9	1.38	11.0	0.87	83.6	4.18	27.7	0.93	34.2	4.73	18.24

Tab. 3.6 – Valori della portata massima e del volume degli idrogrammi calcolati con il modello idrologico, per gli eventi storici considerati ai fini dell'indagine, in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale.

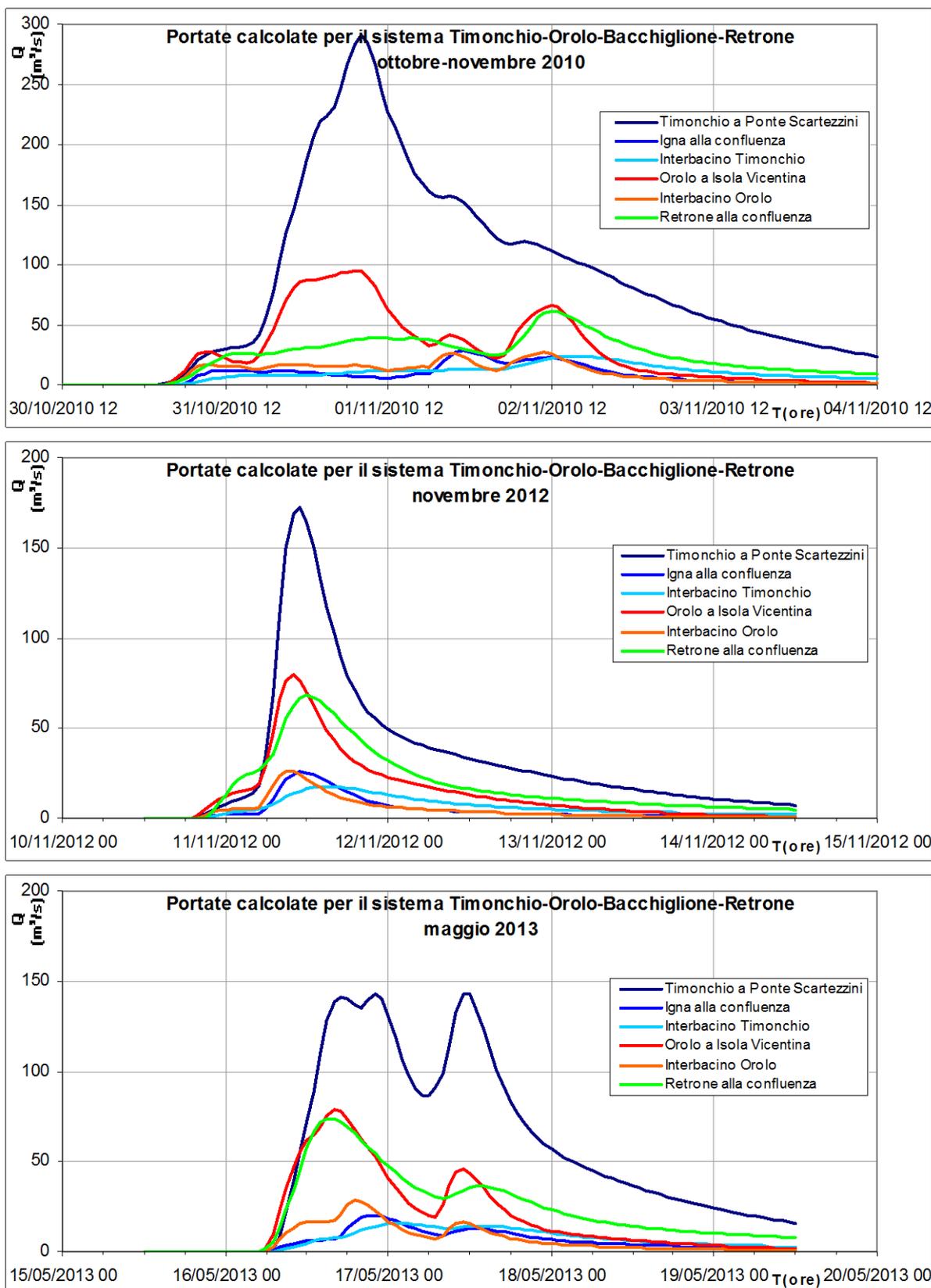


Fig. 3.20 – Idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per riprodurre gli eventi di piena di ottobre-novembre 2010, di novembre 2012 e di maggio 2013.

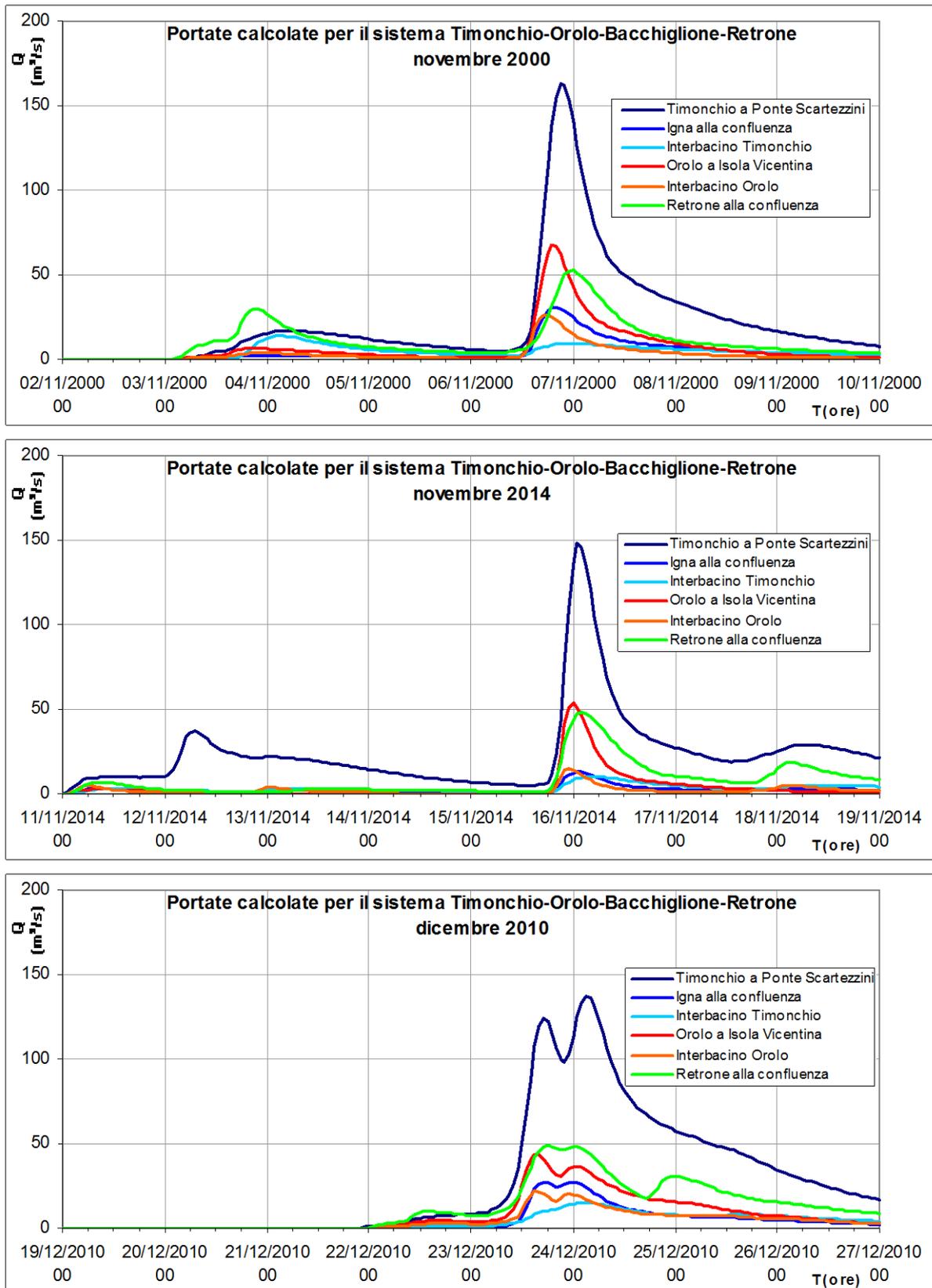


Fig. 3.21 – Idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per riprodurre gli eventi di piena di novembre 2000, di novembre 2014 e di dicembre 2010.

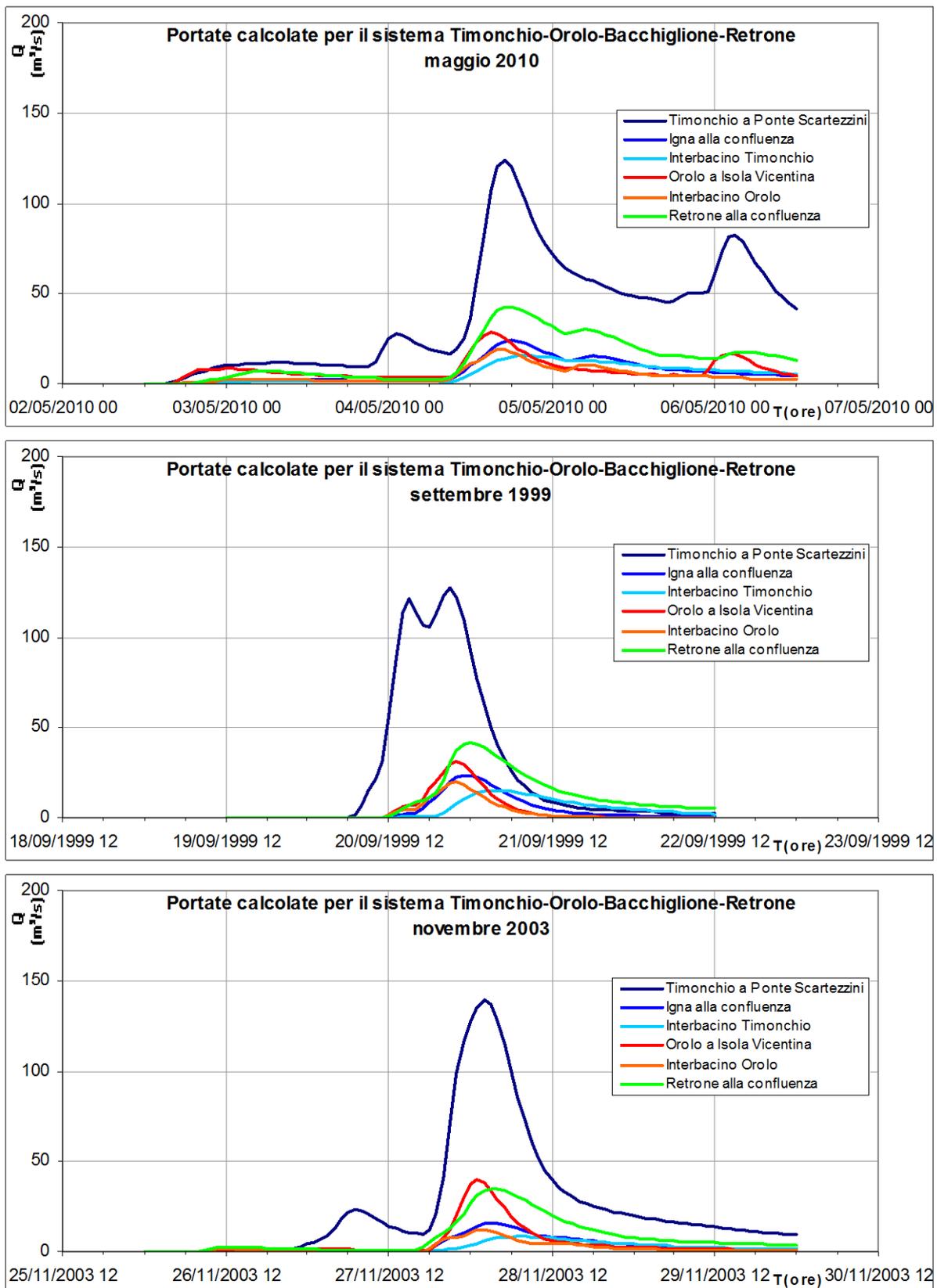


Fig. 3.22 – Idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per riprodurre gli eventi di piena di maggio 2010, di settembre 1999 e di novembre 2003.

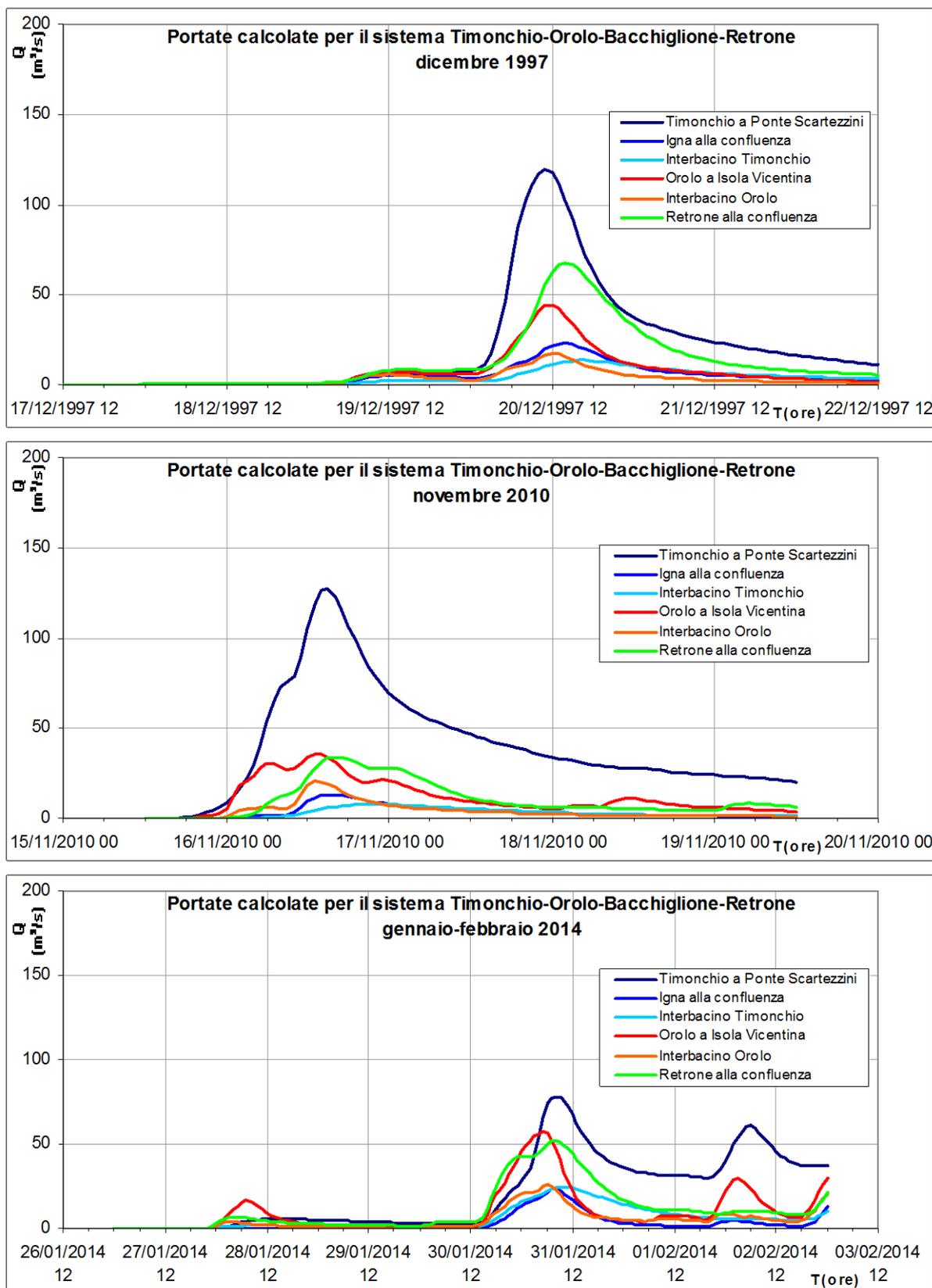


Fig. 3.23 – Idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per riprodurre gli eventi di piena di dicembre 1997, di novembre 2010 e di gennaio-febbraio 2014.

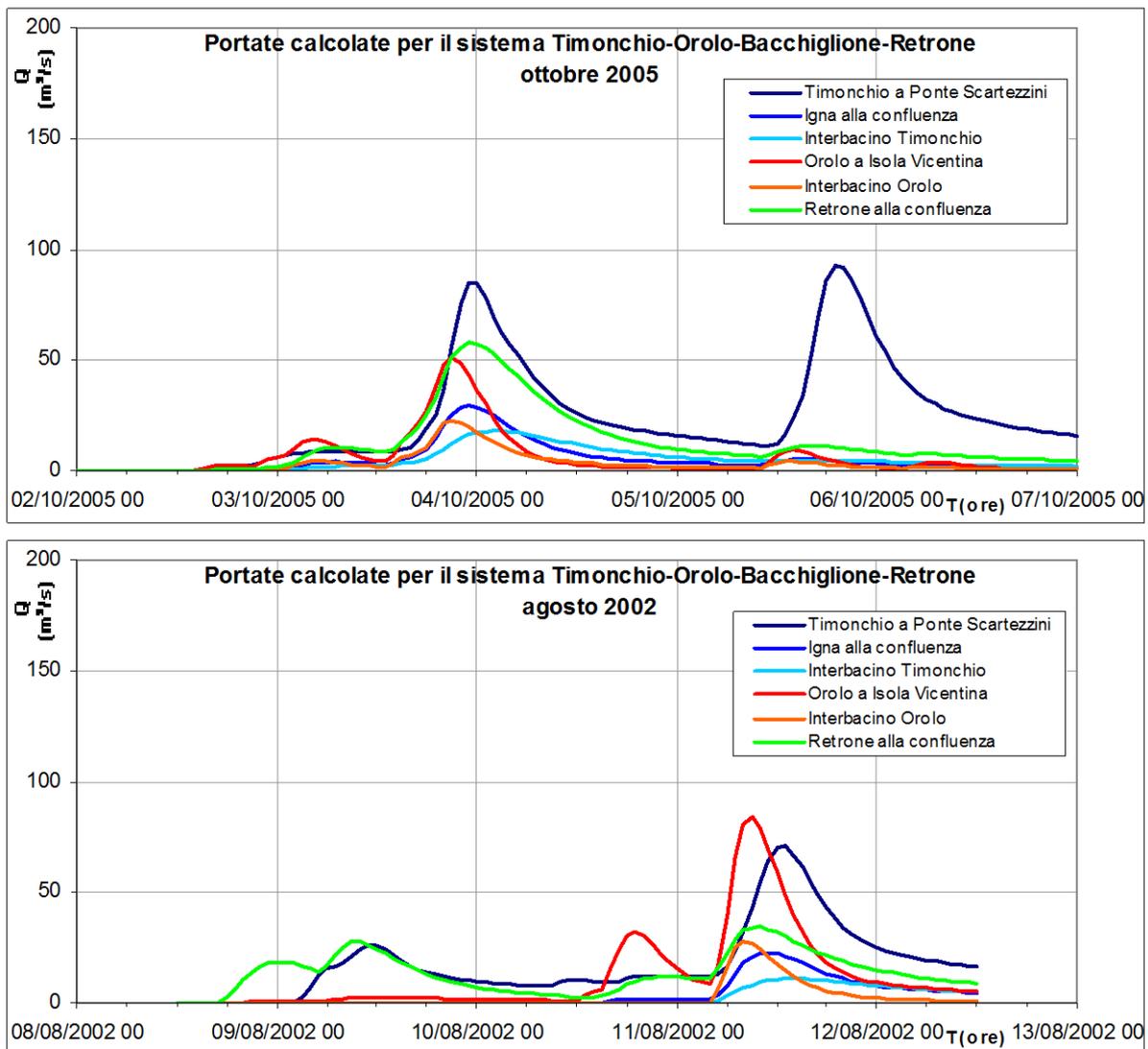


Fig. 3.24 – Idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per riprodurre gli eventi di piena di ottobre 2005 e di agosto 2002.

3.5.2 Eventi sintetici

Al fine di valutare il funzionamento del bacino di Caldogno in occasione di eventi di piena diversi, si è ritenuto opportuno considerare, oltre a quelli storici verificatisi nel corso degli ultimi 20 anni, anche alcuni eventi sintetici, caratterizzati da tempi di ritorno variabili da 25 anni a 100 anni e da forme delle onde di piena altrettanto variabili, dedotte da quelle calcolate con il modello idrologico per i 3 eventi storici seguenti:

- ottobre-novembre 2010, caratterizzato da una durata prolungata e da volumi della piena molto elevati (Fig. 3.20 in alto e Tab. 3.6);
- novembre 2012, caratterizzato invece da una velocità di crescita molto rapida, da una fase di colmo con valori massimi di portata elevati ma di durata breve e da volumi d'acqua complessivi molto inferiori rispetto a quelli dell'evento principale (Fig. 3.20 in centro e Tab. 3.6);
- gennaio 2014, caratterizzato da apporti provenienti dall'Orolo sostanzialmente confrontabili con quelli in arrivo dal Timonchio ed in anticipo rispetto ad essi (Fig. 3.23 in basso e Tab. 3.6).

Si sono quindi generate 3 serie di eventi sintetici, basate sulle forme delle onde di piena degli eventi di ottobre-novembre 2010 (“evento lungo”), di novembre 2012 (“evento breve”) e di gennaio 2014 (“evento Orolo”).

Per i valori di portata si è invece fatto riferimento a quelli massimi calcolati nell’ambito delle attività del Progetto Definitivo in corrispondenza della sezione del Bacchiglione a Ponte degli Angeli per tempi di ritorno compresi tra 5 anni e 200 anni, riportati nella parte sinistra di Tab. 3.7.

Per generare gli idrogrammi di piena si sono quindi calcolati i rapporti tra i valori di portata del Progetto Definitivo e il valore massimo della portata stessa calcolato con il modello idrologico nell’ambito del presente studio alla sezione di Ponte degli Angeli per ciascuno dei 3 eventi di riferimento adottati (Tab. 3.4 e intestazione di Tab. 3.7 a destra).

Si sono così determinate tre serie di coefficienti moltiplicativi delle onde di piena degli eventi reali già calcolati (Fig. 3.20 in alto per l’evento lungo, Fig. 3.20 in centro per l’evento breve e Fig. 3.23 in basso per l’evento Orolo). Moltiplicando, poi, i valori di portata degli eventi reali per tali coefficienti, riportati nella parte destra di Tab. 3.7, si sono generati gli idrogrammi di piena sintetici caratterizzati da tempi di ritorno variabili da 25 anni a 100 anni rappresentati rispettivamente in Fig. 3.25 per l’evento lungo, in Fig. 3.26 per l’evento breve e in Fig. 3.27 per l’evento Orolo.

Si tratta degli idrogrammi che sono stati successivamente utilizzati, come condizioni al contorno per il modello idrodinamico uni-bidimensionale, per simulare gli eventi di piena sintetici.

In Tab. 3.8 sono riportati in sintesi i valori della portata massima e del volume delle onde di piena calcolate per ciascun evento nei nodi idraulici principali e il volume d’acqua complessivo immesso nel sistema idrografico del Bacchiglione, mediante l’assegnazione delle condizioni al contorno sopra illustrate.

Progetto Definitivo		Qmax Bacchiglione (m ³ /s) - modello idrologico		
Tr	Qmax	ott-nov 2010	nov 2012	gen 2014
(anni)	Bacchiglione	412.5	309.0	203.9
		Coefficienti moltiplicativi		
5	155.7	0.38	0.50	0.76
10	218.0	0.53	0.71	1.07
20	276.0	0.67	0.89	1.35
25	296.5	0.72	0.96	1.45
50	378.0	0.92	1.22	1.85
75	445.0	1.08	1.44	2.18
100	511.5	1.24	1.66	2.51
200	609.1	1.48	1.97	2.99
Valori interpolati		Valori utilizzati		

Tab. 3.7 – Valori della portata massima del Bacchiglione a Vicenza calcolati per diversi tempi di ritorno nell'ambito del Progetto Definitivo e coefficienti moltiplicativi considerati nel presente studio per generare gli eventi sintetici, ragguagliando agli stessi tempi di ritorno gli idrogrammi calcolati per gli eventi di ottobre-novembre 2010, novembre 2012 e gennaio 2014.

N. evento	Caratteristiche idrogrammi			Timonchio a Ponte Scartezini		Igna alla confluenza		Timonchio interbacino		Orolo a Isola Vicentina		Orolo interbacino		Retrone alla confluenza		Volume totale
	Tr	Qmax	forma	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	Q max	Volume	
	(anni)	-	-	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ /s)	(m ³ ×10 ⁶)	(m ³ ×10 ⁶)
1	25	P.Def.	ott-nov2010	209.5	27.12	20.2	2.63	17.2	3.06	67.8	8.67	19.6	3.08	44.1	7.41	51.96
2	50	P.Def.	ott-nov2010	267.1	34.56	25.8	3.35	21.9	3.90	86.5	11.05	25.0	3.93	56.2	9.44	66.24
3	100	P.Def.	ott-nov2010	361.4	46.77	34.9	4.53	29.7	5.28	117.0	14.96	33.8	5.32	61.3	10.31	87.16
4	25	P.Def.	nov2012	165.4	11.30	24.7	1.59	16.8	2.07	76.3	4.97	25.1	1.58	68.0	6.37	27.88
5	50	P.Def.	nov2012	210.8	14.41	31.4	2.03	21.4	2.64	97.2	6.33	32.0	2.01	68.0	6.37	33.78
6	100	P.Def.	nov2012	285.2	19.49	42.5	2.74	28.9	3.57	131.6	8.57	43.3	2.72	68.0	6.37	43.46
7	50	P.Def.	gen2014	145.0	23.77	42.8	3.40	45.2	6.50	79.3	8.59	36.0	4.16	72.0	9.48	55.90
8	75	P.Def.	gen2014	170.7	27.98	50.4	4.00	53.3	7.66	93.3	10.12	42.4	4.89	84.8	11.16	65.81
9	100	P.Def.	gen2014	196.2	32.17	57.9	4.60	61.2	8.80	107.3	11.63	48.7	5.63	97.5	12.83	75.65

Tab. 3.8 – Valori della portata massima e del volume degli idrogrammi di piena determinati, per gli eventi sintetici considerati ai fini dell'indagine, in alcuni nodi principali del sistema idrografico in esame, considerati quali condizioni al contorno per le simulazioni di calcolo eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale.

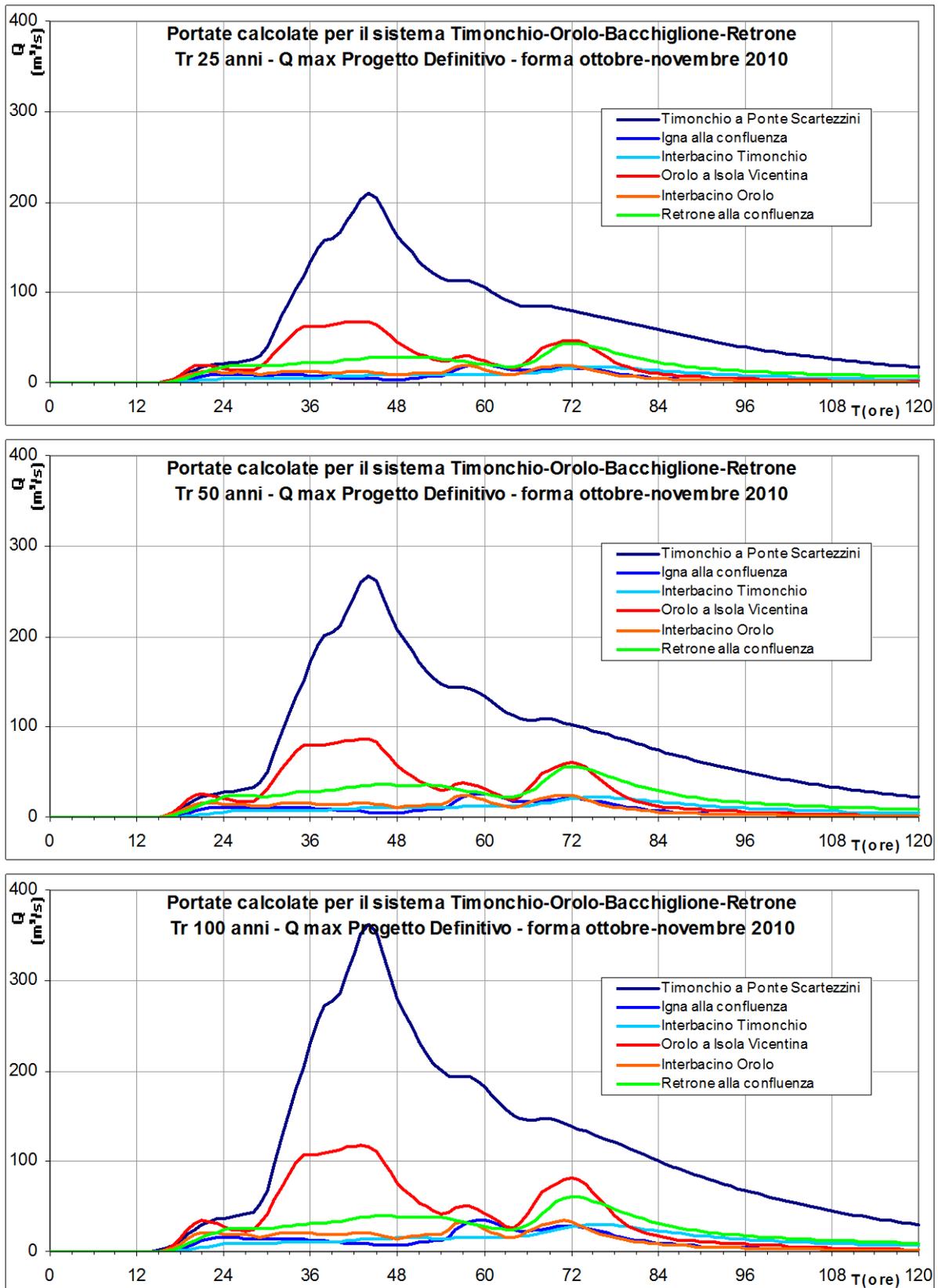


Fig. 3.25 – Idrogrammi di portata valutati per i corsi d'acqua del sistema Timonchio-Orolo-Bacchiglione-Retrone a partire dai valori massimi riportati nel Progetto Definitivo per i tempi di ritorno di 25-50-100 anni e dalla forma determinata con il modello idrologico per l'evento di ottobre-novembre 2010, considerati come condizioni al contorno per le simulazioni eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale.

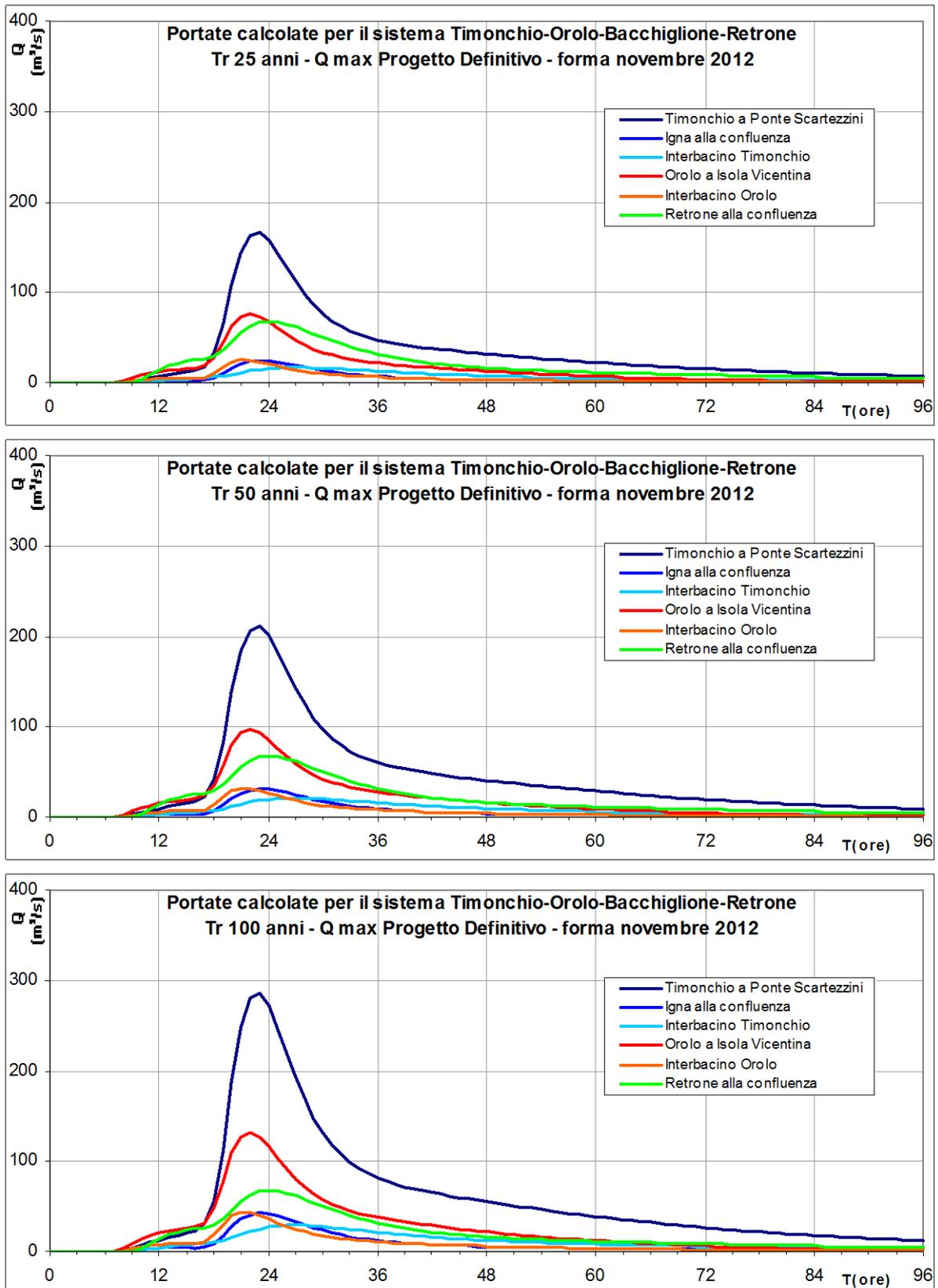


Fig. 3.26 – Idrogrammi di portata valutati per i corsi d'acqua del sistema Timonchio-Orolo-Bacchiglione-Retrone a partire dai valori massimi riportati nel Progetto Definitivo per i tempi di ritorno di 25-50-100 anni e dalla forma determinata con il modello idrologico per l'evento di novembre 2012, considerati come condizioni al contorno per le simulazioni eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale.

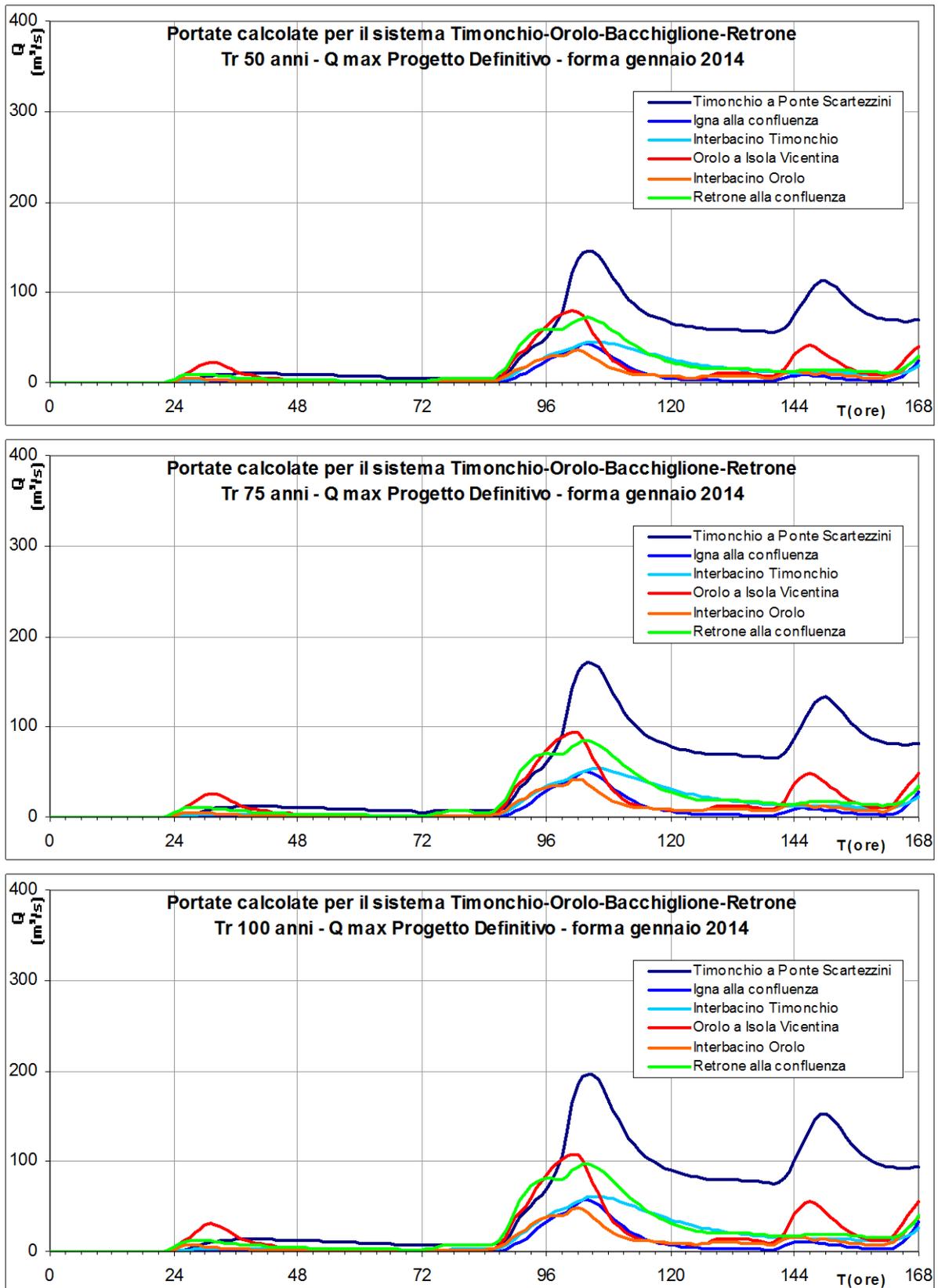


Fig. 3.27 – Idrogrammi di portata valutati per i corsi d'acqua del sistema Timonchio-Orolo-Bacchiglione-Retrone a partire dai valori massimi riportati nel Progetto Definitivo per i tempi di ritorno di 50-75-100 anni e dalla forma determinata con il modello idrologico per l'evento di gennaio 2014, considerati come condizioni al contorno per le simulazioni eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale.

4 Modello idrodinamico di propagazione delle onde di piena

4.1 Costruzione del reticolo di calcolo

Per valutare le condizioni di deflusso degli eventi più significativi degli ultimi 20 anni, simulando la propagazione delle onde di piena generate attraverso il modello idrologico descritto nel capitolo precedente, e per verificare l'efficacia e l'efficienza del bacino di laminazione di Caldogno secondo le procedure e le logiche di esercizio descritte nei capitoli successivi, è stato messo a punto un modello idrodinamico uni-bidimensionale del sistema idrografico costituito dai fiumi Timonchio, Igna, Bacchiglione, Orolo, Retrone e Astichello.

Il modello idrodinamico è stato realizzato aggiornando e ampliando opportunamente lo schema di calcolo, già a disposizione della scrivente, sviluppato in sede di progettazione esecutiva [7] e per la partecipazione alla recente gara di appalto integrato avente come oggetto di intervento la "Realizzazione di un'opera di invaso sul fiume Bacchiglione a monte di Viale Diaz del Comune di Vicenza" bandita dalla Regione Veneto nel 2015.

La schematizzazione comprende sia gli alvei dei fiumi principali sia alcuni corsi d'acqua della rete minore ad essi affluenti (come ad esempio le rogge Feriana e Muzzana, aventi un contributo idrologico non trascurabile), nonché ampie zone di territorio urbanizzato ed agricolo adiacenti e potenzialmente allagabili.

Il dominio di calcolo si estende verso monte fino alle sezioni di Ponte Scartezini (SP50) in comune di Villaverla per il T. Timonchio, fino al ponte di via Igna a Novoledo in comune di Villaverla per il T. Igna e fino al ponte di via Giarre in comune di Isola Vicentina per il T. Orolo. Il Retrone è stato schematizzato a partire dalla sezione di Ponte Quarelo in comune di Vicenza, mentre l'Astichello a partire dal ponte di via Cricoli, nel medesimo comune (Fig. 4.1).

Complessivamente, la schematizzazione include un tratto del T. Timonchio di circa 3.9 km fino alla confluenza con il T. Igna, un tratto di T. Igna di circa 3.6 km fino alla confluenza con il T. Timonchio, un tratto di circa 7.6 km di T. Timonchio dalla confluenza con il T. Igna alla confluenza con il T. Orolo, un tratto di circa 11.7 km di T. Orolo fino alla confluenza con il T. Timonchio, un tratto di 10.6 km di F. Bacchiglione dalla confluenza con il T. Orolo al ponte sull'autostrada A4, un tratto di circa 2 km di F. Astichello ed un tratto di circa 5.7 km di F. Retrone.

La superficie complessiva del dominio si estende su circa 32 km².

Le caratteristiche topologiche della griglia di calcolo sono le seguenti: 18246 nodi, 31152 maglie bidimensionali, 216 maglie speciali, introdotte per descrivere concettualmente le resistenze localizzate dovute ai ponti, alle pile in alveo, ecc., 524 canali unidimensionali, utilizzati per schematizzare il F. Retrone, i corsi d'acqua minori e alcune opere d'arte del bacino di laminazione, 1807 tronchi speciali, impiegati per modellare le sommità arginali, le briglie, i salti di fondo, la traversa in alveo, l'opera di presa e le paratoie in corrispondenza della cassa di espansione. Il lato delle maglie bidimensionali è variabile tra 1.5 m e 250 m per consentire un elevato grado di dettaglio nelle zone di maggior interesse per l'indagine e una schematizzazione più grossolana altrove.

Le verifiche idrauliche illustrate nel seguito della presente relazione sono state ottenute impiegando il codice di calcolo 2DEF, realizzato dai proff. D'Alpaos e Defina dell'Università di Padova ([2], [3], [4], [5]). Il modello idrodinamico, basato su un solutore numerico ad elementi finiti, consente di simulare a moto vario la propagazione delle onde di piena in un dominio di geometria complessa in cui la morfologia degli alvei fluviali e del territorio adiacente potenzialmente allagabile può essere

schematizzato con un reticolo a maglie triangolari. La griglia di calcolo può includere anche elementi di tipo unidimensionale e tronchi speciali, accoppiati nel solutore bidimensionale.

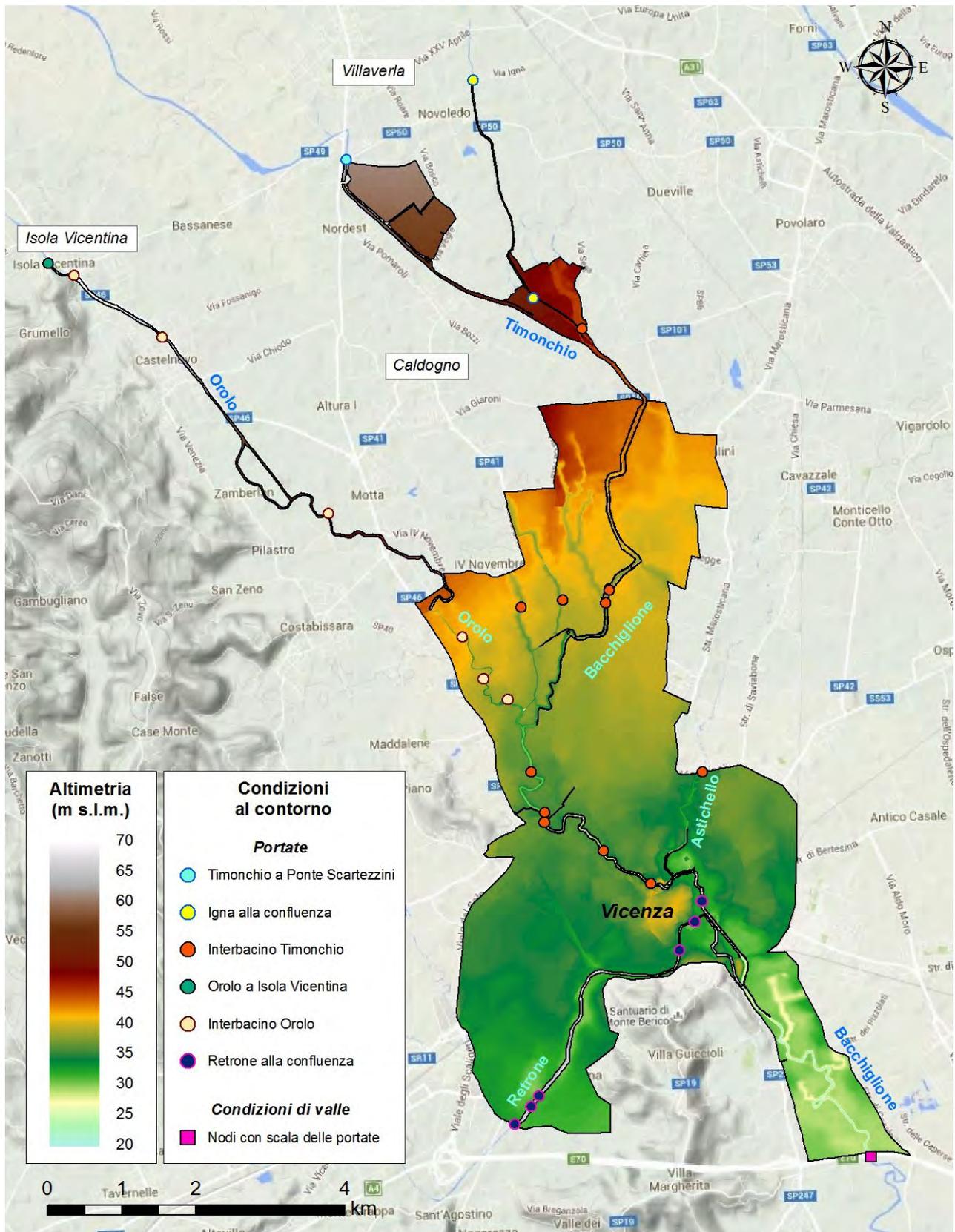


Fig. 4.1 – Altimetria implementata nel modello idraulico uni-bidimensionale con indicazione delle condizioni al contorno utilizzate per le simulazioni.

Il modello 2DEF è stato sviluppato a partire dal 1993 e successivamente aggiornato e perfezionato sia per renderlo adeguato per una più ampia gamma di applicazioni in ambito scientifico ed ingegneristico, sia per incrementarne le prestazioni e la rapidità computazionale. Il programma è in uso presso il dipartimento ICEA dell'Università di Padova e presso l'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico, ed è stato impiegato in numerose applicazioni riguardanti tutti i principali corsi d'acqua del Veneto.

Per l'implementazione del modello idrodinamico del sistema idrografico in esame sono stati utilizzati i dati topografici e cartografici forniti da diversi Enti territoriali competenti, in particolare rilievi e sezioni degli alvei fluviali e altimetrie acquisite con tecnologia Lidar. Questi dati hanno permesso di definire la quota degli elementi triangolari bidimensionali del modello, nonché la geometria degli elementi morfologici maggiormente significativi. La descrizione dettagliata di tali dati è riportata nel paragrafo 2.2, a cui si rimanda per ogni approfondimento.

Il parametro Y_{lim} che, come illustrato in Appendice B, quantifica nel modello il ruolo delle asperità e irregolarità locali del terreno nel fenomeno dell'allagamento è stato assunto pari a 0.30 m, uniforme sull'intero dominio di calcolo, che corrisponde al valore adottato in precedenti analoghe esperienze.

Il bacino di laminazione di Caldogno è stato inserito all'interno dello schema di calcolo secondo le specifiche riportate all'interno del progetto esecutivo. Sono stati pertanto predisposti la traversa in alveo, l'opera di presa ($H_{fondo} = 63.4$ m s.l.m., $L = 30$ m, 4 paratoie ad apertura variabile fino a 2.5 m), 2 bacini separati messi in comunicazione da uno sfioratore superficiale ($H_{sf} = 64$ m s.l.m., $L_{sf} = 98.4$ m) e dall'opera di interconnessione (4 paratoie piane a presidio di 4 scatolari di dimensioni 3 x 2 m), lo sfioratore di valle ($H_{sf} = 60.9$ m s.l.m., $L_{sf} = 98.4$ m) e le opere di restituzione della casse di monte e di valle (complessivamente 4 paratoie piane, 2 per la cassa di monte a quota 58.6 m s.l.m. e 2 per la cassa di valle a quota 55.9 m s.l.m., a presidio di scatolari di dimensioni 3 x 2 m). Le quote arginali delle casse verso l'esterno sono state poste a 65.5 m s.l.m. per la cassa di monte e a 62.4 m s.l.m. per la cassa di valle.

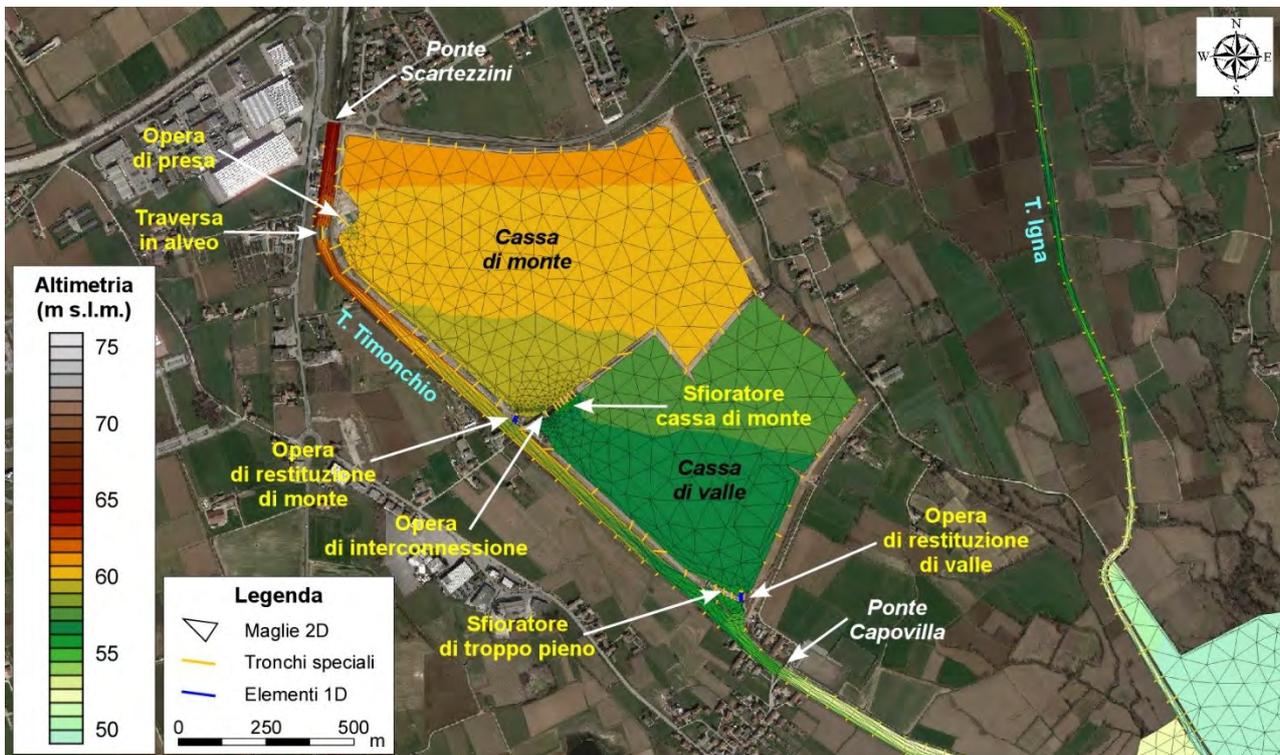


Fig. 4.2 – Particolare della griglia di calcolo in corrispondenza della cassa di Caldogno, con indicazione dell'altimetria implementata e dei manufatti schematizzati nel modello idraulico uni-bidimensionale.

4.2 Taratura del modello

Oltre alle quote del fondo, il modello richiede di attribuire ad ogni tronco unidimensionale e ad ogni maglia del reticolo di calcolo il valore più opportuno del parametro di scabrezza del fondo, espresso come coefficiente della formula di Gauckler-Strickler, al fine di descrivere correttamente le resistenze nel campo di moto indotte dagli alvei dei corsi d'acqua, dalle zone abitate, dalle strade e dal territorio agricolo in caso di allagamento.

Sulla base dei risultati di alcune simulazioni preliminari, dei dati riportati nella letteratura tecnica e di precedenti esperienze maturate analizzando il comportamento di alcuni dei corsi d'acqua qui in esame e di altri fiumi e torrenti con caratteristiche geometriche ed idrauliche simili a quelle qui considerate, agli elementi bidimensionali che nel modello sono stati utilizzati per schematizzare le parti più larghe del reticolo idrografico sono stati attribuiti valori del coefficiente di resistenza differenziati a seconda che rappresentino l'alveo centrale o, invece, le zone di golenia e di sponda adiacenti.

Il procedimento di taratura è consistito nell'analisi dei risultati ottenuti con diversi set di coefficienti di scabrezza, e nella scelta di quelli che consentono di riprodurre al meglio i dati misurati disponibili.

L'analisi è stata eseguita sulla base dei 14 eventi storici disponibili negli ultimi 20 anni caratterizzati da un'altezza idrometrica maggiore o uguale a 5 m rispetto al riferimento locale dell'idrometro di Ponte degli Angeli a Vicenza (già riportati in Tab. 3.6).

Le simulazioni sono state condotte applicando come condizioni al contorno gli idrogrammi riportati nel paragrafo 3.5.1, ripartiti opportunamente nelle sezioni di monte dei corsi d'acqua schematizzati o lungo gli alvei in corrispondenza delle immissioni della rete minore o della localizzazione degli interbacini, secondo lo schema riportato in Fig. 4.1.

Come condizioni di valle, in corrispondenza del ponte sull'Autostrada A4, è stata applicata una scala delle portate desunta dallo studio [8], eseguito dalla scrivente per conto del Genio Civile di Vicenza. Essa è stata convenientemente aggiornata per tener conto del fatto che nel caso in esame si applica ad un modello bidimensionale, anziché unidimensionale come era in origine, ed è stata successivamente testata per verificare che gli effetti di questo aggiornamento fossero congruenti rispetto ai livelli calcolati a Ponte degli Angeli e rispetto ai profili idrometrici desumibili dal predetto studio.

Per stabilire lo stato iniziale del sistema, a cui si sovrappongono gli effetti delle successive propagazioni in moto vario delle piene considerate, è stato analizzato lo stato idrometrico del F. Bacchiglione a Ponte degli Angeli nella condizione di magra antecedente all'arrivo delle 14 piene storiche simulate. Sono state quindi predisposte due diverse simulazioni a moto permanente, caratterizzate da condizioni di deflusso in grado di riprodurre correttamente i livelli misurati a Ponte degli Angeli in condizioni di magra, in particolare:

1. $Q_{PA} = 22 \text{ m}^3/\text{s}$, così ripartiti: $12 \text{ m}^3/\text{s}$ dal Timonchio, $8 \text{ m}^3/\text{s}$ dall'Orolo, $1 \text{ m}^3/\text{s}$ dall'Igna e dall'Astichello, $5 \text{ m}^3/\text{s}$ dal Retrone;
2. $Q_{PA} = 35 \text{ m}^3/\text{s}$, così ripartiti: $17 \text{ m}^3/\text{s}$ dal Timonchio, $15 \text{ m}^3/\text{s}$ dall'Orolo, $2 \text{ m}^3/\text{s}$ dall'Igna, $1 \text{ m}^3/\text{s}$ dall'Astichello, $5 \text{ m}^3/\text{s}$ dal Retrone.

La prima condizione è stata utilizzata per 10 dei 14 eventi simulati: 01/11/2010, 11/11/2012, 07/11/2000, 04/05/2010, 20/09/1999, 28/11/2003, 20/12/1997, 31/01/2014, 04/10/2005, 11/08/2002. La seconda condizione è stata utilizzata nei rimanenti 4 eventi: 16/05/2013, 16/11/2014, 24/12/2010, 16/11/2010.

Per tutte le simulazioni effettuate, i risultati ottenuti dal modello idrodinamico sono stati messi a confronto con le contemporanee misure di livello e portata disponibili lungo le aste fluviali per gli eventi considerati, attraverso i seguenti strumenti:

- l'idrometro di Ponte Scartezini sul T. Timonchio, disponibile con misure di livello idrometrico e portata ricostruita in base ad una scala delle portate (par. 2.1.2) per 3 eventi su 14, essendo stato installato successivamente alla piena del 1 novembre 2010.
- l'idrometro di Ponte del Marchese sul F. Bacchiglione, disponibile con misure di livello idrometrico per 12 dei 14 eventi considerati, risultando mancanti le misure per gli eventi del 20 dicembre 1997 e dell'11 agosto 2002;
- l'idrometro di Ponte degli Angeli sul F. Bacchiglione, disponibile con misure di livello idrometrico e portata ricostruita in base ad una scala delle portate (par. 2.1.2) per tutti gli eventi considerati.

In base a tali confronti, ai parametri che esprimono le resistenze al moto della corrente sono stati, in definitiva, attribuiti i seguenti valori:

- per il Timonchio, valori di $18 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $12 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone golenali e di sponda, nel tratto compreso tra Ponte Scartezini e la confluenza con il Bacchiglioncello; valori di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $17 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone golenali e di sponda, nel tratto compreso tra la confluenza con il Bacchiglioncello e il ponte di Viale Diaz a Vicenza;
- per il Bacchiglione, valori di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $16 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone di sponda, nel tratto compreso tra Viale Diaz e Ponte degli Angeli; valori di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $18.5 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone di sponda, nel tratto compreso tra Ponte degli Angeli e il ponte di Via dello Stadio; valori di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $12 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le ampie zone golenali nel tratto compreso tra il ponte di Via dello Stadio e il ponte sull'Autostrada A4;
- per l'Igna, valori di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $17 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone di sponda, nel tratto compreso tra il ponte di Via Igna a Novoledo e la confluenza con il Timonchio;
- per l'Orolo, valori di $18 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $12 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone golenali e di sponda, nel tratto compreso tra il ponte di via Giarre a Isola Vicentina e lo scarico della centrale Lobbia a Vicenza; valori di $25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone di sponda, nel tratto tra lo scarico della centrale Lobbia e la confluenza con il Bacchiglione a monte di Vicenza;
- per l'Astichello, valori di $25 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo centrale e di $20 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per le zone di sponda, nel tratto compreso tra il ponte di Via Cricoli e la confluenza con il Bacchiglione;
- per il Retrone, schematizzato come una fila di elementi unidimensionali, valori di $15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ per l'alveo e le zone di sponda;
- agli elementi bidimensionali dello schema di calcolo che descrivono le aree agricole e i parchi cittadini di Vicenza è stato assegnato un valore di $15 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$, alle aree urbanizzate sono stati assegnati i valori di 4, 7 e $10 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ a seconda della densità di insediamenti, alle infrastrutture stradali e ferroviarie sono stati assegnati rispettivamente valori di 65 e $40 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati ottenuti, con riferimento alla scelta definitiva del set di coefficienti di scabrezza.

La verifica della taratura del modello idrodinamico è sinteticamente riportata nei diagrammi a dispersione di Fig. 4.3 e Fig. 4.4 e, per quanto riguarda la sezione maggiormente significativa, ossia quella di Ponte degli Angeli, in Tab. 4.1.

A Ponte Scartezini, le misure di livello e portata mostrano un buon accordo tra i dati misurati e i dati calcolati con il modello idrodinamico (Fig. 4.3). I livelli sono lievemente sovrastimati ma le portate risultano quasi coincidenti con quelle misurate. Questo risultato era d'altra parte

prevedibile dato che in questa sezione si assegnano le portate calcolate con il modello idrologico descritto nel capitolo 3. Si fa presente che, rispetto alla configurazione geometrica illustrata nel precedente paragrafo 4.1, le simulazioni sono state effettuate con una versione leggermente diversa del modello, in cui non è inserita la traversa nel Timonchio in corrispondenza dell'opera di presa. Questa variazione si è resa necessaria per poter confrontare i risultati modellistici con i dati misurati, che si riferiscono ad eventi accaduti prima della realizzazione della traversa stessa.

A Ponte del Marchese i risultati migliori si ottengono per gli eventi più importanti, in particolare quello del novembre 2012, del maggio 2013 e del novembre 2000 (rispettivamente il 2°, 3° e 4° della serie storica a Ponte degli Angeli) dove gli errori sono contenuti entro i 15 cm. Buoni risultati si ottengono anche per l'evento di novembre 2003 (il 9° della serie storica) con un errore di 11 cm in sovrastima e per l'evento di ottobre 2005 (il 12° della serie storica), con un errore di 5 cm in sottostima. L'evento del 1 novembre 2010 presenta invece un errore di 23 cm in sovrastima: ciò è legato al fatto che l'evento storico causò delle rotte arginali nel comune di Caldogno, a monte della sezione considerata, che non sono state simulate con il modello idrodinamico. La geometria utilizzata infatti è quella aggiornata a seguito dei lavori di rinforzo arginale e rialzo in quota eseguiti a seguito di quell'evento ad opera del Genio Civile di Vicenza. Pertanto è lecito attendersi dei livelli più elevati a Ponte del Marchese, in quanto risulta maggiore la portata che transita verso valle rispetto a quella che si verificò realmente nel novembre del 2010.

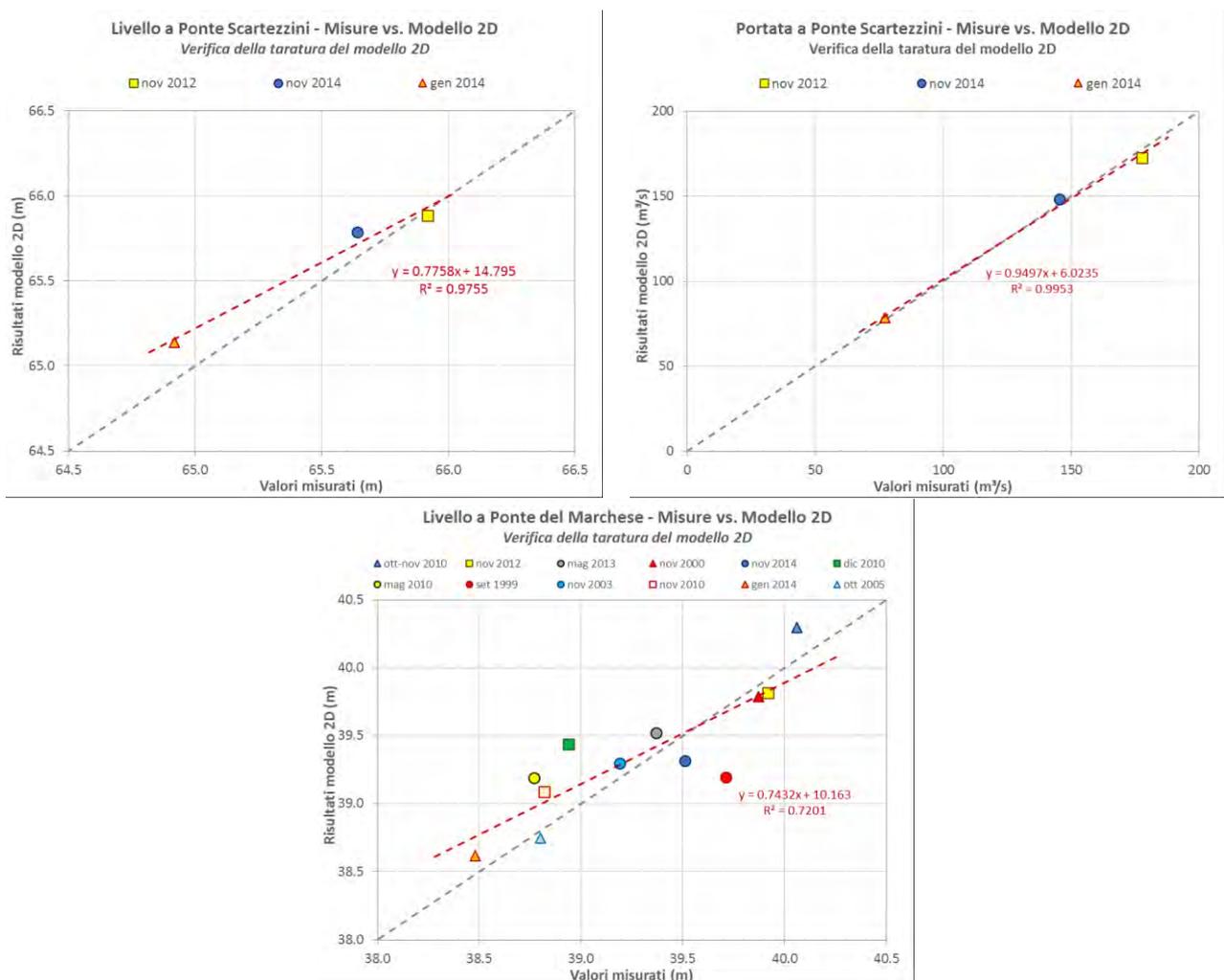


Fig. 4.3 – Verifica della taratura del modello idrodinamico uni-bidimensionale: confronto tra i valori al colmo di livello misurato e calcolato e tra i valori al colmo di portata misurata e calcolata nelle sezioni di Ponte Scartezzini e, per quanto riguarda i soli livelli, nella sezione di Ponte del Marchese per i 14 eventi reali simulati.

Analoghe considerazioni possono essere fatte per la sezione di Ponte degli Angeli (Fig. 4.4), dove l'evento del 1 novembre 2010 risulta sovrastimato di 14 cm nel livello idrometrico e di circa 43 m³/s nella portata fluente. Risultati più accurati si ottengono per gli eventi di novembre 2012, del maggio 2013 e del novembre 2000 (rispettivamente il 2°, 3° e 4° della serie storica) dove gli errori sono contenuti entro i 5 cm nei livelli ed entro gli 11 m³/s nelle portate (Tab. 4.1). Per gli altri eventi si riscontrano errori entro i 15 cm nei livelli ed entro i 10 m³/s nelle portate ad eccezione delle piene di maggio 2010 (27 cm in sottostima) e di ottobre 2005 e agosto 2002 (21 cm e 33 cm in sottostima). Considerando globalmente i 14 eventi storici simulati, l'errore medio sui livelli è di 7 cm in sottostima mentre l'errore medio sulle portate è di circa 2 m³/s in sovrastima.

Nelle figure da Fig. 4.5 a Fig. 4.18 si riportano infine i risultati delle simulazioni in termini di andamento nel tempo dei livelli e delle portate a Ponte Scartezini, Ponte del Marchese e Ponte degli Angeli.

I risultati ottenuti sono stati giudicati complessivamente soddisfacenti. Si può ritenere che il modello matematico, in relazione agli obiettivi prefissati nell'ambito del presente studio, sia in grado di riprodurre con sufficiente accuratezza l'idrodinamica del sistema fluviale analizzato sia in assenza che in presenza del bacino di laminazione, come verrà esposto successivamente nel capitolo 6.

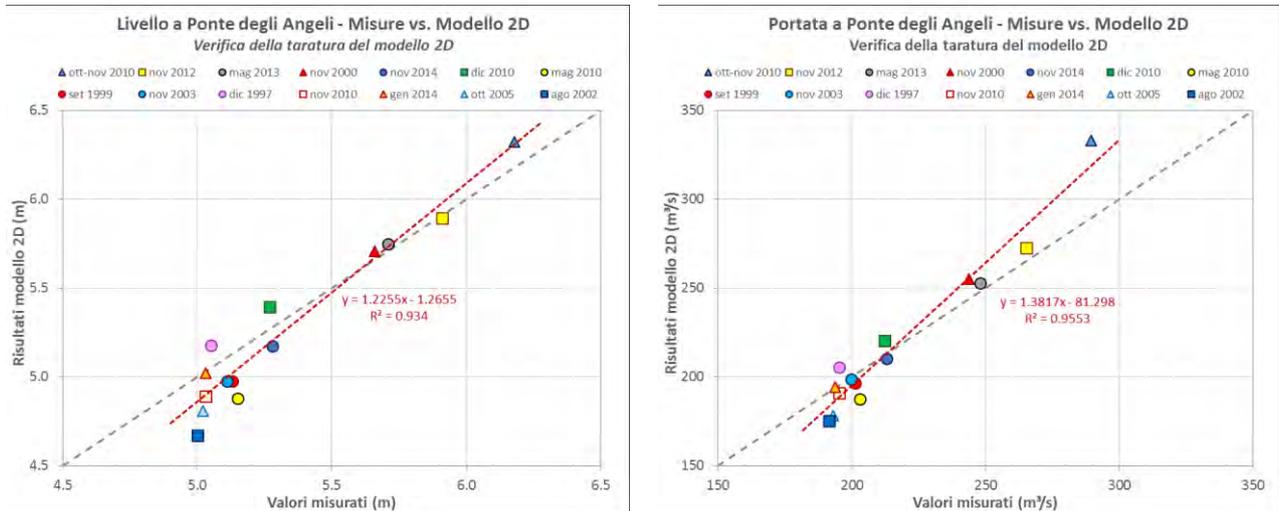


Fig. 4.4 – Verifica della taratura del modello idrodinamico uni-bidimensionale: confronto tra i valori al colmo di livello misurato e calcolato e tra i valori al colmo di portata misurata e calcolata per il Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

Verifica della taratura del modello bidimensionale a Ponte degli Angeli								
Evento	Livello sull'asta idrometrica				Portata			
	H misurata (m)	H modello (m)	errore (m)	errore (%)	Q misurata (m ³ /s)	Q modello (m ³ /s)	errore (m ³ /s)	errore (%)
ott-nov 2010	6.18	6.32	+0.14	+2.3%	289.6	333.0	+43.4	+15.0%
nov 2012	5.91	5.89	-0.02	-0.3%	265.3	272.4	+7.1	+2.7%
mag 2013	5.71	5.75	+0.04	+0.6%	248.1	252.6	+4.5	+1.8%
nov 2000	5.66	5.71	+0.05	+0.8%	243.9	255.1	+11.2	+4.6%
nov 2014	5.28	5.17	-0.11	-2.1%	213.0	210.2	-2.8	-1.3%
dic 2010	5.27	5.39	+0.12	+2.3%	212.2	220.2	+8.0	+3.8%
mag 2010	5.15	4.88	-0.27	-5.3%	202.9	187.5	-15.4	-7.6%
set 1999	5.13	4.98	-0.15	-3.0%	201.4	196.4	-4.9	-2.5%
nov 2003	5.11	4.97	-0.14	-2.6%	199.9	198.7	-1.2	-0.6%
dic 1997	5.05	5.17	+0.12	+2.5%	195.3	205.5	+10.1	+5.2%
nov 2010	5.03	4.89	-0.14	-2.8%	195.3	190.6	-4.7	-2.4%
gen 2014	5.03	5.02	-0.01	-0.2%	193.8	194.0	+0.1	+0.1%
ott 2005	5.02	4.81	-0.21	-4.3%	193.1	178.1	-15.0	-7.8%
ago 2002	5.00	4.67	-0.33	-6.6%	191.6	175.2	-16.4	-8.5%

Tab. 4.1 – Confronto tra i valori al colmo dei livelli e delle portate per il Bacchiglione a Ponte degli Angeli nei 14 eventi storici simulati, con il calcolo dell'errore assoluto e dell'errore relativo rispetto ai valori misurati.

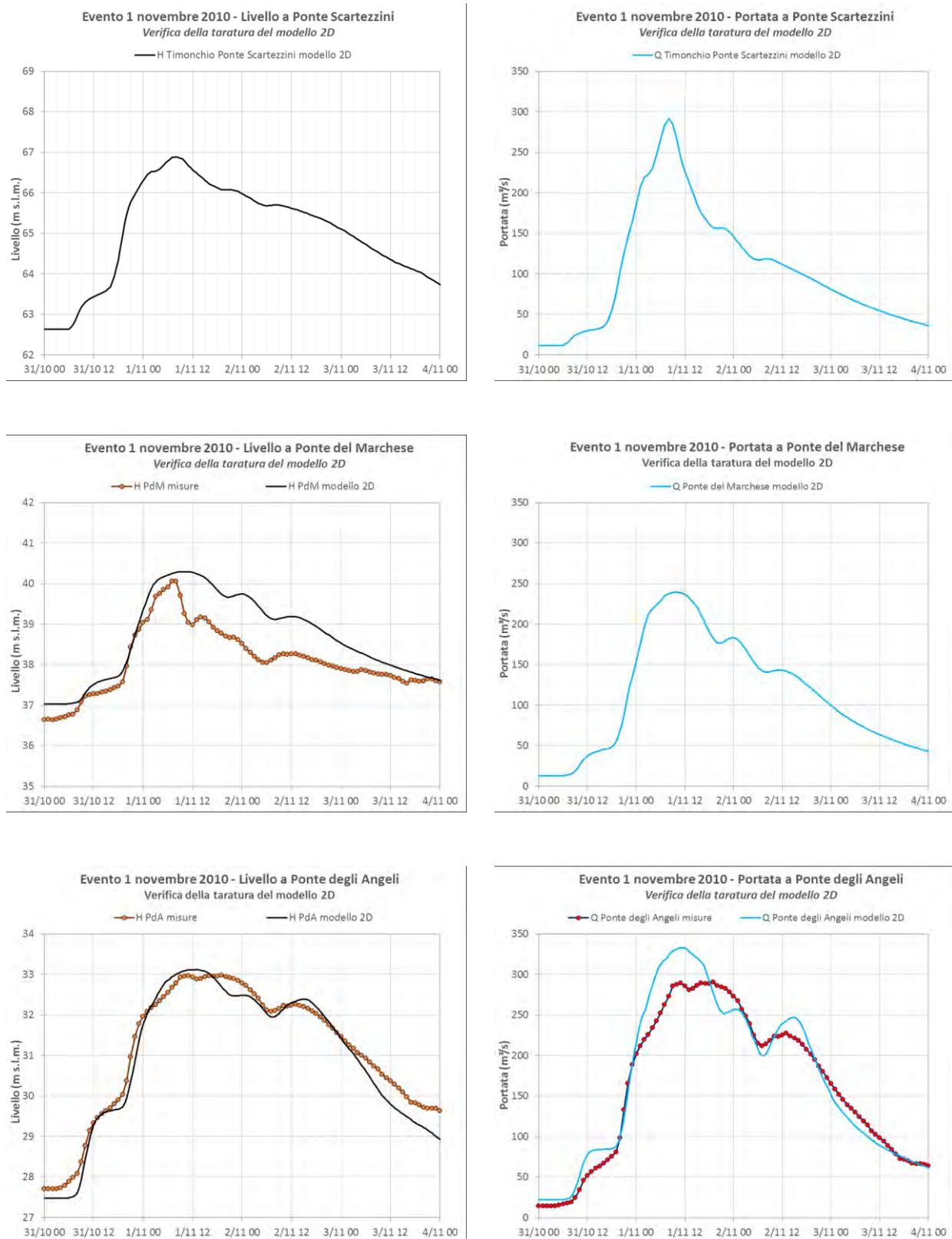


Fig. 4.5 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **ottobre-novembre 2010**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

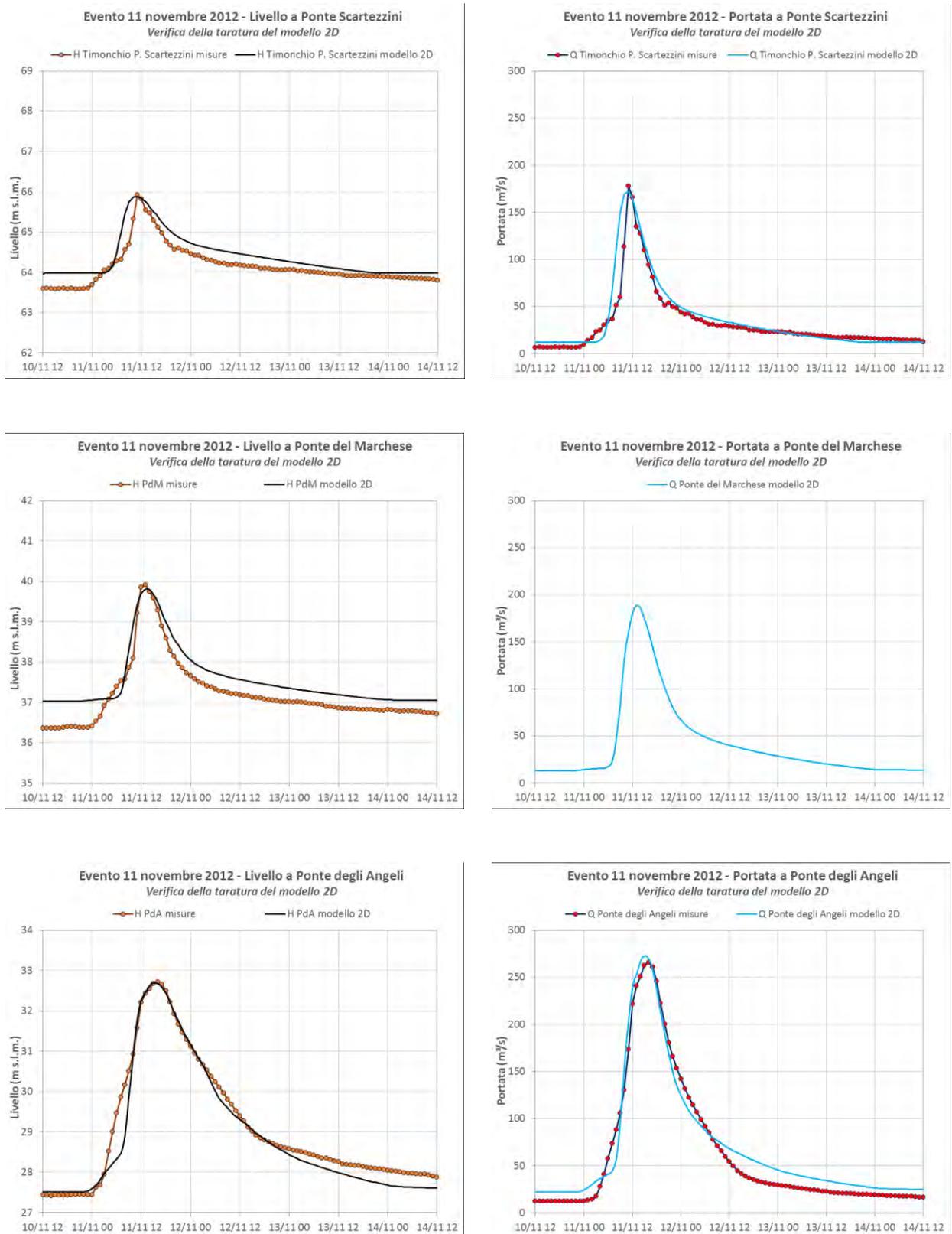


Fig. 4.6 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **novembre 2012**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldagno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

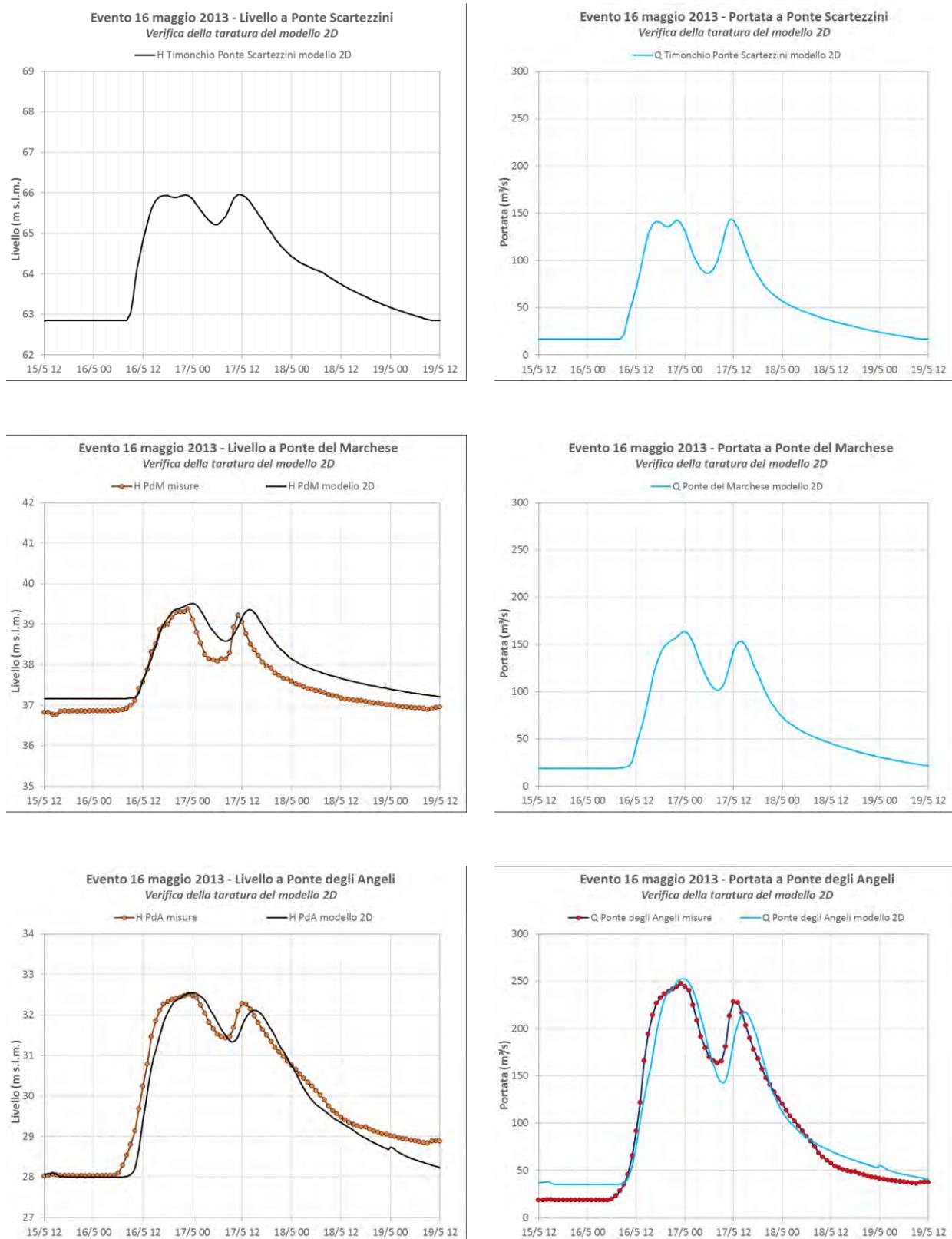


Fig. 4.7 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **maggio 2013**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldagno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

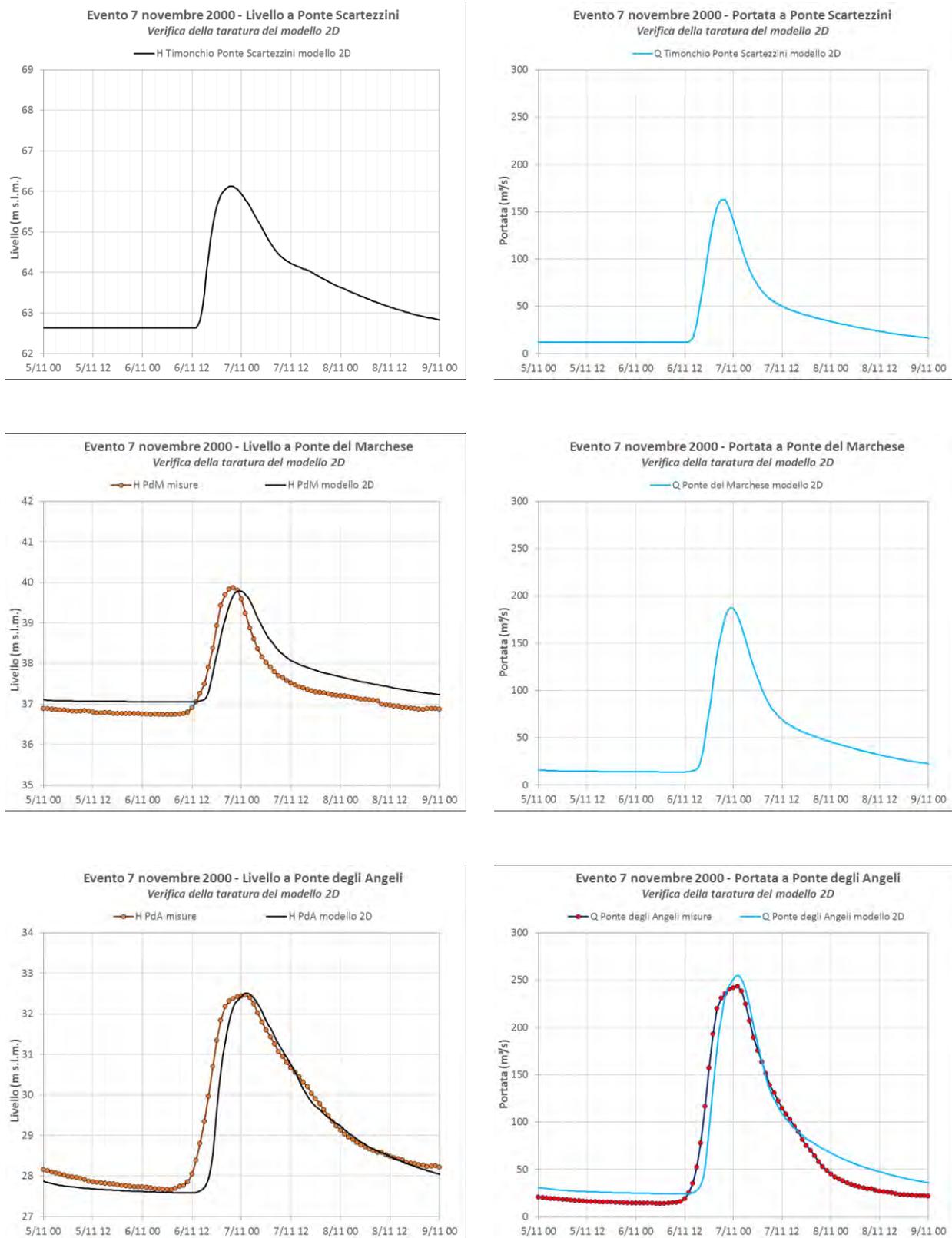


Fig. 4.8 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **novembre 2000**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

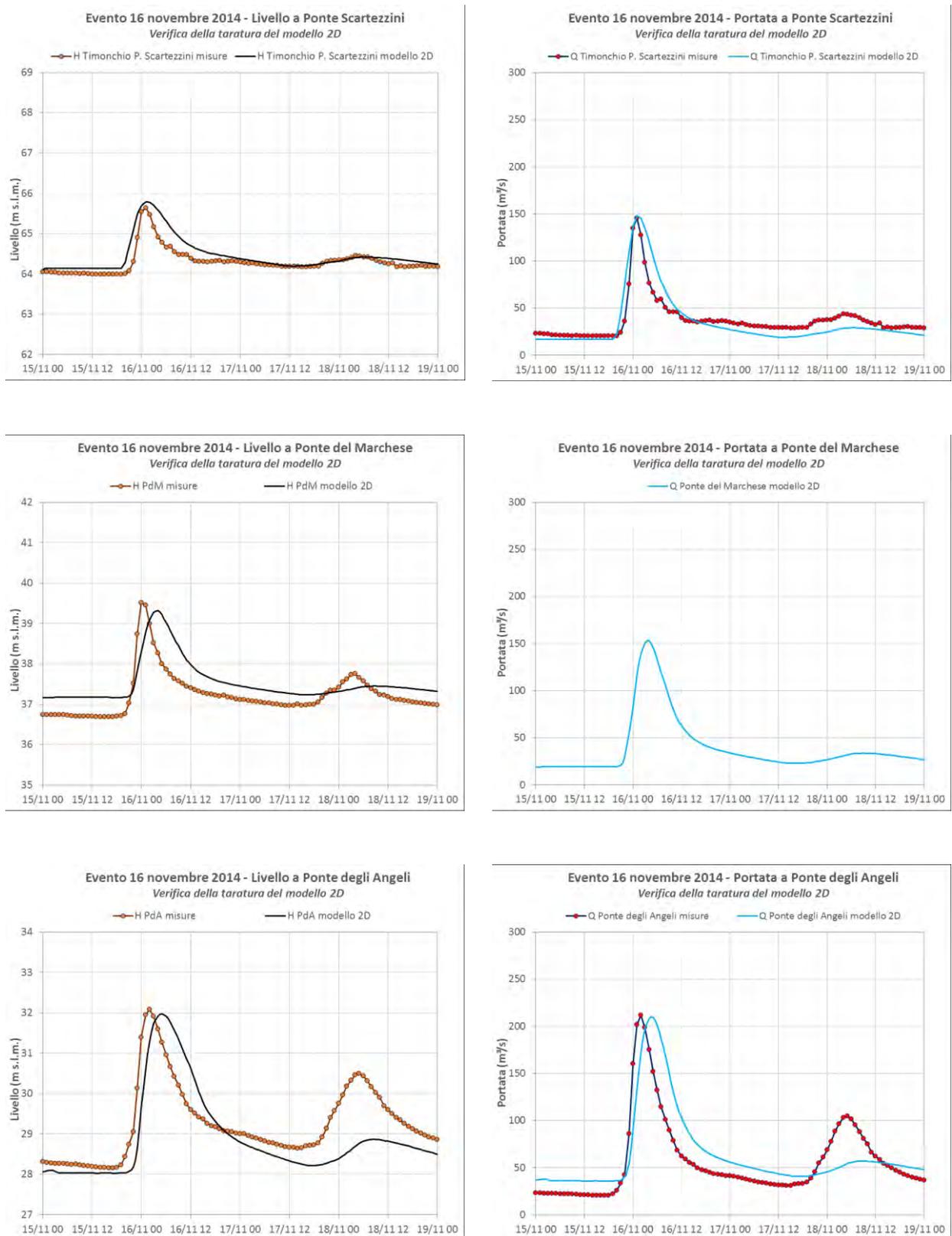


Fig. 4.9 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **novembre 2014**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldagno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli misurati, livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

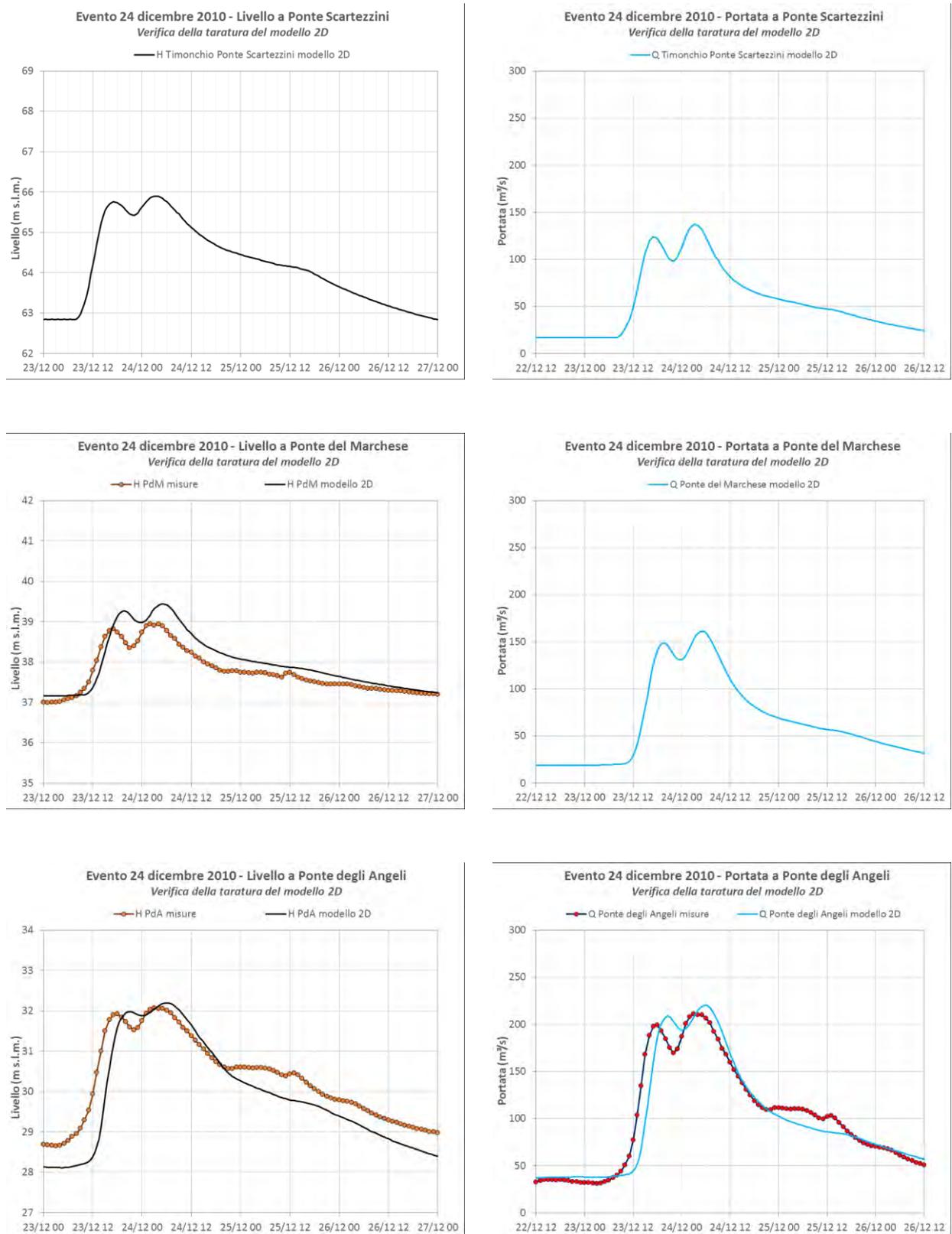


Fig. 4.10 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **dicembre 2010**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

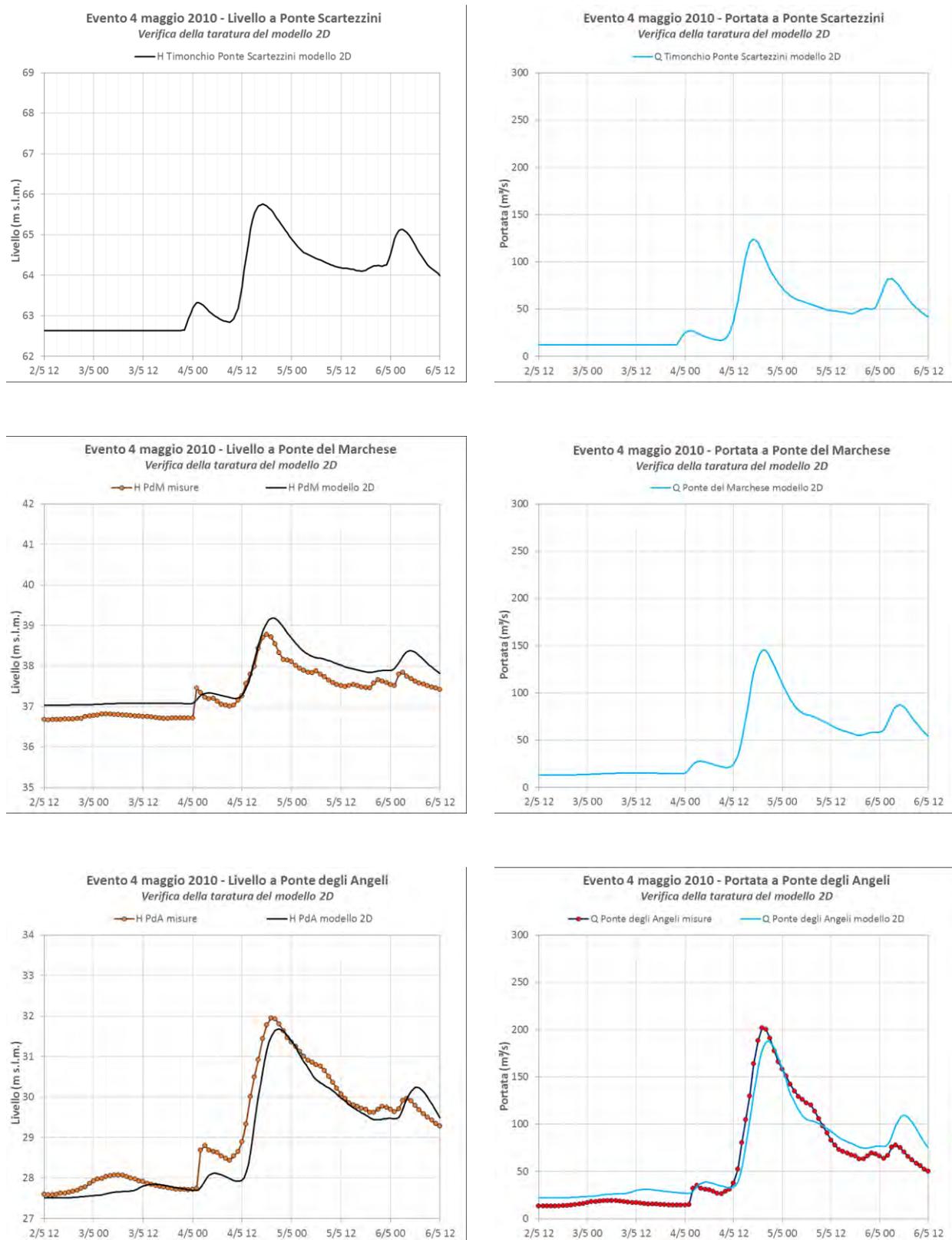


Fig. 4.11 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **maggio 2010**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

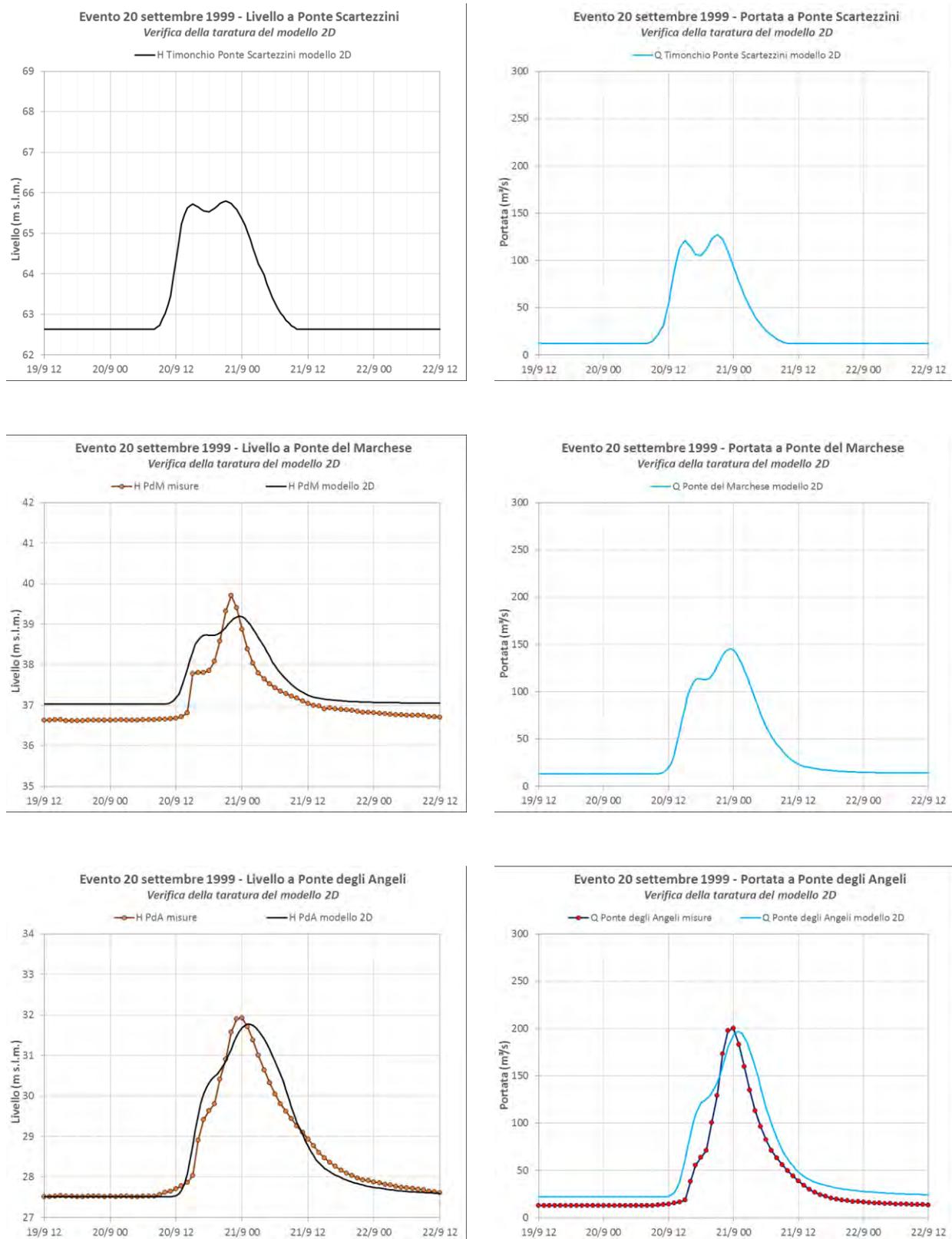


Fig. 4.12 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **settembre 1999**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezзинi (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

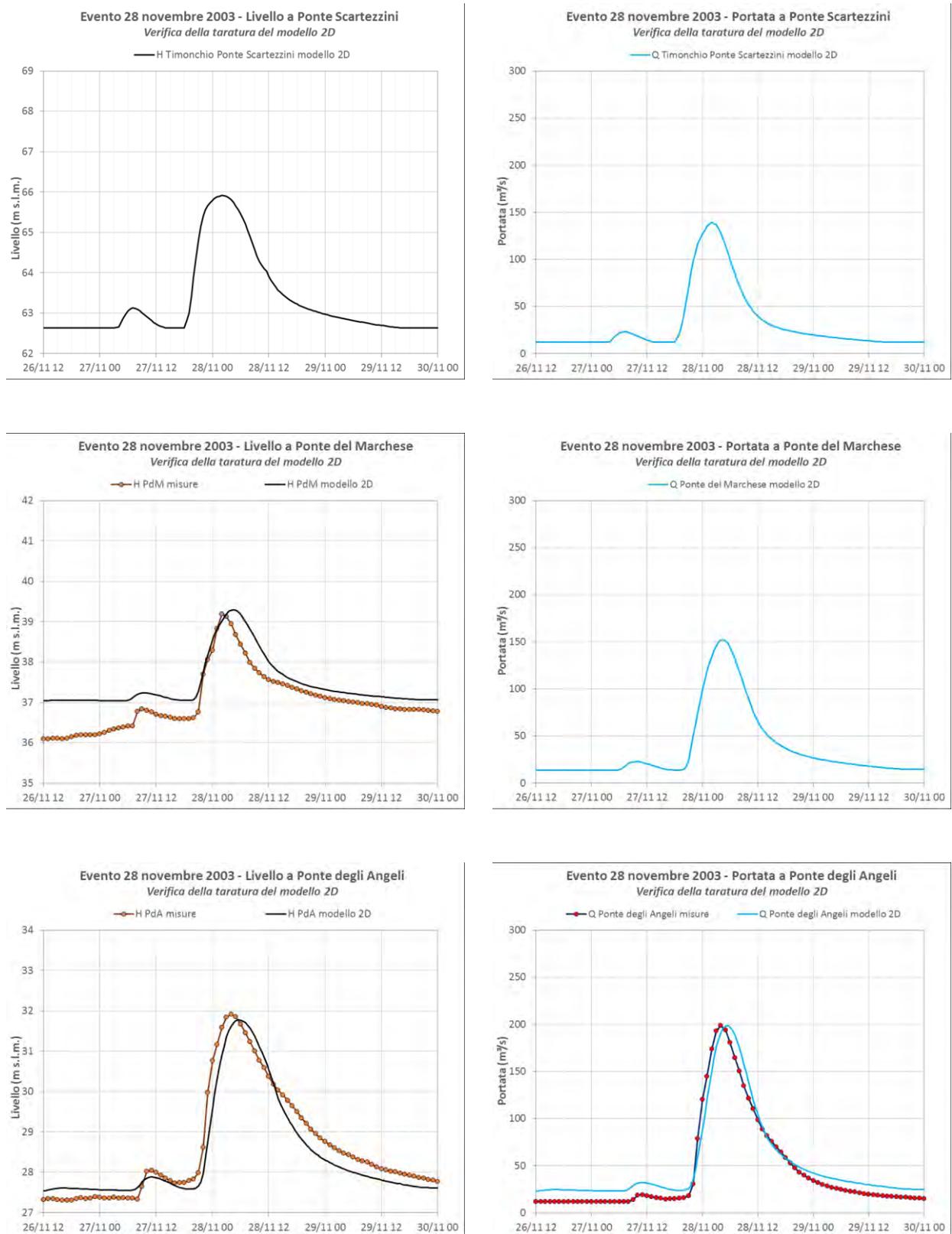


Fig. 4.13 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **settembre 2003**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldagno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

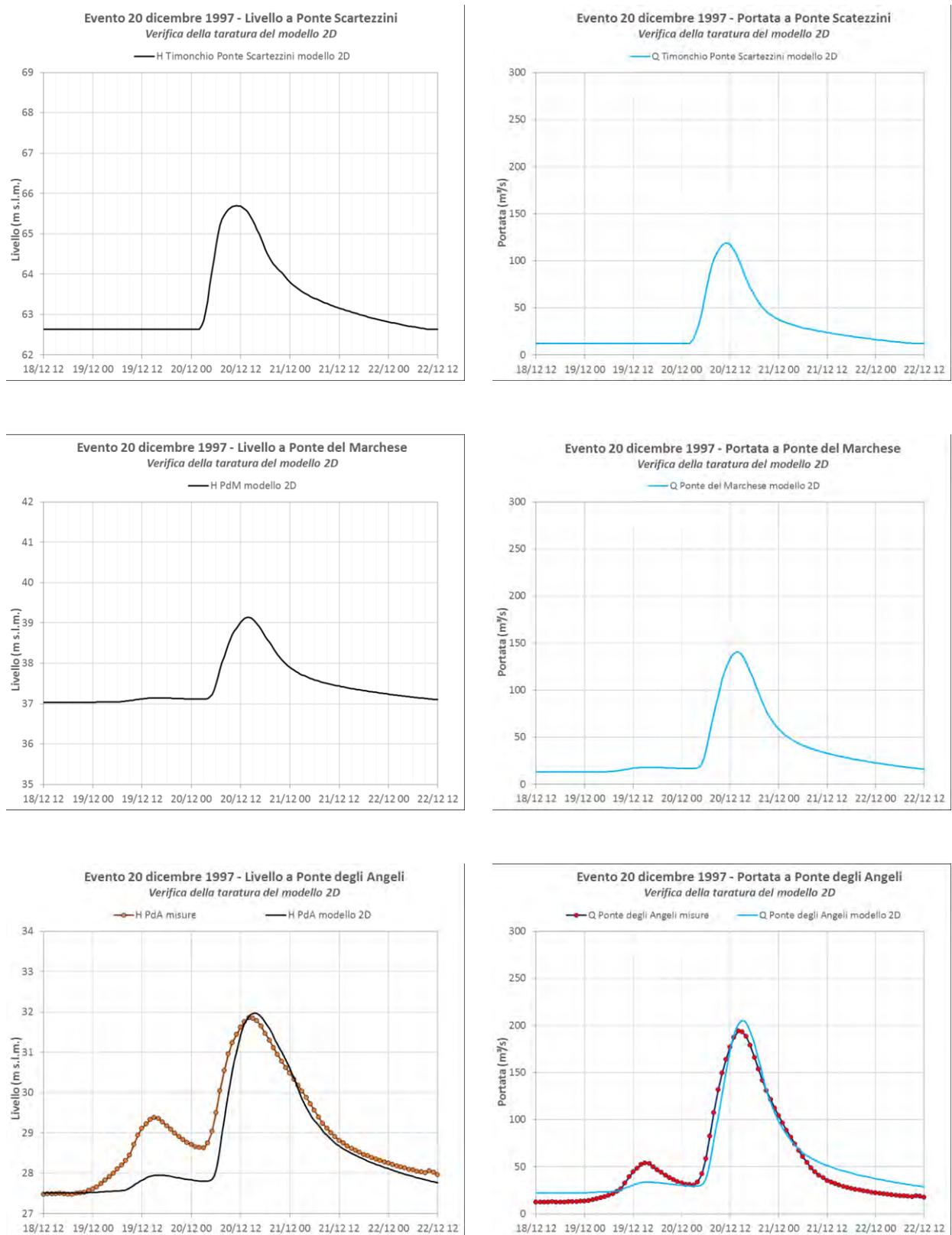


Fig. 4.14 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **dicembre 1997**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

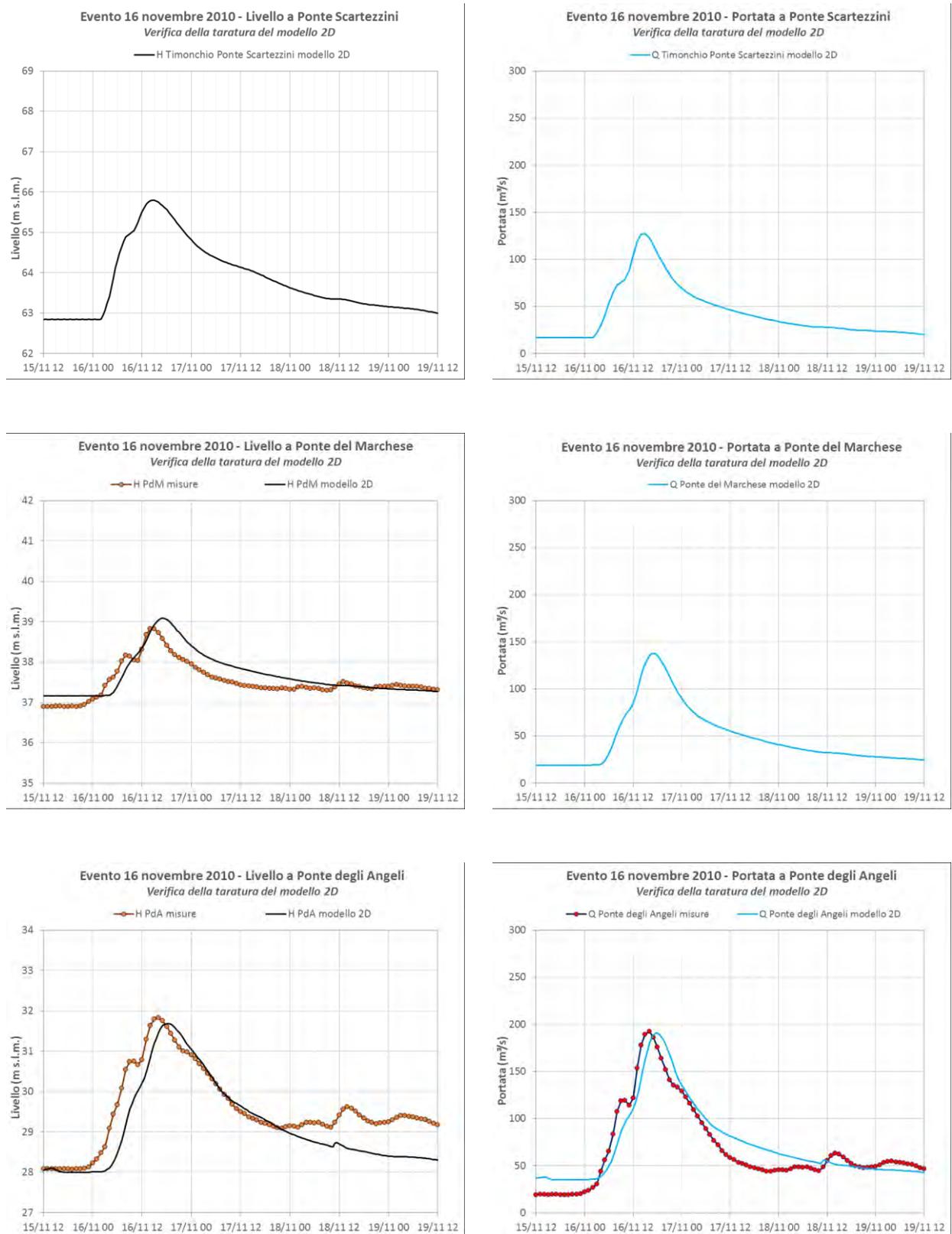


Fig. 4.15 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **novembre 2010**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

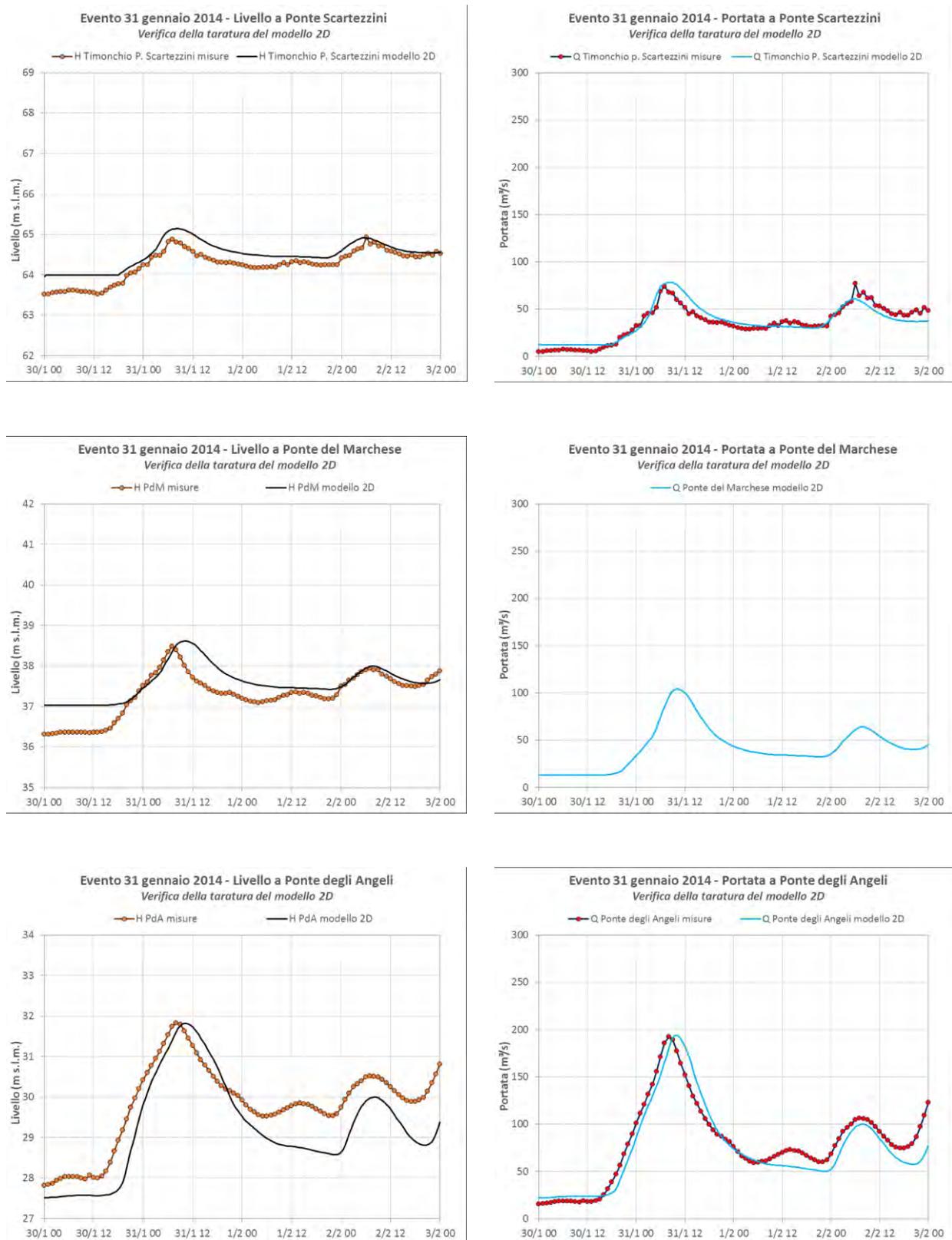


Fig. 4.16 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **gennaio 2014**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli misurati, livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

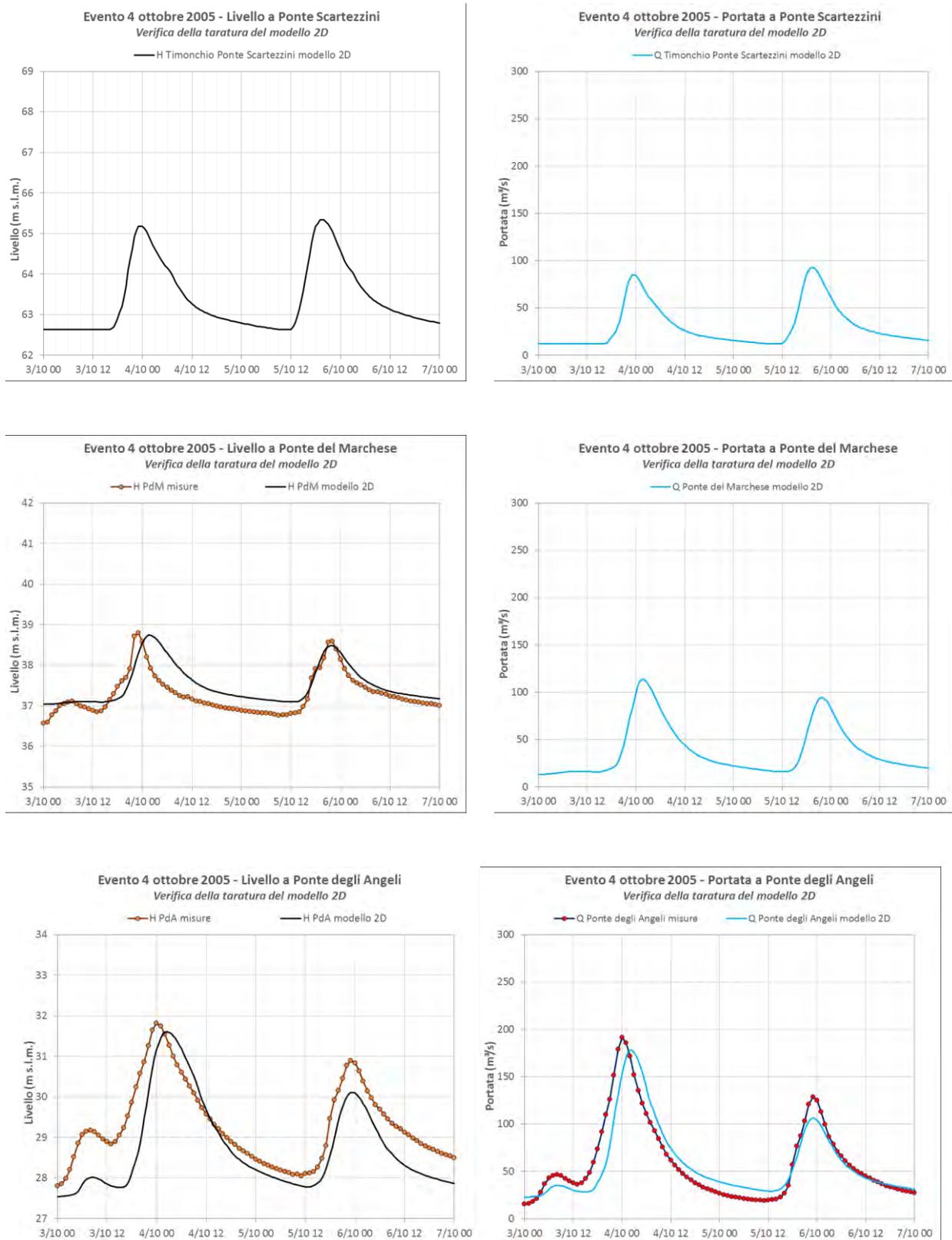


Fig. 4.17 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **ottobre 2005**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli misurati, livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

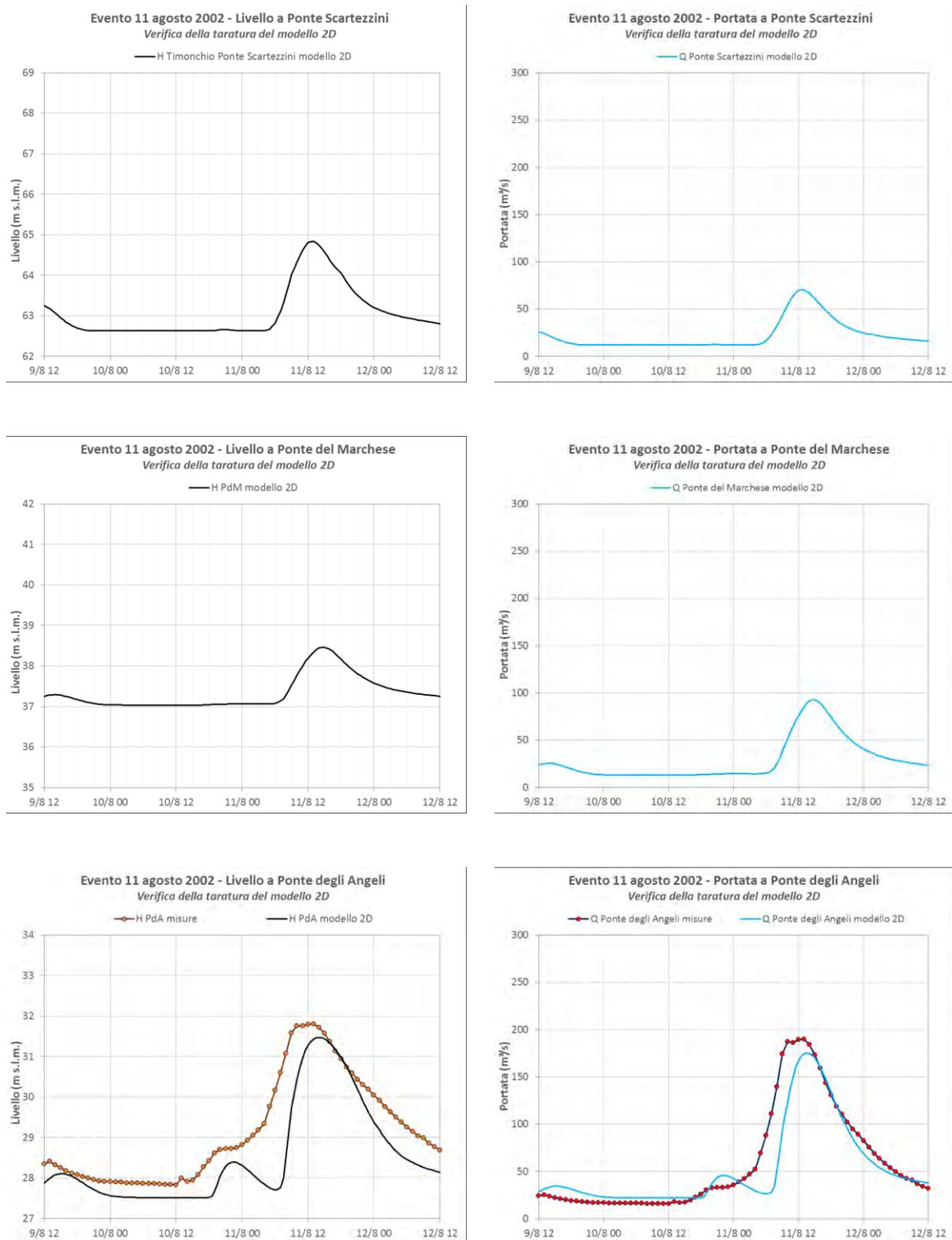


Fig. 4.18 – Confronto tra i risultati del modello idrodinamico uni-bidimensionale (livelli e portate) e le registrazioni dei livelli idrometrici e della scala delle portate per l'evento di **agosto 2002**, nelle sezioni del Timonchio a monte dell'opera di presa del bacino di Caldogno in corrispondenza del Ponte di via Scartezzini (livelli e portate calcolati), del Timonchio a Ponte del Marchese (livelli e portate calcolati) e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli (livelli e portate misurati, livelli e portate calcolati).

4.3 Schematizzazione dell'opera di presa e della traversa in alveo

Il modello bidimensionale descritto ai punti precedenti, pur se adeguato per descrivere la propagazione delle onde di piena nel sistema considerato, non è sufficientemente dettagliato per valutare le condizioni di deflusso locali delle massime portate nel Timonchio davanti all'opera di presa ed il funzionamento dell'opera di presa stessa durante la fase di derivazione della portata verso il bacino. Per ottenere tali valutazioni sarebbe necessario disporre di un congruo dataset di misure dirette di livello e di portata, che consentano da una parte di definire la scala delle portate nel Timonchio davanti all'opera di presa, dall'altra di valutare con accuratezza le portate immesse nella cassa nelle diverse condizioni di esercizio.

In mancanza di tali dati (per acquisire i quali è stata installata idonea strumentazione, ma che saranno disponibili solo nei prossimi anni, quando l'opera sarà interessata dagli eventi di piena a venire) si è fatto ricorso ai risultati del modello bidimensionale ai volumi finiti sviluppato in sede di progettazione esecutiva [7], in grado di descrivere il campo di moto bidimensionale anche in presenza di transizioni tra condizioni subcritiche e supercritiche della corrente e viceversa. La griglia di calcolo di questo modello di dettaglio presenta maglie con dimensioni variabili tra 7.5 cm e 20 m, e si estende su un tratto di Timonchio di circa 1200 m a cavallo dell'opera di presa.

Grazie ai risultati del modello bidimensionale ai volumi finiti, di cui in Fig. 4.19 si riporta un esempio di output grafico, è stato possibile definire sinteticamente le leggi che governano il funzionamento idraulico della traversa in alveo e dell'opera di presa, ed inserirle nel modello idrodinamico agli elementi finiti, utilizzato nel presente studio, mediante appositi "tronchi speciali".

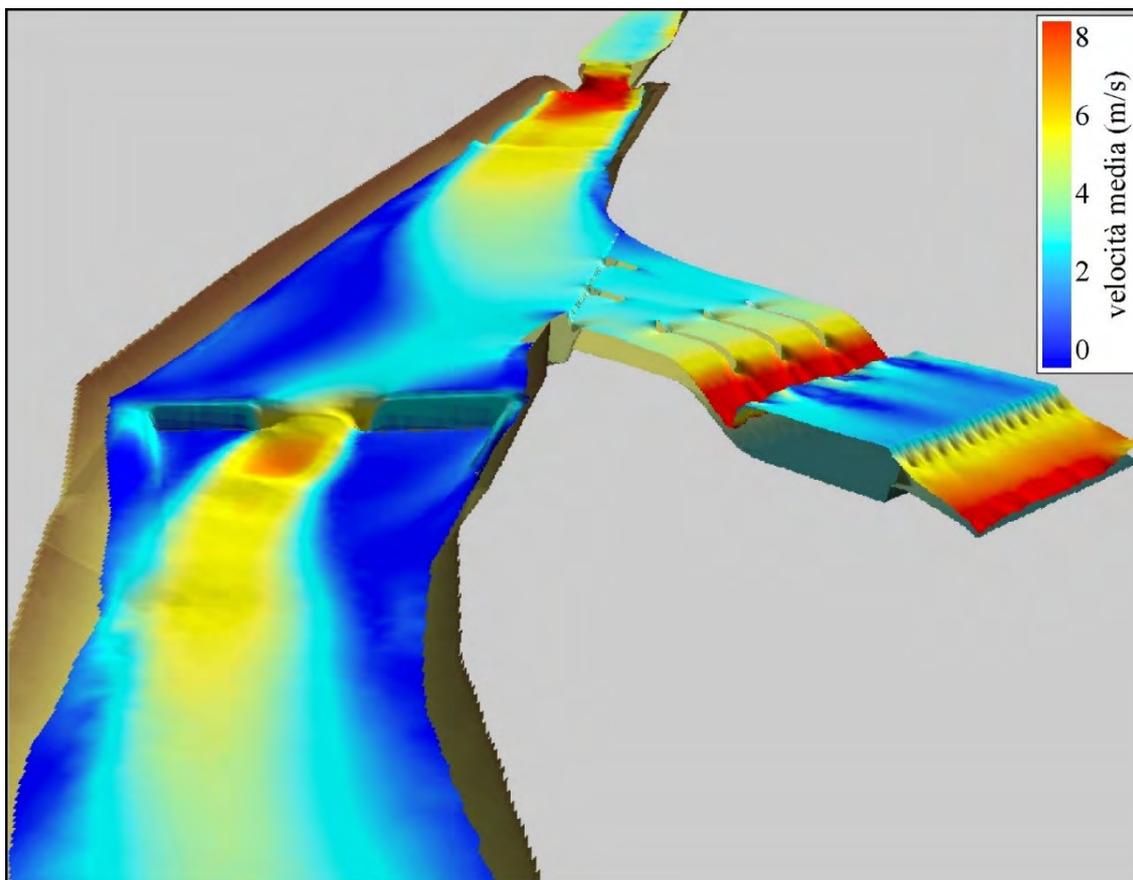


Fig. 4.19 – Veduta tridimensionale delle condizioni di deflusso calcolate con il modello bidimensionale ai volumi finiti nell'alveo del Timonchio e nell'opera di presa del bacino di laminazione, nella situazione di progetto con paratoie di derivazione aperte, per un evento di piena con portata massima di $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Immagine tratta dal progetto esecutivo [7].

E' stato possibile, inoltre, definire una scala delle portate nel Timonchio a monte della traversa che sostiene i livelli, ossia immediatamente a valle dell'opera di presa, che consente di stimare, per ogni livello che si stabilisce di fronte alla presa stessa, la corrispondente portata che dalla sezione dell'opera di presa si propaga verso valle.

A titolo di esempio, la Fig. 4.20, tratta dalla relazione idraulica allegata al Progetto Esecutivo, rappresenta i profili idrometrici valutati con il modello di dettaglio per diverse portate fluenti nella situazione a paratoie chiuse.

La Fig. 4.21 rappresenta a sua volta la scala delle portate calcolata con il modello di dettaglio a monte della traversa, e il confronto con quella proposta nel Progetto Definitivo. Si osserva che le due curve sono molto simili, anche se quella qui proposta indica, a parità di portata, livelli che sono sistematicamente maggiori di circa 20 cm.

Le successive figure Fig. 4.22÷Fig. 4.24 rappresentano gli stessi risultati ma ottenuti con le paratoie completamente aperte in modo da derivare nella cassa la massima portata possibile.

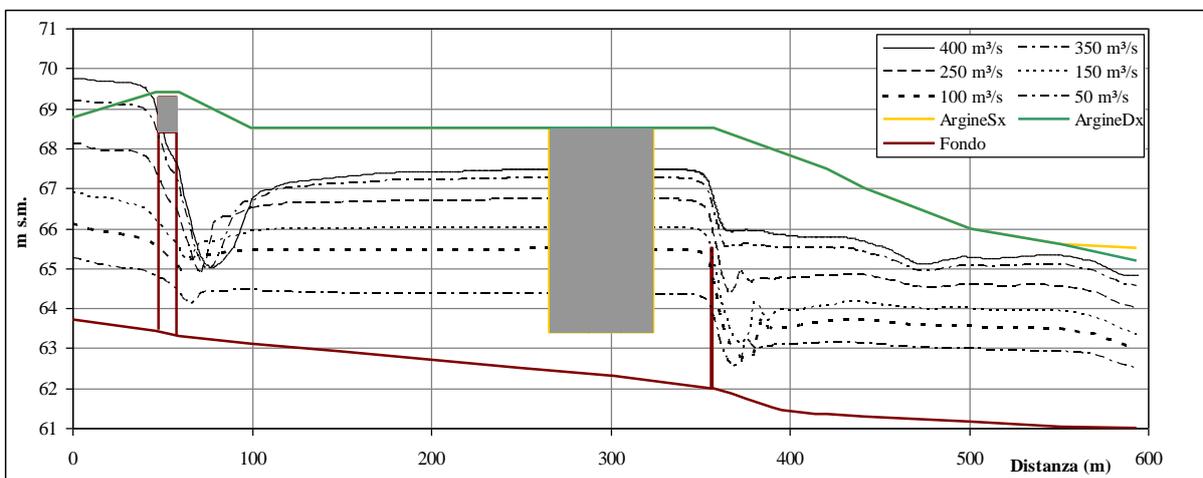
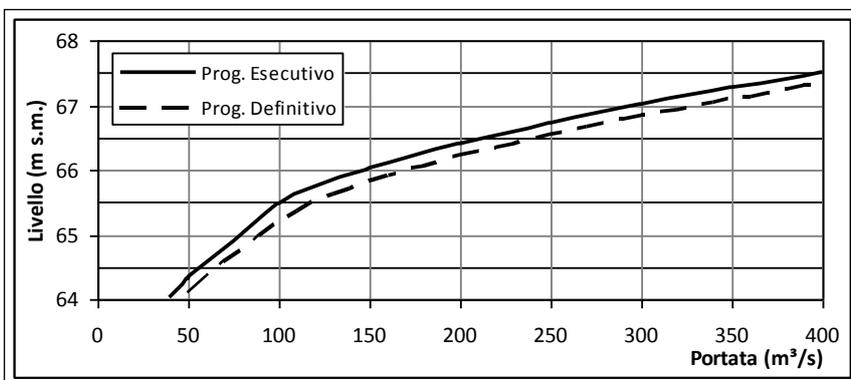


Fig. 4.20 – Profili idrometrici calcolati nel Timonchio con il modello bidimensionale ai volumi finiti per valori della portata fluente variabili da 50 m³/s a 400 m³/s, nella situazione con paratoie di derivazione chiuse. In grigio è evidenziato il tratto in cui si colloca l'opera di presa. Immagine tratta dal progetto esecutivo [7].



Portata (m ³ /s)	Prog. Def. (m s.m.)	Prog. Esec. (m s.m.)
50	64.10	64.33
100	65.18	65.49
150	65.82	66.03
200	66.22	66.41
250	66.55	66.73
300	66.83	67.02
350	67.09	67.27
400	67.33	67.50

Fig. 4.21 – Scala delle portate calcolata nel Timonchio a monte della traversa di sostegno dei livelli, determinata con il modello bidimensionale ai volumi finiti per valori della portata fluente variabili da 50 m³/s a 400 m³/s, nella situazione con paratoie di derivazione chiuse, a confronto con quella valutata nel Progetto Definitivo. Immagine tratta dal progetto esecutivo [7].

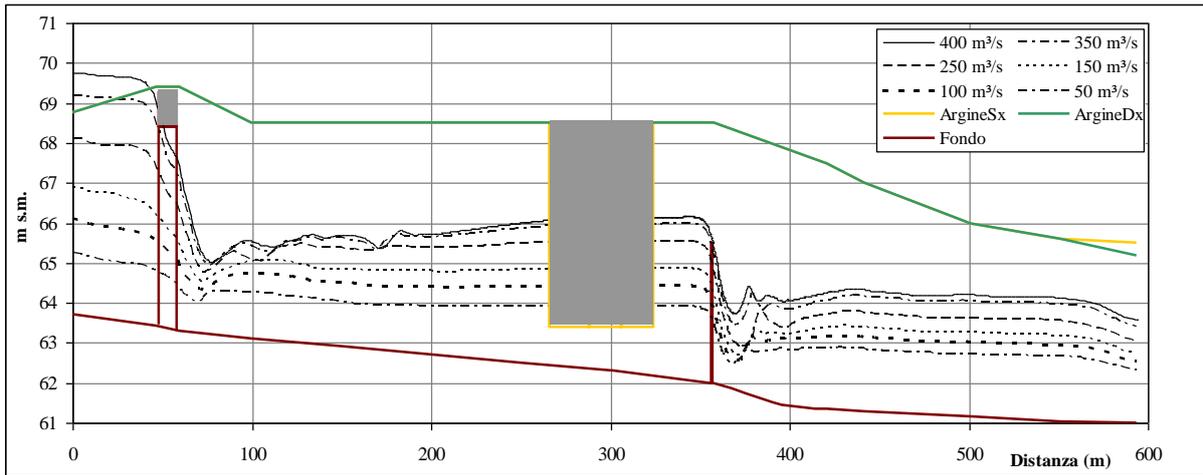


Fig. 4.22 – Profili idrometrici calcolati nel Timonchio con il modello bidimensionale ai volumi finiti per valori della portata fluente variabili da 50 m³/s a 400 m³/s, nella situazione con paratoie di derivazione aperte. Immagine tratta dal progetto esecutivo [7].

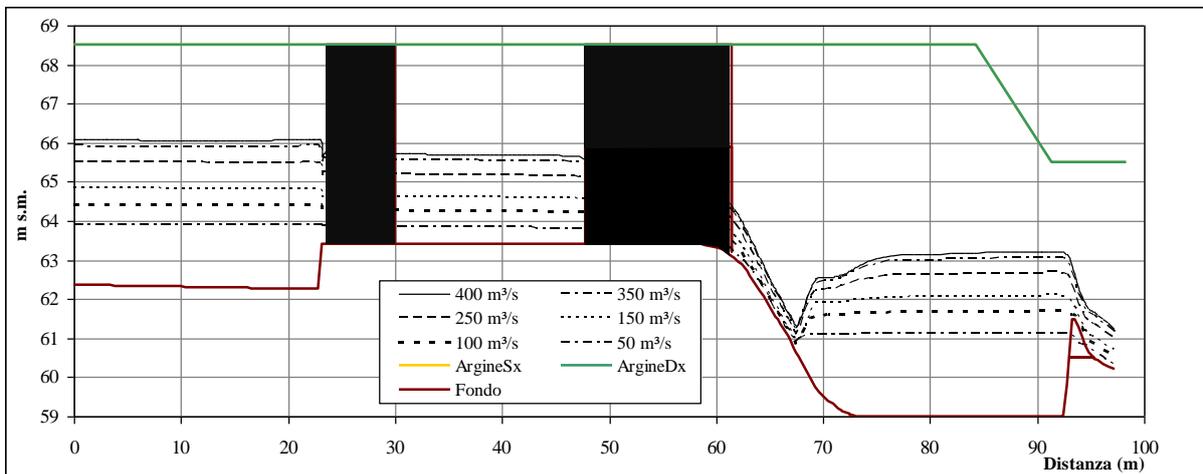
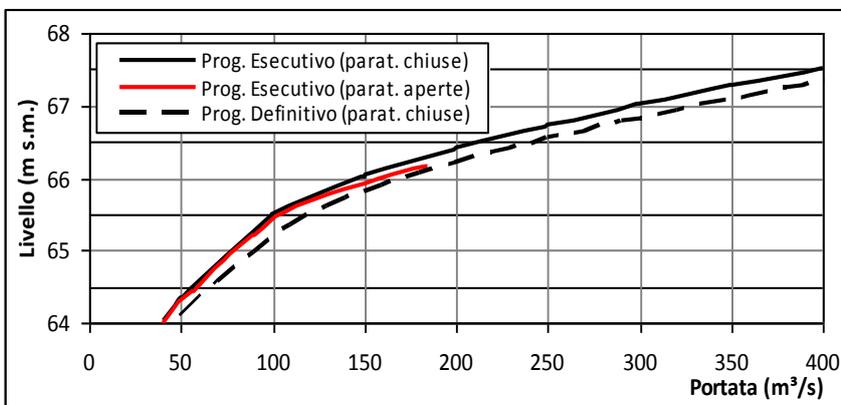


Fig. 4.23 – Profili idrometrici calcolati nell’opera di presa con il modello bidimensionale ai volumi finiti per valori della portata fluente variabili da 50 m³/s a 400 m³/s, nella situazione con paratoie di derivazione aperte. Immagine tratta dal progetto esecutivo [7].



Portata (m ³ /s)	Prog. Def. (par. chiuse) (m s.m.)	Prog. Esec. (par. chiuse) (m s.m.)	Prog. Esec. (par. aperte) (m s.m.)
50	64.10	64.33	64.31
100	65.18	65.49	65.43
150	65.82	66.03	65.93
180	-	-	66.13
200	66.22	66.41	-
250	66.55	66.73	-
300	66.83	67.02	-
350	67.09	67.27	-
400	67.33	67.50	-

Fig. 4.24 – Andamenti dei livelli idrometrici calcolati nel Timonchio a monte della briglia, utilizzando il modello bidimensionale ai volumi finiti, per valori della portata fluente variabili da 50 m³/s a 400 m³/s, nelle situazioni con paratoie di derivazione chiuse e aperte, a confronto con quello valutato nel Progetto Definitivo (paratoie chiuse). Immagine tratta dal progetto esecutivo [7].

5 Valutazione dei parametri funzionali alle logiche di gestione

5.1 La portata limite e la portata di riferimento per il Bacchiglione a Ponte degli Angeli

5.1.1 Il profilo attuale delle sommità arginali nel tratto cittadino di Vicenza

Per valutare la portata limite e la portata di riferimento per il Bacchiglione a Ponte degli Angeli è stato ricostruito il profilo attuale delle sponde e delle arginature del fiume nel suo tratto cittadino. Rispetto alle valutazioni effettuate in sede di progettazione definitiva ed esecutiva, si è reso necessario infatti considerare anche gli interventi di ricalibratura dell'alveo e di rialzo delle sommità arginali che il Genio Civile di Vicenza ha recentemente effettuato, successivamente alla disastrosa piena del 2010, per incrementare la capacità di portata dell'alveo stesso e quindi i livelli di sicurezza dell'abitato adiacente.

Il criterio generale adottato per la realizzazione dei citati interventi del Genio Civile è stato quello di riposizionare in quota le sommità arginali nei tratti più depressi in modo che queste fossero almeno pari alle quote di massima piena raggiunte durante l'evento dell'1 novembre 2010.

Nel grafico di Fig. 5.2 è rappresentato il profilo attuale delle sommità arginali del Bacchiglione nel tratto cittadino del fiume, compreso tra il Ponte di Viale Diaz e il Ponte di Via dello Stadio.

I dati necessari per ricostruire tale profilo sono stati resi disponibili dallo stesso Genio Civile. In particolare è stato utilizzato il rilievo delle sponde e degli argini effettuato nel 2012, integrato con le sezioni di progetto degli interventi eseguiti successivamente al rilievo topografico suddetto, già illustrate nel par. 2.2, la cui posizione planimetrica è illustrata sulla corografia di Fig. 5.1.

Sono stati utilizzati altresì i dati del recente rilievo Lidar eseguito nel 2015 da parte del Ministero dell'ambiente sul bacino del Bacchiglione. Quest'ultimo rilievo, anch'esso illustrato nel par. 2.2, è risultato utile soprattutto per determinare le quote delle aree esterne al corso d'acqua. Esso è stato utilizzato, in alcuni casi, anche per verificare localmente le quote delle difese nei tratti non coperti dalle sezioni e per controllare le stesse quote del rilievo topografico nelle situazioni più complesse, in cui per determinare la conformazione topografica delle sponde e le quote delle sommità arginali è stato necessario ricorrere all'analisi combinata di dati Lidar e foto aeree.

Nello stesso grafico di Fig. 5.2, è rappresentato anche il profilo delle quote idrometriche massime raggiunte nel corso della piena del 2010, rilevato dallo stesso Genio Civile anche con ricognizioni post-evento e fornito agli scriventi in corrispondenza delle sezioni topografiche di riferimento.

Il grafico dimostra che, ad oggi, l'obiettivo prefissato dal Genio Civile è stato sostanzialmente raggiunto, dal momento che il profilo delle sponde o delle sommità arginali si colloca al di sopra del livello di massima piena del 2010. Restano leggermente al di sotto di tale limite solo tre brevi tratti, la cui esistenza è peraltro nota all'Ufficio Tecnico del Genio Civile. Il primo si colloca in destra idrografica a monte di Ponte Pusterla, in corrispondenza dell'area parcheggio denominata "Fogazzaro". Il secondo si trova in sinistra idrografica, ancora a monte di Ponte Pusterla, subito a monte dell'edificio del "Pensionato Studenti Madonna di Monte Berico". Il terzo si trova ancora in sinistra, a monte di Ponte degli Angeli, in corrispondenza del muretto che delimita l'area su cui sorgono gli edifici della Croce Rossa.

5.1.2 Risultati delle simulazioni a moto permanente

La valutazione della portata limite e della portata di riferimento è stata effettuata applicando il modello idraulico bidimensionale ad una porzione della griglia di calcolo limitata, a monte, alla sezione del ponte di viale Diaz, ed eseguendo le simulazioni in ipotesi di moto permanente.

In via preliminare sono state assegnate, sulla sezione di monte del modello, delle portate costanti di valore crescente a partire da 200 m³/s confrontando, per ciascuna di esse, il profilo delle quote idrometriche rispetto a quello delle sommità arginali.

Sulla base di tali valutazioni preliminari si sono quindi eseguite alcune simulazioni di calcolo assegnando sulla sezione di monte del modello valori di portata corrispondenti, sulla scala delle portate del Bacchiglione di Ponte degli Angeli (paragrafo 2.1.2), a livelli di piena significativi. In particolare, si sono utilizzati valori di portata pari a:

- 290 m³/s, corrispondente al massimo livello di 6.18 m registrato dal teleidrometro dell'ARPAV durante la piena del novembre 2010;
- 274 m³/s, corrispondente al livello di 6.00 m a Ponte degli Angeli, assunto come livello limite attuale;
- 260 m³/s, corrispondente al livello di 5.85 m a Ponte degli Angeli, considerando in tale sezione un franco di sicurezza di 15 cm, rispetto al livello limite;
- 222 m³/s, corrispondente al livello di 5.40 m a Ponte degli Angeli, considerando in tale sezione un franco di sicurezza di 60 cm, rispetto al livello limite. Questo valore corrisponde anche alla terza e ultima soglia di allarme definita da Regione Veneto e Protezione Civile (C.F.D.).

I risultati ottenuti sono anch'essi rappresentati nel grafico di Fig. 5.2. Ai profili delle arginature e dei massimi livelli osservati durante la piena del 2010 sono stati sovrapposti i profili idrometrici di massima piena ottenuti con le simulazioni sopra elencate. In Tab. 5.2 sono riportati gli stessi dati in forma numerica.

I risultati del calcolo evidenziano sostanzialmente che:

- la portata di 290 m³/s determinerebbe una generale riduzione del franco di sicurezza, con valori ben al di sotto dei 50 cm, in tutto il tratto compreso tra Ponte Pusterla e lo stesso Ponte degli Angeli. Per pochi centimetri si avrebbe anche il superamento delle sommità arginali in sinistra poco a monte della sezione di Ponte degli Angeli;
- la portata che determinerebbe l'annullamento del franco di sicurezza in corrispondenza delle sezioni poste poco a monte di Ponte degli Angeli è sostanzialmente pari a 274 m³/s, che corrisponde, sulla scala delle portate, al livello di 6.00 m;
- per portate di poco inferiori alla portata citata al punto precedente, ad esempio Q=260 m³/s, il franco di sicurezza, in particolare nel tratto tra Ponte Pusterla e Ponte degli Angeli, resta in corrispondenza di qualche sezione, ancora insufficiente, perché inferiore ai 50 cm;
- la portata che potrebbe defluire in attraversamento a Vicenza con garanzia di un franco di sicurezza di almeno 60 cm in tutto il tratto è pari a 222 m³/s, che corrisponde, sulla scala delle portate di Ponte degli Angeli, al livello di 5.40 m.

Si osserva, inoltre, che l'andamento dei profili calcolati con il modello si discosta anche sensibilmente da quello della piena 2010, ricostruito in base ai dati del Genio Civile. Questa circostanza è riconducibile a tre ragioni:

- il profilo ricostruito dal Genio Civile si basa su un numero limitato di misurazioni dirette ed è interpolato linearmente tra una misura e l'altra, mentre il modello ricostruisce con continuità il

profilo idrometrico rappresentandone tutte le irregolarità legate a curve, restringimenti, salti e altre sezioni particolari;

- l'evento del 2010 fu caratterizzato da numerose tracimazioni lungo il tratto cittadino, con fuoriuscite d'acqua in alcuni tratti e rientri del flusso in altri. Questa situazione modifica sostanzialmente il profilo idrometrico di massima piena, perché corrisponde ad una distribuzione della portata fluente che non è costante lungo il tratto in esame, a differenza di quanto accade nella simulazione modellistica;
- dopo l'evento del novembre 2010 il Genio Civile è intervenuto lungo il tratto cittadino del fiume provvedendo soprattutto al rialzo in quota delle difese, ma, in qualche caso, anche alla regolarizzazione/ricalibratura delle sezioni d'alveo, che risultano ora, come riprodotte nello schema modellistico, più ampie di quelle esistenti nel 2010.

Alla luce dei risultati del calcolo condotto in ipotesi di moto permanente, si è proceduto infine alla definizione dei valori di livello e di portata significativi per il Bacchiglione a Vicenza. Si tratta dei valori riportati nella seguente Tab. 5.1 che fanno riferimento alla sezione del fiume di Ponte degli Angeli e al locale zero idrometrico.

Livello limite	6.18 m
Portata limite (corrispondente a 6.18 m)	290 m ³ /s
Livello senza tracimazioni	6.00 m
Portata senza tracimazioni (corrispondente a 6.00 m)	274 m ³ /s
Livello di riferimento (con franco di 60 cm)	5.40 m
Portata di riferimento (corrispondente a 5.40 m)	222 m ³ /s

Tab. 5.1 – Valori di livello e di portata significativi per il tratto del Bacchiglione in attraversamento di Vicenza, con riferimento alla sezione di Ponte degli Angeli.

Per livello limite si intende quello che si potrebbe attualmente determinare al passaggio di una portata di 290 m³/s (portata limite), ma che potrebbe essere fronteggiato in corrispondenza del tratto cittadino del fiume provvedendo a rialzi temporanei lungo brevi tratti delle difese esistenti.

La portata senza tracimazioni (274 m³/s) è quella che potrebbe defluire in alveo senza provocare sormonti arginali, determinando tuttavia l'annullamento del franco idraulico di sicurezza in corrispondenza delle sezioni più critiche.

Il livello di riferimento (5.40 m sullo zero idrometrico locale di Ponte degli Angeli) è invece relativo ad una condizione idrometrica conseguente al deflusso di una portata di 222 m³/s (portata di riferimento) con garanzia di un franco idraulico di sicurezza di almeno 60 cm in tutto il tratto cittadino.

Questo valore corrisponde anche alla terza e ultima soglia di allarme definita da Regione Veneto e Protezione Civile (C.F.D.).



Fig. 5.1 – Planimetria in scala 1:20.000 con indicazione delle sezioni di riferimento riportate nei risultati delle simulazioni a moto permanente di Fig. 5.2 e Tab. 5.2.

Profilo longitudinale sul F. Bacchiglione a Vicenza dal Ponte di Viale Diaz al Ponte di Viale dello Stadio
Profili delle sommità arginali, quote raggiunte dalla piena del 2010 e profili a moto permanente

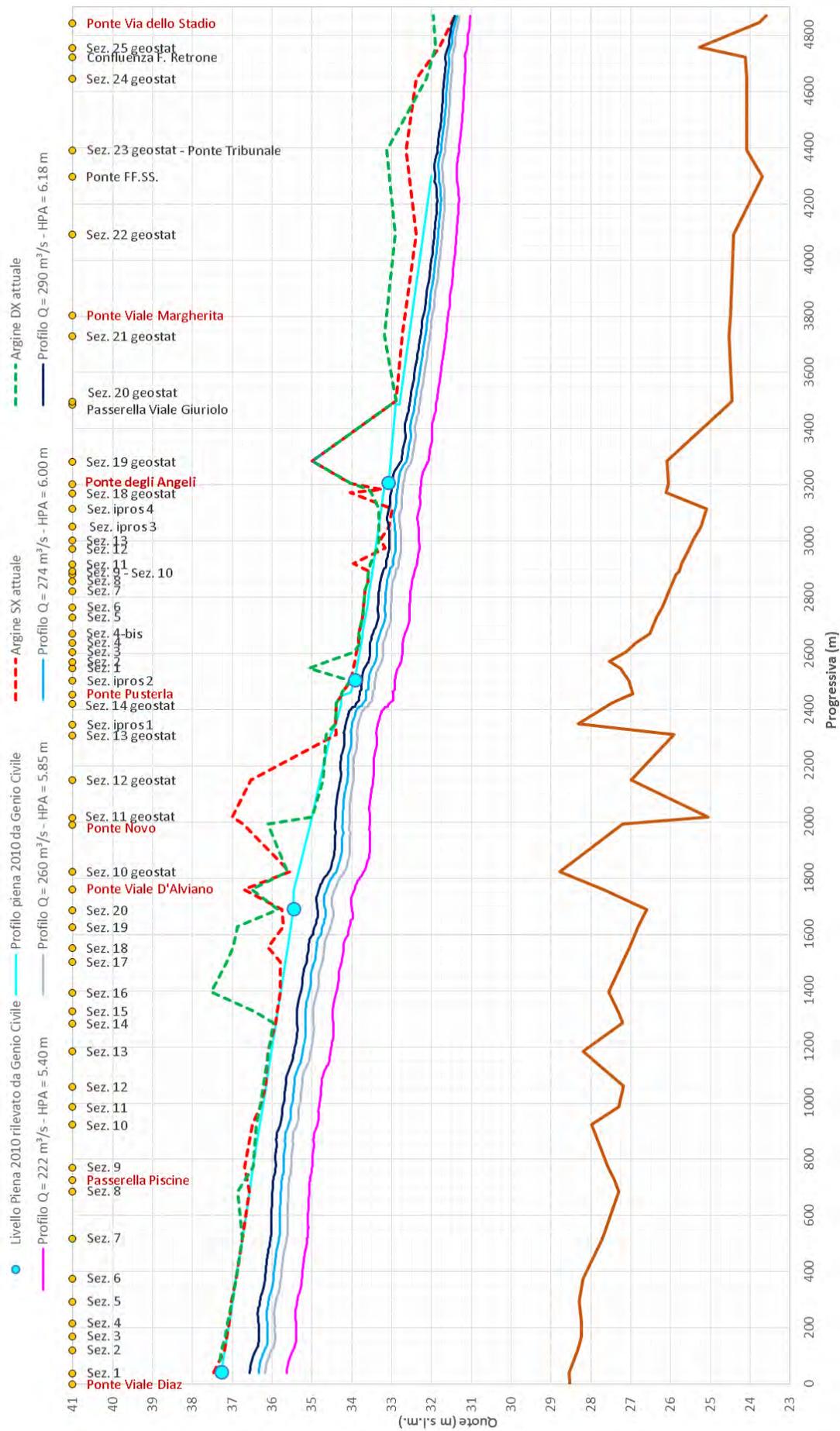


Fig. 5.2 – Risultati delle simulazioni a moto permanente, profilo di massima piena per l'evento del 1 novembre 2010 e profili delle sommità arginali attuali (cfr. Tab. 5.2).

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle logiche di gestione del bacino di Caldogno e implementazione delle procedure per l'attivazione delle opere di regolazione dei manufatti

Sezione	Progressiva	Fondo	Argine sinistro	fonte	Argine destro	fonte	Piena 2010	fonte	Portata	Portata	Portata	Portata
	m	m s.l.m.	m s.l.m.		m s.l.m.		GCVI		222 m ³ /s	260 m ³ /s	274 m ³ /s	290 m ³ /s
							m s.l.m.		m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.
Ponte Viale Diaz	0.0	28.52	37.31	b	37.38	b			35.67	36.21	36.39	36.64
Sez. 1	39.2	28.55	37.48	b	37.35	b	37.28	d	35.64	36.17	36.34	36.57
Sez. 2	120.2	28.33	37.20	b	37.27	b	37.19	e	35.48	36.01	36.19	36.41
Sez. 3	169.6	28.24	37.14	a	37.18	b	37.14	e	35.40	35.93	36.12	36.34
Sez. 4	218.1	28.23	37.08	a	37.13	b	37.08	e	35.41	35.94	36.12	36.34
Sez. 5	294.0	28.30	37.02	b	37.00	a	37.00	e	35.38	35.91	36.10	36.32
Sez. 6	375.2	28.20	36.91	a	36.91	a	36.91	e	35.25	35.78	35.97	36.18
Sez. 7	518.7	27.71	36.75	a	36.76	b	36.75	e	35.12	35.64	35.83	36.04
Sez. 8	685.0	27.30	36.57	a	36.87	b	36.57	e	35.07	35.59	35.78	35.99
Passerella Piscine	728.3	27.41	36.64	interp	36.68	interp	36.53	e	35.06	35.58	35.76	35.98
Sez. 9	771.7	27.57	36.70	a	36.48	a	36.48	e	35.01	35.53	35.72	35.93
Sez. 10	923.3	27.98	36.49	a	36.41	a	36.31	e	34.88	35.39	35.59	35.81
Sez. 11	986.4	27.30	36.31	a	36.31	a	36.24	e	34.83	35.33	35.52	35.74
Sez. 12	1059.7	27.19	36.16	a	36.23	a	36.16	e	34.77	35.26	35.46	35.67
Sez. 13	1185.1	28.20	36.10	a	36.09	a	36.02	e	34.54	35.04	35.24	35.46
Sez. 14	1284.6	27.21	35.91	a	35.98	a	35.91	e	34.47	34.96	35.16	35.37
Sez. 15	1326.9	27.32	35.87	a	36.46	b	35.87	e	34.48	34.97	35.16	35.38
Sez. 16	1394.0	27.55	35.79	a	37.54	b	35.79	e	34.39	34.89	35.09	35.30
Sez. 17	1502.5	27.21	35.79	c	37.15	a	35.67	e	34.26	34.75	34.95	35.15
Sez. 18	1553.8	27.03	36.10	b	36.98	b	35.62	e	34.21	34.69	34.89	35.09
Sez. 19	1627.2	26.81	35.71	c	36.87	b	35.54	e	34.07	34.55	34.75	34.95
Sez. 20	1688.1	26.61	35.75	c	35.86	a	35.47	d	33.99	34.46	34.66	34.85
Ponte Viale D'Alviano	1760.5	27.70	36.72	b	36.52	b	35.46	f	34.01	34.50	34.70	34.89
Sez. 10 geostat	1823.5	28.78	35.56	b	35.62	b	35.34	f	33.80	34.30	34.50	34.70
Ponte Novo	1991.5	27.21	36.74	b	36.11	b	35.05	f	33.55	34.06	34.23	34.41
Sez. 11 geostat	2016.5	25.07	37.00	b	34.99	a	35.00	f	33.55	34.05	34.24	34.42
Sez. 12 geostat	2150.5	27.00	36.54	b	34.72	b	34.80	f	33.48	33.98	34.14	34.31
Sez. 13 geostat	2310.5	25.91	34.40	c	34.64	b	34.54	f	33.37	33.87	34.01	34.19
Sez. ipros 1	2348.0	28.31	34.41	c	34.41	c	34.40	f	33.36	33.85	33.99	34.17
Sez. 14 geostat	2423.0	27.47	34.40	c	34.40	c	34.26	f	33.07	33.57	33.73	33.89
Ponte Pusterla	2455.0	26.95	-	edifici	-	edifici	34.26/34.04	g	33.03	33.51	33.68	33.85
Sez. ipros 2	2504.0	27.05	34.02	b	34.04	c	33.93	d	32.92	33.42	33.58	33.76
Sez. 1	2547.3	27.26	33.96	a	35.08	a	33.88	e	32.85	33.35	33.51	33.69
Sez. 2	2570.8	27.53	33.92	a	34.60	b	33.85	e	32.78	33.26	33.42	33.59
Sez. 3	2604.8	27.12	33.88	a	33.95	a	33.81	e	32.74	33.22	33.37	33.55
Sez. 4	2638.0	26.88	33.82	a	33.79	b	33.77	e	32.73	33.21	33.36	33.54
Sez. 4-bis	2671.3	26.53	33.82	a	33.82	a	33.73	e	32.67	33.15	33.30	33.48
Sez. 5	2730.4	26.34	33.74	a	33.74	a	33.66	e	32.59	33.06	33.22	33.39
Sez. 6	2764.8	26.22	33.71	a	33.71	a	33.61	e	32.55	33.02	33.17	33.34
Sez. 7	2823.3	26.03	33.67	a	33.67	a	33.54	e	32.54	33.01	33.16	33.33
Sez. 8	2857.1	25.93	33.60	a	33.60	a	33.50	e	32.52	32.99	33.14	33.32
Sez. 9	2881.8	25.87	33.59	a	33.59	a	33.47	e	32.50	32.97	33.12	33.29
Sez. 10	2892.5	25.79	33.58	a	33.58	a	33.46	e	32.48	32.95	33.09	33.27
Sez. 11	2919.2	25.72	33.97	b	33.54	a	33.43	e	32.42	32.89	33.03	33.20
Sez. 12	2973.8	25.53	33.16	b	33.36	a	33.36	e	32.34	32.80	32.94	33.11
Sez. 13	3003.5	25.43	33.28	b	33.33	a	33.32	e	32.31	32.76	32.90	33.07
Sez. ipros 3	3052.0	25.25	33.06	b	33.33	b	33.26	e	32.32	32.78	32.91	33.05
Sez. ipros 4	3115.0	25.10	32.99	b	33.33	b	33.19	e	32.34	32.80	32.95	33.11
Sez. 18 geostat	3171.0	26.11	34.05	b	33.52	b	33.12	e	32.29	32.74	32.88	33.04
Ponte degli Angeli	3204.0	26.05	34.05	b	34.03	b	33.08	d	32.28	32.72	32.85	33.00
Sez. 19 geostat	3283.5	26.09	35.00	edifici	35.00	edifici	32.99	e	32.16	32.59	32.71	32.86
Passerella Viale Giuriolo	3486.0	24.55	32.90	b	32.90	b	32.90/32.80	g	31.90	32.32	32.44	32.57
Sez. 20 geostat	3498.1	24.46	32.80	b	32.80	b	32.79	e	31.89	32.31	32.43	32.56
Sez. 21 geostat	3731.1	24.53	32.73	b	33.18	b	32.56	e	31.65	32.05	32.17	32.29
Ponte Viale Margherita	3803.5	24.51	32.56	interp	33.05	interp	32.49	e	31.60	31.99	32.10	32.22
Sez. 22 geostat	4092.1	24.42	32.38	b	32.92	b	32.20	e	31.38	31.74	31.84	31.94
Ponte FF.SS.	4297.0	23.70	32.51	interp	33.02	interp	32.00	g	31.36	31.72	31.82	31.92
Sez. 23 geostat - P. Tribunale	4390.1	24.08	32.64	b	33.12	b			31.32	31.68	31.77	31.87
Sez. 24 geostat	4646.1	24.08	32.38	b	32.13	b			31.17	31.51	31.61	31.69
Confluenza F. Retrone	4722.1	24.13	32.10	interp	32.02	interp			31.17	31.50	31.59	31.67
Sez. 25 geostat	4757.1	25.27	31.81	b	31.91	b			31.13	31.44	31.52	31.60
Ponte Via dello Stadio	4845.0	23.77	31.62	interp	31.94	interp			31.04	31.32	31.40	31.46
Sez. 26 geostat	4869.1	23.60	31.42	b	31.96	b			31.02	31.31	31.37	31.43

Note: Fonte dei dati per le quote degli argini destro e sinistro: a) sezioni Genio Civile di Vicenza; b) rilievo Geostat 2012; c) lidar MATTM
 Fonte dei dati per i livelli di massima piena per l'evento 2010: d) Genio Civile di Vicenza; e) dati interpolati; f) TAV. 4 "Schede fotografiche puntuali" da "Censimento delle criticità idrauliche derivanti dalla soggiacenza al profilo di piena di marginamenti, in proprietà pubblica o privata, nell'abitato di Vicenza tra Viale D'Alviano e Borgo Berga" Genio Civile di Vicenza, Sett. 2012; g) TAV. 3 "Profilo longitudinale" dallo stesso documento di cui al punto precedente

Tab. 5.2 – Risultati delle simulazioni a moto permanente nel tratto di Bacchiglione compreso tra il ponte di Viale Diaz e la sez. 26 geostat posta subito a valle del ponte di Via dello Stadio al variare della portata fluente da 215 a 290 m³/s. Sono riportati inoltre le quote del fondo e delle sommità arginali attuali, nonché i livelli di massima piena raggiunti nell'evento del 1 novembre 2010, con le relative fonti da cui sono stati tratti i dati.

5.2 Ritardo di propagazione dell'onda di piena da Caldogno a Vicenza Ponte degli Angeli

In questo paragrafo si illustrano i risultati delle valutazioni effettuate per valutare i tempi di percorrenza dell'onda di piena del Timonchio nella sua propagazione dalla sezione in cui si colloca il bacino di laminazione alla sezione di riferimento, che è quella di Vicenza Ponte degli Angeli. Queste valutazioni sono particolarmente importanti per valutare i tempi necessari a che le operazioni di manovra delle paratoie all'opera di presa producano i loro effetti nel centro storico di Vicenza.

In sede di progetto definitivo questa stima era stata effettuata con il modello idrodinamico unidimensionale InfoWorks RS, che aveva portato a valutare in 2 ore e 15 minuti il ritardo medio di propagazione della piena da Caldogno a Ponte degli Angeli. Tale valutazione era stata poi arrotondata a 2 ore, per effettuare le valutazioni con il modello concettuale per il dimensionamento e la verifica dell'opera in progetto.

In mancanza di dati ulteriori questa stima è stata assunta come valida anche per le valutazioni effettuate in sede di progetto esecutivo, per definire le logiche di gestione idraulica del bacino.

In questa fase si è ritenuto comunque opportuno approfondire la valutazioni effettuate in sede di progetto definitivo sulla base del fatto che, a cura del progettista Beta Studio e del Centro Idrico di Novoledo, a partire da aprile 2011, è stato installato un sensore idrometrico ad ultrasuoni sul ponte di Via Scartezzini, immediatamente a monte dell'opera di presa del bacino. Tale sensore ha registrato, anche se con alcune interruzioni, l'andamento del livello nel Timonchio dall'installazione fino ad oggi, e quindi anche gli eventi significativi di morbida e di piena verificatisi in tale periodo.

Come è illustrato anche nei precedenti capitoli della presente relazione, i dati del sensore di ponte Scartezzini, resi disponibili dal Centro Idrico di Novoledo, sono stati elaborati per isolare gli eventi significativi e per analizzare le caratteristiche delle onde di piena, mettendole a confronto con quelle delle registrazioni a Ponte degli Angeli durante i medesimi eventi. In questo modo è stato possibile, almeno per alcuni eventi, valutare i tempi di propagazione dei colmi di piena tra le diverse sezioni.

La Tab. 5.3 riporta una stima del ritardo di propagazione tra la sezioni del Leogra a Torrebelvicino, del Timonchio a Ponte del Marchese e del Timonchio a Ponte Scartezzini, rispetto a quella di Vicenza Ponte degli Angeli, valutato per ciascuno dei 26 eventi che negli ultimi 20 anni hanno superato la soglia di 4.5 m, limitatamente ai dati disponibili per ciascuna sezione.

Il ritardo è stato calcolato come differenza tra gli istanti in cui la piena ha raggiunto il suo valore massimo nella stazione di Ponte degli Angeli e nelle generica stazione considerata.

Nonostante le valutazioni siano riferite ad un numero limitato di eventi ed abbiano un'accuratezza condizionata dal fatto che i dati sono disponibili con una scansione temporale di 0.5 ore, esse possono fornire delle indicazioni importanti.

Per quanto riguarda il Timonchio a Scartezzini, i dati confermano esattamente la stima effettuata in sede di progetto esecutivo, dal momento che l'anticipo del colmo della piena rispetto a Ponte degli Angeli risulta essere mediamente pari a 2 ore e 12 minuti. La stima per il Leogra a Torrebelvicino è di 3 ore e 39 minuti, mentre per il Timonchio a Ponte del Marchese è di 1 ora e 36 minuti. Si deve comunque tenere presente che:

- come è evidenziato in tabella, le stime per le tre stazioni sono caratterizzate da valori della deviazione standard che sono dell'ordine del 50% del valor medio. Questo significa che la variabilità dei dati è molto elevata e che la media calcolata costituisce solo un valore indicativo;

- i ritardi valutati per l'evento del 1/11/2010 sono molto più elevati della media, a causa delle estese rotte arginali verificatesi a monte di Vicenza, che hanno sfalsato i tempi di propagazione della piena verso il centro storico.

n.	Bacchiglione P. Angeli			Leogra Torrebelticino			Timonchio P. Scartezzini			Timonchio P. Marchese		
	Hmax	Ora Hmax		Hmax	Ora Hmax	Δt	Hmax	Ora Hmax	Δt	Hmax	Ora Hmax	Δt
1	6.18	01/11/2010 19:00		2.46	01/11/2010 08:00	11:00				3.70	01/11/2010 07:30	11:30
2	5.91	11/11/2012 15:30		1.85	11/11/2012 12:00	3:30	2.67	11/11/2012 11:00	4:30	3.51	11/11/2012 13:00	2:30
3	5.71	16/05/2013 23:00		1.77	16/05/2013 21:00	2:00				2.96	16/05/2013 23:00	0:00
4	5.66	07/11/2000 00:30		1.76	06/11/2000 21:00	3:30				3.47	06/11/2000 22:30	2:00
5	5.28	16/11/2014 02:00		1.85	15/11/2014 22:30	3:30	2.72	16/11/2014 00:30	1:30	3.16	16/11/2014 00:30	1:30
6	5.27	24/12/2010 03:00		1.76	24/12/2010 01:00	2:00				2.53	24/12/2010 02:00	1:00
7	5.15	04/05/2010 19:00		1.45	04/05/2010 16:00	3:00				2.36	04/05/2010 17:30	1:30
8	5.13	20/09/1999 23:30								3.30	20/09/1999 22:00	1:30
9	5.11	28/11/2003 04:00		1.83	27/11/2003 23:00	5:00				2.81	28/11/2003 02:30	1:30
10	5.05	20/12/1997 14:00										
11	5.03	16/11/2010 15:30		1.56	16/11/2010 13:00	2:30				2.44	16/11/2010 14:30	1:00
12	5.03	31/01/2014 08:00		1.22	31/01/2014 05:30	2:30	1.64	31/01/2014 07:30	0:30	2.08	31/01/2014 07:30	0:30
13	5.02	04/10/2005 00:00		1.12	03/10/2005 21:00	3:00				2.43	03/10/2005 22:30	1:30
14	5.00	11/08/2002 13:00		1.18	11/08/2002 10:00	3:00						
15	4.97	28/04/2009 09:00		1.99	28/04/2009 06:00	3:00				2.47	28/04/2009 08:00	1:00
16	4.95	07/10/1998 17:00										
17	4.95	03/02/2014 09:30					1.44	03/02/2014 04:30	5:00	1.76	03/02/2014 08:30	1:00
18	4.89	06/05/2004 06:30								2.40	06/05/2004 05:00	1:30
19	4.81	16/03/2011 16:00	1.37	16/03/2011 13:00	3:00		1.58	16/03/2011 14:30	1:30	1.93	16/03/2011 16:00	0:00
20	4.70	19/01/2014 06:30					1.62	19/01/2014 05:30	1:00	1.85	19/01/2014 05:30	1:00
21	4.65	04/05/2002 13:30	1.31	04/05/2002 06:00	7:30					2.43	04/05/2002 12:00	1:30
22	4.59	25/09/2010 08:00	1.13	25/09/2010 03:00	5:00					1.89	25/09/2010 06:30	1:30
23	4.57	24/11/2000 23:00	1.21	24/11/2000 20:00	3:00					1.91	24/11/2000 21:30	1:30
24	4.57	25/12/2009 03:30	1.13	25/12/2009 01:00	2:30					2.01	25/12/2009 02:30	1:00
25	4.56	26/12/2013 13:00					2.29	26/12/2013 11:30	1:30	2.34	26/12/2013 12:00	1:00
26	4.50	25/10/2010 20:00	0.89	25/10/2010 19:00	1:00					1.64	25/10/2010 20:00	0:00
				ritardo medio (ore)		3:39	ritardo medio (ore)		2:12	ritardo medio (ore)		1:36
				DevStd (ore)		2:15	DevStd (ore)		1:46	DevStd (ore)		2:14

Tab. 5.3 – Eventi di piena con livello a Ponte degli Angeli superiore a 4.50 m. Ritardo di propagazione dei colmi per le sezioni del Leogra a Torrebelticino, del Timonchio a Scartezzini e del Timonchio a Ponte del Marchese. N.B. La piena del 1/11/2010 non è stata considerata perché caratterizzata da rotte a monte di Vicenza.

5.3 La portata di riferimento per il Timonchio all'opera di presa e il livello limite del Bacchiglione a Ponte degli Angeli

Al precedente paragrafo 5.1.2, si è valutato che, attualmente, nell'attraversamento di Vicenza:

- una portata di 290 m³/s, corrispondente ad un livello di 6.18 m all'idrometro di Ponte degli Angeli, potrebbe defluire al limite della capacità del fiume determinando sormonti arginali solo in alcune sezioni critiche poste poco a monte del Ponte degli Angeli stesso;
- una portata di 274 m³/s, corrispondente ad un livello di 6.00 m all'idrometro di Ponte degli Angeli, potrebbe defluire senza provocare sormonti arginali;
- una portata di 222 m³/s, corrispondente ad un livello di 5.40 m all'idrometro di Ponte degli Angeli, potrebbe defluire garantendo un franco idraulico di sicurezza di almeno 60 cm in corrispondenza delle sezioni più critiche.

L'attivazione e l'utilizzo del bacino di laminazione di Caldogno dovrebbe quindi perseguire l'obiettivo, da una parte, di garantire per quanto possibile il deflusso in sicurezza delle piene attraverso la città di Vicenza, con un franco idraulico di 60 cm, corrispondente alla quota idrometrica di 5.40 m a Ponte degli Angeli e, dall'altra, di contenere i livelli massimi alla stessa sezione di Ponte degli Angeli entro la quota di 6.00 m (annullamento del franco), o al più entro il livello limite di 6.18 m.

In buona sostanza, il bacino di Caldogno dovrebbe entrare in funzione ogniqualvolta il livello di piena a Vicenza, in assenza del bacino stesso, dovesse superare i 5.40 m, per contenere i livelli al colmo entro valori di 6.00-6.18 m.

Per correlare la quota di 5.40 m a Ponte degli Angeli con i deflussi nel Timonchio e negli altri corsi d'acqua principali che alimentano la portata in attraversamento a Vicenza, si sono considerati i valori massimi della portata calcolati con il modello idrologico nel Timonchio stesso, nell'Orolo e nell'Igna per i 14 eventi di piena verificatisi nel corso degli ultimi 20 anni che hanno portato al superamento di quota 5.0 m a Ponte degli Angeli.

Si tratta dei valori riportati in sintesi in Tab. 5.4 e in forma grafica in Fig. 5.3. Nel grafico di tale figura sono poste in relazione le quote massime raggiunte a Ponte degli Angeli nel corso di questi 14 eventi e le relative portate massime calcolate nel Timonchio a Ponte Scartezini. Si osserva che il valore di portata nel Timonchio correlabile alla quota di 5.40 m a Ponte degli Angeli, pur avendo considerato un numero di eventi relativamente modesto, è pari a 140 m³/s. Sembrerebbe quindi che la quota di 5.40 m fosse legata a questo valore di portata nel Timonchio e che l'attivazione del bacino di Caldogno potesse essere messa in relazione con il superamento di tale valore di soglia.

Tuttavia, si prevede di abbassare tale valore di soglia a 120 m³/s per tenere conto di alcuni fattori:

- nella prima fase di esercizio del bacino di Caldogno saranno certo attive anche le nuove stazioni di misura installate nelle sezioni di riferimento dell'Orolo, del Timonchio, dell'Igna e del Bacchiglione, ma non saranno ovviamente disponibili registrazioni di eventi di piena che avrebbero consentito di definire con maggiore accuratezza i valori soglia;
- gli strumenti di misura della portata sono inevitabilmente affetti da errori, che non sono facilmente quantificabili con precisione, soprattutto nella fase iniziale della loro installazione, e che comunque si ritiene possano essere contenuti entro $\pm 10\div 15\%$.

Conviene quindi fissare cautelativamente a 120 m³/s il valore soglia per la portata del Timonchio, il cui superamento deve determinare l'attivazione dell'opera di presa del bacino di Caldogno. Si tratta di un valore ovviamente inferiore rispetto a quello "ottimale" di 140 m³/s dedotto dall'analisi sugli

eventi del passato ricostruiti con il modello idrologico, ma comunque superiore a quello valutato nell'ambito del Progetto Definitivo, pari a 100 m³/s, nell'ipotesi di attivare la cassa per una portata costante definita a priori. Resta il fatto che tale soglia potrebbe essere modificata in futuro sulla base delle valutazioni che si potranno fare analizzando i dati forniti dai nuovi strumenti di misura durante gli eventi di piena.

N. evento	Data colmo		H colmo	Timonchio	Igna	Orolo	Somma
	giorno	ora	P.A. (m)	P.te Scartezini (m ³ /s)	Novoledo (m ³ /s)	Isola Vicentina (m ³ /s)	
1	01/11/2010	19:00	6.18	291.5	9.2	94.4	395.0
2	11/11/2012	15:30	5.91	172.3	8.5	79.5	260.3
3	16/05/2013	23:00	5.71	143.1	6.7	78.4	228.3
4	07/11/2000	00:30	5.66	163.0	10.2	67.9	241.2
5	16/11/2014	02:00	5.28	148.1	4.3	53.8	206.2
6	24/12/2010	03:00	5.27	136.9	9.1	43.5	189.5
7	04/05/2010	19:00	5.15	124.1	7.8	28.3	160.2
8	20/09/1999	23:30	5.13	127.7	7.8	31.0	166.4
9	28/11/2003	04:00	5.11	139.3	5.1	39.6	184.0
10	20/12/1997	14:00	5.05	119.2	7.4	44.4	171.0
11	16/11/2010	15:30	5.03	127.2	4.4	35.9	167.6
12	31/01/2014	08:00	5.03	78.2	7.3	57.0	142.5
13	04/10/2005	00:00	5.02	92.8	9.5	50.7	153.0
14	11/08/2002	13:00	5.00	70.6	7.7	83.6	161.9

Tab. 5.4 - Valori massimi di portata calcolati con il modello idrologico, per gli eventi storici considerati ai fini dell'indagine, nelle sezioni del Timonchio a Ponte Scartezini, dell'Igna a Novoledo e dell'Orolo a Isola Vicentina e valori della loro somma.

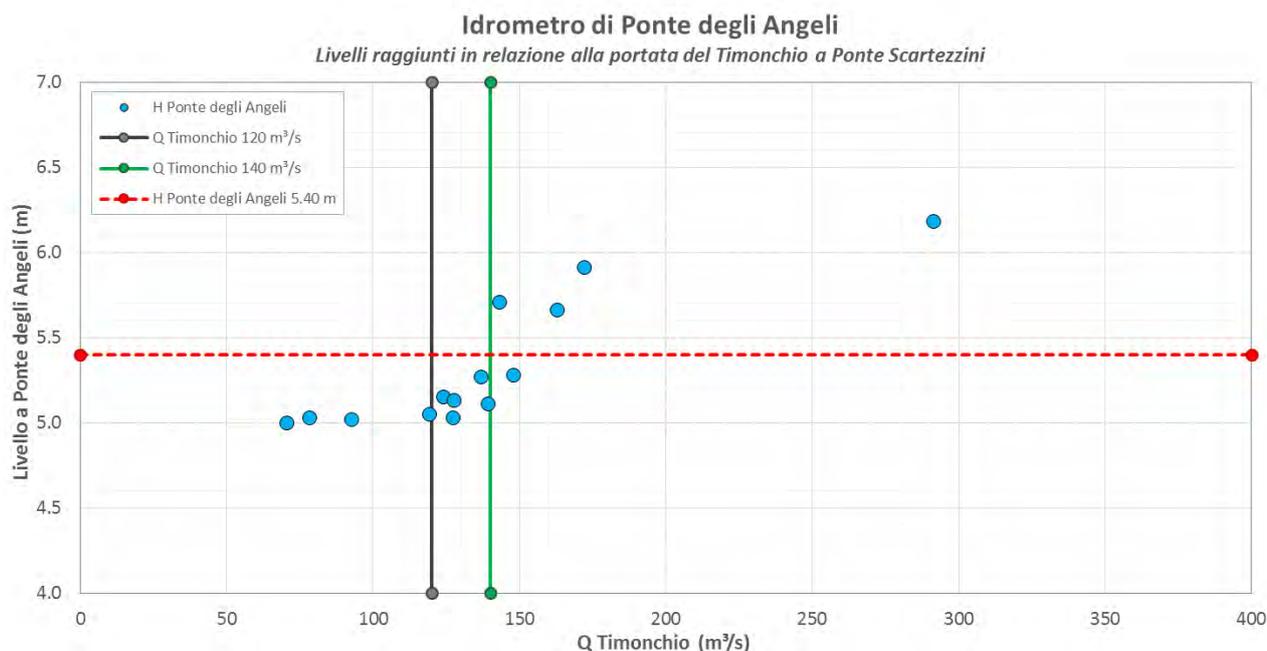


Fig. 5.3 – Livelli raggiunti a Ponte degli Angeli nelle 14 piene di riferimento messi in relazione con la portata del Timonchio a Ponte Scartezzini a monte dell’opera di presa. Nel grafico sono riportate anche le soglie di 5.40 m per Ponte degli Angeli e di 120 e 140 m³/s per il Timonchio a Ponte Scartezzini.

I risultati delle analisi condotte con il modello idrologico hanno evidenziato che il maggior contributo alla portata in attraversamento di Vicenza deriva generalmente dal Timonchio. Gli apporti provenienti dall’Orolo sono inferiori, ma non è escluso, come accaduto nel corso dell’evento di piena dell’agosto 2002 (vedi paragrafo 3.3), che la portata dell’Orolo stesso possa essere maggiore di quella del Timonchio. Il superamento di quota 5.40 m a Ponte degli Angeli potrebbe essere quindi determinato dall’apporto complessivo dei corsi d’acqua principali (Timonchio, Orolo e Igna) piuttosto che dal contributo preponderante del Timonchio.

Per tenere conto di questo fattore si prevede di poter attivare il bacino di Caldogno anche per portate nel Timonchio inferiori a quella di soglia (120 m³/s), nel caso in cui la somma delle portate degli affluenti sia superiore ad un ulteriore valore limite. Per determinare tale valore si sono messi in relazione in Fig. 5.4 le quote massime raggiunte a Ponte degli Angeli nel corso dei 14 eventi di piena di riferimento e le relative portate massime ottenute dalle simulazioni con il modello idrologico calcolate come somma di quelle del Timonchio a Ponte Scartezzini, dell’Orolo a Isola Vicentina e dell’Igna a Novoledo. Si ottiene che il valore somma di portata nei tre corsi d’acqua correlabile alla quota di riferimento di 5.40 m a Ponte degli Angeli è pari a 200 m³/s.

Si prevede quindi di poter attivare il bacino di Caldogno anche quando la somma delle portate dei tre affluenti sia superiore a 200 m³/s, pur in presenza di portate nel Timonchio inferiori a 120 m³/s. In questo modo si tiene conto del fatto che la piena a Ponte degli Angeli può essere alimentata in qualche caso più dall’Orolo e dagli altri corsi d’acqua piuttosto che dal Timonchio stesso.

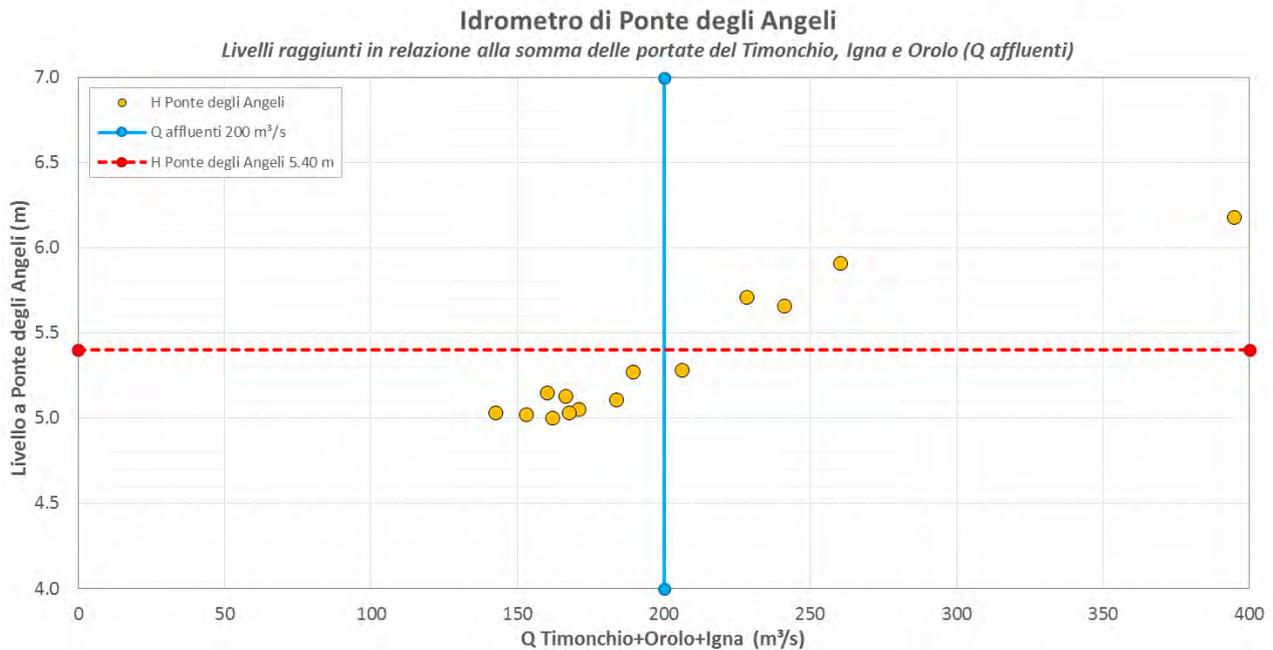


Fig. 5.4 – Livelli raggiunti a Ponte degli Angeli nelle 14 piene di riferimento messi in relazione con la somma delle portate del Timonchio a Ponte Scartezzini, dell'Igna a Novoledo e dell'Orolo a Isola Vicentina (Q affluenti). Nel grafico sono riportate anche le soglie di 5.40 m per Ponte degli Angeli e di 200 m³/s per gli affluenti.

Nel corso di un evento di piena potrebbe anche accadere che il livello idrometrico a Ponte degli Angeli possa essere in crescita e tenda a superare la quota di riferimento di 5.40 m, pur essendo le portate misurate nel Timonchio inferiori a 120 m³/s e quelle somma dei tre affluenti inferiori a 200 m³/s. È evidente che anche in questi casi si debba attivare il bacino di Caldogno perché significa che o gli strumenti di misura delle portate non stanno funzionando in modo adeguato, fornendo valori sottostimati rispetto al vero, o che gli apporti provenienti dai territori posti a valle delle tre stazioni di misura sono del tutto eccezionali. Quindi, anche il solo superamento di quota 5.40 m a Ponte degli Angeli deve determinare l'attivazione del bacino di Caldogno. Si tratta di un criterio di cautela che può garantire il non superamento del livello limite di 6.0 m a Ponte degli Angeli.

Per verificare la correttezza di quest'ultima assunzione è stata stimata la velocità di crescita del livello del Bacchiglione a Ponte degli Angeli nell'arco di 2 ore, che è il tempo che mediamente intercorre prima che gli effetti della manovra al bacino di laminazione sortiscano i loro effetti a Vicenza (si veda il par. 5.2). Tale stima è stata effettuata considerando i 14 eventi precedentemente considerati (tutti quelli che hanno superato la soglia di 5 m nel periodo 1997-2015) e valutando la variazione del livello quando lo stesso è risultato superiore a 3.5 m.

Cautelativamente, in considerazione del fatto che gli eventi considerati (tranne quello del 1/11/2010) hanno livelli massimi inferiori a quello limite, e che nell'intorno del colmo la velocità di crescita tende inevitabilmente a ridursi, la variazione del livello in 2 ore è stata stimata calcolando la variazione in 1 ora e raddoppiandone il valore. I risultati ottenuti sono sintetizzati dal grafico di Fig. 6.5, che riporta per ogni livello superiore a 3.5 m, il livello raggiunto dopo 2 ore con la stima proposta.

Si osserva che, nella fase di crescita della piena (punti di colore giallo), per un livello istantaneo di 5.40 m, nel corso dei 14 eventi storici osservati la velocità massima di crescita stimata è stata di poco inferiore a 60 cm in 2 ore e quindi il livello massimo atteso dopo questo periodo di tempo è inferiore ai 6.0 m.

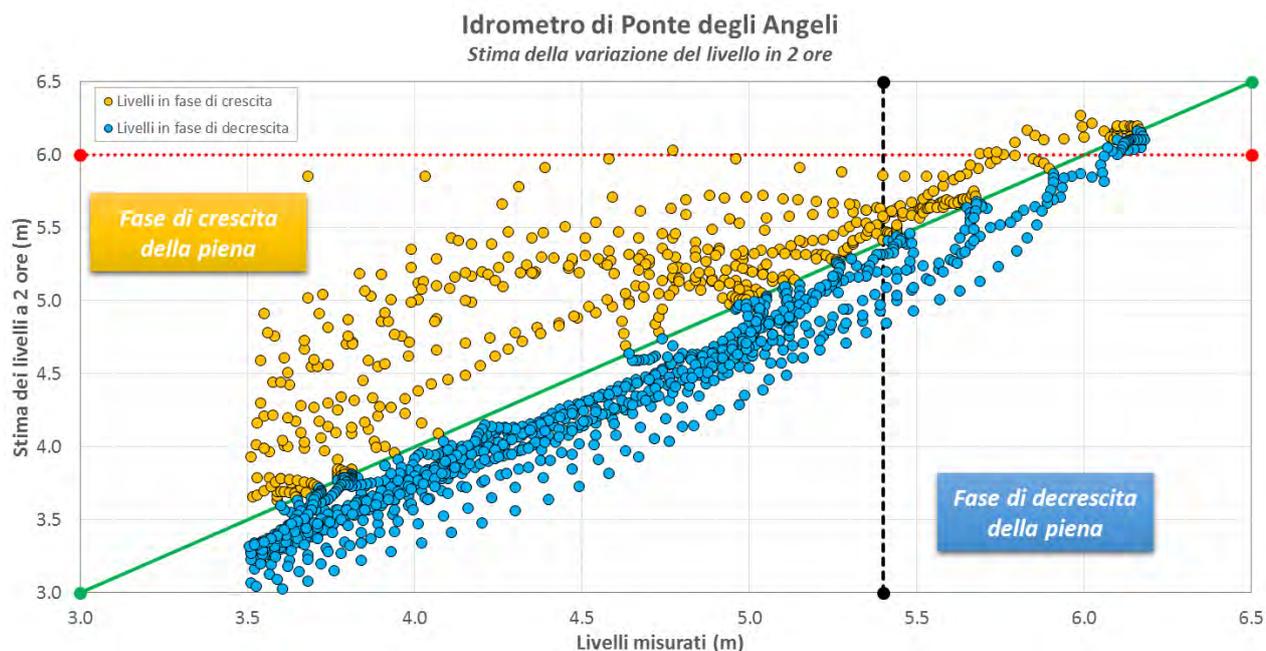


Fig. 5.5 – Stima della velocità di crescita del livello a Ponte degli Angeli nelle fasi di crescita e decrescita delle piene valutata sui 14 eventi di riferimento e calcolata cautelativamente come il doppio della crescita oraria a partire dal livello di 3.5 m.

In buona sostanza, se si attiva il bacino di laminazione quando il livello istantaneo a Ponte degli Angeli è pari a 5.40 m, poiché l'effetto della laminazione si produrrà con un ritardo di circa 2 ore nella stessa sezione di Ponte degli Angeli, si può ragionevolmente ritenere che la velocità di crescita del livello in quella sezione, pari al massimo a 60 cm in 2 ore, potrà portare il livello in quel periodo di tempo al più ad una quota vicina ma ancora inferiore al valore limite di 6.0 m, e che quindi l'azione del bacino potrà ancora essere efficace nell'intorno del colmo della piena.

Durante la prima fase di esercizio del bacino di Caldogno, per l'attivazione dell'opera di presa si potranno quindi utilizzare i tre valori soglia sopra determinati, vale a dire:

- il valore di portata di 120 m³/s nel Timonchio a Ponte Scartezini;
- il valore di portata di 200 m³/s come somma delle portate del Timonchio a Ponte Scartezini, dell'Orolo a Isola Vicentina e dell'Igna a Novoledo;
- il valore di riferimento del livello idrometrico a Ponte degli Angeli pari a 5.40 m sul locale zero idrometrico.

5.4 Modello semplificato per la previsione delle portate a Ponte degli Angeli

5.4.1 Generalità

Come è meglio specificato nel seguito, si prevede che la gestione del bacino di laminazione di Caldogno sia differenziata in due fasi. In una prima fase, da intendersi a breve termine, l'apertura dell'opera di presa del bacino avverrà essenzialmente in base a:

- Lettura dei livelli/portate nel Timonchio in corrispondenza dell'opera di presa;
- Lettura dei livelli/portate nell'Orolo e nell'Igna nelle sezioni di misura;
- Lettura dei livelli idrometrici del Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

Sulla base di queste letture e del confronto tra il dato misurato e le soglie previste per l'apertura del manufatto di presa, sarà attivata l'immissione delle acque del Timonchio nella cassa e la regolazione delle paratoie in modo da mantenere costante la portata residua nel Timonchio a valle della cassa.

Questa modalità operativa semplificata, da attivare al completamento dei lavori di realizzazione del bacino, consentirà di attivare e gestire l'opera nei primi anni di esercizio (indicativamente 5 anni, quelli per i quali l'impresa sarà incaricata di provvedere alla manutenzione dell'opera stessa), in assenza delle analisi sulle piene registrate dai nuovi strumenti di misura installati nelle sezioni di riferimento dei corsi d'acqua interessati (Orolo, Timonchio, Igna e Bacchiglione).

Nel medio e lungo periodo, quando sarà disponibile un congruo database di dati sperimentali raccolti dagli strumenti di misura appositamente installati sui corsi d'acqua suddetti, sarà possibile utilizzare una modalità di gestione più complessa, che consenta di ottimizzare maggiormente gli effetti della cassa, modificando le soglie di funzionamento in funzione delle caratteristiche dell'evento di piena in corso.

Anche in questa seconda fase, la gestione dell'opera di presa del bacino si baserà solo marginalmente sulle previsioni di piena fornite dai modelli in uso presso il Centro Funzionale Decentrato della Regione Veneto (CFD). Infatti, come è stato già evidenziato in sede di progetto esecutivo ("Relazione sulla Rete di Misura e Logiche di Gestione Idraulica"), la attuale modellistica previsionale se da una parte rappresenta uno strumento efficace ed utile nelle fasi di allertamento delle strutture della Protezione Civile, dall'altra non sempre consente di ottenere previsioni accurate nel brevissimo termine, durante il corso dell'evento. Questo accade in particolare in un bacino come quello del Bacchiglione, che è caratterizzato da tempi di risposta particolarmente rapidi e nel quale gli eventi di piena critici sono originati da piogge molto intense ma di durata relativamente breve.

La ragione di queste insufficienze risiede non tanto nei limiti intrinseci dei modelli che effettuano la previsione della piena del Bacchiglione (il modello AMICO, attualmente in uso presso la sala operativa del CFD) quanto nell'accuratezza delle previsioni meteorologiche che forniscono i dati di input (soprattutto le piogge previste) per le simulazioni dei modelli di piena.

A tale riguardo si ricorda che i modelli di previsione della piena sono basati sulle previsioni di pioggia fornite dal modello meteorologico LAMI (Limited Area Model Italy), le cui corse sono rese disponibili 2 volte al giorno (alle ore 00 e alle ore 12 UTC), per un orizzonte di 72 ore, su di una griglia a risoluzione di circa 10 km. Il passo della previsione è triorario (1 dato ogni 3 ore).

L'uso operativo della catena modellistica previsionale del F. Bacchiglione presso il CFD è iniziato a partire dal 2012. Nell'arco di questi anni si sono verificati alcuni eventi di piena anche di notevole intensità nel corso dei quali è stato possibile mettere alla prova gli strumenti previsionali.

Le esperienze acquisite hanno messo in evidenza che la risoluzione spaziale ma soprattutto quella temporale del modello LAMI non sempre è adeguata per la rappresentazione dell'evento meteorologico ai fini della modellazione idrologico-idraulica. Infatti, nel bacino del Bacchiglione le piogge che generano gli eventi di piena più gravosi sono quasi sempre caratterizzate da picchi di intensità piovosa che si distribuiscono in modo eterogeneo nel bacino e concentrano le massime intensità di precipitazione in intervalli di tempo di poche ore.

Tuttavia i limiti maggiori dell'impiego delle previsioni meteo discendono dal fatto che non sempre il modello meteorologico è in grado di prevedere correttamente l'istante in cui si verificano le piogge di massima intensità, anche intese come valori medi di bacino. Questo pone due ordini di problemi alle previsioni effettuate dai modelli idrologico-idraulici:

- i modelli idraulici non sono in grado di prevedere correttamente l'istante del passaggio del colmo della piena perché la previsione di pioggia è in anticipo/ritardo rispetto alla pioggia reale;
- nelle simulazioni in corso di evento, risulta difficile l'utilizzo combinato delle piogge misurate fino all'istante di previsione e di quelle previste da tale istante in avanti. Infatti, se le previsioni di pioggia non sono allineate con quelle reali, lo scenario di pioggia che si utilizzerebbe per forzare i modelli potrebbe essere quantitativamente anche molto diverso da quello reale.

A titolo di esempio, la Fig. 5.6 rappresenta un confronto tra le piogge previste e quelle misurate per i due eventi di piena più gravosi registrati dal 2012 ad oggi. I grafici riportano l'intensità della pioggia misurata (mm/h), valutata come media tra i dati delle 4 stazioni di Valli del Pasubio, Monte Summano, Malo, S. Agostino, considerate rappresentative del bacino complessivo del Bacchiglione chiuso a Vicenza. I grafici riportano inoltre l'andamento delle piogge previste dalle due corse del modello LAMI più prossime al colmo dell'evento, calcolato come media tra i valori delle celle LAMI più prossime alle stesse 4 stazioni.

Si osserva in primo luogo che, se da un lato il modello LAMI sostanzialmente prevede correttamente l'andamento dell'evento meteorico, dall'altro esso sottostima i volumi di pioggia ma soprattutto i valori di picco dell'intensità di pioggia. In secondo luogo si nota che gli istanti in cui si presentano i picchi delle piogge previste possono variare considerevolmente tra una corsa e l'altra del modello LAMI e comunque risultano sfasati di alcune ore rispetto a quelli delle piogge vere.

Quest'ultima circostanza è particolarmente penalizzante se, come nel caso della gestione del bacino di laminazione di Caldogno, si richiedono previsioni in tempo reale in corso di evento che consentano di gestire l'opera di presa in modo da ottimizzare il funzionamento del bacino.

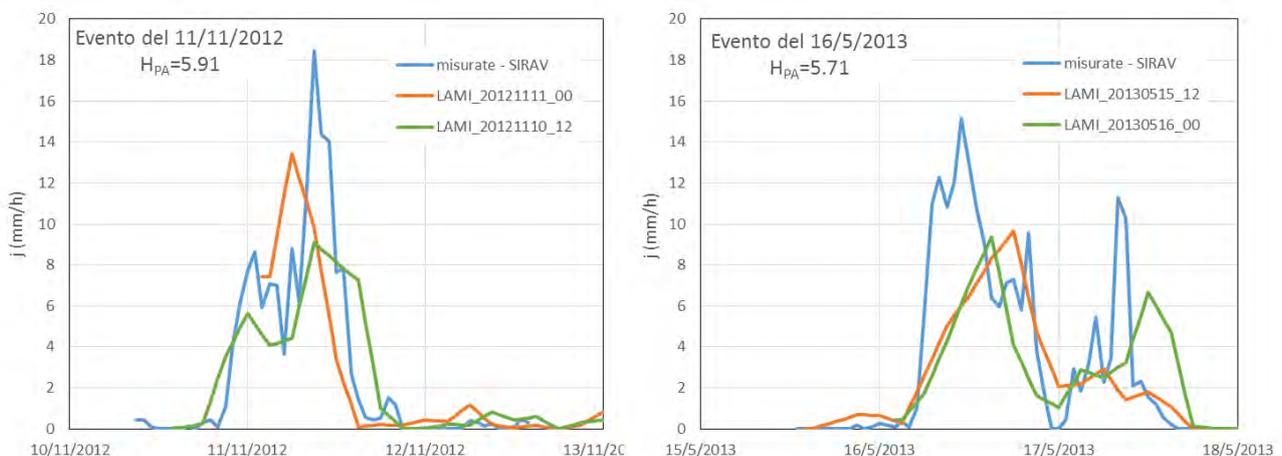


Fig. 5.6 – Intensità delle piogge misurate dalle stazioni della rete SIRAV e previste dal modello meteorologica LAMI nel corso degli eventi di piena del 11/11/2012 e del 16/5/2013.

In base a queste valutazioni, come è illustrato nel capitolo seguente, il criterio di gestione ritenuto ottimale è quello che si basa sulla definizione di una o più portate di soglia sul Timonchio all'opera di presa del bacino, che la manovra delle paratoie deve consentire di non superare, per quanto possibile, in base al volume del bacino. I modelli di previsione possono servire essenzialmente nella fase precedente all'evento (fase di allerta) per definire le soglie più opportune in base alle caratteristiche dell'evento previsto (evento di lunga o di breve durata).

5.4.2 Previsione della piena a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo

Nella "Relazione sulla Rete di Misura e Logiche di Gestione Idraulica" allegata al Progetto Esecutivo, si propone una modalità di gestione del bacino di laminazione in cui un elemento importante è costituito dalla previsione della portata nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli (QPA) con 2 ore di anticipo a partire dai dati delle stazioni di misura delle portate esistenti e installate appositamente, ricevuti in tempo reale, mediante un algoritmo di calcolo semplificato.

Nel presente studio si sono esaminate alcune diverse possibilità per predisporre tale algoritmo di calcolo, che dovrà essere attivato durante la fase di allerta per scegliere l'istante in cui iniziare la manovra di apertura.

Sono state esplorate tre possibilità:

1. Modello deterministico idrodinamico
2. Modello statistico autoregressivo
3. Modello concettuale semplificato

1) Modello deterministico idrodinamico.

Si è indagata la possibilità di predisporre un modello propagatorio del sistema del Timonchio, Orolo, Igna, Bacchiglione, analogo a quello illustrato nel precedente capitolo 4, ma dovutamente semplificato in modo da consentire un'esecuzione molto rapida, compatibile con le esigenze della gestione in tempo reale (quindi dell'ordine di qualche minuto al massimo). Questo modello dovrebbe essere in grado, date le portate misurate sulle sezioni strumentate poste sulle sezioni di monte del modello (sul Timonchio a monte della Cassa, sull'Orolo a Isola Vicentina e sull'Igna a Villaverla), di propagare tali portate verso valle per ottenere una stima della portata a Ponte degli Angeli nelle ore successive.

Questo modo di procedere, teoricamente possibile, è stato scartato per i seguenti motivi:

- la simulazione idrodinamica in tempo reale richiede necessariamente un allineamento tra le condizioni iniziali della simulazione e lo stato reale del sistema, per evitare l'insorgere di errori anche molto rilevanti. Questo allineamento potrebbe teoricamente essere ottenuto con una procedura di "assimilazione dati", che porti a far corrispondere i livelli idrometrici (o le portate) del modello all'istante iniziale con quelli reali. Allo stato attuale delle conoscenze e dei dati disponibili questa strada è stata tuttavia ritenuta difficilmente praticabile sia per la complessità delle elaborazioni necessarie, sia per la carenza di stazioni di misura, in particolare lungo il corso dell'Orolo.
- In tempo reale i dati necessari per costruire il file delle condizioni al contorno sarebbero parziali, perché sarebbero disponibili solo le portate in 3 sezioni ma mancherebbero tutte quelle degli interbacini, che dovrebbero essere stimate con qualche metodo semplificato, introducendo errori significativi.

- La simulazione idrodinamica richiede comunque di assegnare come condizioni al contorno sui nodi di monte le portate per tutta la durata della simulazione e quindi anche negli istanti successivi a quello iniziale. La valutazione (previsione) di tali portate richiede una modellazione idrologica afflussi-deflussi, che deve basarsi sulle precipitazioni delle ore precedenti e, eventualmente, sulle previsioni di pioggia dei modelli meteorologici. In base ad una serie di valutazioni preliminari anche questa valutazione è stata ritenuta non praticabile, allo stato attuale delle conoscenze, per gli errori non trascurabili che la modellazione idrologica potrebbe introdurre su tali portate. Sarebbe, infatti, necessario anche in questo caso predisporre delle procedure per allineare le portate calcolate con quelle misurate, il che complicherebbe notevolmente l'algoritmo di calcolo.

2) Modello Statistico Autoregressivo

Si è analizzata la possibilità di predisporre un modello di tipo statistico autoregressivo in grado di prevedere l'andamento del livello del Bacchiglione a Ponte degli Angeli in funzione dei dati disponibili in tempo reale. Un modello di questo tipo sfrutta una tecnica di regressione multipla che utilizza, come predittori, i livelli idrometrici registrati e le precipitazioni misurate.

Dal punto di vista formale, il modello può essere rappresentato dalla seguente relazione che lega la grandezza prevista $H(t + \tau)$ con anticipo di previsione τ , alla combinazione lineare dei predittori secondo una serie di coefficienti determinati con una regressione multipla usando la tecnica dei minimi quadrati:

$$H(t + \tau) = a_0(\tau) + \sum_{k=1}^N \sum_{i=0}^{n(k)} b_i^k(\tau) \cdot \Pi^k(t - i \Delta t) + \sum_{k=1}^M \sum_{i=0}^{\tau/\Delta t - 1} c_i^k(\tau) \cdot \Pi^k(t + \tau - i \Delta t)$$

Nell'equazione precedente t è l'istante attuale, τ è l'anticipo con cui viene prevista la grandezza H . $a_0(\tau)$, $b_i^k(\tau)$ e $c_i^k(\tau)$ sono i coefficienti della regressione, diversi per ogni anticipo τ , Π^k sono i predittori e Δt rappresenta il passo temporale con cui sono scanditi i valori dei predittori. Nella precedente relazione, è esplicitamente separato il contributo determinato dalla serie dei valori registrati degli N predittori prima dell'istante attuale t (prima doppia sommatoria) dal contributo della serie dei valori previsti per l'intervallo di tempo compreso tra l'istante attuale t e l'istante $t + \tau$ forniti dai modelli di previsione meteorologica (seconda doppia sommatoria).

I coefficienti della regressione $a_0(\tau)$, $b_i^k(\tau)$ e $c_i^k(\tau)$ sono determinati elaborando un congruo dataset di dati sperimentali (il dataset di calibrazione) mediante una procedura basata sul metodo dei minimi quadrati.

Un modello di questo tipo è stato sviluppato per le previsioni delle piene del Bacchiglione [6]. Tale modello, denominato MPP_Vi, è attualmente in uso presso il CFD della Regione Veneto, ed adotta come predittori i livelli registrati a Ponte degli Angeli e le piogge misurate e previste dal modello meteorologico LAMI nelle stazioni ARPAV di Valli del Pasubio, Malo, Monte Summano e Vicenza S. Agostino. Esso è stato calibrato sulla serie dei dati del decennio 2001-2010 selezionando un sottoinsieme di tali dati che include solo gli eventi di piena rilevanti (con livello a Ponte degli Angeli superiore a 3.5 m). Il modello incorpora inoltre una procedura per il pre-trattamento delle piogge che consente di calibrare il modello sulle piogge "efficaci" invece che su quelle cadute.

Il modello MPP_Vi consente di fornire una previsione della piena a Ponte degli Angeli con un anticipo di 72 ore. In questi anni esso ha mostrato una buona capacità di previsione dei colmi di piena, soprattutto a breve termine. Dalle verifiche effettuate sono emersi tuttavia alcuni limiti legati principalmente alla difficoltà di trattare le non linearità che si manifestano nelle prime fasi del

fenomeno o quando i livelli raggiungono soglie critiche e si producono rotte o esondazioni. Inoltre, come è stato evidenziato nel paragrafo precedente, la previsione modellistica soffre delle incertezze legate agli errori delle previsioni di pioggia del modello meteorologico LAMI.

Nonostante queste limitazioni si ritiene che, nel caso in esame, un modello di tipo statistico autoregressivo potrebbe essere utilizzato, considerando come predittori, oltre al livello a Ponte degli Angeli, le portate misurate nelle stazioni di misura (Timonchio, Orolo e Igna) e una o più stazioni di pioggia misurata. Non sarebbe necessario ricorrere alle piogge previste dal modello LAMI, dato il breve orizzonte temporale ($2\div 3$ ore) a cui si vuole portare la previsione. Condizione necessaria perché questa procedura possa essere applicata è quella di disporre di un congruo dataset di dati sperimentali che contenga un certo numero di eventi di piena o di morbida che consenta di calibrare il modello.

E' evidente pertanto che, in prima fase, una soluzione di questo tipo non è praticabile, a causa della mancanza dei dati necessari alla calibrazione del modello. Si ritiene però che l'efficacia di un approccio di questo tipo debba essere valutato via via che si renderanno disponibili i dati delle stazioni di misura, in particolare nei primi anni di vita dell'opera, perché per la sua semplicità ed efficacia, potrebbe probabilmente essere preferibile ad un modello deterministico.

3) Modello Concettuale Semplificato

Si è analizzata infine la possibilità di predisporre un modello concettuale semplificato di tipo lineare, che fornisca la previsione QPA (portata a Ponte degli Angeli) con due ore di anticipo esclusivamente sulla base delle misure di portata in tempo reale nelle tre stazioni di monte (Timonchio, Igna e Orolo) e a Ponte degli Angeli.

L'idea discende dal fatto che, in base alle simulazioni modellistiche descritte nei capitoli precedenti, i tempi di percorrenza della piena dalle 3 stazioni di monte a Ponte degli Angeli sono dell'ordine di 2 ore (nel caso del Timonchio questo risultato è stato anche verificato sperimentalmente, si veda il paragrafo 5.2) e che le tre portate misurate a monte quantificano effettivamente la parte principale del deflusso a Ponte degli Angeli.

Le prove effettuate hanno evidenziato che, considerando soltanto le portate nelle 3 stazioni di monte, si ottiene una stima poco accurata, ma che questa stima può essere apprezzabilmente migliorata se nella funzione di trasferimento si considera lo stesso Bacchiglione a Ponte degli Angeli per tenere conto in qualche modo della risposta globale del sistema soprattutto nella fase calante della piena. Risulta particolarmente importante il fatto che le misure di portata nelle sezioni di monte e a Ponte degli Angeli saranno disponibili con una frequenza elevata (inferiore a 15 minuti) perché questo potrà consentire di controllare gli errori di estrapolazione che potrebbero derivare da irregolarità o oscillazioni nei dati.

Tra le diverse opzioni che sono state sperimentate quella che fornisce i risultati maggiormente accurati è uno schema 4 passi, da ricalcolare ogni 15 minuti all'arrivo dei nuovi dati:

$$Q_{PA}(t + \Delta t) = Q_{PA}(t) + \alpha \cdot (Q_{PA}(t) - Q_{PA}(t - \Delta t)) + \beta \cdot (Q_{AFFL}(t - \delta) - Q_{AFFL}(t - \delta - \Delta t))$$

Con Q_{PA} =portata nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli, Q_{AFFL} =somma delle portate nei tre affluenti Timonchio, Orolo e Igna, $\Delta t = 0.5$ ore, $\delta = 1.5$ ore. A partire dal generico istante t il calcolo è ripetuto per 4 volte per ottenere la portata a Ponte degli Angeli all'istante $t + 2$ ore, utilizzando le portate degli affluenti misurate nelle 2 ore precedenti all'istante t .

Questo schema è stato testato a tutti gli eventi di piena del periodo 1997-2016 superiori alla soglia di 5 m (14 eventi).

Per la verifica, non essendo disponibili le portate misurate sugli affluenti, queste sono state sostituite con le portate calcolate con il modello idrologico per i medesimi eventi (risultati illustrati nel cap. 3). Si è osservato che per minimizzare gli errori lo schema richiede di differenziare i coefficienti α e β tra la fase crescente dalla fase decrescente della piena.

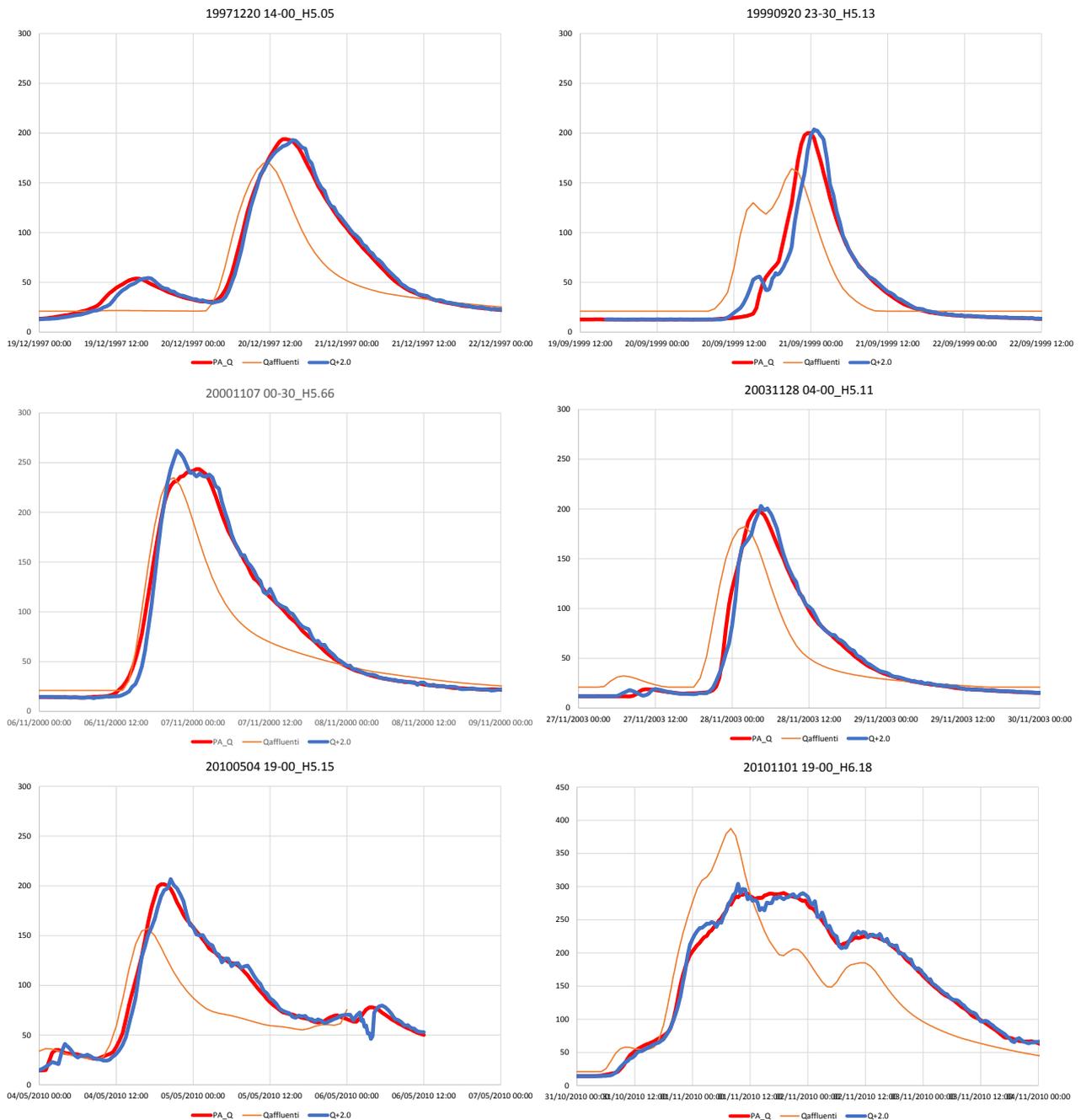


Fig. 5.7 – Confronto tra le portate misurate a Ponte degli Angeli e quelle previste con 2 ore di anticipo utilizzando il modello concettuale semplificato con le portate degli affluenti calcolate con il modello idrologico.

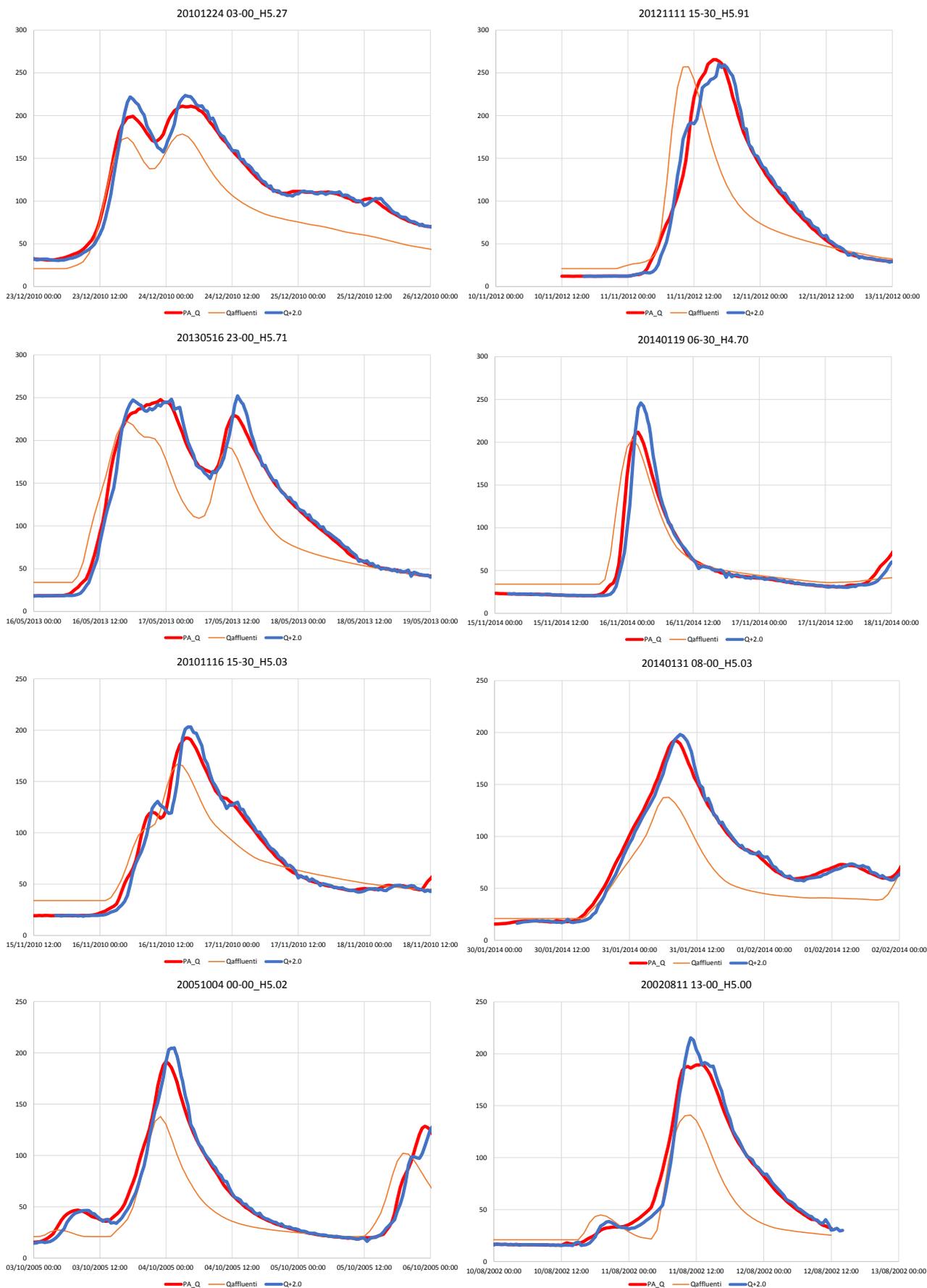


Fig. 5.8 – Confronto tra le portate misurate a Ponte degli Angeli e quelle previste con 2 ore di anticipo utilizzando il modello concettuale semplificato con le portate degli affluenti calcolate con il modello idrologico.

I risultati migliori si ottengono per $\alpha_{cresc} = 0.45$; $\beta_{cresc} = 0.45$; $\alpha_{decresc} = 0.8$; $\beta_{decresc} = 0.1$. Si ottiene cioè che nella fase decrescente della piena è necessario attribuire alla portata del Bacchiglione Q_{PA} un peso di molto superiore a quello attribuito agli affluenti, per seguire correttamente l'esaurimento della piena.

I grafici delle Fig. 5.7 e Fig. 5.8 mostrano che, in linea generale, lo schema semplificato proposto riesce a prevedere con accuratezza accettabile la piena del Bacchiglione con 2 ore di anticipo. Si evidenziano peraltro alcuni eventi, in particolare quelli di breve durata ed elevata intensità, per i quali il modello proposto commette errori rilevanti.

E' evidente peraltro che la calibrazione e la verifica del modello semplificato potrà essere perfezionata solo quando saranno disponibili dati reali di misura delle portate nelle sezioni di monte degli affluenti.

In definitiva le analisi esposte, basate essenzialmente sui calcoli modellistici, portano a concludere che:

- allo stato attuale delle conoscenze e dei dati disponibili sul funzionamento del sistema Timonchio, Orolo, Bacchiglione, né un modello di tipo deterministico né uno di tipo statistico sembrano poter fornire la previsione in tempo reale delle portate di piena a Ponte degli Angeli con alcune ore di anticipo con accuratezza sufficiente per garantire la gestione ottimale del bacino di laminazione;
- rispetto a tali approcci modellistici, per ottenere una stima della portata (o del livello) a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo potrebbe essere maggiormente efficace un algoritmo di calcolo che implementi un semplice modello concettuale di tipo lineare, con coefficienti opportunamente valutati sulla base dei dati idrologici disponibili;
- in ogni caso, data la complessità della risposta idrologica del bacino del Bacchiglione, legata alla diversa combinazione degli apporti degli affluenti (Timonchio, Igna, Orolo) che si verifica ad ogni evento, e ad altri fattori, quali il grado di saturazione dei terreni, la irregolare distribuzione delle piogge, ecc., sarà necessario provvedere, prima di tutto, mediante gli strumenti di misura appositamente installati, all'acquisizione di nuovi dati che chiariscano il funzionamento del sistema durante gli eventi di morbida e di piena;
- in assenza di tali informazioni, nella fase iniziale di esercizio dell'opera si ritiene più affidabile una modalità di gestione semplificata come quella qui proposta per il "breve termine" (vedi capitolo 6), che si basi essenzialmente su portate di soglia predeterminate, senza ricorrere, almeno provvisoriamente, all'impiego di modelli previsionali.

6 Definizione delle procedure per la manovra delle paratoie dei manufatti

Come illustrato nel precedente paragrafo 5.3, nella prima fase di esercizio del bacino di Caldogno saranno attive le nuove stazioni di misura dei livelli idrometrici e delle portate installate nelle sezioni di riferimento dell'Orolo a Isola Vicentina, del Timonchio a Ponte Scartezzini, dell'Igna a Novoledo e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, ma non saranno ovviamente disponibili le analisi sulle piene eventualmente verificatesi ed osservate che consentiranno di definire con maggiore accuratezza i valori soglia e le procedure di gestione nella successiva fase di esercizio del bacino stesso.

Per l'attivazione delle opere che consentono di far funzionare il bacino di laminazione (presa, scarichi, ecc.), si sono quindi definite due procedure:

- una a breve termine, che consente di attivare e gestire l'opera nei primi anni di esercizio (indicativamente 5 anni, quelli per i quali l'impresa sarà incaricata di provvedere alla manutenzione dell'opera stessa), in assenza, come detto, delle analisi sulle piene registrate dai nuovi strumenti di misura installati nelle sezioni di riferimento dei corsi d'acqua interessati (Orolo, Timonchio, Igna e Bacchiglione);
- una a lungo termine, che permetterà di gestire l'opera nel periodo successivo, utilizzando i dati registrati in tempo reale dalle stazioni di misura, una volta elaborati e analizzati i dati raccolti nel corso dei primi anni di osservazione. Questa seconda fase deve essere, tuttavia, considerata "in progress" poiché dovrà essere periodicamente aggiornata a misura che si renderanno disponibili i dati delle nuove osservazioni.

Nei successivi paragrafi sono illustrate le procedure di breve e lungo termine per la gestione dell'opera e gli effetti dell'attivazione del bacino di Caldogno sugli eventi del passato e su alcuni eventi sintetici con le regole/indicazioni per l'attivazione, il controllo e la disattivazione di tutti gli organi mobili (paratoie) che presidiano i manufatti di presa, interconnessione e scarico del bacino di laminazione.

6.1 Procedura semplificata a breve termine per la gestione dell'opera di presa

Le analisi condotte sia sui dati disponibili, sia sui risultati delle indagini modellistiche hanno consentito di mettere a punto una procedura semplificata per definire i criteri di apertura/chiusura delle paratoie dell'opera di presa del bacino di laminazione di Caldogno. La procedura è basata sulle misure in tempo reale delle portate nel Timonchio a Ponte Scartezzini, nell'Orolo a Isola Vicentina e nell'Igna a Novoledo e anche dei livelli idrometrici del Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

In particolare, nella prima fase di esercizio del bacino di Caldogno (FASE 1), l'attivazione dell'opera di presa sarà subordinata al superamento di uno dei tre valori soglia definiti al paragrafo 5.3 e quindi:

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1 ^a Portata misurata nel Timonchio a Ponte Scartezzini | $\geq 120 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| 2 ^a Somma delle portate misurate nel Timonchio a Ponte Scartezzini, nell'Orolo a Isola Vicentina e nell'Igna a Novoledo | $\geq 200 \text{ m}^3/\text{s}$ |
| 3 ^a Livello misurato nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli | $\geq 5.40 \text{ m}$ |

La scelta motivata di questi tre valori soglia è stata illustrata al paragrafo 5.3. In sostanza:

- la 1^a regola è la regola base e fa riferimento alla portata fluente nel corso d'acqua sul quale è posto il bacino di laminazione;

- la 2ª regola tiene conto del fatto che la piena nel tratto del Bacchiglione in attraversamento di Vicenza potrebbe essere in qualche caso alimentata più dall'Orolo e dall'Igna che non dal Timonchio, che invece generalmente fornisce l'apporto maggiore. In questi casi il bacino di Caldogno sarebbe attivato anche per portate fluenti nel Timonchio stesso inferiori a quella di riferimento di 120 m³/s;
- con la 3ª regola si è in grado di far fronte sia ad eventi di piena con apporti eccezionali dai corsi d'acqua che si immettono in quelli principali a valle delle sezioni strumentate con le nuove postazioni di misura delle portate, sia ad eventuali errori che si dovessero verificare nel rilievo e misura delle portate nelle tre stazioni stesse. Si è anche osservato, analizzando i dati degli eventi di piena storici verificatisi negli ultimi 20 anni, che attivando la cassa al superamento di quota 5.40 m a Ponte degli Angeli, ci si deve aspettare che il livello a Vicenza possa salire nelle successive due ore, prima che l'intervento della cassa stessa produca gli effetti della laminazione nel tratto cittadino del fiume, al massimo di circa 60 cm, raggiungendo così valori comunque inferiori ai 6.0 m. Ovviamente, anche in questo caso l'opera di presa del bacino di Caldogno sarebbe attivata per valori di portata inferiori a quella di riferimento di 120 m³/s.

La verifica di funzionamento della procedura a breve termine prevista per l'attivazione delle paratoie dell'opera di presa è stata eseguita considerando i 14 eventi di piena storici di riferimento e i 9 eventi di piena sintetici illustrati rispettivamente ai paragrafi 3.5.1 e 3.5.2.

In particolare, utilizzando gli idrogrammi di portata del Timonchio a Ponte Scartezzini ricostruiti per alcuni eventi di piena sulla base delle misure di livello effettuate dal sensore del Centro Idrico di Novoledo e della scala delle portate (3 eventi) e gli idrogrammi calcolati con il modello idrologico sia per gli eventi di piena storici (14 eventi), sia per quelli sintetici (9 eventi), per ciascuno dei 26 casi considerati si è determinato l'istante di attivazione delle paratoie applicando le tre regole sopra definite.

I risultati della simulazione sono riportati, accanto ai dati caratteristici di ogni piena, in Tab. 6.1, nella parte campita in colore azzurro.

Relativamente ai 3 eventi con idrogramma misurato a Ponte Scartezzini (eventi 1-3 in Tab. 6.1), si rileva che il bacino interviene in due casi, una volta per il superamento della portata di 120 m³/s nel Timonchio e una volta per il superamento dei 200 m³/s come somma delle portate del Timonchio stesso, dell'Orolo e dell'Igna.

Se si considerano gli idrogrammi calcolati dei 14 eventi esaminati che hanno superato la quota di 5 m a Ponte degli Angeli negli ultimi 20 anni (eventi 4-17 in Tab. 6.1), il bacino interviene in 10 casi, sempre per il superamento della portata di 120 m³/s nel Timonchio, con contemporanei valori della portata somma degli affluenti, talvolta, molto prossimi alla soglia di 200 m³/s e con livelli a Ponte degli Angeli generalmente superiori a 3.5 m e, in qualche caso, molto prossimi o superiori ai 5.0 m. Fa eccezione l'evento del settembre 1999 (evento 11 in Tab. 6.1), per il quale l'attivazione dell'opera di presa avverrebbe per superamento della portata di 120 m³/ nel Timonchio e con un livello istantaneo a Ponte degli Angeli di soli 1.23 m sul locale zero idrometrico. Ciò è dovuto al fatto che ai fini di questa analisi si sono utilizzati, per gli andamenti della portata nel Timonchio, quelli derivanti dal calcolo con il modello idrologico, e, per i livelli idrometrici a Ponte degli Angeli, quelli realmente registrati. Nel caso specifico dell'evento del 1999, la taratura eseguita con il modello idrologico (vedi Fig. 3.12 in paragrafo 3.3) ha consentito di ben riprodurre il colmo della piena a Ponte degli Angeli, ma non altrettanto bene la fase di crescita della piena stessa che nel calcolo anticipa quella realmente verificatasi. È per questo motivo che l'apertura delle paratoie, determinata sulla base di un idrogramma calcolato per il Timonchio a Ponte Scartezzini, anticipa la fase di crescita dei livelli a Ponte degli Angeli.

Per i 4 eventi per i quali il bacino non interviene per superamento dei 120 m³/s, non si verifica nemmeno il superamento dei 200 m³/s negli affluenti o dei 5.40 m a Ponte degli Angeli.

La frequenza di intervento del bacino di laminazione è pari 10 volte in 20 anni e quindi 1 volta ogni 2 anni.

Relativamente agli eventi sintetici con tempo di ritorno variabile da 25 a 100 anni (eventi 18-26 in Tab. 6.1), infine, il bacino interviene:

- per gli eventi con forma pari a quella dell'evento di ottobre-novembre 2010, per il superamento della soglia di 120 m³/s nel Timonchio;
- per gli eventi con forma pari a quella dell'evento di novembre 2012, per il superamento della soglia di 120 m³/s nel Timonchio o per quella di 200 m³/s come somma delle portate del Timonchio stesso, dell'Orolo e dell'Igna;
- per gli eventi con forma pari a quella dell'evento di gennaio 2014, con apporti dall'Orolo confrontabili con quelli dal Timonchio, per il superamento della soglia di 200 m³/s come somma delle portate del Timonchio stesso, dell'Orolo e dell'Igna (1 volta) o per il superamento della soglia di 5.40 m a Ponte degli Angeli (2 volte).

Una volta determinato il momento di apertura delle paratoie dell'opera di presa, le manovre sul manufatto sono soggette ad una diversa regolazione a seconda che l'apertura sia stata determinata dalla 1^a regola, piuttosto che dalla 2^a o 3^a regola:

- se le paratoie sono state aperte per il superamento della portata di 120 m³/s nel Timonchio (1^a regola), le paratoie stesse sono regolate in modo da far defluire in alveo del Timonchio a valle una portata costante, pari proprio a 120 m³/s. Per ottenere questa regolazione, le paratoie possono essere movimentate una alla volta oppure in coppia oppure tutte insieme facendo in modo di mantenere costante, e pari al valore istantaneo registrato allorché $Q_{TIM} \geq 120 \text{ m}^3/\text{s}$, il livello nel Timonchio misurato all'opera di presa, esternamente alla griglia;
- se le paratoie sono state aperte per il superamento della portata di 200 m³/s come somma di quelle del Timonchio, dell'Orolo e dell'Igna (2^a regola) oppure per il superamento della quota di 5.40 m a Ponte degli Angeli (3^a regola), le paratoie devono essere regolate per mantenere costante il livello nel Timonchio all'opera di presa, esternamente alla griglia, e pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, se l'andamento dei livelli nel Timonchio è in crescita, oppure pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, dedotti 25 cm, se l'andamento dei livelli nel Timonchio è in decrescita. In questo modo si consente il deflusso in alveo del Timonchio verso valle di una portata costante, ma inferiore al valore soglia di 120 m³/s, per tenere conto che in questi casi le portate in arrivo a Vicenza possono essere più sostenute dagli altri corsi d'acqua che non dal Timonchio stesso.

Nella fase di decrescita della piena, per la chiusura delle paratoie dell'opera di presa si dovranno controllare la portata nel Timonchio rilasciata a valle, attraverso il livello idrometrico esterno alla griglia, e il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli:

- con un livello decrescente nel Bacchiglione da almeno 2 ore, anche se superiore ai 5.40 m, la completa chiusura delle paratoie potrà avvenire quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del valore di regolazione (120 m³/s, se attivate con la regola 1, o inferiore, se attivate con le regole 2 o 3) e quindi la chiusura stessa avverrà automaticamente quando il livello idrometrico all'opera di presa scenderà al di sotto di quello impostato come riferimento, mantenuto fino ad allora costante nel tempo;
- con un livello nel Bacchiglione crescente e superiore a 5.40 m, allorché i valori di portata/livello nel Timonchio dovessero scendere al di sotto di quelli di regolazione, si dovrà

impostare una nuova soglia di controllo (livello attuale -25 cm) e regolare quindi le paratoie per mantenere una portata costante inferiore alla precedente. La successiva completa chiusura delle paratoie potrà avvenire solo quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del nuovo valore di regolazione, con livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli in decrescita, per valori inferiori o superiori a 5.40 m, o in crescita, ma per valori solo inferiori a 5.40 m.

Le valutazioni sul funzionamento del bacino di laminazione, con l'applicazione delle regole di apertura/chiusura dell'opera di presa e anche dei manufatti di interconnessione e scarico di fondo delle casse, e sugli effetti dell'intervento del bacino stesso relativamente agli eventi storici osservati ed a quelli sintetici proposti, sono illustrati in dettaglio ai successivi paragrafi 6.4 e 6.5.

N. evento	Data colmo		P.A. H colmo (m)	Timonchio Q max (m ³ /s)	Affluenti Q max (m ³ /s)	Data attivazione		Timonchio Q (m ³ /s)	Affluenti Q (m ³ /s)	P.A. H (m)
	giorno	ora				giorno	ora			
1	11/11/2012	15:30	5.91	175.4	258.5	11/11/12	10:00	113.9	201.8	4.13
2	16/11/2014	02:00	5.28	161.1	217.2	15/11/14	23:45	124.5	181.9	4.31
3	31/01/2014	08:00	5.03	77.5	130.2	-	-	-	-	-
4	01/11/2010	19:00	6.18	291.5	387.5	31/10/10	20:45	120.0	190.4	4.01
5	11/11/2012	15:30	5.91	172.3	257.1	11/11/12	08:15	121.8	196.7	3.46
6	16/05/2013	23:00	5.71	143.1	222.0	16/05/13	14:45	123.7	199.8	4.97
7	07/11/2000	00:30	5.66	163.0	234.8	06/11/00	18:15	120.4	194.5	4.68
8	16/11/2014	02:00	5.28	148.1	203.5	15/11/14	23:30	122.8	179.5	4.03
9	24/12/2010	03:00	5.27	136.9	178.4	23/12/10	16:15	120.9	172.6	5.01
10	04/05/2010	19:00	5.15	124.1	156.9	04/05/10	16:00	120.1	154.8	4.12
11	20/09/1999	23:30	5.13	127.7	164.2	20/09/99	15:00	121.1	130.1	1.23
12	28/11/2003	04:00	5.11	139.3	182.2	27/11/03	23:30	122.0	159.3	3.67
13	20/12/1997	14:00	5.05	119.2	169.8	-	-	-	-	-
14	16/11/2010	15:30	5.03	127.2	166.7	16/11/10	13:15	121.0	161.0	4.60
15	31/01/2014	08:00	5.03	78.2	137.6	-	-	-	-	-
16	04/10/2005	00:00	5.02	92.8	137.9	-	-	-	-	-
17	11/08/2002	13:00	5.00	70.6	141.0	-	-	-	-	-

N. evento	Caratteristiche idrogrammi		P.A. H colmo (m)	Timonchio Q max (m ³ /s)	Affluenti Q max (m ³ /s)	Data attivazione		Timonchio Q (m ³ /s)	Affluenti Q (m ³ /s)	P.A. H (m)
	Qmax-forma	Tr (anni)				giorno	ora			
18	P.Def-nov2010	25	5.96	209.5	278.6	31/10/10	23:15	122.1	186.4	3.93
19	P.Def-nov2010	50	6.30	267.1	355.1	31/10/10	21:30	124.3	196.1	3.63
20	P.Def-nov2010	100	6.47	361.4	480.6	31/10/10	20:00	127.1	203.3	3.71
21	P.Def-nov2012	25	5.78	165.4	246.7	11/11/12	08:30	125.7	200.4	2.37
22	P.Def-nov2012	50	6.25	210.8	314.5	11/11/12	07:45	124.2	205.8	2.29
23	P.Def-nov2012	100	6.44	285.2	425.6	11/11/12	07:15	131.3	224.5	2.68
24	P.Def-gen2014	50	6.25	145.0	230.5	31/01/14	04:45	115.5	205.5	5.35
25	P.Def-gen2014	75	6.47	170.7	271.3	31/01/14	03:15	97.7	198.7	5.45
26	P.Def-gen2014	100	6.67	196.2	311.9	31/01/14	01:45	85.9	194.9	5.43

Tab. 6.1 – Determinazione dell'istante di attivazione dell'opera di presa del bacino di Caldogno secondo le tre regole definite, considerando le ricostruzioni delle portate nel Timonchio a Ponte Scartezini (eventi 1-3), gli idrogrammi calcolati con il modello idrologico per le 14 piene storiche di riferimento (eventi 4-17) e gli idrogrammi valutati per eventi di piena sintetici con tempo di ritorno variabile da 10 a 100 anni e con forma pari a quella degli eventi del novembre 2012 e del marzo 2013 (eventi 18-29).

Si osserva, da ultimo, che nel momento in cui si darà inizio alla possibilità di esercire il bacino per laminare le piene del Timonchio, gli strumenti di misura delle portate e dei livelli che costituiscono il sistema di telecontrollo saranno installati, ma non calibrati, soprattutto quelli di misura della

portata. Durante il primo periodo di esercizio del bacino si dovranno quindi utilizzare gli eventi di morbida e di piena che dovessero verificarsi per calibrare gli strumenti di misura.

Durante tale intervallo di tempo, che potrebbe indicativamente estendersi, ammesso che si verificano eventi significativi, al periodo di 2 anni stabilito per il collaudo funzionale delle arginature, per l'attivazione delle paratoie si suggerisce di usare la 1ª e la 3ª regola della FASE 1 sopra illustrate, basandole sulla misura dei livelli idrometrici, invece che delle portate. In pratica, per controllare la portata fluente nel Timonchio a Ponte Scartezzini si dovrà misurare il livello idrometrico all'opera di presa, facendo in modo che esso non superi il valore corrispondente, sulla locale scala dei deflussi, alla portata di 120 m³/s, pari a 65.75 m s.l.m.. Quest'ultimo è il livello idrometrico valutato sulla base della scala dei deflussi calcolata dalla scrivente nell'ambito delle attività di redazione del Progetto Esecutivo del bacino di laminazione, mediante un modello matematico bidimensionale di dettaglio, messo a punto per simulare il funzionamento del tratto del Timonchio in cui si inseriscono la traversa di sostegno dei livelli e l'opera di presa (si veda il paragrafo 4.3).

Le regole di attivazione delle paratoie dell'opera di presa per questa FASE 0 di esercizio del bacino, che costituisce una variante della cosiddetta FASE 1 sopra illustrata, potranno essere quindi le seguenti:

- | | |
|---|------------------|
| 1ª Portata misurata nel Timonchio a Ponte Scartezzini | ≥ 120 m³/s |
| Livello misurato all'opera di presa | ≥ 65.75 m s.l.m. |
| 3ª Livello misurato nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli | ≥ 5.40 m |

Le altre manovre da eseguire sulle paratoie dell'opera di presa per il mantenimento della portata costante nel Timonchio verso valle durante l'evoluzione della piena e le operazioni di chiusura delle paratoie stesse, restano invece sostanzialmente inalterate rispetto a quanto illustrato in precedenza per la FASE 1.

Le regole adottate per la FASE 0, potranno essere infine utilizzate anche nel caso in cui, pur con la piena funzionalità del sistema di telecontrollo, si dovesse verificare un ipotetico black-out o un malfunzionamento complessivo del sistema. L'apertura, eventualmente anche manuale, delle paratoie dell'opera di presa potrebbe essere vincolata alla lettura del livello sull'asta idrometrica installata all'opera di presa stessa. In questo caso (FASE 0 MANUALE), le regole di attivazione delle paratoie sarebbero così modificate:

- | | |
|--|----------|
| 1ª Livello misurato sull'asta idrometrica dell'opera di presa | ≥ 2.35 m |
| (Il valore di 2.35 m sull'asta idrometrica deriva dalla differenza tra il valore del livello calcolato sulla locale scala delle portate sopra citata, pari a 65.75 m s.l.m., e la quota di fondo dell'opera di presa, pari a 63.40 m s.l.m., che corrisponde anche allo zero dell'asta idrometrica stessa) | |
| 3ª Livello misurato nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli | ≥ 5.40 m |

restando non modificate, rispetto ai casi precedentemente illustrati, le altre operazioni da eseguire sulle paratoie stesse, anche se vincolate ora alle letture sull'asta idrometrica dell'opera di presa invece che alla misura di portata a Ponte Scartezzini.

6.2 Procedura a lungo termine per la gestione dell'opera di presa

La procedura a lungo termine permetterà di gestire l'opera, ed in particolare le operazioni di apertura e chiusura delle paratoie dell'opera di presa, nel periodo successivo ai primi 5 anni di esercizio dell'opera stessa.

Saranno utilizzati i dati registrati in tempo reale dalle nuove stazioni di misura installate nel Timonchio, nell'Orolo, nell'Igna e nel Bacchiglione, nonché i risultati delle elaborazioni e delle analisi condotte sui dati idrologici raccolti dalle stesse stazioni di misura nel corso dei primi anni di osservazione.

La procedura si basa su alcuni elementi:

- la definizione di evento di piena da considerare ai fini dell'utilizzo del bacino di Caldogno, da effettuarsi sugli idrogrammi di piena a Ponte degli Angeli forniti dai modelli di previsione del C.F.D. della Regione Veneto, valutando il superamento o il non superamento della quota di 5.40 m, che corrisponde al livello di Allarme 3 nella procedura di allerta del C.F.D. stesso,
- la distinzione tra evento di piena lungo o breve, da effettuarsi sempre sugli idrogrammi di piena a Ponte degli Angeli forniti dai modelli di previsione del C.F.D. della Regione Veneto, confrontando il volume della piena prevista oltre la quota di 5.40 m con un valore di riferimento, pari a quello del bacino di Caldogno di circa 3.8×10^6 m³. Un volume superiore a tale valore identificherà un evento di piena lungo, mentre un volume inferiore ad esso caratterizzerà invece un evento breve;
- la disponibilità dei dati di portata e di livello registrati in tempo reale dalle nuove stazioni di misura del Timonchio a Ponte Scartezzini, dell'Orolo a Isola Vicentina, dell'Igna a Novoledo e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli;
- la definizione di un modello semplificato per la previsione della piena a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo, a partire dai dati idrologici rilevati in tempo reale dalle nuove stazioni di misura;
- la definizione dei valori di soglia, per la portata nel Timonchio a Ponte Scartezzini e per i livelli nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli, da utilizzare per l'attivazione delle paratoie dell'opera di presa del bacino.

Si tratta, in buona sostanza, delle analisi sui dati disponibili sintetizzate nello schema logico della procedura di attivazione a lungo termine delle paratoie riportato in Fig. 6.1, dedotto da quello proposto nell'ambito del Progetto Esecutivo.

L'analisi preliminare (parte superiore dello schema in Fig. 6.1) è stata quasi totalmente eseguita nell'ambito del presente studio, con i risultati raccolti e illustrati ai capitoli 3, 4, 5 precedenti, e sarà integrata ed aggiornata nel corso dei primi 5 anni di esercizio del bacino, mano a mano che si verificheranno eventi di morbida e/o di piena nel sistema idrografico in esame e che gli strumenti di misura installati ne registreranno le caratteristiche idrometriche.

L'analisi in corso di evento (parte centrale dello schema in Fig. 6.1) si riferisce all'utilizzo dei dati raccolti in tempo reale durante una piena, alla loro valutazione ed elaborazione, mediante un modello semplificato, al fine di determinare i parametri di confronto che consentono di attivare la procedura vera e propria di apertura/chiusura delle paratoie dell'opera di presa (parte inferiore dello schema in Fig. 6.1).

Relativamente alla valutazione di evento di piena con livello previsto oltre la soglia di Allarme 3 del C.F.D., pari a 5.4 m, che sarà peraltro eseguita sugli idrogrammi forniti dai modelli di previsione del C.F.D. stesso, se si considerano gli andamenti del livello registrati alla sezione di Ponte degli Angeli per i 14 eventi che nel corso degli ultimi 20 anni hanno determinato il superamento di quota 5.0 m

nella stessa sezione, si rileva, in Tab. 6.2, che solo in quattro casi i livelli hanno superato la soglia di 5.4 m. Si tratta degli eventi di ottobre-novembre 2010 e di novembre 2012, rappresentati in Fig. 6.2, e degli eventi di maggio 2013 e di novembre 2000, rappresentati in Fig. 6.3.

A riguardo della distinzione tra eventi di piena lunghi e brevi, nella tabella e nelle figure sopra citate si rileva che solo per l'evento di ottobre-novembre 2010 si riscontra un volume della piena per livelli superiori ai 5.4 m, pari a $4.8 \times 10^6 \text{ m}^3$, più elevato di quello di riferimento, pari a $3.8 \times 10^6 \text{ m}^3$. In questo caso l'evento sarebbe stato identificato come evento lungo, mentre gli altri tre eventi, con volumi caratteristici della piena inferiori a $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, sarebbero stati classificati come eventi brevi.

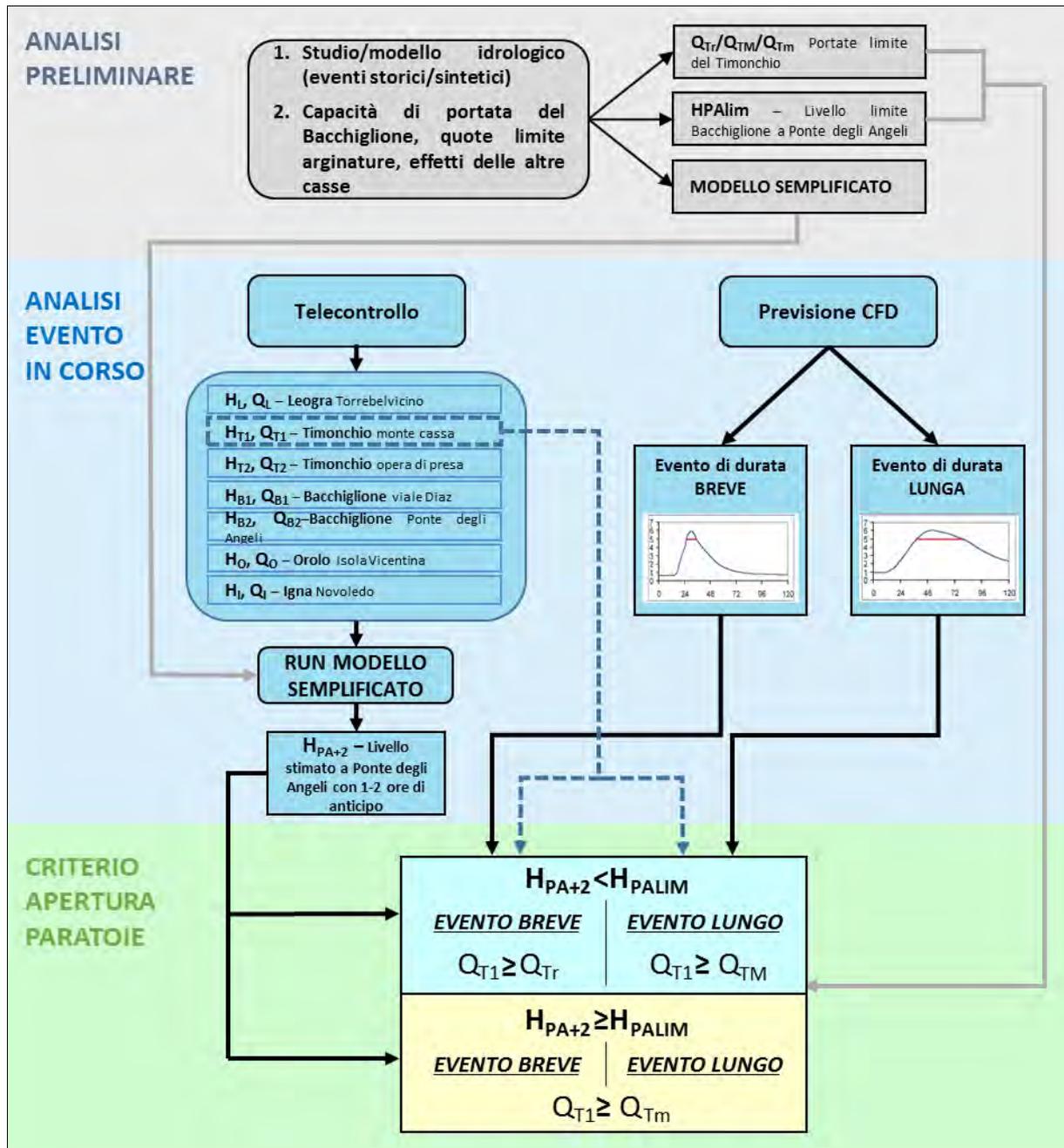


Fig. 6.1 – Schema logico della procedura di attivazione a lungo termine.

N.	Evento	P.A. H colmo (m)	H>5.0 (ore)	H>5.4 (ore)	Volume per H>5.4 (m ³ ×10 ⁶)	Tipologia evento
1	ottobre-novembre 2010	6.18	45.5	33.0	4.8	Lungo
2	novembre 2012	5.91	9.5	7.5	0.7	Breve
3	maggio 2013	5.71	19.5	12.0	0.6	Breve
4	novembre 2000	5.66	10.0	7.0	0.4	Breve
5	novembre 2014	5.28	2.5	0.0	0.0	-
6	dicembre 2010	5.27	11.0	0.0	0.0	-
7	maggio 2010	5.15	3.0	0.0	0.0	-
8	settembre 1999	5.13	2.0	0.0	0.0	-
9	novembre 2003	5.11	2.5	0.0	0.0	-
10	dicembre 1997	5.05	2.5	0.0	0.0	-
11	novembre 2010	5.03	1.5	0.0	0.0	-
12	gennaio-febbraio 2014	5.03	1.5	0.0	0.0	-
13	ottobre 2005	5.02	0.5	0.0	0.0	-
14	agosto 2002	5.00	0.5	0.0	0.0	-
Legenda H>5.0: Durata evento di piena con livello a Ponte degli Angeli superiore a 5.0 m H>5.4: Durata evento di piena con livello a Ponte degli Angeli superiore a 5.4 m Volume per H>5.4: Volume della piena oltre la quota di 5.4 m da confrontare con 3.8×10 ⁶ m ³						

Tab. 6.2 – Distinzione tra evento di piena lungo o breve considerando gli idrogrammi registrati nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli per le 14 piene storiche di riferimento.

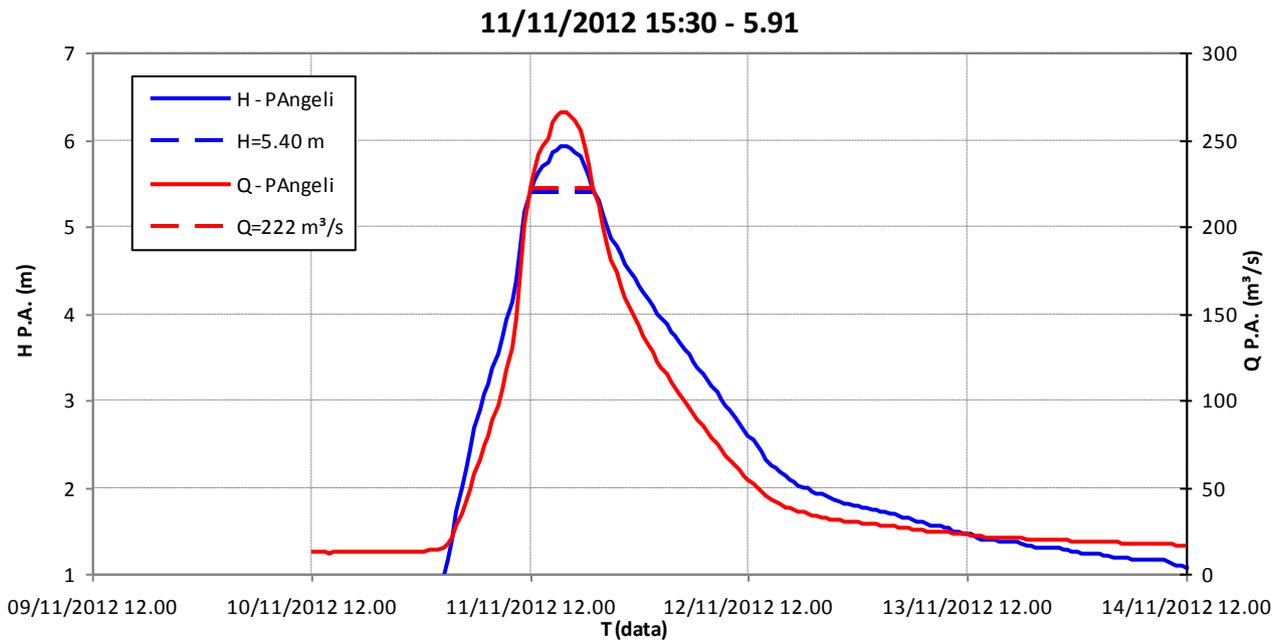
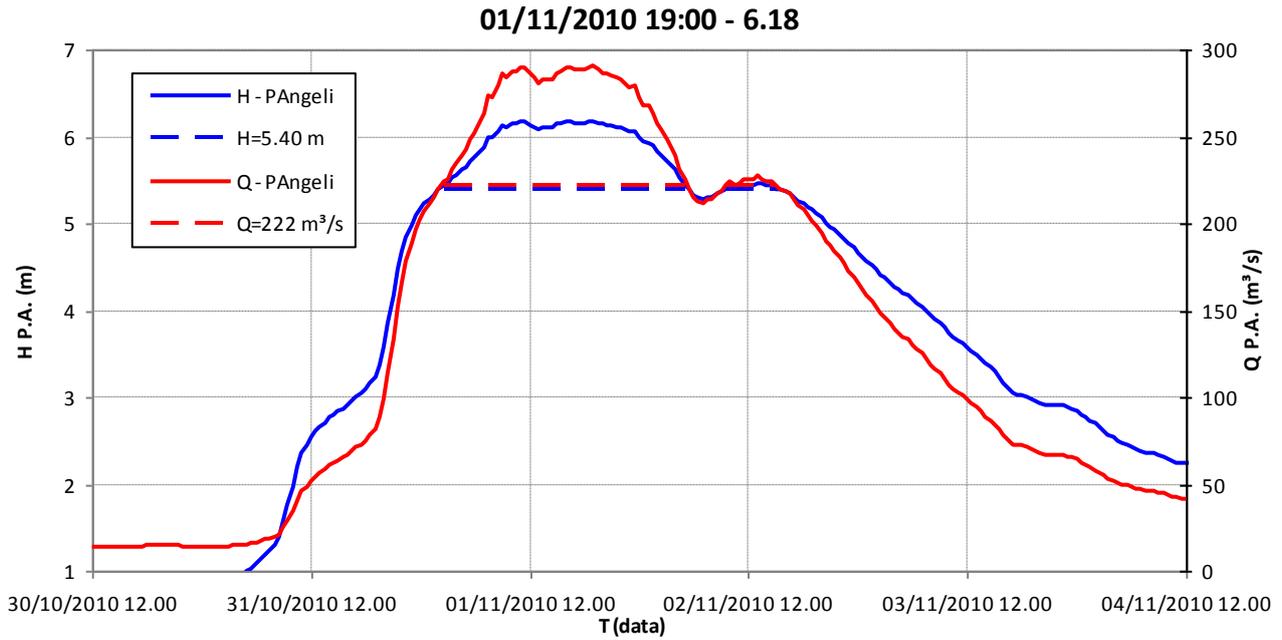


Fig. 6.2 – Andamento dei livelli idrometrici registrati nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli e delle corrispondenti portate durante gli eventi di piena dell'ottobre-novembre 2010 e del novembre 2012, con evidenziato il periodo considerato per la stima della durata dei livelli stessi oltre la quota di 5.40 m e del corrispondente volume oltre la portata di 222 m³/s.

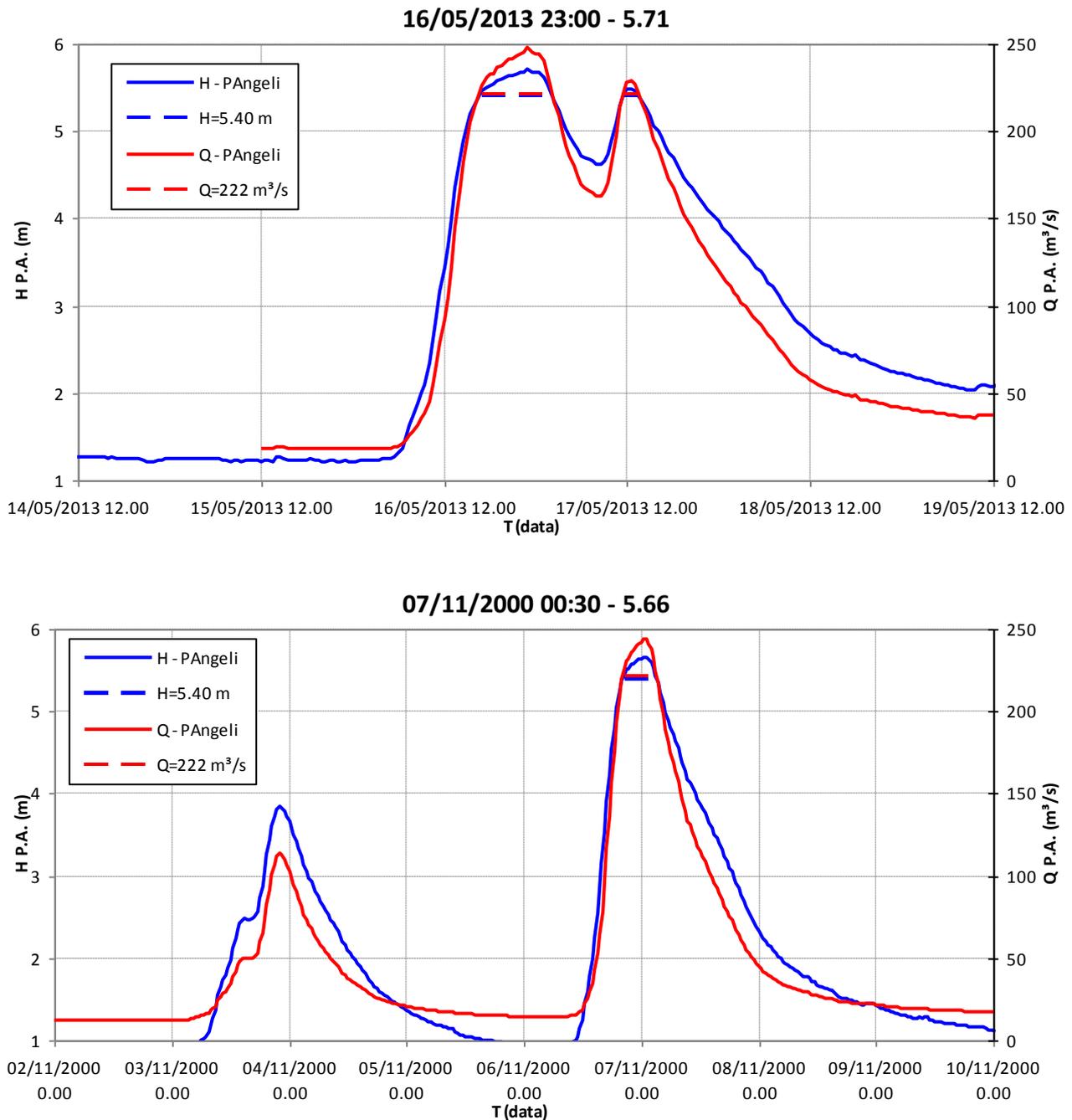


Fig. 6.3 – Andamento dei livelli idrometrici registrati nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli e delle corrispondenti portate durante gli eventi di piena del maggio 2013 e del novembre 2000, con evidenziato il periodo considerato per la stima della durata dei livelli stessi oltre la quota di 5.40 m e del corrispondente volume oltre la portata di 222 m³/s.

Una volta trascorso il periodo di 5 anni durante il quale saranno raccolti, elaborati ed analizzati i dati registrati dalle nuove stazioni di misura dei livelli e delle portate, sarà possibile definire al meglio, tra le diverse ipotesi illustrate al paragrafo 5.4.2, il modello semplificato per la previsione della piena a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo, a partire dai dati registrati in tempo reale, e, in aggiunta, anche i valori soglia per la portata del Timonchio e per il livello del Bacchiglione a Ponte degli Angeli a cui vincolare l'apertura/chiusura delle paratoie dell'opera di presa.

In particolare, potendo contare sulla previsione del livello a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo, si potranno definire soglie di intervento relative alla portata nel Timonchio e al livello a Ponte degli Angeli più adeguate di quelle previste per la prima fase di esercizio dell'opera, considerando inoltre valori diversi per eventi di piena lunghi o brevi.

Tenuto conto che i valori soglia potranno essere definiti dopo aver osservato nel corso del tempo alcune morbide e piene, nell'ambito della presente indagine si è valutato che nella FASE 2 di esercizio del bacino di Caldogno l'attivazione dell'opera di presa possa avvenire, come riportato nella parte inferiore dello schema di Fig. 6.1 e come illustrato in forma ridotta in Tab. 6.3, quando la portata nel Timonchio rilevata in tempo reale a Ponte Scartezzini (Q_{T1}) superi 2 diversi valori di soglia, a seconda che il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli previsto con 2 ore di anticipo (H_{PA+2}) sia inferiore o superiore al relativo valore di soglia prefissato (H_{PALIM}).

Per la portata del Timonchio Q_{T1} , si tratta di 2 valori soglia che sono diversificati anche con riferimento alla classificazione dell'evento di piena in corso come evento breve (Q_{Tr} e Q_{Tm}) o come evento lungo (Q_{TM} e Q_{Tm}). In particolare, nel caso di livello a Ponte degli Angeli previsto con 2 ore di anticipo superiore al valore di soglia ($H_{PA+2} \geq H_{PALIM}$), la portata minima nel Timonchio per l'intervento della cassa assume lo stesso valore (Q_{Tm}).

$H_{PA+2} < H_{PALIM}$	
<u>EVENTO BREVE</u>	<u>EVENTO LUNGO</u>
$Q_{T1} \geq Q_{Tr}$	$Q_{T1} \geq Q_{TM}$
$H_{PA+2} \geq H_{PALIM}$	
<u>EVENTO BREVE</u>	<u>EVENTO LUNGO</u>
$Q_{T1} \geq Q_{Tm}$	

Tab. 6.3 – Condizioni di apertura per le paratoie del bacino di Caldogno nella FASE 2 di esercizio, sulla base della portata fluente nel Timonchio rilevata in tempo reale a Ponte Scartezzini (Q_{T1}) e del livello previsto con due ore di anticipo nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli (H_{PA+2}).

Per valutare i valori soglia della portata nel Timonchio a Ponte Scartezzini, si sono considerati i valori massimi della portata calcolati con il modello idrologico nel Timonchio stesso e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli per i 14 eventi di piena verificatisi nel corso degli ultimi 20 anni che hanno portato al superamento di quota 5.0 m a Ponte degli Angeli. Per la sezione di Ponte degli Angeli si sono considerati anche i valori massimi di portata ricostruiti, ossia ottenuti dai livelli misurati sulla base della scala delle portate. Si tratta dei valori riportati in forma tabellare e in forma grafica in Fig. 6.4. Nel grafico di tale figura sono poste in relazione le portate massime calcolate nel Timonchio a Ponte Scartezzini con le portate massime calcolate e ricostruite a Ponte degli Angeli nel corso dei 14 eventi.

Per definire i valori soglia si è fatto riferimento alla correlazione tra le portate calcolate nel Timonchio e quelle calcolate a Ponte degli Angeli. Tale correlazione fornisce, a parità di portata nel Timonchio, valori di portata nel Bacchiglione superiori a quelli che si otterrebbero se si utilizzassero le portate ricostruite, le quali risentono degli effetti della propagazione e delle eventuali esondazioni. Tuttavia, è da attendersi in futuro che, per effetto degli interventi eseguiti dal Genio Civile di Vicenza, con conseguenti incremento della capacità di deflusso del fiume in città e riduzione delle fuoriuscite d'acqua nei punti più critici, le portate a Ponte degli Angeli aumentino a parità di deflusso nel Timonchio, soprattutto per i valori più elevati. Per tenere conto di questi probabili

incrementi di portata nel tratto cittadino del fiume, si ritenuta maggiormente significativa la correlazione tra le portate calcolate.

N. evento	Data colmo		H colmo P.A. (m)	Timonchio a Ponte Scartezzini Qmax calc (m ³ /s)	Bacchiglione a Ponte degli Angeli	
	giorno	ora			QBmax calc (m ³ /s)	QBmax ric (m ³ /s)
1	01/11/2010	19:00	6.18	291.5	412.5	290.38
2	11/11/2012	15:30	5.91	172.3	309.0	265.46
3	16/05/2013	23:00	5.71	143.1	265.2	247.75
4	07/11/2000	00:30	5.66	163.0	286.9	243.42
5	16/11/2014	02:00	5.28	148.1	230.1	211.83
6	24/12/2010	03:00	5.27	136.9	227.7	211.03
7	04/05/2010	19:00	5.15	124.1	202.9	201.55
8	20/09/1999	23:30	5.13	127.7	196.7	200.00
9	28/11/2003	04:00	5.11	139.3	207.9	198.44
10	20/12/1997	14:00	5.05	119.2	207.7	193.83
11	16/11/2010	15:30	5.03	127.2	200.0	192.31
12	31/01/2014	08:00	5.03	78.2	203.9	192.31
13	04/10/2005	00:00	5.02	92.8	195.0	191.55
14	11/08/2002	13:00	5.00	70.6	198.2	190.03

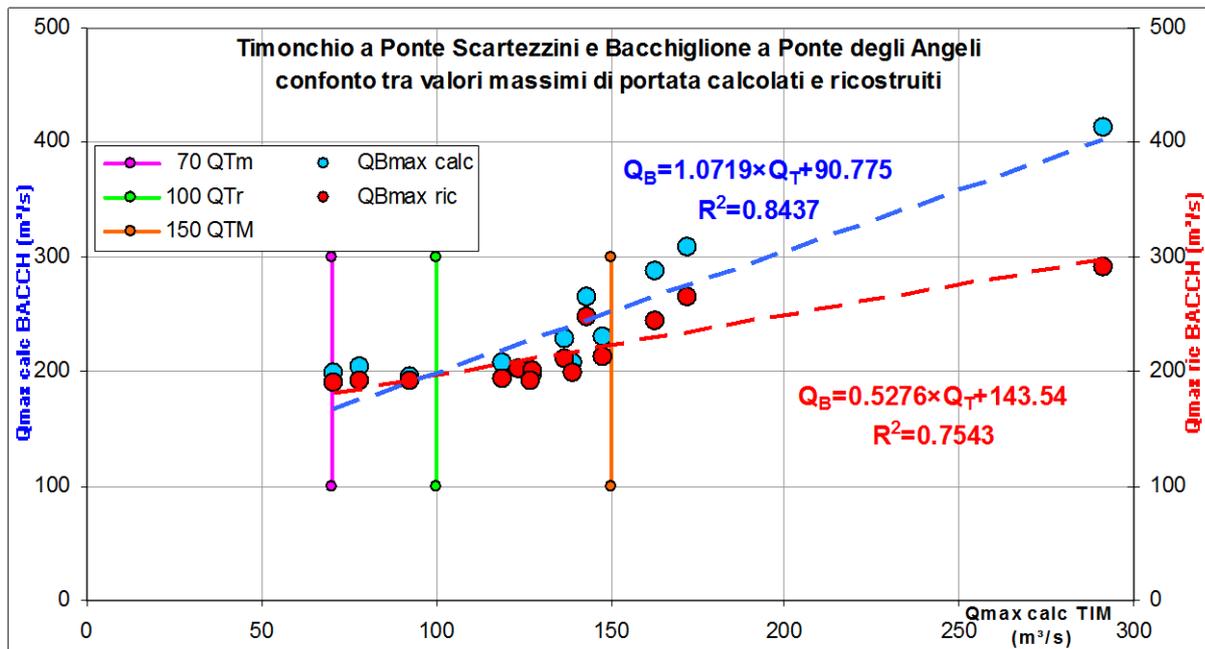


Fig. 6.4 – Valori massimi di portata calcolati con il modello idrologico, per i 14 eventi storici considerati ai fini dell'indagine, nelle sezioni del Timonchio a Ponte Scartezzini e del Bacchiglione a Ponte degli Angeli, e ricostruiti sulla base della scala delle portate nella sezione di Ponte degli Angeli, e loro correlazione. Nel grafico sono riportati anche i valori soglia di 70, 100 e 150 m³/s per il Timonchio a Ponte Scartezzini.

In definitiva:

- per la portata massima nel Timonchio oltre la quale si prevede di dover sempre aprire le paratoie dell'opera di presa del bacino di Caldogno (Q_{TM}), si adotta il valore di $150 \text{ m}^3/\text{s}$ che è stato superato solo 3 volte nei 14 eventi considerati, tra i quali i due principali di ottobre-novembre 2010 e novembre 2012 che hanno determinato situazioni di crisi lungo i tratti del fiume a monte di Vicenza e in attraversamento alla città, ed a cui corrisponde sulla retta di correlazione superiore un valore di portata nel Bacchiglione di circa $250 \text{ m}^3/\text{s}$;
- per la portata minima nel Timonchio, vale a dire quella al di sotto della quale non si prevede di aprire le paratoie del bacino (Q_{TM}), si è adottato il valore di $70 \text{ m}^3/\text{s}$, a cui corrisponde sulle rette di correlazione una portata nel Bacchiglione a Vicenza di $170\text{-}180 \text{ m}^3/\text{s}$. Il valore adottato per Q_{TM} potrebbe sembrare relativamente basso, giacché portate dell'ordine di $170\text{-}180 \text{ m}^3/\text{s}$ potrebbero defluire nel tratto cittadino del fiume con ampi margini di sicurezza. È peraltro da osservare che a valori di portata nel Timonchio di questo ordine di grandezza ($70 \text{ m}^3/\text{s}$) potrebbero corrispondere portate più elevate nel Bacchiglione, prossime o superiori ai $200 \text{ m}^3/\text{s}$, in occasione di eventi, come quelli di gennaio 2014 e di agosto 2002 (eventi n. 12 e n. 14 in Fig. 6.4), in cui gli altri corsi d'acqua che costituiscono il sistema idrografico (Orolo, Igna, ecc.) contribuiscano più del Timonchio alla formazione della piena in attraversamento alla città. Per tale motivo, si ritiene adeguato mantenere su tale valore la soglia minima di intervento del bacino. Un eventuale funzionamento della cassa per portate nel Timonchio inferiori a tale valore sarebbe invece probabilmente poco significativo per gli effetti attesi a Ponte degli Angeli, tanto più se si osserva che alla quota di attivazione dell'opera di presa, pari al fondo dell'opera stessa, sulla scala di deflusso nel Timonchio (Fig. 4.21 al paragrafo 4.3) corrisponde una portata di circa $40 \text{ m}^3/\text{s}$ che, quindi, defluisce comunque verso valle senza poter essere intercettata;
- per il cosiddetto valore della portata di riferimento nel Timonchio (Q_{TR}), intermedio tra quello minimo e quello massimo, si è ora adottato il valore di $100 \text{ m}^3/\text{s}$, corrispondente alla intersezione tra le due rette di correlazioni proposte nel grafico di Fig. 6.4 e con portata nel Bacchiglione di $200 \text{ m}^3/\text{s}$;
- per attivare le paratoie del bacino, si dovrà fare riferimento anche ai livelli a Ponte degli Angeli, in particolare a quelli previsti con 2 ore di anticipo mediante il modello semplificato, che dovranno essere confrontati con il relativo valore di soglia (H_{PALIM}). A tale riguardo, si osserva che, trattandosi di un valore di confronto per livelli previsti con 2 ore di anticipo, esso può essere ora spostato verso valori superiori rispetto a quello considerato per la FASE 1 (pari a 5.40 m) e più vicini ai valori di livello limite valutati per il Bacchiglione a Vicenza, pari a $6.00\text{-}6.18 \text{ m}$. In particolare, nell'ambito della presente analisi si è assunto un valore pari a 5.70 m , in modo da avere un margine di sicurezza sia temporale, le 2 ore di anticipo, sia sulle quote idrometriche, vale a dire $30\text{-}50 \text{ cm}$ di franco rispetto ai livelli limite sopra citati.

Si ribadisce, peraltro, ancora, che i valori soglia potranno essere modificati nel corso del tempo, mano a mano che si acquisiranno le conoscenze sugli eventi di piena che si dovessero verificare e che potranno essere osservati mediante i nuovi strumenti di misura appositamente installati, consentendo di correlare con maggior accuratezza i livelli/portate misurati a Ponte degli Angeli con le portate misurate nel Timonchio e negli altri corsi d'acqua.

Sulla base dei valori qui attribuiti ai parametri di controllo, si prevede quindi che l'attivazione dell'opera di presa possa avvenire al superamento dei valori soglia riportati nella successiva Tab. 6.4. In particolare, a parità degli altri valori di riferimento, si prevede che le paratoie possano aprirsi, per gli eventi brevi, per valori di portata nel Timonchio ($100 \text{ m}^3/\text{s}$) più bassi rispetto a quelli proposti per gli eventi lunghi ($150 \text{ m}^3/\text{s}$) che sono generalmente contraddistinti da volumi più elevati sul

colmo della piena. Allo stesso modo, l'apertura delle paratoie risulterebbe anticipata se la previsione a 2 ore del livello a Ponte degli Angeli dovesse superare il valore di soglia di 5.70 m (70 m³/s) rispetto ai casi con livello inferiore ad esso (100 m³/s e 150 m³/s).

Si osserva che la scelta di alzare la soglia di attivazione del bacino per gli eventi lunghi consente di rendere più efficace il funzionamento della cassa stessa relativamente agli eventi più importanti e critici e con maggior volume d'acqua che hanno interessato, come quello dell'ottobre-novembre 2010, e che potranno interessare nel futuro il sistema del Bacchiglione. Allo stesso modo, la riduzione della soglia per gli eventi brevi, come quello del novembre 2012, caratterizzati da valori al colmo elevati ma da volumi d'acqua relativamente ridotti, potrà far sentire comunque gli effetti della laminazione anche sui colmi della piena a Ponte degli Angeli.

H_{PA+2} < 5.70 m	
<u>EVENTO BREVE</u>	<u>EVENTO LUNGO</u>
Q _{T1} ≥ 100 m ³ /s	Q _{T1} ≥ 150 m ³ /s
H_{PA+2} ≥ 5.70 m	
<u>EVENTO BREVE</u>	<u>EVENTO LUNGO</u>
Q _{T1} ≥ 70 m ³ /s	

Tab. 6.4 – Condizioni di apertura per le paratoie del bacino di Caldogno nella FASE 2 di esercizio, sulla base della portata fluente nel Timonchio rilevata in tempo reale a Ponte Scartezzini (Q_{T1}) e del livello previsto con due ore di anticipo nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli (H_{PA+2}) e dei valori soglia qui proposti.

Se si considerano le regole di attivazione proposte per la FASE 1, si rileva che la 2^a e la 3^a regola, in FASE 2, sono di fatto incorporate nel modello di previsione semplificato, in quanto, per determinare il livello idrometrico a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo, a partire dall'istante attuale, si utilizzeranno sia i valori di portata in tempo reale delle stazioni di misura di monte, sia il livello attuale del Bacchiglione nella stessa sezione di Ponte degli Angeli. Si ritiene, quindi, che la 3^a regola della FASE 1 possa essere al momento eliminata nella procedura della FASE 2, rimandando a valutazioni ulteriori, che si potranno effettuare una volta acquisiti i dati di piene reali osservate mediante i nuovi strumenti di misura, l'eventuale scelta finale di mantenere, magari con valore di soglia incrementato, o non mantenere tale criterio di attivazione del bacino.

Come per la procedura a breve termine, la verifica di funzionamento della procedura a lungo termine prevista per l'attivazione delle paratoie dell'opera di presa è stata eseguita considerando 14 eventi di piena storici e 9 eventi di piena sintetici. I risultati della simulazione sono riportati, accanto ai dati caratteristici di ogni piena, in Tab. 6.5, nella parte campita in colore verde, per gli eventi "brevi", e in colore arancione, per gli eventi "lunghi".

Studio idrologico e idraulico per la definizione delle logiche di gestione del bacino di Caldogno e implementazione delle procedure per l'attivazione delle opere di regolazione dei manufatti

N. evento	Data colmo		P.A. H colmo (m)	Timonchio Q max (m ³ /s)	Affluenti Q max (m ³ /s)	Volume per H>5.4 (m ³ ×10 ⁶)	Durata	Data attivazione		Timonchio Q (m ³ /s)	P.A. H (m)	P.A.+2ore H (m)
	giorno	ora						giorno	ora			
1	11/11/2012	15:30	5.91	175.4	258.5	0.7	breve	11/11/12	10:00	113.9	4.13	5.40
2	16/11/2014	02:00	5.28	161.1	217.2	-	-	-	-	-	-	-
3	31/01/2014	08:00	5.03	77.5	130.2	-	-	-	-	-	-	-
4	01/11/2010	19:00	6.18	291.5	387.5	4.8	LUNGO	31/10/10	22:15	150.2	4.76	5.19
5	11/11/2012	15:30	5.91	172.3	257.1	0.7	breve	11/11/12	07:45	101.5	3.28	4.03
6	16/05/2013	23:00	5.71	143.1	222.0	0.6	breve	16/05/13	13:45	104.8	4.51	5.25
7	07/11/2000	00:30	5.66	163.0	234.8	0.4	breve	06/11/00	17:30	100.3	4.23	5.25
8	16/11/2014	02:00	5.28	148.1	203.5	-	-	-	-	-	-	-
9	24/12/2010	03:00	5.27	136.9	178.4	-	-	-	-	-	-	-
10	04/05/2010	19:00	5.15	124.1	156.9	-	-	-	-	-	-	-
11	20/09/1999	23:30	5.13	127.7	164.2	-	-	-	-	-	-	-
12	28/11/2003	04:00	5.11	139.3	182.2	-	-	-	-	-	-	-
13	20/12/1997	14:00	5.05	119.2	169.8	-	-	-	-	-	-	-
14	16/11/2010	15:30	5.03	127.2	166.7	-	-	-	-	-	-	-
15	31/01/2014	08:00	5.03	78.2	137.6	-	-	-	-	-	-	-
16	04/10/2005	00:00	5.02	92.8	137.9	-	-	-	-	-	-	-
17	11/08/2002	13:00	5.00	70.6	141.0	-	-	-	-	-	-	-

N. evento	Caratteristiche idrogrammi		P.A. H colmo (m)	Timonchio Q max (m ³ /s)	Affluenti Q max (m ³ /s)	Durata	Durata	Data attivazione		Timonchio Q (m ³ /s)	P.A. H (m)	P.A.+2ore H (m)
	Qmax-forma	Tr (anni)						giorno	ora			
18	P.Def-nov2010	25	5.96	209.5	278.61	1.29	breve	31/10/10	21:45	101.0	3.20	4.15
19	P.Def-nov2010	50	6.30	267.07	355.13	4.12	LUNGO	31/10/10	23:00	150.6	4.41	5.12
20	P.Def-nov2010	100	6.47	361.39	480.55	11.25	LUNGO	31/10/10	21:00	156.1	4.15	5.12
21	P.Def-nov2012	25	5.78	165.4	246.72	0.51	breve	11/11/12	08:00	108.1	1.94	3.97
22	P.Def-nov2012	50	6.25	210.8	314.49	2.05	breve	11/11/12	07:30	110.6	2.11	4.03
23	P.Def-nov2012	100	6.44	285.2	425.56	3.42	breve	11/11/12	07:00	112.9	2.57	4.18
24	P.Def-gen2014	50	6.25	145.0	230.48	2.66	breve	31/01/14	04:15	104.2	5.26	5.64
25	P.Def-gen2014	75	6.47	170.7	271.32	4.34	LUNGO	31/01/14	03:00	91.6	5.40	5.71
26	P.Def-gen2014	100	6.67	196.2	311.88	5.60	LUNGO	31/01/14	01:30	83.4	5.37	5.72

Tab. 6.5 – Determinazione dell'istante di attivazione dell'opera di presa del bacino di Caldogno secondo la procedura definita per la FASE 2, considerando le ricostruzioni delle portate nel Timonchio a Ponte Scartezini (eventi 1-3), gli idrogrammi calcolati con il modello idrologico per le 14 piene storiche di riferimento (eventi 4-17) e gli idrogrammi valutati per eventi di piena sintetici con tempo di ritorno variabile da 25 a 100 anni e con forma pari a quella degli eventi di ottobre-novembre 2010, di novembre 2012 e di gennaio 2014 (eventi 18-26).

Relativamente ai 3 eventi con idrogramma misurato a Ponte Scartezini (eventi 1-3 in Tab. 6.5), si rileva che il bacino interviene in un solo caso, identificato come breve, per il superamento della portata di 100 m³/s nel Timonchio, ma con livelli a Ponte degli Angeli, a +2 ore dall'istante di attivazione delle paratoie, non molto distanti dal valore di soglia di 5.70 m.

Se si considerano gli idrogrammi calcolati dei 14 eventi esaminati che hanno superato la quota di 5 m a Ponte degli Angeli negli ultimi 20 anni (eventi 4-17 in Tab. 6.5), si rileva che solo 4 di essi avrebbero determinato l'attivazione del bacino, avendo superato la quota di 5.4 m a Ponte degli Angeli. Di questi 4 eventi, sulla base del volume di piena calcolato per livelli superiori ai 5.4 m, 3 eventi sarebbero stati classificati come brevi e il rimanente, quello di ottobre-novembre 2010, come lungo.

Il bacino interviene sugli eventi brevi sempre per il superamento della portata di 100 m³/s nel Timonchio, con livelli a Ponte degli Angeli a +2 ore ben superiori ai 5.0 m, in almeno due casi. Il bacino interviene sull'evento lungo per superamento della portata di 150 m³/s nel Timonchio, con livello a Ponte degli Angeli previsto a +2 ore pari a quasi 5.2 m.

La frequenza di intervento del bacino di laminazione è ora pari a 4 volte in 20 anni e quindi a 1 volta ogni 5 anni circa, inferiore rispetto a quella attesa per la FASE 1, di 1 volta ogni 2 anni.

Facendo riferimento agli eventi sintetici con tempo di ritorno variabile da 25 a 100 anni (eventi 18-26 in Tab. 6.5), infine, il bacino interviene:

- per gli eventi con forma pari a quella dell'evento di ottobre-novembre 2010, per il superamento della soglia di 100 m³/s nel Timonchio per l'evento breve (Tr=25 anni) e per il superamento della soglia di 150 m³/s nel Timonchio stesso per gli eventi lunghi (Tr=50-100 anni);
- per gli eventi con forma pari a quella dell'evento di novembre 2012, identificati come brevi, per il superamento della soglia di 100 m³/s nel Timonchio;
- per gli eventi con forma pari a quella dell'evento di gennaio 2014, con apporti dall'Orolo confrontabili con quelli dal Timonchio, per il superamento della soglia di 100 m³/s nel Timonchio stesso per l'evento breve (Tr=50 anni) e per il superamento della soglia di 5.70 m a Ponte degli Angeli, a +2 ore dall'istante attuale, per i due eventi lunghi (Tr=75-100 anni).

Analogamente a quanto previsto nella FASE 1 di esercizio del bacino, anche nella successiva FASE 2, le paratoie dell'opera di presa, dopo l'apertura, saranno soggette ad una regolazione a portata costante che dipenderà da quale opzione, tra quelle sintetizzate in Tab. 6.4, ne avrà determinato l'apertura stessa.

Se le paratoie sono state aperte per superamento delle portate di 100 m³/s (eventi brevi) o di 150 m³/s (eventi lunghi) nel Timonchio, le paratoie stesse saranno regolate in modo da far defluire in alveo del Timonchio a valle una portata costante, pari proprio a 100 o 150 m³/s. Per ottenere questa regolazione, le paratoie dovranno essere movimentate facendo in modo di mantenere costante il livello nel Timonchio misurato all'opera di presa, e pari al valore istantaneo registrato allorché la portata nel Timonchio stesso abbia superato il valore di soglia.

Se le paratoie sono state invece aperte per il superamento, all'istante attuale + 2 ore, della quota di 5.70 m a Ponte degli Angeli, le paratoie dovranno essere regolate per mantenere costante il livello nel Timonchio all'opera di presa, pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, con un andamento in crescita dei livelli nel Timonchio, oppure pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, dedotti 25 cm, con un andamento in decrescita dei livelli nel Timonchio.

Per la chiusura delle paratoie dell'opera di presa si dovranno ancora controllare la portata nel Timonchio, attraverso il livello idrometrico esterno alla griglia, e il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli come in FASE 1:

- con un livello decrescente nel Bacchiglione da almeno 2 ore, anche se superiore ai 5.40 m, la completa chiusura delle paratoie potrà avvenire quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del valore di regolazione (100-150 m³/s o quello corrispondente all'apertura determinata per il superamento della quota di 5.70 m prevista con 2 ore di anticipo a Ponte degli Angeli) e quindi quando il livello idrometrico all'opera di presa scenderà al di sotto di quello impostato come riferimento, mantenuto fino ad allora costante nel tempo;
- con un livello nel Bacchiglione crescente e superiore a 5.40 m, allorché i valori di portata/livello nel Timonchio dovessero scendere al di sotto di quelli di regolazione, si dovrà impostare una nuova soglia di controllo (livello attuale -25 cm) e manovrare quindi le paratoie con regolazione a portata costante inferiore alla precedente. La successiva completa chiusura delle paratoie potrà avvenire solo quando la portata in arrivo nel Timonchio dovesse scendere al di sotto del nuovo valore di regolazione, con livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli in decrescita, per valori inferiori o superiori a 5.40 m, o in crescita, ma per valori solo inferiori a 5.40 m.

Anche per la FASE 2, le valutazioni sul funzionamento del bacino di laminazione, con l'applicazione delle regole di apertura/chiusura dell'opera di presa e anche dei manufatti di interconnessione e scarico di fondo delle casse, e sugli effetti dell'intervento del bacino stesso relativamente agli eventi storici osservati ed a quelli sintetici proposti, sono illustrati in dettaglio ai successivi paragrafi 6.4 e 6.5.

6.3 Procedura per la gestione delle paratoie degli scarichi di fondo e del manufatto di interconnessione

In linea generale, operando sulle paratoie che presidiano gli scarichi di fondo delle due casse e il manufatto di interconnessione è possibile intervenire sulle modalità di riempimento del bacino e sulle modalità di svuotamento dello stesso, ma non sull'effetto di laminazione complessivo delle onde di piena in arrivo da monte nel Timonchio.

Regolando il manufatto di interconnessione, si possono controllare le modalità di riempimento delle casse e si può intervenire anche nelle fasi di svuotamento, se risultasse necessario svuotare, in parte, la cassa di monte attraverso lo scarico di quella di valle.

Regolando gli scarichi di fondo delle due casse, compatibilmente con i criteri da osservare per le operazioni di svuotamento, si possono rendere più veloci tali operazioni di svuotamento per rendere disponibile il volume per un eventuale ulteriore evento di piena immediatamente successivo al primo.

In condizioni normali, invece, con la regolazione degli scarichi e del manufatto di interconnessione si consente il deflusso verso il Timonchio delle acque meteoriche interne.

Le paratoie degli scarichi e del manufatto di interconnessione sono, infine, sostanzialmente controllate e regolate attraverso le misure in tempo reale dei livelli interni alle casse e dei livelli/portate al ponte di località Capovilla di Caldogno, a valle del bacino, nonché dei livelli nel freatimetro installato a sud del bacino stesso.

6.3.1 Gli scarichi di fondo

In condizioni normali, le paratoie dello scarico di fondo della cassa di valle devono restare aperte, con un grado di apertura peraltro basso, pari a circa 20 cm, per consentire alle acque meteoriche che dovessero cadere nel bacino di defluire in alveo del Timonchio, senza ristagnare all'interno. Quelle dello scarico di fondo della cassa di monte possono restare invece chiuse.

All'inizio di una ipotetica piena, per impedire l'ingresso di acqua del Timonchio attraverso lo scarico della cassa di valle e preparare così il bacino a ricevere le acque del torrente attraverso l'opera di presa, le paratoie poste a presidio dello scarico stesso si devono chiudere. La chiusura deve avvenire quando il livello idrometrico nel Timonchio, in fronte allo scarico della cassa di valle, raggiunge una quota tale da rigurgitare lo scarico stesso.

In pratica, non essendo previsti misuratori di livello esterni agli scarichi di fondo, le paratoie dello scarico di valle si devono chiudere quando i valori di livello e di portata registrati alla stazione di misura dei livelli e delle portate posizionata sul ponte di località Capovilla di Caldogno, a valle del bacino, superano valori limite prefissati. A tale riguardo, in Tab. 6.6 sono riportate, per valori di portata uguali e inferiori a 75 m³/s, le corrispondenze determinate con il calcolo tra i livelli alla sezione del ponte di località Capovilla e quelli in fronte agli scarichi sia della cassa di valle, sia della cassa di monte.

La quota nel Timonchio che si può assumere come limite per la chiusura è di 56.25 m s.l.m.. Con questa quota, infatti, gli effetti di rigurgito all'interno della cassa possono interessare solo la zona occupata dal canale di raccolta delle acque meteoriche (fondo a 55.9 m s.l.m.) ma non il fondo cassa vero e proprio (fondo a 56.5 m s.l.m.).

Con tale assunzione i valori limite al ponte di località Capovilla, il cui superamento determina la chiusura delle paratoie dello scarico di fondo di valle, corrispondono a $H_{\text{capovilla}}=54.73$ m s.l.m. e $Q_{\text{capovilla}}=25$ m³/s (Tab. 6.6).

Durante l'evoluzione della piena, le paratoie degli scarichi devono restare ovviamente chiuse per consentire l'invaso del bacino. Una volta riempito parzialmente o totalmente il bacino e portate a completa chiusura le paratoie dell'opera di presa, l'acqua eventualmente invasata nelle casse vi deve permanere, in attesa di poter aprire le paratoie degli scarichi di fondo al verificarsi di alcune condizioni. Una volta riempito il bacino a seguito di un evento di piena, esso deve essere peraltro svuotato il prima possibile per rendere disponibile il volume per un eventuale evento di piena immediatamente successivo al primo. In particolare, secondo quanto riportato nel Progetto Definitivo, lo svuotamento delle due casse potrà avvenire in simultanea, o in successione, garantendo i seguenti criteri:

- *la massima portata che deve defluire nel Timonchio a valle delle opere di restituzione deve essere inferiore a 75 m³/s;*
- *la velocità di abbassamento del livello d'acqua in cassa deve essere inferiore a 50 cm/h, così da scongiurare la possibilità di fenomeni di dissesto arginale per rapido svaso (le arginature sono comunque verificate per resistere a svaso istantaneo) e per limitare i fenomeni di ruscellamento e dilavamento superficiale del terreno.*

A tali criteri possono essere associati anche i due seguenti:

- che gli scarichi possano essere aperti solo quando il livello dell'acqua all'interno delle due casse sia superiore rispetto a quello in alveo del Timonchio;
- che l'acqua rimasta invasata al termine dell'evento in ciascuna delle due casse sia preferibilmente restituita in alveo attraverso il proprio scarico di fondo.

Quest'ultimo criterio discende dal fatto che si dovrebbe evitare di trasferire l'acqua dalla cassa di monte a quella di valle attraverso il manufatto di interconnessione, allagandone il fondo, quando durante la fase di riempimento si sia preferito invasare solo la cassa di monte stessa.

Sulla base dei vincoli sopra enunciati, la fase di svuotamento delle casse potrà iniziare quando il livello idrometrico nel Timonchio misurato alla stazione di località Capovilla di Caldogno, a valle del bacino, raggiungerà una quota corrispondente alla portata di 75 m³/s. Tuttavia, prima di aprire le paratoie degli scarichi, si dovrà confrontare il livello interno alle casse, registrato dagli appositi strumenti di misura, con il livello esterno in Timonchio, dedotto da quello di località Capovilla con il calcolo. Si tratta dei livelli idrometrici calcolati di fronte agli scarichi della cassa di monte e di valle riportati nella sopra citata Tab. 6.6, e che sono pari a 57.0 m s.l.m. per lo scarico di valle e a 60.57 m s.l.m. per lo scarico di monte, per la portata di 75 m³/s. Una volta soddisfatte tutte le condizioni per l'avvio dello svuotamento, le paratoie degli scarichi possono essere aperte e il grado di apertura deve essere regolato per mantenere, da una parte, costante e non superiore a 75 m³/s la portata fluente attraverso la sezione del ponte di località Capovilla e, dall'altra, la velocità di abbassamento del livello interno alle casse inferiore a 50 cm/ora.

In relazione al livello d'acqua interno alle due casse, è verosimile che possa essere dapprima attivato lo scarico della cassa di valle rispetto a quello della cassa di monte, essendo quest'ultimo più

fortemente rigurgitato dai livelli che si stabiliscono nel Timonchio per valori di portata pari o inferiori ai 75 m³/s (Tab. 6.6).

Sulla base degli stessi livelli idrometrici calcolati in alveo del Timonchio (Tab. 6.6), si osserva che per svuotare la stessa cassa di monte, almeno per l'ultimo metro circa, potrebbe rivelarsi comunque necessario utilizzare il manufatto di interconnessione e lo scarico di valle, dato che la quota di fondo dello scarico (58.6 m s.l.m.) è inferiore ai livelli che si stabiliscono nel Timonchio con le portate più basse. Questo consentirebbe di rendere più veloci le operazioni di svuotamento complessivo del bacino, adottando peraltro l'accortezza di far defluire le portate dalla cassa di monte a quella di valle solo entro il canale di scolo delle acque meteoriche.

Una volta svuotate le casse, con la piena in fase di esaurimento o al termine di essa, le paratoie degli scarichi di fondo dovranno essere portate nello stato previsto per le condizioni normali di esercizio, ossia chiuse quelle dello scarico di monte e aperte, con basso grado di apertura, quelle dello scarico di valle.

Alla luce di quanto sopra illustrato, in definitiva, le operazioni di svuotamento saranno regolate sulla base delle registrazioni della portata e del livello idrometrico al ponte di località Capovilla e delle registrazioni dei livelli d'acqua interni alle due casse che costituiscono il bacino.

Portata Timonchio (m ³ /s)	Ponte Capovilla MONTE Livello (m s.m.)	scarico di VALLE fondo scarico = 55.9 fondo cassa = 56.5 Livello (m s.m.)	scarico di MONTE fondo scarico = 58.6 fondo cassa = 59.1 Livello (m s.m.)
75	55.51	57.00	60.57
70	55.44	56.94	60.49
65	55.38	56.88	60.43
60	55.31	56.81	60.34
55	55.23	56.75	60.25
50	55.16	56.68	60.16
45	55.08	56.61	60.06
40	55.00	56.54	59.96
35	54.92	56.46	59.84
30	54.83	56.37	59.73
25	54.73	56.27	59.60
20	54.62	56.17	59.47
15	54.50	56.05	59.32
10	54.36	55.88	59.15
5	54.19	55.62	58.93

Tab. 6.6 – Valori dei livelli idrometrici calcolati con il modello uni-bidimensionale in corrispondenza del ponte di località Capovilla di Caldogno e corrispondenti valori del livello idrometrico calcolato in fronte alla posizione degli scarichi di fondo della cassa di monte e della cassa di valle, per portate uguali e inferiori a 75 m³/s.

6.3.2 Il manufatto di interconnessione

In condizioni normali di esercizio, per fare in modo che le acque meteoriche cadute al suolo all'interno delle casse possano defluire all'esterno attraverso lo scarico di fondo della cassa di valle, le paratoie del manufatto di interconnessione restano aperte, con un ridotto grado di apertura, pari a circa 20 cm.

All'inizio di una piena, anche tali paratoie si devono portare nello stato previsto per accogliere le acque del Timonchio all'interno del bacino. In particolare:

- se il freatimetro installato a sud del bacino segnala condizioni di falda bassa, il manufatto di interconnessione viene chiuso;
- se il freatimetro installato a sud del bacino segnala condizioni di falda alta, il manufatto di interconnessione resta aperto, con un ridotto grado di apertura, pari, ad esempio, a 5 cm.

Durante la piena, nel caso in cui il bacino di laminazione dovesse entrare in funzione accogliendo le acque del Timonchio, le manovre da eseguire sulle paratoie del manufatto di interconnessione non determinerebbero differenze sostanziali sugli effetti di laminazione complessivi dell'invaso. Ovviamente esse determinano invece differenze sul modo di riempire le due casse che costituiscono il bacino. In particolare, secondo quanto riportato nel Progetto Definitivo:

- *in caso di **falda bassa** si predilige il riempimento della sola cassa di monte fino alla quota del petto dell'opera di presa (63.40 m s.l.m.). Raggiunto tale livello vengono aperte le paratoie di collegamento con la cassa di valle permettendo il transito di tutta la portata derivata dal Timonchio fino al completo riempimento della cassa di valle. Al raggiungimento della quota di massima regolazione della cassa di valle (60.90 m s.l.m.) vengono chiuse le paratoie dell'opera di collegamento e si permette il riempimento della cassa di monte fino alla quota di massima regolazione (64.0 m s.l.m.). Se i livelli nel Timonchio lo richiedono, si continua a derivare portata in cassa fino al raggiungimento della quota di massimo invaso nelle due casse (64.80 m s.l.m. per la cassa di monte e 61.70 m s.l.m. per la cassa di valle);*
- *in caso di **falda alta** le due casse vanno riempite in modo uniforme così da diminuire il battente e quindi l'infiltrazione nel sottosuolo. L'opera di collegamento va quindi gestita derivando nella cassa di valle poco meno della metà della portata in ingresso. Al raggiungimento della quota di massima regolazione di entrambe le casse le paratoie dell'opera di collegamento vengono chiuse e si consente lo sfioro superficiale fino alla quota di massimo invaso.*

Tutte le manovre da eseguire sulle paratoie del manufatto di interconnessione sono indipendenti da quelle che saranno eseguite all'opera di presa e dovranno essere controllate basandole esclusivamente, ad inizio evento, sulla misura di livello del freatimetro e, nel corso dell'evento, sulla misura dei livelli all'interno delle due casse, mediante le due stazioni di misura poste poco a monte dei rispettivi scarichi di fondo.

Nel caso di falda bassa, dopo aver riempito la cassa di monte fino alla quota di 63.40 m s.l.m., si dovranno aprire le paratoie del manufatto di interconnessione per far defluire nella cassa di valle tutta la portata che entra all'opera di presa. Questo significa che il grado di apertura delle paratoie dovrà essere regolato in modo da mantenere costante nel tempo, e pari a 63.40 m s.l.m., il livello nella cassa di monte.

Nel caso di falda alta, invece, per riempire il bacino in modo uniforme, l'opera di interconnessione dovrà essere regolata in modo tale da far defluire nella cassa di valle circa il 40% della portata complessiva entrante attraverso la presa. Le paratoie dovranno essere quindi manovrate per mantenere, nella prima fase di riempimento, uguali tiranti d'acqua all'interno delle due casse, sulla base delle misure di livello registrate nelle stazioni posizionate in prossimità degli scarichi di fondo.

Si fa osservare che, in base ai criteri sopra definiti, nell'istante di chiusura finale delle paratoie dell'opera di presa, qualunque sia il grado di riempimento delle due casse, anche le paratoie dell'opera di interconnessione perverranno alla completa chiusura e nelle due casse stesse, di monte e di valle, resterà temporaneamente immagazzinata, prima del successivo scarico, l'acqua invasata in ciascuna di esse.

Si fa osservare, inoltre, che al termine della piena, con lo svuotamento del bacino, le paratoie del manufatto di interconnessione dovranno essere portate nella situazione prevista per le condizioni

normali di esercizio e quindi in basso grado di apertura, per consentire il deflusso delle acque meteoriche interne.

6.4 Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino sugli eventi del passato e sugli eventi sintetici

In questo paragrafo si illustrano i risultati delle verifiche condotte con il modello idrodinamico unidimensionale per valutare gli effetti del bacino di laminazione sugli eventi di piena, considerando sia la procedura di attivazione delle paratoie dell'opera di presa prevista nella FASE 1 a breve termine, sia quella prevista nella FASE 2 a lungo termine.

Per le verifiche si sono esaminati tutti gli eventi storici e sintetici generati a partire dai risultati ottenuti con il modello idrologico, illustrati nel paragrafo 3.5.1, per i 14 eventi storici, e nel paragrafo 3.5.2, per i 9 sintetici.

Alcune simulazioni preliminari condotte considerando condizioni di falda bassa/alta hanno evidenziato che le modalità previste per il riempimento delle due casse che costituiscono il bacino in tali due condizioni non determinano differenze significative per gli effetti di laminazione complessivi dell'invaso sui livelli e sulle portate nel Timonchio. Ovviamente, esse determinano invece differenze sul modo di riempire le due casse. Pertanto, le simulazioni di calcolo sono state quasi tutte eseguite ipotizzando condizioni di falda bassa. I risultati illustrati nel seguito, ove non espressamente dichiarato, si riferiscono quindi a tale condizione.

FASE 1 (eventi storici)

Relativamente alla FASE 1 e agli eventi storici indagati, la presentazione dei risultati è limitata agli eventi per i quali si sia verificata almeno una delle tre regole di attivazione delle paratoie dell'opera di presa descritte nel paragrafo 6.1 (10 eventi su 14 in Tab. 6.1) e, in particolare, quella che considera il superamento del valore di 120 m³/s da parte della portata del Timonchio a Ponte Scartezzini.

I risultati delle simulazioni di calcolo sono riportati in forma grafica in Appendice C, nel paragrafo 10.1. In Fig. 10.1÷Fig. 10.10, per ciascuno dei 10 eventi simulati, sono illustrati gli andamenti nel tempo dei livelli e delle portate all'opera di presa e nella cassa, nel Timonchio a Ponte del Marchese e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli, ponendo a confronto quelli ottenuti nelle due configurazioni senza e con l'attivazione del bacino stesso. In Tab. 6.7 e in Tab. 6.8 sono invece riportati in sintesi i risultati ottenuti, indicando:

- nella prima, le quote idrometriche massime che si raggiungono, secondo il calcolo, a Ponte del Marchese, a Ponte degli Angeli e all'interno delle due casse di monte e di valle;
- nella seconda, i valori massimi di portata nel Timonchio a Ponte Scartezzini, con la ripartizione tra quella sfiorata nella cassa e quella rilasciata a valle nel corso d'acqua, e a Ponte del Marchese e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

Confrontando i risultati ottenuti senza e con il funzionamento del bacino, nelle due tabelle sono infine evidenziati anche gli effetti dell'attivazione del bacino stesso, in termini di riduzione di livello idrometrico e di portata a Ponte del Marchese e a Ponte degli Angeli.

Sulla base dei risultati sopra citati si possono formulare le seguenti osservazioni:

- Con riferimento all'evento Nov-2010, in Fig. 10.1 si rileva che le portate rilasciate a valle sono superiori alla portata di soglia. Questo significa che il volume della cassa si riempie nel corso

dell'evento e la cassa stessa, per una certa fase della piena, funziona, di fatto, come un by-pass per le portate del Timonchio. L'evento Nov-2010 è l'unico che impegna entrambe le casse riempiendole completamente, prima, peraltro, che la fase di colmo della piena si sia esaurita.

- Per gli altri 9 eventi storici considerati, la portata di soglia prevista nella fase 1 garantisce il funzionamento ottimale del bacino poiché la laminazione avviene con portata residua costante nel Timonchio a valle della cassa, pari a 120 m³/s. Si osserva, peraltro, che per tutti questi eventi il funzionamento del bacino è limitato alla sola cassa di monte, con riempimenti generalmente modesti, senza la necessità di attivare quella di valle.
- L'evento per il quale il bacino di laminazione produce gli effetti massimi è l'evento Nov-2012, per il quale la riduzione del livello a Ponte degli Angeli è di 31 cm. Per l'evento Nov-2010 la riduzione è di 20 cm. La riduzione media dei livelli per i 10 eventi considerati è di 15 cm.
- A Ponte del Marchese si hanno in generale benefici maggiori in termini di riduzione di livelli e portate rispetto a Ponte degli Angeli. Il beneficio massimo è di 46 cm per gli eventi Nov-2012 e Nov 2000, mentre per l'evento Nov-2010 si ottengono riduzioni di 7 cm.

FASE 2 (simulazioni preliminari)

Rispetto alla procedura di attivazione delle paratoie dell'opera di presa prevista in FASE 1, quella proposta per la FASE 2 considera di attivare le paratoie stesse per valori di soglia della portata nel Timonchio diversi in funzione dell'identificazione di un evento di piena come evento lungo o come evento breve.

A tale riguardo, prima di condurre le verifiche su tutti gli eventi storici e su quelli sintetici che soddisfano le condizioni di attivazione delle paratoie in FASE 2, si sono eseguite alcune simulazioni di prova considerando l'evento reale del novembre 2010 (Nov-2010, lungo secondo le valutazioni sintetizzate in Tab. 6.5) e l'evento sintetico riconducibile ad un tempo di ritorno di 100 anni con forma delle onde di piena simili a quelle dell'evento del novembre 2012 (Tr100-2012, breve secondo le valutazioni sintetizzate in Tab. 6.5).

In particolare, considerando valori diversi per la portata di soglia prevista per l'attivazione dell'opera di presa, è stata valutata la variazione degli effetti della laminazione dei colmi della piena del Timonchio, controllando i livelli e le portate nel Timonchio stesso a Ponte del Marchese e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

I risultati delle simulazioni di calcolo sono illustrati in forma grafica in Fig. 6.5 e in Fig. 6.6. I grafici qui riportati illustrano, rispettivamente per l'evento Nov-2010 e per l'evento Tr100-2012, gli andamenti nel tempo dei livelli e delle portate all'opera di presa, nel Timonchio a Ponte del Marchese e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli ottenuti nei diversi casi esaminati, evidenziando la variazione degli effetti che si otterrebbe applicando valori diversi per la portata di soglia. In Tab. 6.9 e Tab. 6.10 sono invece riportati in sintesi i valori massimi calcolati, rispettivamente, per i livelli e le portate.

Sulla base dei risultati sopra citati si possono formulare le seguenti osservazioni:

- Per l'evento Nov-2010 (lungo), per ottenere un funzionamento ottimale del bacino, ossia per ottenere una portata costante rilasciata nel Timonchio a valle della cassa, conoscendo esattamente l'idrogramma in arrivo nel Timonchio stesso da monte, in anticipo rispetto al suo verificarsi, sarebbe necessario spingere il valore della portata di soglia fino a 170 m³/s. Questo tuttavia non si tradurrebbe nel massimo beneficio a Ponte degli Angeli, dove il livello massimo raggiungerebbe comunque il valore di 6.13 m (-20 cm rispetto alla situazione senza cassa), a

causa degli sfasamenti tra l'onda di piena residua rilasciata nel Timonchio e quella in arrivo dagli altri affluenti, in particolare dall'Orolo. I benefici maggiori si otterrebbero con una soglia più bassa (150 m³/s, vale a dire proprio con la soglia qui proposta con la regola di seconda fase), che ridurrebbe il livello a Ponte degli Angeli a 5.97 m (-35 cm rispetto alla situazione senza cassa). La soglia più elevata di 170 m³/s garantirebbe peraltro, come è ovvio, il massimo beneficio sul Timonchio nel tratto immediatamente a valle della cassa stessa e in particolare anche nella sezione di Ponte del Marchese.

- Ancora con riferimento all'evento Nov-2010, dalla Tab. 6.10 emerge che, per tutte le soglie considerate, ad eccezione di quella massima pari a 170 m³/s, le massime portate rilasciate a valle sono superiori alla portata di soglia. Questo significa che il bacino si riempie nel corso dell'evento e la cassa stessa, per una certa fase della piena, funziona come un by-pass per le portate del Timonchio (Fig. 6.5).
- Per l'evento Tr100-2012 (breve), il riempimento del bacino si ottiene solo considerando valori bassi della portata di soglia (80-100 m³/s in Tab. 6.9). Le situazioni corrispondenti a tali valori sono quelle che producono i migliori effetti a Ponte degli Angeli, con riduzioni del livello, rispetto a quello atteso in assenza del bacino (6.44 m), di circa 30 cm. Con soglie di portata più alte, il bacino non si riempie completamente e quindi, non essendo sfruttata tutta la capacità di invaso, le riduzioni di livello sia a Ponte del Marchese, sia a Ponte degli Angeli sono meno significative, rispetto ai casi con valore di soglia più basso.
- Per l'evento Nov-2010, in Tab. 6.9 e in Tab. 6.10 è riportato anche il confronto tra i risultati ottenuti con le due opzioni di funzionamento del manufatto di interconnessione stabilite in base al regime della falda ("falda alta" e "falda bassa", come illustrato nel paragrafo 6.3.2). Come accennato in precedenza, si rileva che nelle due ipotesi di funzionamento del bacino non si ottengono differenze apprezzabili, in termini di riduzione dei livelli e delle portate, né a Ponte del Marchese, né a Ponte degli Angeli.

Alla luce di quanto osservato ai punti precedenti a proposito dei risultati delle simulazioni preliminari, si ritiene quindi che le soglie di portata adottate per il funzionamento della cassa in FASE 2, 100 m³/s per gli eventi brevi e 150 m³/s per gli eventi lunghi, come descritto nel paragrafo 6.2, possano essere, sulla base dei calcoli eseguiti e dei dati ad oggi disponibili, adeguate allo scopo. Si ribadisce, peraltro, ancora una volta, che si tratta di valori che potranno essere meglio definiti una volta che saranno disponibili i dati registrati dalle nuove stazioni di misura dei livelli e delle portate per le piene e le morbide che dovessero verificarsi nei prossimi anni.

FASE 2 (eventi storici ed eventi sintetici)

Una volta eseguite le simulazioni preliminari ed analizzati i relativi risultati, si sono condotte le verifiche con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per valutare gli effetti del bacino di laminazione sugli eventi di piena, adottando la procedura di attivazione delle paratoie dell'opera di presa prevista nella FASE 2 a lungo termine.

I risultati sono stati messi a confronto, oltre che con quelli ottenuti nella configurazione senza cassa, anche con quelli ottenuti considerando l'attivazione dell'opera di presa secondo la procedura proposta per la FASE 1.

Le verifiche ed il confronto dei relativi risultati hanno quindi riguardato solo gli eventi per i quali si sia verificata almeno una delle opzioni di attivazione delle paratoie dell'opera di presa descritte nel paragrafo 6.2 (4 eventi storici su 14, i soli che abbiano superato la quota di 5.4 m a Ponte degli Angeli, e 9 eventi sintetici su 9 in Tab. 6.5). A tale riguardo, si rileva che, per realizzare il confronto

tra gli effetti attesi nella FASE 1 e nella FASE2 di esercizio dell'opera, sono state eseguite le simulazioni di calcolo con le procedure di prima fase anche per gli eventi sintetici considerati.

I principali risultati delle simulazioni, vale a dire gli andamenti nel tempo dei livelli e delle portate all'opera di presa e nella cassa, nel Timonchio a Ponte del Marchese e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli, sono riportati in forma grafica in Appendice C e in particolare:

- in Fig. 10.11÷Fig. 10.19 (paragrafo 10.2), per gli eventi sintetici con procedura di attivazione del bacino di FASE 1;
- in Fig. 10.20÷Fig. 10.23 (paragrafo 10.3), per gli eventi storici con procedura di attivazione del bacino di FASE 2;
- in Fig. 10.24÷Fig. 10.32 (paragrafo 10.4), per gli eventi sintetici con procedura di attivazione del bacino di FASE 2;

ponendo a confronto quelli ottenuti per la configurazione con l'attivazione del bacino e quelli calcolati nella situazione senza l'attivazione del bacino stesso.

In Tab. 6.11 e in Tab. 6.12 sono invece riportati in sintesi i risultati ottenuti, indicando, per ciascuna delle tre configurazioni considerate (senza cassa, Fase 1 e Fase 2) e per ciascuno dei 13 eventi di piena considerati (4 storici e 9 sintetici):

- nella prima, le quote idrometriche massime che si raggiungono, secondo il calcolo, a Ponte del Marchese, a Ponte degli Angeli e all'interno delle due casse di monte e di valle;
- nella seconda, i valori massimi di portata nel Timonchio a Ponte Scartezini, con la ripartizione tra quella sfiorata nella cassa e quella rilasciata a valle nel corso d'acqua, e a Ponte del Marchese e nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli.

Sulla base dei risultati riportati negli elaborati sopra citati, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- Per gli eventi sintetici con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni riconducibili alla forme dell'onda di piena dell'evento storico di novembre 2010 e per l'evento storico stesso, caratterizzato, secondo i valori massimi di portata a Ponte degli Angeli riportati nel Progetto Definitivo da una frequenza temporale di 1 volta ogni 60 anni circa, si osserva che l'attivazione dell'opera di presa secondo la procedura di Fase 2 determinerebbe rispetto a quella di Fase 1 un deciso miglioramento per l'evento "breve" con $T_r=25$ anni, se si fa riferimento ai livelli idrometrici calcolati a Ponte degli Angeli. La riduzione di livello rispetto alla situazione senza cassa è di circa 75 cm nella Fase 1 e di circa 1 m nella Fase 2, per la quale il volume del bacino risulta invasato completamente, in modo pressoché ottimale (Fig. 10.24). Per gli altri tre casi (eventi lunghi con riempimento completo del bacino nelle diverse situazioni esaminate) si rileva che la portata di soglia di Fase 2 produce una sensibile riduzione dei livelli a Ponte degli Angeli rispetto alla Fase 1 soprattutto per l'evento storico (20 cm nella Fase 1 e 35 cm nella Fase 2). Per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni l'effetto migliorativo della Fase 2 rispetto alla Fase 1 si riduce, trattandosi di un evento con volumi molto importanti che determina il riempimento del bacino nel corso della piena stessa e per il quale il valore della portata di soglia dovrebbe essere spinto ancora più in alto per riscontrare variazioni sostanziali sui livelli idrometrici a Ponte degli Angeli.
- Per gli eventi sintetici con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni riconducibili alla forme dell'onda di piena dell'evento storico di novembre 2012 e per l'evento storico stesso, identificati come brevi, l'attivazione dell'opera di presa in Fase 2 determina rispetto a quella in Fase 1 un deciso miglioramento per tutti gli eventi (circa 15 cm in meno rispetto alla Fase 1), fatta eccezione per quello con tempo di ritorno di 100 anni che impegna tutto il volume della cassa in entrambe le situazioni considerate.

- Se si considerano gli eventi con forma delle onde di piena simili a quella dell'evento di gennaio 2014, si rileva una maggiore riduzione dei livelli a Ponte degli Angeli in Fase 2 rispetto alla Fase 1 soprattutto per gli eventi con tempo di ritorno di 50 e 75 anni. Per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni la procedura di Fase 1 determina già un riempimento pressoché completo e ottimale del bacino (Fig. 10.19) e quindi il passaggio alla Fase 2 (Fig. 10.32) non può far altro che replicare sostanzialmente il beneficio atteso a Ponte degli Angeli, riscontrando nei due casi una riduzione di livello rispetto alla configurazione senza cassa rispettivamente di 30 cm e di 31 cm.
- Se si considerano gli eventi storici (caratteri azzurri in Tab. 6.11 e in Tab. 6.12), si osserva per tutti gli eventi esaminati una maggiore riduzione di livello a Ponte degli Angeli, rispetto alla configurazione senza cassa, in Fase 2 piuttosto che in Fase 1, pari rispettivamente a 35 cm e 20 cm per l'evento Nov-2010, a 46 cm e 31 cm per l'evento Nov-2012, a 36 cm e 20 cm per l'evento Mag-2013 e, infine, a 47 cm e 28 cm per l'evento Nov-2000.

Si osserva, infine, che per considerare in modo compiuto gli effetti dell'intervento della cassa utilizzando i risultati del modello uni-bidimensionale, che tengono conto delle tracimazioni arginali e della propagazione delle onde di sommersione sul territorio esterno agli alvei, è opportuno valutare non solo la riduzione dei livelli a Ponte degli Angeli, ma anche la riduzione dei volumi d'acqua fuoriusciti dagli alvei stessi e la riduzione quindi dei volumi di allagamento come illustrato al successivo paragrafo 6.5.

Livelli idrometrici - Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione con la procedura a BREVE TERMINE									
Numero evento	Evento	P. Marchese (m s.l.m.)	P. Angeli (m s.l.m.)	Cassa di monte (m s.l.m.)	Cassa di valle (m s.l.m.)	P. Marchese asta idrom. (m)	P. Angeli asta idrom. (m)	P. Marchese ΔH (m)	P. Angeli ΔH (m)
1	Nov 2010 - senza cassa	40.29	33.12	-	-	3.88	6.32	-	-
	Nov 2010 - fase 1	40.22	32.92	64.72	61.62	3.81	6.12	-0.07	-0.20
2	Nov 2012 - senza cassa	39.81	32.69	-	-	3.40	5.89	-	-
	Nov 2012 - fase 1	39.35	32.38	61.39	-	2.94	5.58	-0.46	-0.31
3	Mag 2013 - senza cassa	39.52	32.55	-	-	3.11	5.75	-	-
	Mag 2013 - fase 1	39.21	32.35	61.52	-	2.80	5.55	-0.31	-0.20
4	Nov 2000 - senza cassa	39.79	32.51	-	-	3.38	5.71	-	-
	Nov 2000 - fase 1	39.33	32.23	61.26	-	2.92	5.43	-0.46	-0.28
5	Nov 2014 - senza cassa	39.32	31.97	-	-	2.91	5.17	-	-
	Nov 2014 - fase 1	39.03	31.77	60.57	-	2.62	4.97	-0.29	-0.20
6	Dic 2010 - senza cassa	39.44	32.19	-	-	3.03	5.39	-	-
	Dic 2010 - fase 1	39.27	32.10	60.47	-	2.86	5.30	-0.17	-0.09
7	Mag 2010 - senza cassa	39.19	31.68	-	-	2.78	4.88	-	-
	Mag 2010 - fase 1	39.18	31.67	59.34	-	2.77	4.87	-0.01	-0.01
8	Set 1999 - senza cassa	39.19	31.78	-	-	2.78	4.98	-	-
	Set 1999 - fase 1	39.16	31.75	59.70	-	2.75	4.95	-0.03	-0.03
9	Nov 2003 - senza cassa	39.30	31.77	-	-	2.89	4.97	-	-
	Nov 2003 - fase 1	39.09	31.63	60.44	-	2.68	4.83	-0.21	-0.14
10	16 Nov 2010 - senza cassa	39.09	31.69	-	-	2.68	4.89	-	-
	16 Nov 2010 - fase 1	39.03	31.65	59.63	-	2.62	4.85	-0.06	-0.04

Tab. 6.7 – Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione di Caldogno sui livelli idrometrici a Ponte degli Angeli e a Ponte del Marchese per gli eventi storici. Confronto tra configurazione senza attivazione della cassa e configurazione con attivazione nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine (fase 1). Sono riportati inoltre i livelli raggiunti all'interno delle casse, mentre in azzurro sono evidenziati i risultati per la sezione di Ponte degli Angeli.

Portate - Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione con la procedura a BREVE TERMINE											
Numero evento	Evento	P. Scartezini (m ³ /s)	Q cassa (m ³ /s)	Q traversa (m ³ /s)	Q valle (m ³ /s)	P. Marchese (m ³ /s)	P. Angeli (m ³ /s)	P. Marchese ΔQ (m ³ /s)		P. Angeli ΔQ (m ³ /s)	
1	Nov 2010 - senza cassa	291.4	-	290.0	286.6	239.3	333.0	-	-	-	-
	Nov 2010 - fase 1	291.4	152.2	139.1	245.0	219.1	290.4	-20.3	-8.5%	-42.5	-12.8%
2	Nov 2012 - senza cassa	172.3	-	172.2	171.7	188.4	272.4	-	-	-	-
	Nov 2012 - fase 1	172.3	52.3	120.2	120.3	147.9	238.7	-40.5	-21.5%	-33.7	-12.4%
3	Mag 2013 - senza cassa	143.1	-	142.9	143.0	163.2	252.6	-	-	-	-
	Mag 2013 - fase 1	143.1	22.6	120.6	120.9	143.4	235.4	-19.8	-12.1%	-17.2	-6.8%
4	Nov 2000 - senza cassa	163.0	-	162.7	162.7	187.3	255.1	-	-	-	-
	Nov 2000 - fase 1	163.0	42.6	121.2	120.6	151.0	232.3	-36.3	-19.4%	-22.8	-8.9%
5	Nov 2014 - senza cassa	148.1	-	147.7	147.4	152.8	210.2	-	-	-	-
	Nov 2014 - fase 1	148.1	27.6	121.6	120.7	133.5	193.5	-19.3	-12.6%	-16.7	-7.9%
6	Dic 2010 - senza cassa	136.9	-	136.8	136.7	161.3	220.2	-	-	-	-
	Dic 2010 - fase 1	136.9	16.4	120.7	120.7	148.8	212.2	-12.5	-7.7%	-8.1	-3.7%
7	Mag 2010 - senza cassa	124.1	-	123.9	123.1	145.4	187.5	-	-	-	-
	Mag 2010 - fase 1	124.1	2.2	121.9	121.1	144.6	187.1	-0.8	-0.6%	-0.4	-0.2%
8	Set 1999 - senza cassa	127.7	-	127.4	126.4	145.1	196.4	-	-	-	-
	Set 1999 - fase 1	127.7	7.0	120.7	120.6	142.6	194.7	-2.4	-1.7%	-1.7	-0.9%
9	Nov 2003 - senza cassa	139.3	-	139.1	138.5	152.3	198.7	-	-	-	-
	Nov 2003 - fase 1	139.3	18.8	120.8	120.7	138.1	186.2	-14.2	-9.3%	-12.5	-6.3%
10	16 Nov 2010 - senza cassa	127.2	-	127.2	127.1	137.7	190.6	-	-	-	-
	16 Nov 2010 - fase 1	127.2	6.8	120.4	120.5	133.7	187.5	-4.0	-2.9%	-3.1	-1.6%

Tab. 6.8 – Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione di Caldogno sulle portate massime a Ponte degli Angeli e a Ponte del Marchese per gli eventi storici. Confronto tra configurazione senza attivazione della cassa e configurazione con attivazione nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine (fase 1). Sono riportate inoltre le portate massime immerse a Ponte Scartezini, derivate in cassa, fluenti alla traversa (a valle dell'opera di presa) e a valle del bacino. In azzurro sono evidenziati i risultati per la sezione di Ponte degli Angeli.

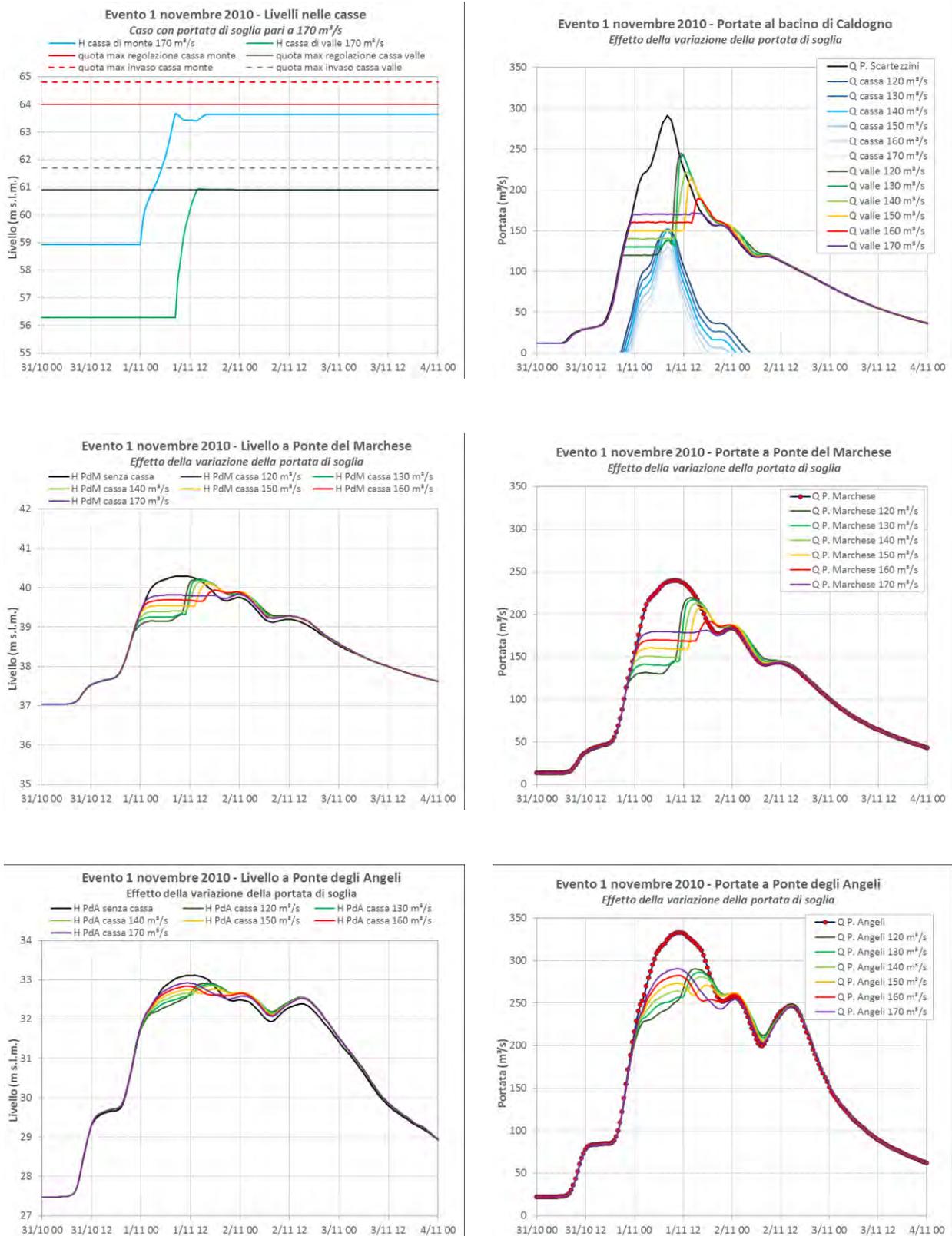


Fig. 6.5 – Verifica degli effetti del bacino di Caldagno ottenuti con il modello idraulico al variare della portata derivata in cassa da 120 a 170 m³/s per l'evento di **ottobre-novembre 2010**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione con soglia pari a 170 m³/s; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino al variare della portata di soglia; al centro livelli e portate a Ponte del Marchese al variare delle portate di soglia; in basso livelli e portate a Ponte degli Angeli al variare delle portate di soglia.

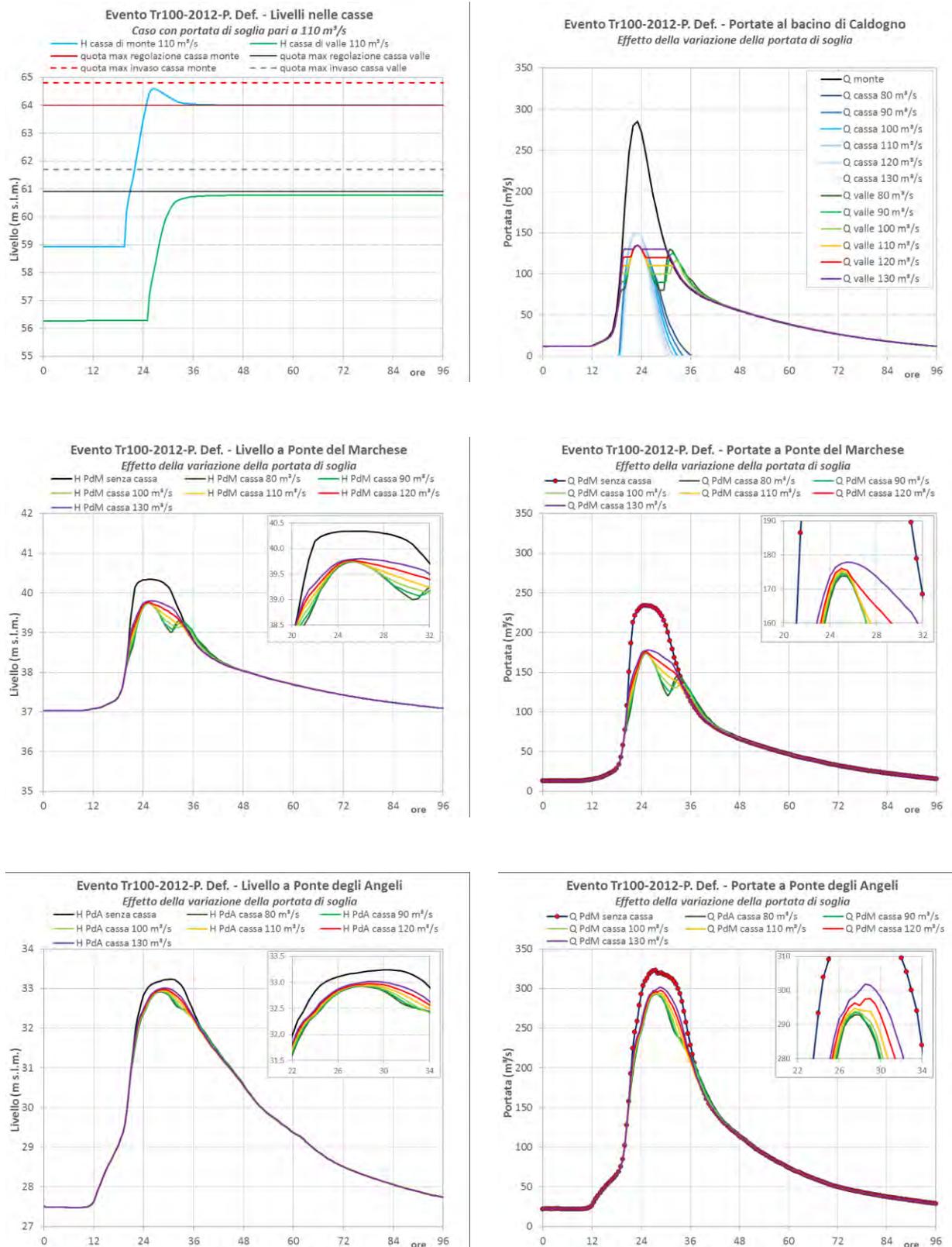


Fig. 6.6 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idraulico al variare della portata derivata in cassa da 80 a 130 m³/s per l'evento **2012-Tr100-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione con soglia pari a 110 m³/s; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino al variare della portata di soglia; al centro livelli e portate a Ponte del Marchese al variare delle portata di soglia; in basso livelli e portate a Ponte degli Angeli al variare delle portata di soglia.

Livelli idrometrici - Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione al variare della portata di soglia									
Tipo evento	Evento	P. Marchese (m s.l.m.)	P. Angeli (m s.l.m.)	Cassa di monte (m s.l.m.)	Cassa di valle (m s.l.m.)	P. Marchese asta idrom. (m)	P. Angeli asta idrom. (m)	P. Marchese ΔH (m)	P. Angeli ΔH (m)
Novembre 2010	Nov 2010 - senza cassa	40.29	33.12	-	-	3.88	6.32	-	-
	Nov 2010 - 120 m ³ /s f.alta	40.22	32.92	64.72	61.62	3.81	6.12	-0.08	-0.20
	Nov 2010 - 120 m ³ /s f.bassa	40.22	32.92	64.72	61.62	3.81	6.12	-0.08	-0.20
	Nov 2010 - 130 m ³ /s	40.20	32.89	64.70	61.57	3.79	6.09	-0.10	-0.23
	Nov 2010 - 140 m ³ /s	40.16	32.85	64.54	61.44	3.75	6.05	-0.14	-0.27
	Nov 2010 - 150 m ³ /s	40.10	32.77	64.61	61.36	3.69	5.97	-0.19	-0.35
	Nov 2010 - 160 m ³ /s	39.94	32.84	64.42	61.17	3.53	6.04	-0.36	-0.28
Nov 2010 - 170 m ³ /s	39.83	32.93	63.66	60.95	3.42	6.13	-0.47	-0.20	
Evento tipo 2012	Tr100 2012 - senza cassa	40.34	33.24	-	-	3.93	6.44	-	-
	Tr100 2012 - soglia 80 m ³ /s	39.74	32.93	64.64	61.29	3.33	6.13	-0.60	-0.31
	Tr100 2012 - soglia 90 m ³ /s	39.75	32.94	64.63	61.21	3.34	6.14	-0.59	-0.30
	Tr100 2012 - soglia 100 m ³ /s	39.75	32.94	64.62	61.08	3.34	6.14	-0.59	-0.30
	Tr100 2012 - soglia 110 m ³ /s	39.76	32.95	64.59	60.78	3.35	6.15	-0.58	-0.29
	Tr100 2012 - soglia 120 m ³ /s	39.77	32.98	64.54	60.06	3.36	6.18	-0.57	-0.26
	Tr100 2012 - soglia 130 m ³ /s	39.80	33.02	64.47	59.31	3.39	6.22	-0.54	-0.23

Tab. 6.9 – Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione di Caldogno sui livelli idrometrici a Ponte degli Angeli e a Ponte del Marchese al variare della portata di soglia all'opera di presa. Valutazione effettuata sull'evento **ottobre-novembre 2010** (Fig. 6.5 – $Q_{soglia} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 1, $Q_{soglia} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 2) e sull'evento sintetico **Tr100-2012-P.Definitivo** (Fig. 6.6 – $Q_{soglia} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 1, $Q_{soglia} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 2).

Portate - Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione con la procedura a BREVE TERMINE									
Numero evento	Evento	P. Scartezzini (m ³ /s)	Q cassa (m ³ /s)	Q traversa (m ³ /s)	Q valle (m ³ /s)	P. Marchese (m ³ /s)	P. Angeli (m ³ /s)	P. Marchese ΔQ (m ³ /s)	P. Angeli ΔQ (m ³ /s)
1	Nov 2010 - senza cassa	291.4	-	290.0	286.6	239.3	333.0	-	-
	Nov 2010 - fase 1	291.4	152.2	139.1	245.0	219.1	290.4	-20.3	-8.5%
2	Nov 2012 - senza cassa	172.3	-	172.2	171.7	188.4	272.4	-	-
	Nov 2012 - fase 1	172.3	52.3	120.2	120.3	147.9	238.7	-40.5	-21.5%
3	Mag 2013 - senza cassa	143.1	-	142.9	143.0	163.2	252.6	-	-
	Mag 2013 - fase 1	143.1	22.6	120.6	120.9	143.4	235.4	-19.8	-12.1%
4	Nov 2000 - senza cassa	163.0	-	162.7	162.7	187.3	255.1	-	-
	Nov 2000 - fase 1	163.0	42.6	121.2	120.6	151.0	232.3	-36.3	-19.4%
5	Nov 2014 - senza cassa	148.1	-	147.7	147.4	152.8	210.2	-	-
	Nov 2014 - fase 1	148.1	27.6	121.6	120.7	133.5	193.5	-19.3	-12.6%
6	Dic 2010 - senza cassa	136.9	-	136.8	136.7	161.3	220.2	-	-
	Dic 2010 - fase 1	136.9	16.4	120.7	120.7	148.8	212.2	-12.5	-7.7%
7	Mag 2010 - senza cassa	124.1	-	123.9	123.1	145.4	187.5	-	-
	Mag 2010 - fase 1	124.1	2.2	121.9	121.1	144.6	187.1	-0.8	-0.6%
8	Set 1999 - senza cassa	127.7	-	127.4	126.4	145.1	196.4	-	-
	Set 1999 - fase 1	127.7	7.0	120.7	120.6	142.6	194.7	-2.4	-1.7%
9	Nov 2003 - senza cassa	139.3	-	139.1	138.5	152.3	198.7	-	-
	Nov 2003 - fase 1	139.3	18.8	120.8	120.7	138.1	186.2	-14.2	-9.3%
10	16 Nov 2010 - senza cassa	127.2	-	127.2	127.1	137.7	190.6	-	-
	16 Nov 2010 - fase 1	127.2	6.8	120.4	120.5	133.7	187.5	-4.0	-2.9%

Tab. 6.10 – Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione di Caldogno sulle portate massime a Ponte degli Angeli e a Ponte del Marchese al variare della portata di soglia all'opera di presa. Valutazione effettuata sull'evento **ottobre-novembre 2010** (Fig. 6.5 – $Q_{soglia} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 1, $Q_{soglia} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 2) e sull'evento sintetico **Tr100-2012-P.Definitivo** (Fig. 6.6 – $Q_{soglia} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 1, $Q_{soglia} = 100 \text{ m}^3/\text{s}$ in fase 2).

Livelli idrometrici - Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione con la procedura a LUNGO TERMINE									
Tipo evento	Evento - Breve/Lungo	P. Marchese (m s.l.m.)	P. Angeli (m s.l.m.)	Cassa di monte (m s.l.m.)	Cassa di valle (m s.l.m.)	P. Marchese asta idrom. (m)	P. Angeli asta idrom. (m)	P. Marchese ΔH (m)	P. Angeli ΔH (m)
Evento tipo 2010	Tr25 2010 - senza cassa	40.02	32.76	-	-	3.61	5.96	-	-
	Tr25 2010 - fase 1	39.09	32.01	64.25	58.16	2.68	5.21	-0.93	-0.75
	Tr25 2010 - fase 2	39.14	31.75	64.52	61.11	2.73	4.95	-0.88	-1.01
	Tr50 2010 - senza cassa	40.27	33.10	-	-	3.86	6.30	-	-
	Tr50 2010 - fase 1	40.02	32.62	64.55	61.45	3.61	5.82	-0.25	-0.48
	Tr50 2010 - fase 2	39.62	32.65	63.80	60.83	3.21	5.85	-0.65	-0.45
	Nov 2010 - senza cassa	40.29	33.12	-	-	3.88	6.32	-	-
	Nov 2010 - fase 1	40.22	32.92	64.72	61.62	3.81	6.12	-0.07	-0.20
	Nov 2010 - fase 2	40.10	32.77	64.61	61.36	3.69	5.97	-0.19	-0.35
	Tr100 2010 - senza cassa	40.32	33.27	-	-	3.91	6.47	-	-
	Tr100 2010 - fase 1	40.33	33.18	64.91	61.82	3.92	6.38	0.01	-0.09
	Tr100 2010 - fase 2	40.33	33.17	64.90	61.81	3.92	6.37	0.01	-0.10
Evento tipo 2012	Tr25 2012 - senza cassa	39.79	32.58	58.93	-	3.38	5.78	-	-
	Tr25 2012 - fase 1	39.33	32.31	61.17	-	2.92	5.51	-0.46	-0.27
	Tr25 2012 - fase 2	39.06	32.19	61.96	-	2.65	5.39	-0.73	-0.39
	Nov 2012 - senza cassa	39.81	32.69	-	-	3.40	5.89	-	-
	Nov 2012 - fase 1	39.35	32.38	61.39	-	2.94	5.58	-0.46	-0.31
	Nov 2012 - fase 2	39.09	32.23	62.23	-	2.68	5.43	-0.72	-0.46
	Tr50 2012 - senza cassa	40.21	33.05	-	-	3.80	6.25	-	-
	Tr50 2012 - fase 1	39.48	32.64	62.80	-	3.07	5.84	-0.73	-0.41
	Tr50 2012 - fase 2	39.19	32.47	63.88	-	2.78	5.67	-1.02	-0.58
	Tr100 2012 - senza cassa	40.34	33.24	-	-	3.93	6.44	-	-
	Tr100 2012 - fase 1	39.76	32.96	64.56	60.42	3.35	6.16	-0.58	-0.28
	Tr100 2012 - fase 2	39.75	32.94	64.62	61.08	3.34	6.14	-0.59	-0.30
Evento tipo 2014	Tr50 2014 - senza cassa	39.93	33.04	-	-	3.52	6.24	-	-
	Tr50 2014 - fase 1	39.55	32.91	61.33	-	3.14	6.11	-0.38	-0.13
	Tr50 2014 - fase 2	39.40	32.84	61.95	-	2.99	6.04	-0.53	-0.20
	Tr75 2014 - senza cassa	40.20	33.27	-	-	3.79	6.47	-	-
	Tr75 2014 - fase 1	39.52	33.07	63.66	-	3.11	6.27	-0.68	-0.20
	Tr75 2014 - fase 2	39.44	33.04	64.11	57.34	3.03	6.24	-0.76	-0.23
	Tr100 2014 - senza cassa	40.29	33.47	-	-	3.88	6.67	-	-
	Tr100 2014 - fase 1	39.57	33.17	64.48	61.04	3.16	6.37	-0.72	-0.30
Tr100 2014 - fase 2	39.56	33.16	64.50	61.10	3.15	6.36	-0.73	-0.31	
Maggio 2013	Mag 2013 - senza cassa	39.52	32.55	58.94	-	3.11	5.75	-	-
	Mag 2013 - fase 1	39.21	32.35	61.52	-	2.80	5.55	-0.31	-0.20
	Mag 2013 - fase 2	38.98	32.19	63.49	57.33	2.57	5.39	-0.54	-0.36
Novembre 2000	Nov 2000 - senza cassa	39.79	32.51	58.94	-	3.38	5.71	-	-
	Nov 2000 - fase 1	39.33	32.23	61.26	-	2.92	5.43	-0.46	-0.28
	Nov 2000 - fase 2	39.11	32.04	62.23	-	2.70	5.24	-0.68	-0.47

Tab. 6.11 – Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione di Caldogno sui livelli idrometrici a Ponte degli Angeli e a Ponte del Marchese. Confronto tra configurazione senza attivazione della cassa e configurazione con attivazione nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine (fase 1) e a lungo termine (fase 2). Per gli eventi storici è stato utilizzato un carattere blu, mentre per gli eventi sintetici un carattere nero. Sono riportati inoltre i livelli raggiunti all'interno delle casse di monte e di valle, mentre in azzurro sono evidenziati i risultati per la sezione di Ponte degli Angeli.

Portate - Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione con la procedura a LUNGO TERMINE											
Tipo evento	Evento - Breve/Lungo	P. Scartezzini (m³/s)	Q cassa (m³/s)	Q traversa (m³/s)	Q valle (m³/s)	P. Marchese (m³/s)	P. Angeli (m³/s)	P. Marchese ΔQ (m³/s)		P. Angeli ΔQ (m³/s)	
Evento tipo 2010	Tr25 2010 - senza cassa	209.5	-	209.4	208.6	208.5	281.9	-	-	-	-
	Tr25 2010 - fase 1	209.5	89.4	120.1	120.1	132.1	211.5	-76.4	-36.6%	-70.5	-25.0%
	Tr25 2010 - fase 2	209.5	109.5	100.1	119.8	134.5	191.5	-74.0	-35.5%	-90.4	-32.1%
	Tr50 2010 - senza cassa	267.0	-	266.8	265.9	228.1	312.6	-	-	-	-
	Tr50 2010 - fase 1	267.1	140.8	126.1	203.6	199.4	259.3	-28.7	-12.6%	-53.3	-17.0%
	Tr50 2010 - fase 2	267.1	117.0	150.2	150.1	167.8	264.7	-60.3	-26.4%	-47.9	-15.3%
	Nov 2010 - senza cassa	291.4	-	290.0	286.6	239.3	333.0	-	-	-	-
	Nov 2010 - fase 1	291.4	152.2	139.1	245.0	219.1	290.4	-20.3	-8.5%	-42.5	-12.8%
	Nov 2010 - fase 2	291.4	141.4	150.1	213.0	207.0	273.5	-32.3	-13.5%	-59.5	-17.9%
	Tr100 2010 - senza cassa	361.4	-	336.1	301.3	233.1	320.3	-	-	-	-
	Tr100 2010 - fase 1	361.4	182.5	178.7	353.2	232.9	316.1	-0.2	-0.1%	-4.2	-1.3%
	Tr100 2010 - fase 2	361.4	182.5	178.7	338.7	232.7	314.4	-0.5	-0.2%	-6.0	-1.9%
Evento tipo 2012	Tr25 2012 - senza cassa	165.4	-	165.3	164.8	179.7	260.9	-	-	-	-
	Tr25 2012 - fase 1	165.4	45.3	120.3	120.2	146.7	233.2	-33.0	-18.4%	-27.8	-10.6%
	Tr25 2012 - fase 2	165.4	65.3	100.4	100.2	127.3	222.5	-52.4	-29.2%	-38.5	-14.7%
	Nov 2012 - senza cassa	172.3	-	172.2	171.7	188.4	272.4	-	-	-	-
	Nov 2012 - fase 1	172.3	52.3	120.2	120.3	147.9	238.7	-40.5	-21.5%	-33.7	-12.4%
	Nov 2012 - fase 2	172.3	72.3	100.3	100.1	128.4	227.2	-60.1	-31.9%	-45.2	-16.6%
	Tr50 2012 - senza cassa	210.8	-	210.7	210.1	217.3	307.6	-	-	-	-
	Tr50 2012 - fase 1	210.8	90.7	120.3	120.3	154.5	264.0	-62.8	-28.9%	-43.6	-14.2%
	Tr50 2012 - fase 2	210.8	110.7	100.5	100.3	135.2	247.4	-82.1	-37.8%	-60.3	-19.6%
	Tr100 2012 - senza cassa	285.2	-	284.9	282.0	233.9	323.2	-	-	-	-
	Tr100 2012 - fase 1	285.2	149.5	135.6	135.0	175.7	295.9	-58.2	-24.9%	-27.2	-8.4%
	Tr100 2012 - fase 2	285.2	149.6	135.6	135.0	174.8	293.8	-59.1	-25.2%	-29.4	-9.1%
Evento tipo 2014	Tr50 2014 - senza cassa	145.0	-	144.9	144.8	191.0	302.1	-	-	-	-
	Tr50 2014 - fase 1	145.0	34.0	111.1	110.9	160.5	284.4	-30.4	-15.9%	-17.8	-5.9%
	Tr50 2014 - fase 2	145.0	45.0	100.1	100.0	149.9	277.4	-41.1	-21.5%	-24.8	-8.2%
	Tr75 2014 - senza cassa	170.7	-	170.6	170.5	217.1	320.1	-	-	-	-
	Tr75 2014 - fase 1	170.7	72.6	98.1	98.1	156.9	299.9	-60.2	-27.7%	-20.3	-6.3%
	Tr75 2014 - fase 2	170.7	79.0	91.8	91.8	150.7	297.0	-66.3	-30.6%	-23.1	-7.2%
	Tr100 2014 - senza cassa	196.2	-	196.1	196.0	228.6	327.8	-	-	-	-
	Tr100 2014 - fase 1	196.2	103.8	92.3	96.8	159.0	306.9	-69.7	-30.5%	-20.9	-6.4%
Tr100 2014 - fase 2	196.2	103.8	92.3	100.9	158.8	306.1	-69.8	-30.5%	-21.7	-6.6%	
Maggio 2013	Mag 2013 - senza cassa	143.1	-	142.9	143.0	163.2	252.6	-	-	-	-
	Mag 2013 - fase 1	143.1	22.6	120.6	120.9	143.4	235.4	-19.8	-12.1%	-17.2	-6.8%
	Mag 2013 - fase 2	143.1	43.0	100.1	100.0	123.2	219.1	-40.0	-24.5%	-33.6	-13.3%
Novembre 2000	Nov 2000 - senza cassa	163.0	-	162.7	162.7	187.3	255.1	-	-	-	-
	Nov 2000 - fase 1	163.0	42.6	121.2	120.6	151.0	232.3	-36.3	-19.4%	-22.8	-8.9%
	Nov 2000 - fase 2	163.0	62.9	100.1	100.1	131.1	216.0	-56.2	-30.0%	-39.1	-15.3%

Tab. 6.12 – Verifica degli effetti dell'attivazione del bacino di laminazione di Caldogno sulle portate massime a Ponte degli Angeli e a Ponte del Marchese. Confronto tra configurazione senza attivazione della cassa e configurazione con attivazione nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine (fase 1) e a lungo termine (fase 2). Sono riportate inoltre le portate massime immerse a Ponte Scartezzini, derivate in cassa, fluenti alla traversa (a valle dell'opera di presa) e a valle del bacino. Per gli eventi storici è stato utilizzato un carattere blu, mentre per gli eventi sintetici un carattere nero. In azzurro sono evidenziati i risultati per la sezione di Ponte degli Angeli.

6.5 Effetti sugli allagamenti

Per valutare gli effetti del bacino di laminazione di Caldogno, oltre alla riduzione dei livelli massimi a Ponte degli Angeli, è utile valutare la riduzione dell'entità degli allagamenti che si verificano per gli eventi che sono di entità superiore a quella che può essere fronteggiata anche con l'entrata in funzione del bacino di laminazione.

Sono state utilizzate a questo scopo le simulazioni effettuate con il modello idrodinamico bidimensionale illustrate nel paragrafo precedente, che consentono appunto di valutare non solo la propagazione delle piene negli alvei fluviali e il funzionamento del bacino di laminazione, ma anche i sormonti arginali e le esondazioni per gli eventi più critici, e la conseguente propagazione dell'onda di sommersione sul territorio esterno.

Le simulazioni sono state effettuate in assenza di rotte arginali, ossia ipotizzando che, una volta che il livello di piena superi il limite delle sommità arginali, si realizzi la tracimazione per sormonto, secondo uno schema in cui l'argine stesso si comporta come una soglia sfiorante (per maggiori dettagli sul funzionamento del modello si veda l'appendice B).

La Tab. 6.13 mostra i volumi di allagamento calcolati per gli eventi storici (quelli superiori a 5.40 m a Ponte degli Angeli) e per gli eventi sintetici, già presi in esame nei paragrafi precedenti, sia nella situazione antecedente alla costruzione del bacino di laminazione, sia nella situazione a bacino realizzato e adottando le regole di gestione di prima e di seconda fase.

Per ciascun evento la tabella riporta il volume complessivo della piena, ottenuto dalla modellazione idrologica (senza considerare il contributo del Retrone), e il volume complessivo invasato nella cassa di espansione. Per ogni evento è riportato inoltre il volume di allagamento e, per gli scenari con la cassa di espansione, la riduzione di tale volume rispetto al caso in assenza della cassa. Infine, la tabella riporta, in analogia con la precedente tabella Tab. 6.11, il beneficio che si ottiene grazie alla cassa di espansione in termini di riduzione del livello massimo a Ponte degli Angeli.

I volumi di allagamento sono ottenuti dal calcolo modellistico valutando l'integrale di tutte le tracimazioni dagli alvei. Sono stati esclusi dal calcolo i volumi che allagano le campagne a monte del ponte di viale Diaz (dove è prevista la realizzazione di un'altra cassa di espansione), e le aree allagate nel bacino del Retrone. Sono stati esclusi anche tutti gli allagamenti che si verificano nelle golene del Bacchiglione a valle della confluenza del Retrone. Tutte queste sono aree sono state ritenute infatti non significative al fine della valutazione degli effetti del bacino di laminazione, dato che esse si allagano naturalmente anche per eventi che non sono critici per il centro storico di Vicenza.

La Tab. 6.13, e il grafico di sintesi di Fig. 6.7 mettono in chiara evidenza che la realizzazione del bacino di laminazione risulta molto efficace nella riduzione degli allagamenti e quindi della pericolosità idraulica degli eventi considerati.

Se si considera, ad esempio, l'evento del novembre 2010, si ottiene che il volume delle esondazioni, pari a 1.54 milioni di m³, si riduce del 78% con la cassa gestita secondo la procedura di fase 1 e praticamente si annulla (riduzione del 91%) se si utilizza la procedura di fase 2.

Per tutti gli altri eventi più gravosi, ossia per gli eventi che a Ponte degli Angeli supererebbero la quota limite di 6.0 m, l'effetto della cassa è comunque sostanziale, perché consente la riduzione degli allagamenti per percentuali che vanno dal 34 al 92%. Gli effetti minori si ottengono ovviamente per gli eventi sintetici di "tipo 2014" che comportano un contributo del T. Orolo particolarmente rilevante, sul quale gli effetti del bacino di Caldogno non possono essere significativi.

Lo stesso grafico di Fig. 6.7 rende evidente anche l'effetto che si ottiene applicando le regole di gestione previste in prima e in seconda fase.

Risulta che, applicando le regole di seconda fase, il che sarà possibile quando saranno disponibili i dati sperimentali rilevati dal sistema di monitoraggio delle piene, si potrebbe ottenere un beneficio sostanziale principalmente per eventi simili a quello verificatosi nel novembre 2010. Per gli altri eventi le differenze in termini di riduzione degli allagamenti sono meno evidenti. Mediamente, considerando tutti gli eventi, il passaggio tra la fase uno e la fase due consente una riduzione degli allagamenti di circa il 10%.

Al riguardo è utile far notare che gli allagamenti residui che si ottengono nelle simulazioni con la cassa generalmente sono dovuti per la maggior parte ad esondazioni del T. Orolo a monte della confluenza con il Timonchio. Su di essi, pertanto, non può essere efficace la diversa modalità di gestione della Cassa di Caldogno ma si può ritenere che questi allagamenti possano ridursi ulteriormente quando sarà realizzata la prevista cassa di Costabissara/Isola Vicentina.

Il grafico di Fig. 6.8 riporta un'estrapolazione sui risultati del calcolo che consente di valutare la riduzione dei volumi di allagamento in relazione al tempo di ritorno degli eventi considerati. Si ottiene ad esempio che l'allagamento dovuto ad un evento Tr 100 anni senza cassa, corrisponderebbe all'allagamento di un evento con Tr 153 anni con la cassa gestita secondo le regole di fase 1 e Tr 164 anni con la cassa gestita secondo le regole di fase 2.

Le successive Fig. 6.9 e Fig. 6.10 riportano un esempio delle mappe di allagamento prodotte dal modello bidimensionale sulla base delle quali sono state effettuate le elaborazioni qui illustrate. Le mappe si riferiscono alla simulazione dell'evento del 1 novembre 2010 effettuata, come si è detto, nella configurazione attuale degli alvei fluviali, ossia che schematizza anche tutti gli interventi di sovrizzo e rinforzo arginale realizzati dopo la stessa piena del 2010.

Dallo scenario senza cassa (Fig. 6.9) emerge che, anche in assenza di rotte arginali, la piena del 2010 produce diffusi allagamenti a monte di Vicenza. In particolare si verificano esondazioni per sormonto in sinistra Orolo all'altezza di strada Lobia e in sinistra Timonchio a monte di Ponte del Marchese. Resta poi completamente allagata tutta la bassura a monte di Viale Diaz fino a monte della confluenza tra Timonchio e Orolo, nell'area in cui è prevista la realizzazione di una nuova cassa di espansione. All'altezza del ponte di Viale Diaz il modello segnala delle esondazioni in sinistra che allagano alcune aree residenziali lungo Viale Ferrarin. Risultano allagate anche delle aree del centro storico sia per esondazione dell'Astichello, per rigurgito, sia per tracimazione delle sponde del Bacchiglione a monte e a valle di Ponte degli Angeli in sinistra. Infine sono allagate delle aree nel bacino del Retrone, in destra (zona Gogna), e tutte le golene del Bacchiglione a valle della confluenza con il Retrone, che tuttavia sono aree, come si detto precedentemente, non significative per le presenti valutazioni.

La successiva mappa di Fig. 6.10 rappresenta l'estensione degli allagamenti ottenuta nella simulazione che considera il funzionamento del bacino di laminazione, adottando le regole di attivazione della cassa previste in seconda fase. La mappa mostra che l'effetto ottenuto è quello della pressoché totale eliminazione degli allagamenti a monte di Vicenza.

La mappa mostra infatti che l'area occupata dalla cassa è colorata con una campitura di colore blu (cassa completamente piena), mentre in tutto il territorio a monte di Vicenza e nel centro storico gli allagamenti rappresentati nella mappa precedente ora sono assenti. Restano parzialmente allagate solo la bassura a monte di Viale Diaz e l'area in sinistra Orolo dove, evidentemente, l'effetto di laminazione della cassa di Caldogno non può produrre effetti significativi, oltre naturalmente alle predette aree del bacino del Retrone e le golene del Bacchiglione a valle della confluenza.

Riduzione del volume degli allagamenti per effetto del bacino di laminazione di Caldogno									
Tipo evento	Evento - Breve/Lungo	Volume piena (m ³ · 10 ⁶)	Volume in cassa (m ³ · 10 ⁶)	Volume allagamento (m ³ · 10 ⁶)	Δvolume allag. (m ³ · 10 ⁶)	Δvolume allag. (%)	P. Angeli asta idrom. (m)	P. Angeli ΔH (m)	
Evento tipo 2010	Tr25 2010 - senza cassa	-	-	0.09	-	-	5.96	-	
	Tr25 2010 - fase 1	B	44.56	2.88	0.03	-0.06	-70.5%	5.21	-0.75
	Tr25 2010 - fase 2			4.00	0.02	-0.06	-72.3%	4.95	-1.01
	Tr50 2010 - senza cassa			-	1.15	-	6.30	-	
	Tr50 2010 - fase 1	L	56.79	3.94	0.09	-1.06	-92.1%	5.82	-0.48
	Tr50 2010 - fase 2			3.86	0.11	-1.04	-90.8%	5.85	-0.45
	Nov 2010 - senza cassa			-	1.54	-	6.32	-	
	Nov 2010 - fase 1	L	61.98	3.99	0.34	-1.21	-78.1%	6.12	-0.20
	Nov 2010 - fase 2			4.01	0.14	-1.41	-91.2%	5.97	-0.35
	Tr100 2010 - senza cassa			-	6.43	-	6.47	-	
Tr100 2010 - fase 1	L	76.85	4.01	4.25	-2.18	-33.9%	6.38	-0.09	
Tr100 2010 - fase 2			4.00	3.82	-2.61	-40.6%	6.37	-0.10	
Evento tipo 2012	Tr25 2012 - senza cassa			-	0.09	-	5.78	-	
	Tr25 2012 - fase 1	B	21.50	0.63	0.07	-0.02	-21.8%	5.51	-0.27
	Tr25 2012 - fase 2			1.14	0.06	-0.03	-32.1%	5.39	-0.39
	Nov 2012 - senza cassa			-	0.11	-	5.89	-	
	Nov 2012 - fase 1	B	22.41	0.77	0.08	-0.03	-24.7%	5.58	-0.31
	Nov 2012 - fase 2			1.31	0.07	-0.04	-34.4%	5.43	-0.46
	Tr50 2012 - senza cassa			-	0.48	-	6.25	-	
	Tr50 2012 - fase 1	B	27.41	1.67	0.24	-0.24	-50.7%	5.84	-0.41
	Tr50 2012 - fase 2			2.36	0.23	-0.26	-53.3%	5.67	-0.58
	Tr100 2012 - senza cassa			-	2.94	-	6.44	-	
Tr100 2012 - fase 1	B	37.09	3.82	0.98	-1.96	-66.6%	6.16	-0.28	
Tr100 2012 - fase 2			4.02	0.97	-1.97	-66.9%	6.14	-0.30	
Evento tipo 2014	Tr50 2014 - senza cassa			-	0.20	-	6.24	-	
	Tr50 2014 - fase 1	B	46.42	0.73	0.13	-0.07	-33.7%	6.11	-0.13
	Tr50 2014 - fase 2			1.12	0.12	-0.08	-42.2%	6.04	-0.20
	Tr75 2014 - senza cassa			-	0.80	-	6.47	-	
	Tr75 2014 - fase 1	L	54.65	2.21	0.41	-0.39	-48.5%	6.27	-0.20
	Tr75 2014 - fase 2			2.56	0.38	-0.42	-52.3%	6.24	-0.23
	Tr100 2014 - senza cassa			-	1.64	-	6.67	-	
Tr100 2014 - fase 1	L	62.82	4.04	0.91	-0.72	-44.3%	6.37	-0.30	
Tr100 2014 - fase 2			4.06	0.91	-0.73	-44.5%	6.36	-0.31	
Maggio 2013	Mag 2013 - senza cassa			-	0.09	-	5.75	-	
	Mag 2013 - fase 1	B	32.02	0.85	0.08	-0.01	-13.0%	5.55	-0.20
	Mag 2013 - fase 2			2.18	0.06	-0.03	-29.5%	5.39	-0.36
Novembre 2000	Nov 2000 - senza cassa			-	0.08	-	5.71	-	
	Nov 2000 - fase 1	B	28.33	0.69	0.06	-0.02	-22.7%	5.43	-0.28
	Nov 2000 - fase 2			1.30	0.05	-0.03	-40.5%	5.24	-0.47

Tab. 6.13 – Riduzione del volume degli allagamenti per effetto della cassa di espansione di Caldogno valutati con il modello matematico bidimensionale per gli eventi storici caratterizzati da un'altezza idrometrica a Ponte degli Angeli superiore a 5.4 m e per gli eventi sintetici caratterizzati da diversi tempi di ritorno. Confronto tra la situazione attuale senza attivazione della cassa e situazione attuale con attivazione nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine (fase 1) e a lungo termine (fase 2). Sono riportati inoltre il volume della piena (al netto del contributo del Retrone), il volume invasato nel bacino di laminazione, e i livelli raggiunti a Ponte degli Angeli. Per gli eventi storici è stato utilizzato un carattere blu, mentre per gli eventi sintetici un carattere nero. In azzurro sono evidenziate le riduzioni del volume di allagamento.

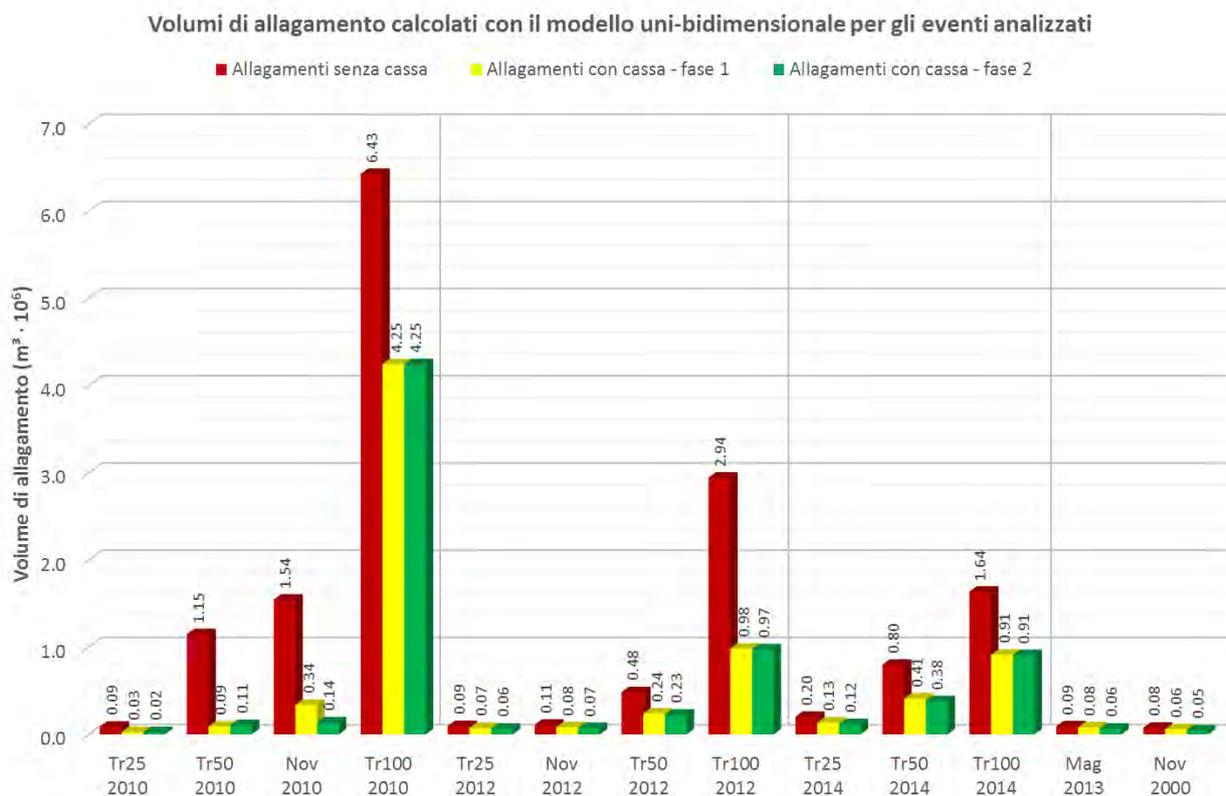


Fig. 6.7 – Volumi di allagamento calcolati con il modello uni-bidimensionale per gli eventi storici caratterizzati da un'altezza idrometrica a Ponte degli Angeli superiore a 5.4 m e per gli eventi sintetici caratterizzati da diversi tempi di ritorno (Tab. 6.13).

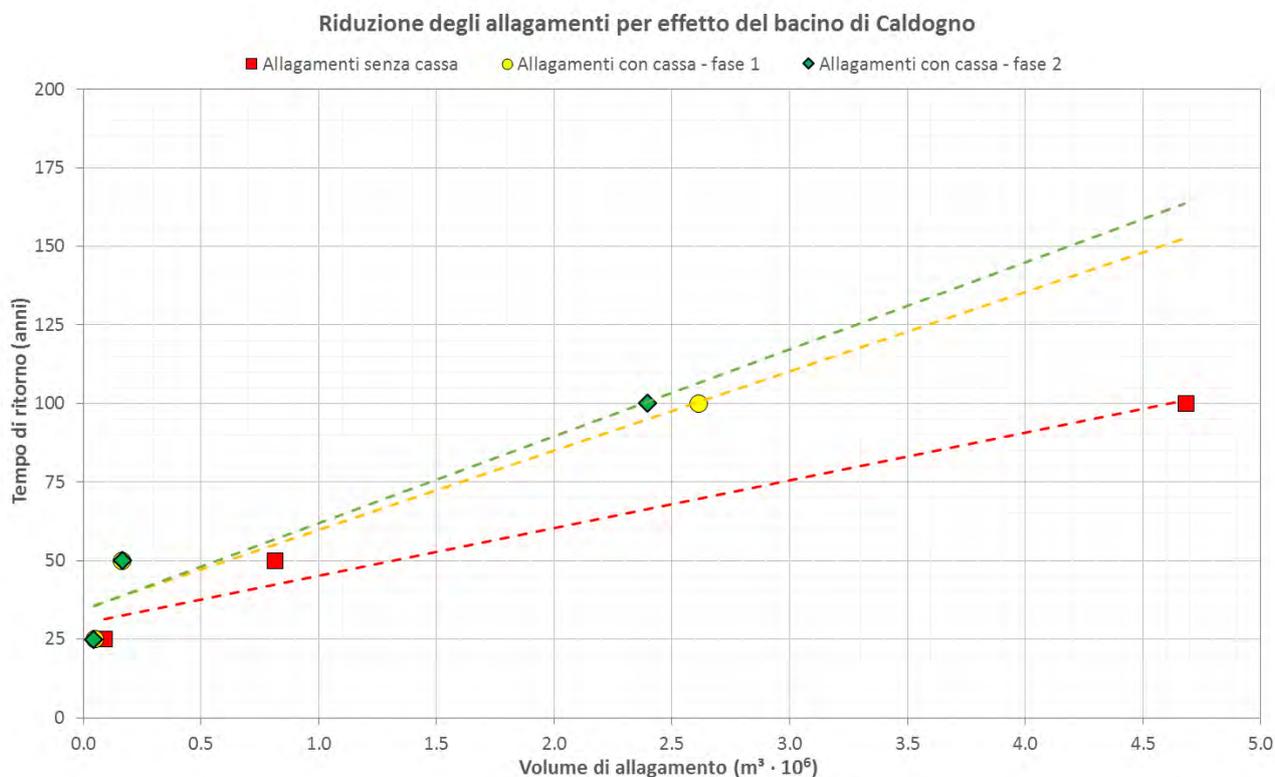


Fig. 6.8 – Riduzione del volume degli allagamenti per effetto della cassa di espansione valutati con il modello bidimensionale. Aggregazione dei risultati ottenuti con riferimento agli eventi tipo 2010 e 2012 per Tr25, Tr50 e Tr100.

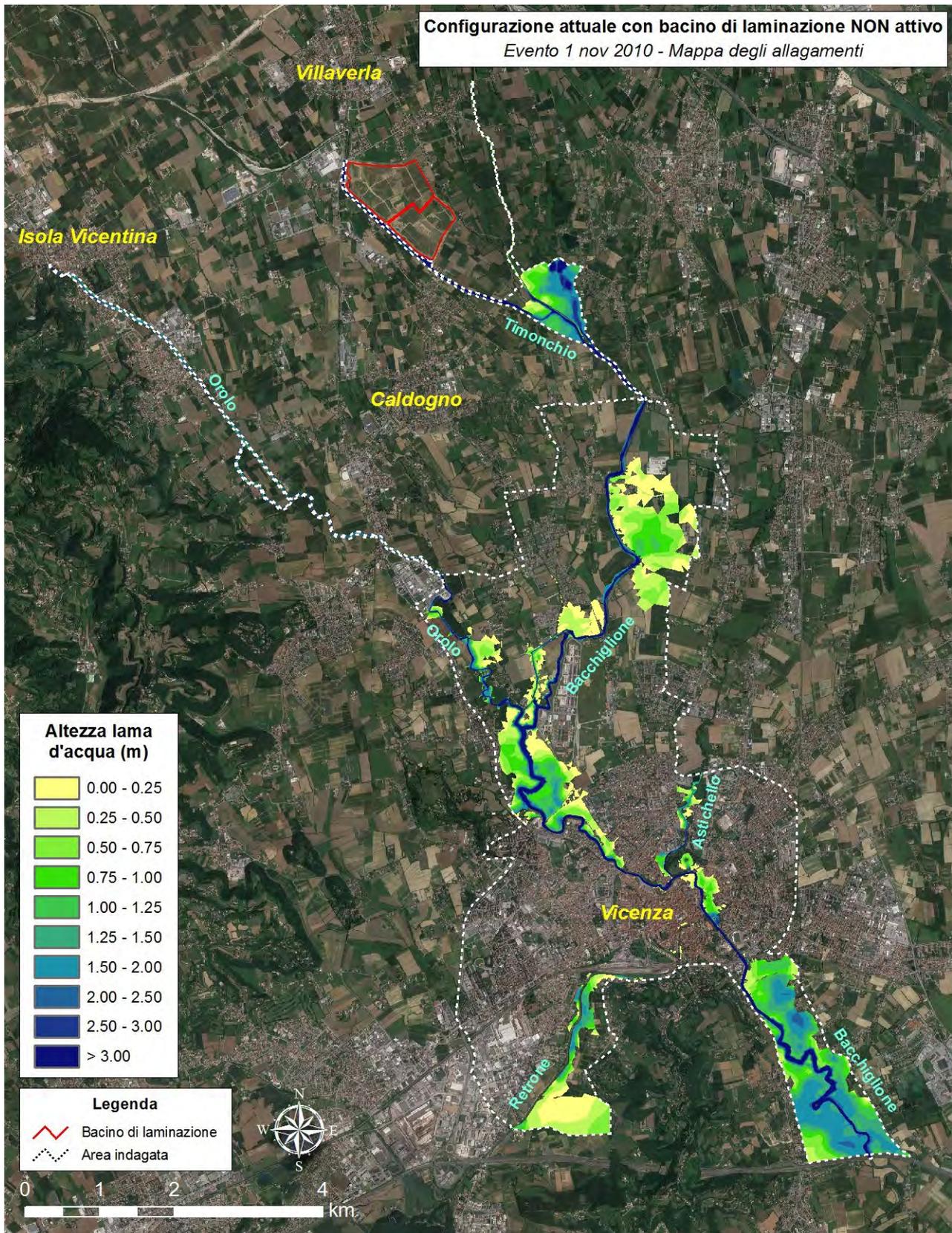


Fig. 6.9 – Mappa degli allagamenti calcolati con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per l'evento del 1 novembre 2010 nella configurazione attuale degli alvei e delle difese a Vicenza in assenza di attivazione del bacino di laminazione di Caldogno.

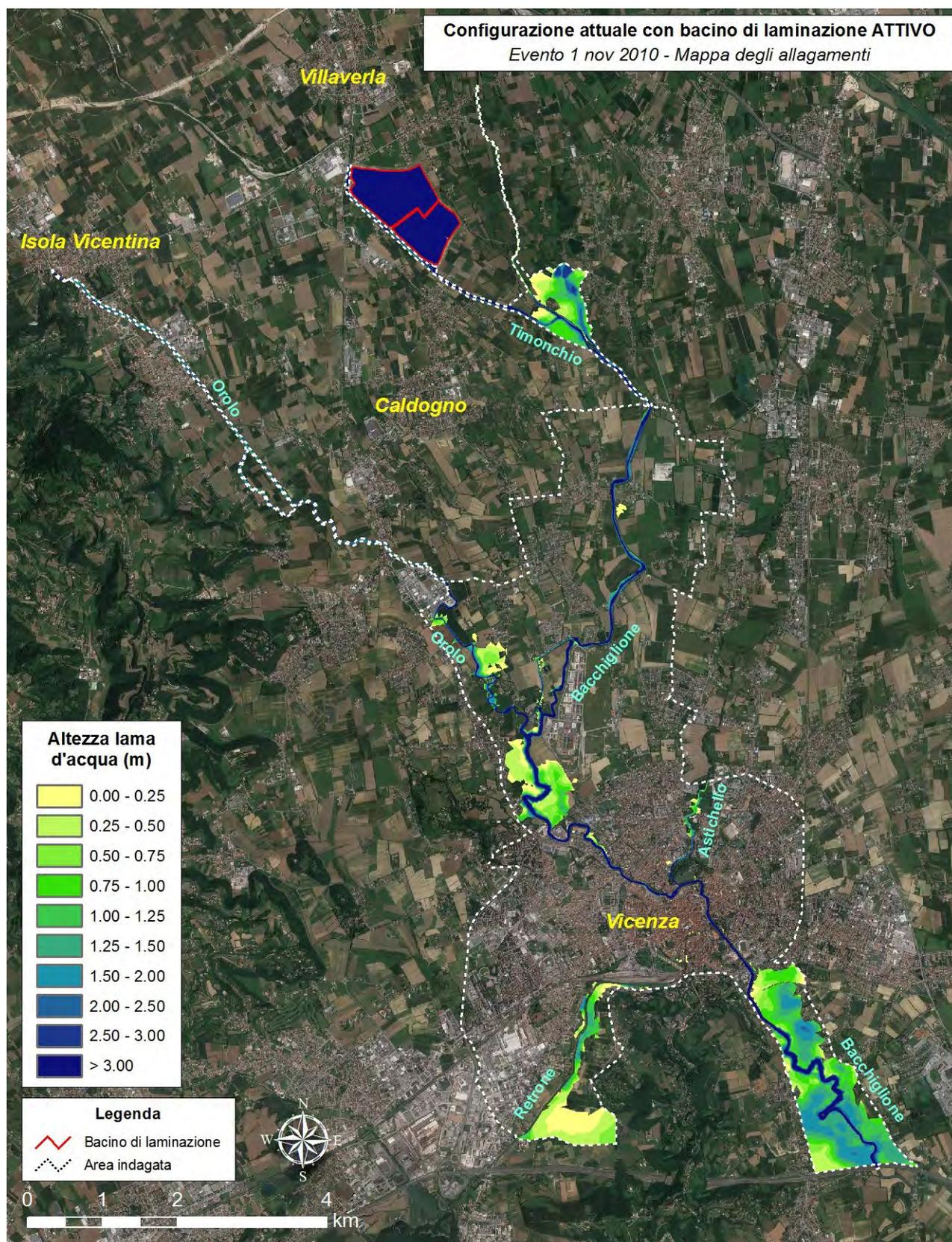


Fig. 6.10 – Mappa degli allagamenti calcolati con il modello idrodinamico uni-bidimensionale per l'evento del 1 novembre 2010 nella configurazione attuale degli alvei e delle difese a Vicenza nell'ipotesi di attivazione del bacino di laminazione di Caldogno con la procedura a lungo termine ($Q_{soglia} = 150 \text{ m}^3/\text{s}$).

6.6 Sintesi procedure

6.6.1 Procedura a breve termine (FASE 1)

Le paratoie da manovrare durante le varie fasi di una piena sono sostanzialmente quelle installate nei seguenti manufatti:

1 – opera di presa	2 – interconnessione	3 – scarico di monte	4 – scarico di valle
--------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Ipotizzando l'arrivo di una piena nel sistema idrografico Timonchio-Orolo-Bacchiglione, si riporta nel seguito l'esemplificazione delle regole da applicare, per passi successivi, per l'attivazione/disattivazione delle paratoie dei manufatti.

Stato iniziale (01)

1 – chiuso	2 – aperto	3 – chiuso	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Per garantire il deflusso delle acque meteoriche che dovessero cadere al suolo all'interno del bacino, convogliandole verso lo scarico della cassa di valle, in condizioni normali i manufatti 2 e 4 restano aperti, con un grado di apertura basso, pari a circa 20 cm.

Inizio piena (02)

1 – chiuso	2 – aperto	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	------------	------------	------------

Quando il livello idrometrico nel Timonchio raggiunge una quota tale da rigurgitare lo scarico della cassa di valle, il manufatto 4 si chiude. Di fatto, si deve impedire l'ingresso di acqua del Timonchio attraverso lo scarico della cassa di valle, preparando il bacino ad accogliere eventualmente le acque del torrente attraverso l'opera di presa. La chiusura delle paratoie deve essere controllata mediante i valori di portata e di livello rilevati in tempo reale alla stazione di misura posizionata sul ponte di località Capovilla di Caldogno, a valle del bacino. I valori soglia, il cui superamento determina la chiusura delle paratoie, sono pari a $H_{capovilla}=54.73$ m s.l.m. e/o $Q_{capovilla}=25$ m³/s (vedi paragrafo 6.3.1).

Inizio piena (03)

1 – chiuso	2 – aperto/chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	-------------------	------------	------------

La piena aumenta ma non si raggiungono ancora le condizioni per l'apertura delle paratoie dell'opera di presa.

Se il freatimetro installato a sud del bacino segnala condizioni di falda bassa, il manufatto di interconnessione (2) viene chiuso. Se, invece, il freatimetro installato a sud del bacino segnala condizioni di falda alta, il manufatto di interconnessione (2) resta aperto, con un grado di apertura basso, pari al più piccolo possibile, ad esempio 5 cm.

Durante l'evolversi della piena, nel caso in cui il bacino di laminazione dovesse entrare in funzione accogliendo le acque del Timonchio, le manovre da eseguire sulle paratoie del manufatto di interconnessione, completamente indipendenti da quelle che saranno effettuate sulle paratoie dell'opera di presa, dovranno essere controllate basandole esclusivamente sul rilievo in tempo reale

dei livelli all'interno delle due casse, mediante le due stazioni di misura poste poco a monte dei rispettivi scarichi di fondo (vedi paragrafo 6.3.2).

Inizio piena (04)

1 – aperto	2 – aperto/chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	-------------------	------------	------------

La piena aumenta e si raggiunge almeno una delle condizioni previste per l'apertura delle paratoie dell'opera di presa, che in Fase 1 sono le seguenti: $Q_{TIM} \geq 120 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{AFFL} \geq 200 \text{ m}^3/\text{s}$, $H_{PA} \geq 5.40 \text{ m}$ (vedi paragrafo 6.1).

Se l'apertura delle paratoie avviene perché la portata misurata nel Timonchio a Ponte Scartezzini supera il valore di $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{TIM} \geq 120 \text{ m}^3/\text{s}$), le paratoie devono essere regolate per mantenere costante e pari a tale valore di $120 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata rilasciata in alveo verso valle. In pratica, si deve mantenere costante, e pari al valore istantaneo registrato allorquando $Q_{TIM} \geq 120 \text{ m}^3/\text{s}$, il livello nel Timonchio misurato all'opera di presa, esternamente alla griglia.

Se l'apertura delle paratoie avviene perché la somma delle portate misurate nel Timonchio a Ponte Scartezzini, nell'Orolo a Isola Vicentina e nell'Igna a Novoledo supera il valore di $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ($Q_{AFFL} \geq 200 \text{ m}^3/\text{s}$) o perché il livello misurato nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli supera il valore di 5.40 m sullo zero di riferimento locale ($H_{PA} \geq 5.40 \text{ m}$), le paratoie devono essere regolate per mantenere costante il livello nel Timonchio all'opera di presa, esternamente alla griglia, e pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, se l'andamento dei livelli nel Timonchio è in crescita, oppure pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, dedotti 25 cm , se l'andamento dei livelli nel Timonchio è in decrescita.

Evoluzione piena (05)

1 – aperto	2 – aperto/chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	-------------------	------------	------------

La piena nel Timonchio si evolve secondo le fasi di crescita, colmo, decrescita, ecc. e le paratoie dell'opera di presa sono regolate variandone il grado di apertura ad intervalli prefissati per mantenere costante la portata rilasciata verso valle in alveo del Timonchio, pari a quella valutata nell'istante di apertura delle paratoie stesse, facendo riferimento al livello nel Timonchio misurato davanti all'opera di presa, esternamente alla griglia. Per lasciare defluire una portata costante nel Timonchio a valle, al variare della portata in arrivo da monte, l'ingresso della portata in cassa attraverso le paratoie deve avvenire, regolando l'apertura delle paratoie stesse, con deflusso sotto battente.

Durante l'evoluzione di una piena potrebbero presentarsi anche situazioni particolari, come le seguenti:

- Nel caso di un evento di piena con portata molto elevata nel Timonchio, la progressiva apertura delle paratoie dell'opera di presa per mantenere costante la portata rilasciata verso valle nel Timonchio stesso potrebbe non essere sufficiente per raggiungere l'obiettivo prefissato. Infatti, pur con paratoie completamente aperte, la portata rilasciata verso valle, e quindi il livello di riferimento in alveo, potrebbe crescere oltre il valore di soglia. In questo caso, la derivazione in cassa funzionerebbe non più sotto battente, ma a deflusso libero e la portata in ingresso sarebbe sostanzialmente determinata dalla geometria dell'alveo e dei manufatti. In questo caso, le

paratoie dovranno aspettare che il livello nel Timonchio scenda sotto il valore di soglia per riprendere il controllo del deflusso in cassa, e mantenere costante la portata rilasciata verso valle.

- Nel caso di un evento di piena importante e prolungato nel tempo, le casse di monte e di valle potrebbero riempirsi completamente fino alla rispettiva quota di regolazione. In tale situazione, le paratoie dell'opera di presa, non verificandosi le condizioni per la loro chiusura, dovrebbero restare completamente aperte e il riempimento delle casse potrebbe quindi arrivare alla rispettiva quota di massimo invaso, mettendo in funzione lo scarico di superficie della cassa di valle. Nel caso in cui l'evento si prolungasse ulteriormente nel tempo, negli istanti successivi i livelli nelle casse si manterrebbero pari alle quote di massimo invaso, mentre le portate entranti dall'opera di presa transiterebbero nelle casse stesse senza effetti di laminazione per essere restituite al Timonchio dallo scarico di superficie della cassa di valle.

Decrescita piena (06)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	------------	------------	------------

Nella fase di decrescita della piena, per la chiusura delle paratoie dell'opera di presa si dovranno controllare la portata nel Timonchio e/o il livello esterno alla griglia, nonché il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli. Le condizioni per la chiusura delle paratoie sono illustrate al paragrafo 6.1 e sono qui richiamate:

- Con livello decrescente nel Bacchiglione da almeno 2 ore, anche se superiore a 5.40 m, la completa chiusura delle paratoie potrà avvenire quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del valore di regolazione (120 m³/s o inferiore).
- Con livello nel Bacchiglione crescente e superiore a 5.40 m, allorquando la portata nel Timonchio dovesse scendere al di sotto del valore di regolazione (120 m³/s o inferiore) si dovrà impostare una nuova soglia di controllo (livello attuale -25 cm) e regolare quindi le paratoie per mantenere una portata costante inferiore alla precedente. La successiva completa chiusura delle paratoie potrà avvenire solo quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del nuovo valore di regolazione, con il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli in decrescita, con valori sia inferiori, sia superiori a 5.40 m, o in crescita, ma con valori solo inferiori a 5.40 m.

Con riferimento al manufatto di interconnessione, si rileva che al momento della chiusura finale delle paratoie dell'opera di presa, qualunque sia il grado di riempimento delle due casse, anche le paratoie di tale manufatto perverranno alla completa chiusura e nelle due casse stesse, di monte e di valle, resterà temporaneamente immagazzinata l'acqua invasata in ciascuna di esse.

Decrescita piena (07)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	------------	------------	------------

La piena nel Timonchio è in fase di decrescita, ma non si sono ancora raggiunte le condizioni per attivare gli scarichi di fondo delle casse. L'acqua eventualmente invasata nelle casse stesse vi permane in attesa di poter aprire le paratoie degli scarichi di fondo.

Decrescita piena (8)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – chiuso	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Decrescita piena (9)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – aperto	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Le condizioni e i vincoli da rispettare per l'apertura degli scarichi di fondo della cassa di monte e di valle e dare quindi inizio allo svuotamento del bacino sono illustrati in dettaglio al precedente paragrafo 6.3.1.

Lo svuotamento delle casse inizierà quando il livello idrometrico nel Timonchio misurato alla stazione di località Capovilla raggiungerà una quota corrispondente alla portata di 75 m³/s, confrontando, prima, il livello interno alle casse con il livello esterno in Timonchio, dedotto da quello di Capovilla con il calcolo. I livelli limite di fronte agli scarichi della cassa di monte e di valle sono riportati in Tab. 6.6. Una volta soddisfatte tutte le condizioni per l'avvio dello svuotamento, le paratoie degli scarichi possono essere aperte e il grado di apertura deve essere regolato per mantenere costante e non superiore a 75 m³/s la portata fluente attraverso la sezione del ponte di località Capovilla.

Con riferimento al livello d'acqua interno alle due casse, è verosimile che possa essere dapprima attivato lo scarico della cassa di valle rispetto a quello della cassa di monte, essendo questo più fortemente rigurgitato dai livelli che si stabiliscono nel Timonchio per valori di portata inferiori o pari ai 75 m³/s.

Le operazioni di svuotamento dovranno essere regolate sulla base delle registrazioni della portata e del livello idrometrico al ponte di località Capovilla e delle registrazioni dei livelli d'acqua interni alle due casse che costituiscono il bacino.

Esaurimento e termine piena (10)

1 – chiuso	2 – aperto	3 – chiuso	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Una volta svuotate le casse, con la piena in fase di esaurimento o al termine di essa, le paratoie del manufatto di interconnessione e quelle degli scarichi di fondo devono essere portate nello stato previsto per le condizioni normali di esercizio, come descritto al punto 01 della sequenza illustrata.

6.6.2 Procedura a lungo termine (FASE 2)

Come per la FASE 1, si riporta nel seguito l'esemplificazione delle regole da applicare, per passi successivi, per l'attivazione/disattivazione delle paratoie dell'opera di presa (1), dell'interconnessione (2), dello scarico di monte (3) e dello scarico di valle (4), ipotizzando l'arrivo di una piena nel sistema idrografico Timonchio-Orolo-Bacchiglione.

Stato iniziale (01)

1 – chiuso	2 – aperto	3 – chiuso	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Questa situazione è del tutto uguale a quella illustrata per la FASE 1. Per garantire il deflusso delle acque meteoriche che dovessero cadere al suolo all'interno del bacino, convogliandole verso lo scarico della cassa di valle, in condizioni normali i manufatti 2 e 4 restano aperti, con un grado di apertura basso, pari a circa 20 cm.

Inizio piena (02)

1 – chiuso	2 – aperto	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	------------	------------	------------

Questa situazione è uguale a quella illustrata per la FASE 1. Quando il livello idrometrico nel Timonchio raggiunge una quota tale da rigurgitare lo scarico della cassa di valle, il manufatto 4 si chiude. Di fatto, si deve impedire l'ingresso di acqua del Timonchio attraverso lo scarico della cassa di valle, preparando il bacino ad accogliere eventualmente le acque del torrente attraverso l'opera di presa. La chiusura delle paratoie deve essere controllata mediante i valori di portata e di livello rilevati in tempo reale alla stazione di misura posizionata sul ponte di località Capovilla di Caldogno, a valle del bacino. I valori soglia, il cui superamento determina la chiusura delle paratoie, sono pari a $H_{\text{capovilla}}=54.73$ m s.l.m. e/o $Q_{\text{capovilla}}=25$ m³/s (vedi paragrafo 6.3.1). Inoltre, all'inizio della piena, utilizzando le previsioni del C.F.D., si procede anche alla definizione se si tratta di un evento con superamento previsto della soglia di 5.4 m a Ponte degli Angeli. In caso affermativo si procede anche alla classificazione dell'evento in arrivo come evento lungo o breve e si definiscono così i valori soglia da considerare per l'apertura delle paratoie dell'opera di presa. In caso negativo (non superamento della soglia di 5.4 m a Ponte degli Angeli), si può prevedere una gestione tipo Fase 1, considerando, peraltro, per l'attivazione dell'opera di presa le sole regole n. 2 e n. 3. In questo modo è possibile fronteggiare anche un evento di piena previsto con livello massimo inferiore al livello di soglia (5.4 m), ma che in corso di evento si dovesse rivelare di entità, per portate e livelli, superiore alle previsioni stesse.

Inizio piena (03)

1 – chiuso	2 – aperto/chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	-------------------	------------	------------

Questa situazione è del tutto uguale a quella illustrata per la FASE 1. La piena aumenta ma non si raggiungono ancora le condizioni per l'apertura delle paratoie dell'opera di presa.

Se il freatimetro installato a sud del bacino segnala condizioni di falda bassa, il manufatto di interconnessione (2) viene chiuso. Se, invece, il freatimetro installato a sud del bacino segnala condizioni di falda alta, il manufatto di interconnessione (2) resta aperto, con un grado di apertura basso, pari al più piccolo possibile, ad esempio 5 cm.

Durante l'evolversi della piena, nel caso in cui il bacino di laminazione dovesse entrare in funzione accogliendo le acque del Timonchio, le manovre da eseguire sulle paratoie del manufatto di interconnessione, completamente indipendenti da quelle che saranno effettuate sulle paratoie dell'opera di presa, dovranno essere controllate basandole esclusivamente sul rilievo in tempo reale dei livelli all'interno delle due casse, mediante le due stazioni di misura poste poco a monte dei rispettivi scarichi di fondo (vedi paragrafo 6.3.2).

Inizio piena (04)

1 – aperto	2 – aperto/chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	-------------------	------------	------------

La piena aumenta e si raggiunge almeno una delle condizioni previste per l'apertura delle paratoie dell'opera di presa, che in Fase 2 sono quelle illustrate nel prospetto seguente (vedi paragrafo 6.2):

$H_{PA+2} < 5.70 \text{ m}$	
<u>EVENTO BREVE</u>	<u>EVENTO LUNGO</u>
$Q_{T1} \geq 100 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_{T1} \geq 150 \text{ m}^3/\text{s}$
$H_{PA+2} \geq 5.70 \text{ m}$	
<u>EVENTO BREVE</u>	<u>EVENTO LUNGO</u>
$Q_{T1} \geq 70 \text{ m}^3/\text{s}$	

Se l'apertura delle paratoie avviene perché la portata misurata nel Timonchio a Ponte Scartezzini supera uno dei valori 100-150 m³/s, le paratoie devono essere regolate per mantenere costante e pari a tale valore la portata rilasciata in alveo verso valle. In pratica, si deve mantenere costante, e pari al valore istantaneo registrato allorchando $Q_{TIM} \geq 100-150 \text{ m}^3/\text{s}$, il livello nel Timonchio misurato all'opera di presa, esternamente alla griglia.

Se l'apertura delle paratoie avviene perché il livello previsto nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli con 2 ore di anticipo supera il valore di 5.70 m sullo zero di riferimento locale, le paratoie devono essere regolate per mantenere costante il livello nel Timonchio all'opera di presa, esternamente alla griglia, e pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, se l'andamento dei livelli nel Timonchio è in crescita, oppure pari al valore istantaneo misurato nel momento dell'apertura, dedotti 25 cm, se l'andamento dei livelli nel Timonchio è in decrescita.

Evoluzione piena (05)

1 – aperto	2 – aperto/chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	-------------------	------------	------------

Questa situazione è del tutto uguale a quella illustrata per la FASE 1. La piena nel Timonchio si evolve secondo le fasi di crescita, colmo, decrescita, ecc. e le paratoie dell'opera di presa sono regolate variandone il grado di apertura ad intervalli prefissati per mantenere costante la portata rilasciata verso valle in alveo del Timonchio, pari a quella valutata nell'istante di apertura delle paratoie stesse, facendo riferimento al livello nel Timonchio misurato davanti all'opera di presa, esternamente alla griglia. Per lasciare defluire una portata costante nel Timonchio a valle, al variare della portata in arrivo da monte, l'ingresso della portata in cassa attraverso le paratoie deve avvenire, regolando l'apertura delle paratoie stesse, con deflusso sotto battente.

Durante l'evoluzione di una piena potrebbero presentarsi anche situazioni particolari, come le seguenti:

- Nel caso di un evento di piena con portata molto elevata nel Timonchio, la progressiva apertura delle paratoie dell'opera di presa per mantenere costante la portata rilasciata verso valle nel Timonchio stesso potrebbe non essere sufficiente per raggiungere l'obiettivo prefissato. Infatti, pur con paratoie completamente aperte, la portata rilasciata verso valle, e quindi il livello di riferimento in alveo, potrebbe crescere oltre il valore di soglia. In questo caso, la derivazione in cassa funzionerebbe non più sotto battente, ma a deflusso libero e la portata in ingresso sarebbe sostanzialmente determinata dalla geometria dell'alveo e dei manufatti. In questo caso, le paratoie dovranno aspettare che il livello nel Timonchio scenda sotto il valore di soglia per riprendere il controllo del deflusso in cassa, e mantenere costante la portata rilasciata verso valle.
- Nel caso di un evento di piena importante e prolungato nel tempo, le casse di monte e di valle potrebbero riempirsi completamente fino alla rispettiva quota di regolazione. In tale situazione, le paratoie dell'opera di presa, non verificandosi le condizioni per la loro chiusura, dovrebbero

restare completamente aperte e il riempimento delle casse potrebbe quindi arrivare alla rispettiva quota di massimo invaso, mettendo in funzione lo scarico di superficie della casa di valle. Nel caso in cui l'evento si prolungasse ulteriormente nel tempo, negli istanti successivi i livelli nelle casse si manterrebbero pari alle quote di massimo invaso, mentre le portate entranti dall'opera di presa transiterebbero nelle casse stesse senza effetti di laminazione per essere restituite al Timonchio dallo scarico di superficie della cassa di valle.

Decrescita piena (06)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	------------	------------	------------

Nella fase di decrescita della piena, per la chiusura delle paratoie dell'opera di presa si dovranno controllare la portata nel Timonchio e/o il livello esterno alla griglia, nonché il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli. Le condizioni per la chiusura delle paratoie sono illustrate al paragrafo 6.2 e sono qui richiamate:

- Con livello decrescente nel Bacchiglione da almeno 2 ore, anche se superiore a 5.40 m, la completa chiusura delle paratoie potrà avvenire quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del valore di regolazione.
- Con livello nel Bacchiglione crescente e superiore a 5.40 m, allorquando la portata nel Timonchio dovesse scendere al di sotto del valore di regolazione si dovrà impostare una nuova soglia di controllo (livello attuale -25 cm) e regolare quindi le paratoie per mantenere una portata costante inferiore alla precedente. La successiva completa chiusura delle paratoie potrà avvenire solo quando la portata in arrivo nel Timonchio scenderà al di sotto del nuovo valore di regolazione, con il livello nel Bacchiglione a Ponte degli Angeli in decrescita, con valori sia inferiori, sia superiori a 5.40 m, o in crescita, ma con valori solo inferiori a 5.40 m.

Con riferimento al manufatto di interconnessione, si rileva che al momento della chiusura finale delle paratoie dell'opera di presa, qualunque sia il grado di riempimento delle due casse, anche le paratoie di tale manufatto perverranno alla completa chiusura e nelle due casse stesse, di monte e di valle, resterà temporaneamente immagazzinata l'acqua invasata in ciascuna di esse.

Decrescita piena (07)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – chiuso	4 – chiuso
------------	------------	------------	------------

Questa situazione è del tutto uguale a quella illustrata per la FASE 1. La piena nel Timonchio è in fase di decrescita, ma non si sono ancora raggiunte le condizioni per attivare gli scarichi di fondo delle casse. L'acqua eventualmente invasata nelle casse stesse vi permane in attesa di poter aprire le paratoie degli scarichi di fondo.

Decrescita piena (8)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – chiuso	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Decrescita piena (9)

1 – chiuso	2 – chiuso	3 – aperto	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Queste situazioni sono del tutto uguali a quelle illustrate per la FASE 1. Le condizioni e i vincoli da rispettare per l'apertura degli scarichi di fondo della cassa di monte e di valle e dare quindi inizio allo svuotamento del bacino sono illustrati in dettaglio al precedente paragrafo 6.3.1.

Lo svuotamento delle casse inizierà quando il livello idrometrico nel Timonchio misurato alla stazione di località Capovilla di Caldogno, a valle del bacino, raggiungerà una quota corrispondente alla portata di 75 m³/s, confrontando, prima, il livello interno alle casse con il livello esterno in Timonchio, dedotto da quello di località Capovilla con il calcolo. I livelli limite di fronte agli scarichi della cassa di monte e di valle sono riportati in Tab. 6.6. Una volta soddisfatte tutte le condizioni per l'avvio dello svuotamento, le paratoie degli scarichi possono essere aperte e il grado di apertura deve essere regolato per mantenere costante e non superiore a 75 m³/s la portata fluente attraverso la sezione del ponte di località Capovilla.

Con riferimento al livello d'acqua interno alle due casse, è verosimile che possa essere dapprima attivato lo scarico della cassa di valle rispetto a quello della cassa di monte, essendo questo più fortemente rigurgitato dai livelli che si stabiliscono nel Timonchio per valori di portata inferiori o pari ai 75 m³/s.

Le operazioni di svuotamento dovranno essere regolate sulla base delle registrazioni della portata e del livello idrometrico al ponte di località Capovilla e delle registrazioni dei livelli d'acqua interni alle due casse che costituiscono il bacino.

Esaurimento e termine piena (10)

1 – chiuso	2 – aperto	3 – chiuso	4 – aperto
------------	------------	------------	------------

Questa situazione è del tutto uguale a quella illustrata per la FASE 1. Una volta svuotate le casse, con la piena in fase di esaurimento o al termine di essa, le paratoie del manufatto di interconnessione e quelle degli scarichi di fondo devono essere portate nello stato previsto per le condizioni normali di esercizio, come descritto al punto 01 della sequenza illustrata.

7 Riferimenti bibliografici

- [1] *Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione. “Studi finalizzati alla redazione del Piano di Bacino del Fiume Piave. Studio finalizzato al riconoscimento delle aree di pertinenza idraulica e di sicurezza idraulica lungo il Piave a valle di Nervesa della Battaglia, mediante modello matematico bidimensionale”. L. D’Alpaos e Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l., 1998.*
- [2] *D’Alpaos, L. and A. Defina. Modellazione matematica del comportamento idrodinamico di zone a barena solcate da una rete di canali minori. Estratto da Rapporti e Studi, Ist. Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, 1995.*
- [3] *Defina A. Two-dimensional shallow flow equations for partially dry areas. Water Resour Res 2000;36:3251. doi:10.1029/2000WR900167.*
- [4] *Defina, A., “Numerical experiments on bar growth”, Water Resources Research, vol.39, 4, 1092, 2003.*
- [5] *Defina, A., e I. Bonetto, Rappresentazione dei termini di accelerazione convettiva in un modello bidimensionale della propagazione di onde lunghe in acque basse, Atti del XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, vol. I, pp. 53–64, Coop. Univ. Editrice Catanese di Magistero, Catania, Italy, 1998.*
- [6] *Viero D.P., Matticchio B., Defina A., La previsione in tempo reale dei livelli idrometrici di piena del fiume Bacchiglione a Ponte degli Angeli, Vicenza. Atti del XXXIII convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, Brescia, 10-14 settembre, 2012.*
- [7] *Regione del Veneto, Direzione Difesa del Suolo. “Interventi per la sicurezza idraulica dell’area metropolitana di Vicenza. Bacino di laminazione lungo il torrente Timonchio in Comune di Caldogno (VI). Progetto esecutivo. Elaborato n. 1.1. Relazione idrologica ed idraulica”. R.T.I. Opera S.c.a.r.l., Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l., CO.RI.P. s.r.l., 2014.*
- [8] *Regione del Veneto, Genio Civile di Vicenza, “Modello bidimensionale ad elementi finiti del F. Bacchiglione a Vicenza nel tratto a cavallo di Ponte Pusterla. Modello unidimensionale del F. Bacchiglione a Vicenza nel tratto compreso tra il ponte di Viale Diaz e il ponte di Viale dello Stadio”. Ipros Ingegneria Ambientale s.r.l., 2012.*

8 APPENDICE A – Descrizione del modello idrologico di piena

Il software di simulazione utilizzato, sviluppato dalla Ipros Ingegneria Ambientale, incorpora in un'interfaccia grafica interattiva il codice di calcolo messo a punto dal prof. L. D'Alpaos dell'Università di Padova. Si tratta di un modello idrologico di piena che si basa essenzialmente su di una generalizzazione del modello di Nash. Tale modello consente di tenere conto degli aspetti fondamentali che caratterizzano la formazione delle piene in un bacino idrografico di qualsiasi estensione. In particolare, attraverso la suddivisione del bacino in una serie di sottobacini elementari, il modello consente di considerare gli effetti dovuti ad una distribuzione delle precipitazioni variabile non solo nel tempo ma anche nello spazio. È inoltre possibile evidenziare il contributo alla formazione della piena degli apporti che arrivano alle aste della rete idrografica con ritardi accentuati rispetto ai più rapidi deflussi superficiali. Tali effetti, sostenendo la coda della piena, contribuiscono a modificare la forma dell'idrogramma, soprattutto in presenza di piogge persistenti o di picchi successivi di portata.

Il comportamento idrologico di un bacino idrografico complesso può essere quindi simulato con il modello proposto suddividendo il bacino stesso in una serie di sottobacini elementari, ciascuno dei quali è simulato da un doppio sistema di invasi disposti in parallelo, in grado di rappresentare da una parte la risposta rapida dei deflussi superficiali, dall'altra quella più lenta dei deflussi profondi (Fig. 8.1-A). Poiché, di fatto, non vi è limite alcuno alla suddivisione del bacino in sottobacini, il modello, che di per se stesso è un modello a parametri concentrati, si può trasformare al limite in un modello a parametri distribuiti.

Quanto all'individuazione degli afflussi meteorici che si trasformeranno in deflussi che, come è noto, è problema di notevole importanza in quanto condiziona in misura determinante la bontà dei risultati ottenibili dalla simulazione matematica, il modello consente tre possibili opzioni alternative.

La prima di tali opzioni consiste nel valutare le precipitazioni efficaci mediante il cosiddetto "metodo dell'indice Φ ", un semplice schema di calcolo a 2 parametri basato sulla definizione di due indici invarianti nel tempo Φ_s e Φ_p , (espressi in mm), che rappresentano la quantità minima di pioggia che deve cadere nel tempo Δt affinché l'impulso generico di precipitazione $p(i)$ possa dare un contributo alla formazione, rispettivamente, del deflusso superficiale e di quello profondo (Fig. 8.1-B-a).

La seconda opzione è quella rappresentata dal cosiddetto metodo percentuale, secondo il quale ogni impulso di precipitazione $p(i)$ avente durata definita Δt contribuisce al deflusso in base a due coefficienti Φ_s e Φ_p , (espressi in %), che forniscono le frazioni alimentanti, rispettivamente, il deflusso superficiale e quello profondo (Fig. 8.1-B-b).

Infine, con la terza opzione, noto il coefficiente di deflusso totale C_D e superficiale C_s , è possibile trasformare il volume totale di pioggia P_T , caduto nel tempo t_p , nella quota parte P_s che sostiene il deflusso superficiale e nella frazione P_p che alimenta il deflusso profondo (Fig. 8.1-B-c). Resta inoltre individuata anche la frazione di precipitazione P_i che non contribuisce in alcun modo alla formazione dei deflussi di piena.

Nella formulazione originale del modello, ciascuna delle tre opzioni considerate consente di determinare la "pioggia efficace" a partire da ietogrammi totali di precipitazione registrati a terra nelle stazioni pluviografiche esistenti od utilizzando i dati di precipitazione ottenuti da sistemi previsionali, interfacciando lo schema di calcolo, e quindi i files di dati di pioggia in ingresso, con i files di uscita di tali sistemi.

È infine da osservare che il modello può utilizzare sia pluviogrammi forniti con passo temporale costante qualsiasi (generalmente orario o pluriorario), sia valori cumulati di precipitazione, quali possono essere ad esempio quelli determinati attraverso le usuali elaborazioni statistiche dei valori massimi di precipitazione. In quest'ultimo caso il modello opera automaticamente la distribuzione del valore di pioggia totale in un determinato periodo di tempo secondo una distribuzione prefissata delle intensità (costante, lineare o secondo la distribuzione Beta illustrata in Fig. 8.2).

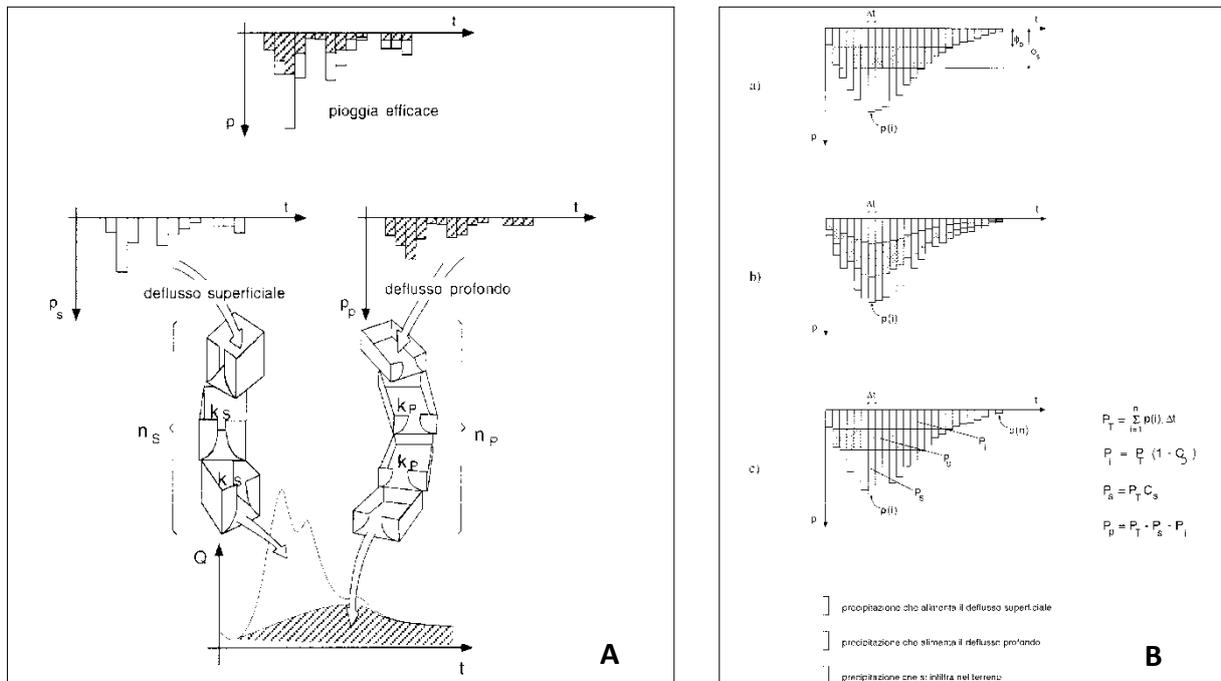


Fig. 8.1 – (A) Schematizzazione della risposta idrologica complessiva di un bacino elementare agli impulsi di precipitazione e (B) trasformazione delle precipitazioni in piogge efficaci secondo i metodi dell'indice Φ (a), percentuale (b) e del coefficiente di deflusso (c).

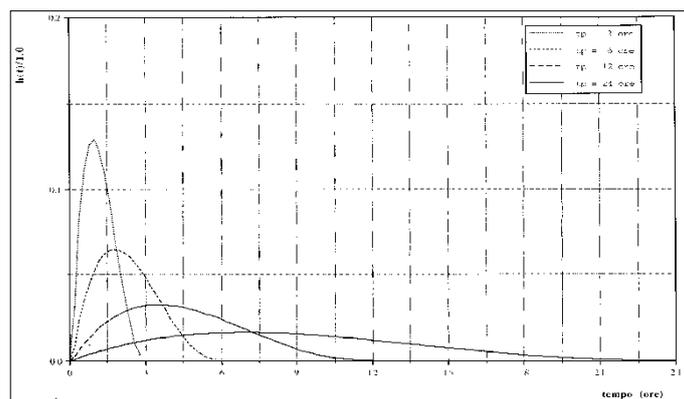


Fig. 8.2 – Andamento nel tempo di piogge con volume unitario e con durata variabile da 3 ore a 24 ore con una distribuzione secondo la funzione Beta.

9 APPENDICE B – Descrizione del modello idrodinamico

NOTE GENERALI

Il software di simulazione impiegato nel presente studio è stato sviluppato dalla Ipros Ingegneria Ambientale ed incorpora in un'interfaccia grafica interattiva il codice di calcolo 2DEF messo a punto dai proff. L. D'Alpaos e A. Defina dell'Università di Padova.

Esso è stato impiegato nel recente passato per svolgere numerose indagini sulle condizioni idrauliche dei più importanti corsi d'acqua della pianura veneta e delle reti di canali di numerosi bacini della bonifica e costituisce un valido ed ormai ampiamente collaudato strumento di indagine a supporto di possibili interventi ingegneristici finalizzati al controllo del regime idrodinamico dei corsi d'acqua, e per la valutazione degli effetti di opere che possono interferire con il sistema idrografico in particolare in presenza di situazioni di rischio idraulico.

Il codice 2DEF è basato su di uno schema numerico ad elementi finiti, che risolve le equazioni differenziali che governano il moto bidimensionale di una corrente a superficie libera su bassi fondali, formulate in modo da poter essere applicate anche ad aree parzialmente asciutte o che possono essere allagate o prosciugate durante l'evoluzione del fenomeno indagato. Esso consente, tra l'altro, l'accoppiamento di elementi bidimensionali e unidimensionali (schema 2D-1D), utilizzando gli uni nelle zone in cui la direzione della velocità nel piano orizzontale non è a priori individuabile, gli altri per descrivere il funzionamento dei canali e dei corsi d'acqua minori presenti nel dominio di calcolo. E' possibile, inoltre, inserire nella schematizzazione anche speciali elementi unidimensionali in grado di descrivere localmente il funzionamento idraulico di manufatti come soglie, traverse, botti a sifone, dispositivi controllati da paratoie, impianti idrovori, ecc.

LE EQUAZIONI DEL MOTO

Il modello matematico dispone di una serie di moduli aggiuntivi. Con essi è possibile simulare la propagazione del moto ondoso e le correnti da esso indotte, il trasporto di sedimenti al fondo e in sospensione, e l'evoluzione dei fondali indotta dalle correnti di marea e da quelle generate dal moto ondoso, il trasporto e la diffusione di sostanze rilasciate in acqua, e quindi i tempi di residenza, con approccio sia euleriano che lagrangiano.

Per quanto riguarda gli aspetti idrodinamici, le equazioni che governano il moto in ipotesi di fondali lentamente erodibili sono formulate in modo da poter essere applicate anche ad aree parzialmente asciutte o che possono essere allagate o prosciugate durante l'evoluzione del fenomeno ([2], [3], [4]).

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{d(q_x / Y)}{dt} + \frac{q_x |q|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} - \frac{\tau_{wx}}{\gamma Y} - Re_x = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{d(q_y / Y)}{dt} + \frac{q_y |q|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} - \frac{\tau_{wy}}{\gamma Y} - Re_y = 0 \quad (2)$$

$$\eta(h) \frac{\partial h}{\partial t} + \nabla q = 0 \quad (3)$$

Nelle equazioni precedenti, h indica la quota idrometrica, x , y sono le ascisse spaziali orizzontali correnti, g è l'accelerazione di gravità, K_s è il coefficiente di scabrezza secondo Strickler, t è il tempo,

$\mathbf{q}=(q_x, q_y)$ è la velocità integrata sulla verticale, τ_{wx} e τ_{wy} sono i termini che descrivono l'effetto sulla circolazione delle eventuali azioni del vento e/o del moto ondoso, Re_x e Re_y sono gli sforzi adimensionali di Reynolds nel piano orizzontale, calcolati mediante le seguenti relazioni:

$$Re_x = \frac{v_T}{g} \left(\frac{\partial^2(\frac{q_x}{Y})}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\frac{q_x}{Y})}{\partial y^2} \right) \quad Re_y = \frac{v_T}{g} \left(\frac{\partial^2(\frac{q_y}{Y})}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\frac{q_y}{Y})}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Il coefficiente di viscosità cinematica turbolenta v_T che compare nelle precedenti relazioni, è determinato utilizzando come schema di chiusura il modello suggerito da *Smagorinsky* successivamente perfezionato da *Stansby*.

Nelle equazioni precedenti compaiono inoltre i termini η , Y e H i quali, nell'istante generico, indicano, rispettivamente, la frazione locale di dominio allagato, il volume d'acqua per unità di superficie ed un'altezza d'acqua equivalente introdotta per descrivere correttamente l'effetto dei termini dissipativi. Tali termini sono dati dalle espressioni seguenti:

$$\eta(h) = \frac{1}{2} [1 - \text{erf}(2Y_a / a_r)] \quad (5)$$

$$Y = \int_{-\infty}^h \eta \cdot dz = a_r \left\{ \eta \frac{Y_a}{a_r} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} e^{-4(Y_a/a_r)^2} \right\} \quad (6)$$

$$H \cong Y + 0.27 \sqrt{Y \cdot a_r} \cdot e^{-2Y/a_r} \quad (7)$$

in cui $\text{erf}()$ è la funzione errore, $Y_a=h-h_f$, essendo h_f l'altezza media locale del fondo e a_r indica la ampiezza massima delle ondulazioni locali del terreno.

I termini τ_{wx} e τ_{wy} che compaiono nelle equazioni precedenti descrivono, come si è detto, l'effetto delle eventuali azioni del vento e/o del moto ondoso. L'azione del vento è valutata mediante le seguenti relazioni

$$\begin{aligned} \tau_{wx} &= \tau_w \cos(\mathcal{G}_w) & \tau_{wy} &= \tau_w \sin(\mathcal{G}_w) \\ \tau_w &= c_w \rho_a w_w^2 & c_w &= 0.0015(1 - e^{-0.1w_w}) \end{aligned} \quad (8)$$

in cui w_w e \mathcal{G}_w sono la velocità e la direzione del vento e ρ_a è la densità dell'aria.

Al contributo dovuto al vento può essere sommato quello prodotto dal moto ondoso, determinato dalle variazioni spaziali dei radiation stress:

$$\tau_{wx} = - \left(\frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} \right) \quad \tau_{wy} = - \left(\frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} \right) \quad (9)$$

in cui le componenti R_{xx} , R_{xy} e R_{yy} dei radiation stress sono eventualmente valutate tramite un modulo che risolve l'equazione differenziale che governa la conservazione dell'azione d'onda nell'ipotesi di onda monocromatica, tramite la formulazione di *Longuet-Higgins e Stewart*.

LO SCHEMA NUMERICO

Si osserva, nelle equazioni precedenti, che l'accelerazione convettiva è, di fatto, considerata in modo lagrangiano, dato che la variazione nel tempo delle velocità mediate lungo la verticale è rappresentata da una derivata totale.

Per la discretizzazione di questo termine si è adottata una tecnica alle differenze finite trascurando, perché piccola, la variazione temporale dell'altezza d'acqua Y . In queste ipotesi, ad esempio, la derivata totale della velocità nella direzione x , è calcolata come segue:

$$\frac{d(q_x / Y)}{dt} \cong \frac{(q_x / Y)' - (q_x / Y)'_0}{\Delta t} \quad (10)$$

essendo le grandezze con apice riferite all'istante di calcolo precedente. Conseguentemente la derivata totale delle velocità, calcolata nel generico punto P del campo di moto, si scrive come differenza tra la velocità $(q_x / Y)'$ calcolata nello stesso punto P e la velocità $(q_x / Y)'_0$ calcolata, invece, nel punto P_0 che si determina per integrazione a ritroso nel tempo lungo la "linea di fumo" passante per P [5].

Senza entrare nel merito della soluzione numerica adottata, ci si limita a ricordare che il sistema delle equazioni, nelle incognite h e q , è risolto con il metodo degli elementi finiti, adottando una soluzione secondo uno schema alle differenze finite semi-implicito per le derivate temporali. Poiché nella discretizzazione spaziale del campo di moto si sono utilizzati elementi finiti di forma triangolare, la soluzione per i livelli prevede una variazione lineare delle quote idrometriche all'interno di ciascun elemento, mentre le velocità (integrate sulla verticale) sono considerate costanti sull'elemento.

ELEMENTI 2D SPECIALI

Nei sistemi idrografici naturali sono spesso presenti elementi il cui comportamento non può essere descritto in modo semplice e diretto mediante le equazioni appena descritte. Per le resistenze prodotte dalla presenza di vegetazione, ad esempio, che si vanno a sovrapporre a quelle dell'attrito sul fondo, è necessario introdurre una formulazione apposita. Così come, per gli effetti idrodinamici prodotti dalla presenza di pile e altre forme di ostruzione dell'alveo, qualora il grado di dettaglio della griglia di calcolo non sia sufficientemente spinto per poter correttamente descrivere l'idrodinamica locale a piccola scala, è necessario introdurre opportune relazioni aggiuntive che ne tengano conto in modo complessivo. Altri effetti non considerati nelle equazioni presentate nel precedente paragrafo sono, ad esempio, la perdita di volume per infiltrazione o la presenza di piccole porzioni di dominio dove il moto può avvenire in pressione. Si pensi, a tale proposito, al funzionamento di un ponte quando il livello dell'acqua raggiunge la quota dell'impalcato.

Per descrivere queste situazioni, per le quali il moto mantiene ancora carattere bidimensionale, sono introdotti alcuni elementi speciali per i quali, nella fase di costruzione del reticolo di calcolo, è necessario specificare alcuni specifici parametri.

ELEMENTI UNIDIMENSIONALI

La schematizzazione con elementi bidimensionali della rete idrografica minore presenterebbe non poche difficoltà, poiché da una parte essa porterebbe all'utilizzo di elementi di dimensioni così piccole da rendere assai onerosa la fase di costruzione del reticolo, dall'altra potrebbe generare l'insorgere di problemi nella soluzione numerica, a meno di non adottare passi di integrazione temporale particolarmente ridotti. Inoltre, la schematizzazione di tratti di condotte a sezione chiusa mediante elementi bidimensionali risulta proibitiva. Per questa ragione il modello consente l'impiego accoppiato di elementi bidimensionali ed unidimensionali, utilizzando questi ultimi per

descrivere il funzionamento dei canali della rete minore, che drena porzioni di territorio soggette a prosciugamento, per simulare piccole incisioni profonde in un dominio sostanzialmente bidimensionale o per includere nella schematizzazione tratti di condotte di sezione chiusa.

In pratica, nello schema adottato, gli elementi unidimensionali funzionano come canali "in pressione" a sezione costante, fino a quando le zone laterali che li fiancheggiano sono ricoperte dalle acque, e come canali a pelo libero quando il livello scende al di sotto della quota delle zone laterali.

Il comportamento idraulico di un sistema idrografico articolato e complesso può essere quindi descritto in modo efficace con un reticolo di elementi bidimensionali i cui lati seguono, nelle zone in cui ciò è necessario, il tracciato degli eventuali canali minori presenti. I canali unidimensionali, a loro volta, possono essere comunque connessi fra loro, purché siano disposti lungo i lati del reticolo bidimensionale e si appoggino agli stessi nodi. L'accorgimento consente operativamente che essi possano essere inseriti o disinseriti dal reticolo di calcolo senza dover modificare la struttura del reticolo formato dagli elementi bidimensionali [2].

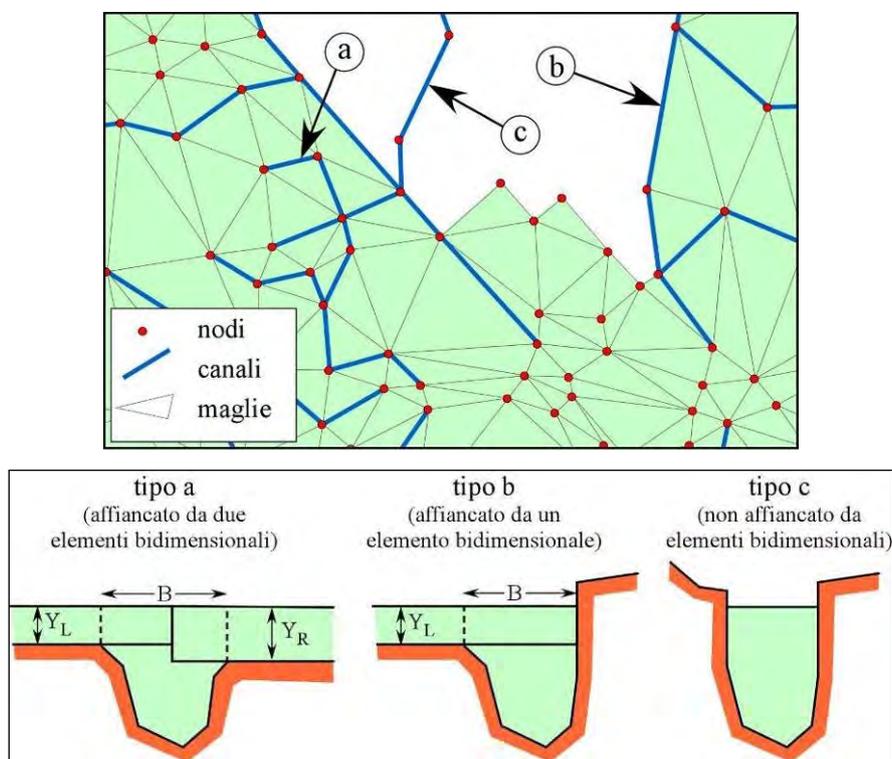


Fig. 9.1 – Esempio schematico di elementi unidimensionali e bidimensionali combinati: pianta (sopra) e sezione (sotto).

Può accadere che il canale definito tra due nodi non sia affiancato da elementi bidimensionali o che durante l'evolversi del fenomeno gli elementi bidimensionali che lo fiancheggiano siano prosciugati. In queste condizioni, come si è detto, il canale funziona a superficie libera. Le possibili situazioni che si possono presentare sono tre, vale a dire il generico tronco di canale è affiancato da due elementi bidimensionali, da un solo elemento bidimensionale o da nessun elemento bidimensionale, come illustrato in pianta e in sezione in Fig. 9.1.

Nel modello, l'equazione dinamica contiene alcune semplificazioni. Si assume innanzitutto trascurabile l'inerzia convettiva. Il modello poi considera solo sezioni trasversali compatte, per quali sia possibile assumere una distribuzione di velocità sensibilmente uniforme. In queste ipotesi, le equazioni dinamica e di continuità sono:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{K_S^2 R_H^{4/3} A^2} = 0 \quad (11)$$

$$\eta(h) \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad (12)$$

nelle quali A è l'area della sezione trasversale, R_H è il raggio idraulico, Q la portata e s l'ascissa curvilinea che descrive planimetricamente l'andamento dell'asse del canale.

Come per le equazioni dinamiche bidimensionali, il primo passo consiste nel discretizzare la derivata temporale che compare nella (11) alle differenze finite, ottenendo:

$$Q = - \left(\frac{1}{gA\Delta t} + \frac{|Q|}{k_S^2 R_H^{4/3} A^2} \right)^{-1} \left[\frac{\partial h}{\partial s} - \left(\frac{Q}{gA\Delta t} \right) \right] \quad (13)$$

nella quale i termini tra parentesi rotonde sono calcolati al passo temporale precedente.

Nel modello, in particolare, sono implementate specifiche procedure per considerare che, per effetto della sovrapposizione tra elementi unidimensionali e bidimensionali (vedi Fig. 9.1), una frazione della portata che fluisce lungo i canali unidimensionali è già considerata nel calcolo attraverso gli elementi bidimensionali.

ELEMENTI 1D SPECIALI

Nei sistemi idrografici complessi, sono spesso presenti elementi morfologici naturali o artificiali che fungono da strutture di contenimento delle acque fino a quando le quote idrometriche non superano un certo livello. Tipica in tal senso è la funzione delle arginature le quali difendono inizialmente dalle acque il territorio adiacente, che è però soggetto ad allagamento una volta che localmente o in modo diffuso le quote idrometriche superino le quote delle sommità arginali.

Per simulare allora con buona approssimazione la presenza di elementi morfologici particolari (quali argini, rilevati stradali o manufatti che possono modificare apprezzabilmente l'evoluzione del fenomeno) il modello uni-bidimensionale descritto nei paragrafi precedenti è stato modificato prevedendo l'inserimento di una serie di elementi unidimensionali (tronchi) speciali, che consentono di descrivere correttamente le conseguenze di una manovra di regolazione o di eventuale cedimento del sistema delle numerose opere di difesa longitudinale presenti.

Mediante l'inserimento di tali elementi è possibile simulare, in particolare, il funzionamento delle arginature, che non potrebbero diversamente essere descritte correttamente utilizzando soli elementi bidimensionali. I rilevati arginali sono perciò schematizzati come soglie sfioranti, per le quali è sufficiente assegnare le caratteristiche geometriche e il valore del coefficiente di portata perché il modello determini, al variare delle quote idrometriche, l'andamento della portata che eventualmente tracima la soglia, considerando sia condizioni di efflusso libero che di efflusso rigurgitato.

Altri tronchi speciali inseriti nello schema di calcolo consentono di simulare il funzionamento di soglie o salti di fondo, di brevi tratti di canale in pressione, come sottopassi o botti a sifone; altri elementi ancora permettono di simulare il funzionamento di paratoie, che possono operare automaticamente comandate dai livelli o dalla direzione del flusso (porte vinciane), oppure riprodurre una scala di deflusso (legame tra livello di monte e portata) assegnata per punti.

10 APPENDICE C – Risultati delle simulazioni con il modello idrodinamico

10.1 Eventi reali – procedura a breve termine

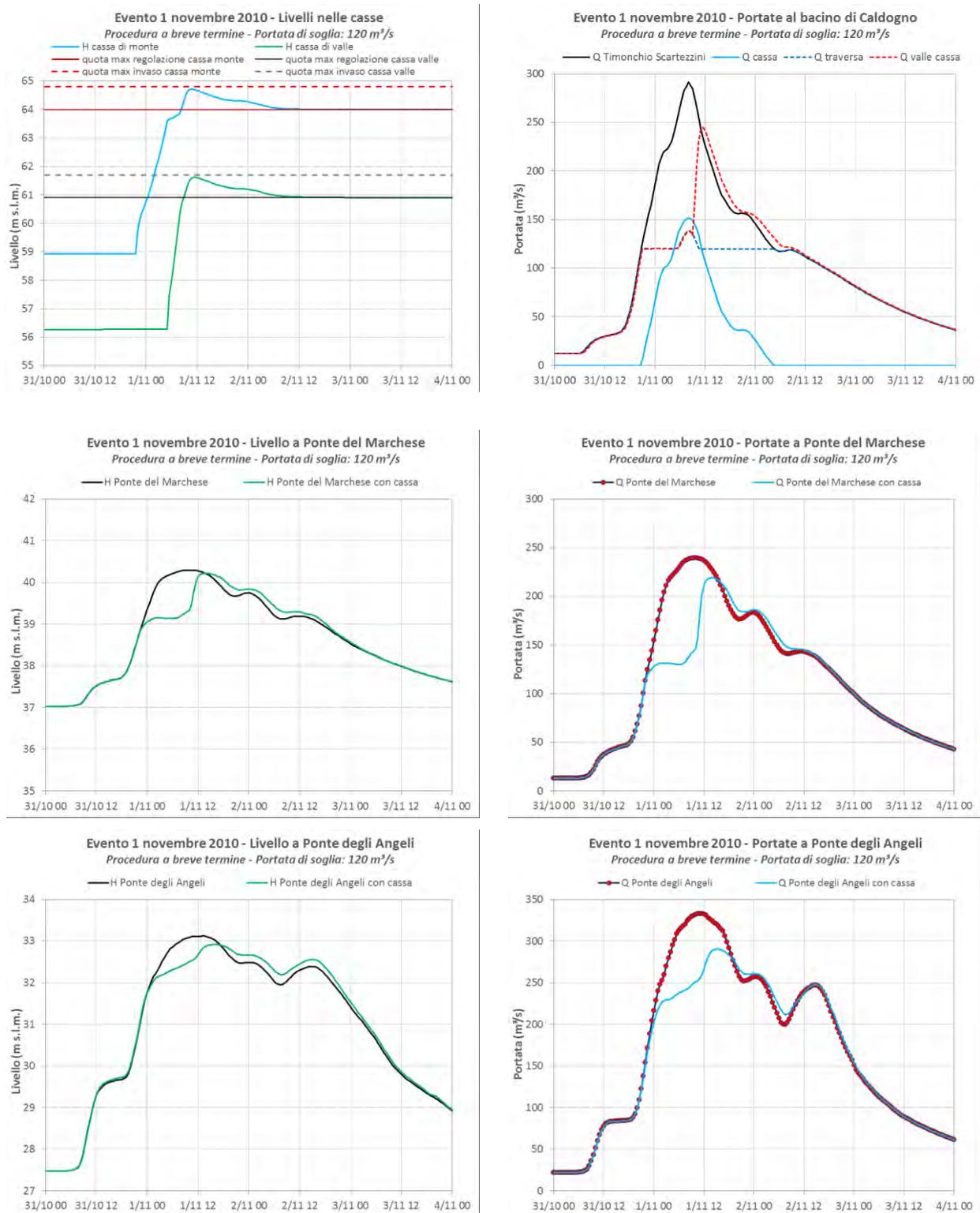


Fig. 10.1 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **ottobre-novembre 2010**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

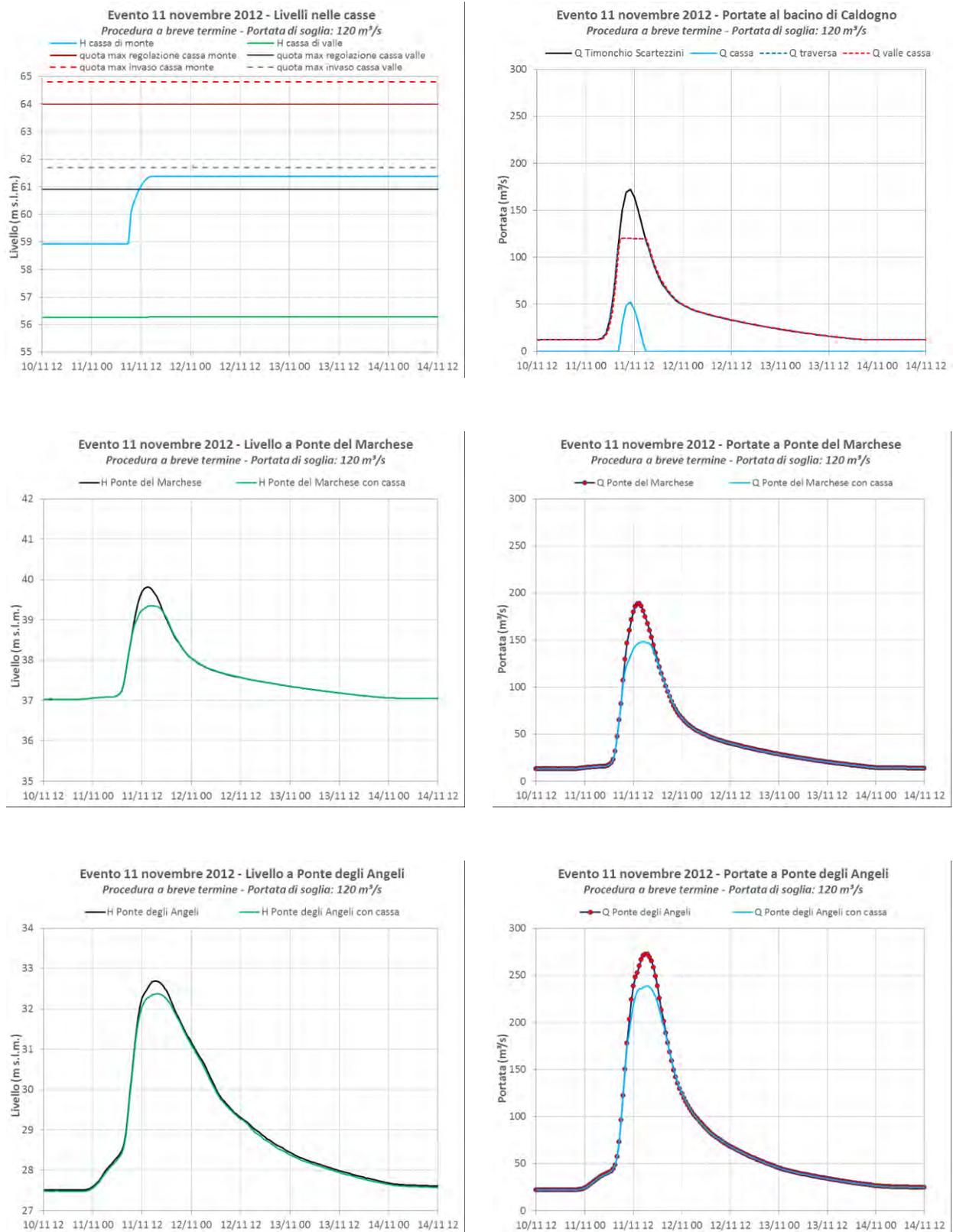


Fig. 10.2 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **novembre 2012**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

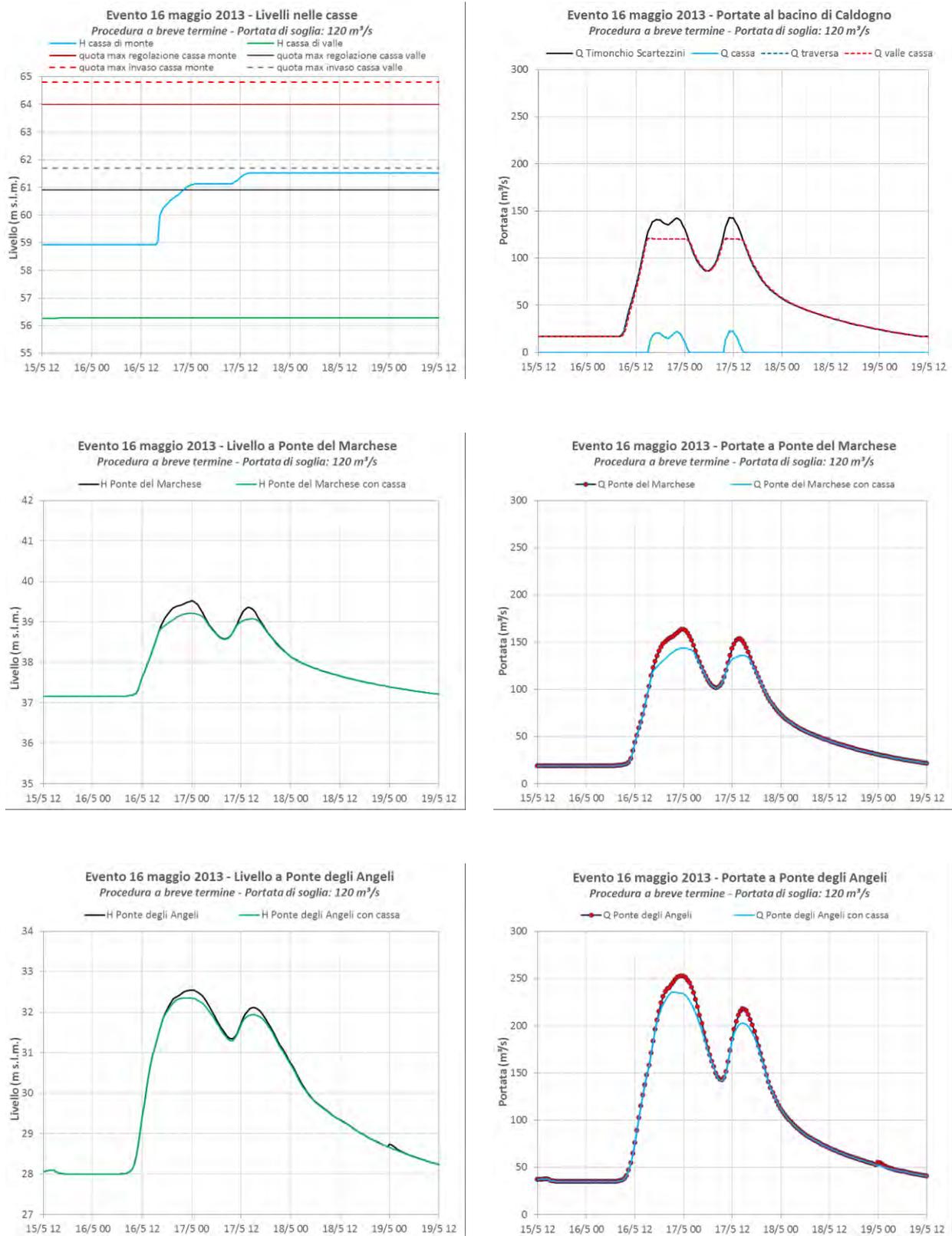


Fig. 10.3 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **maggio 2013**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

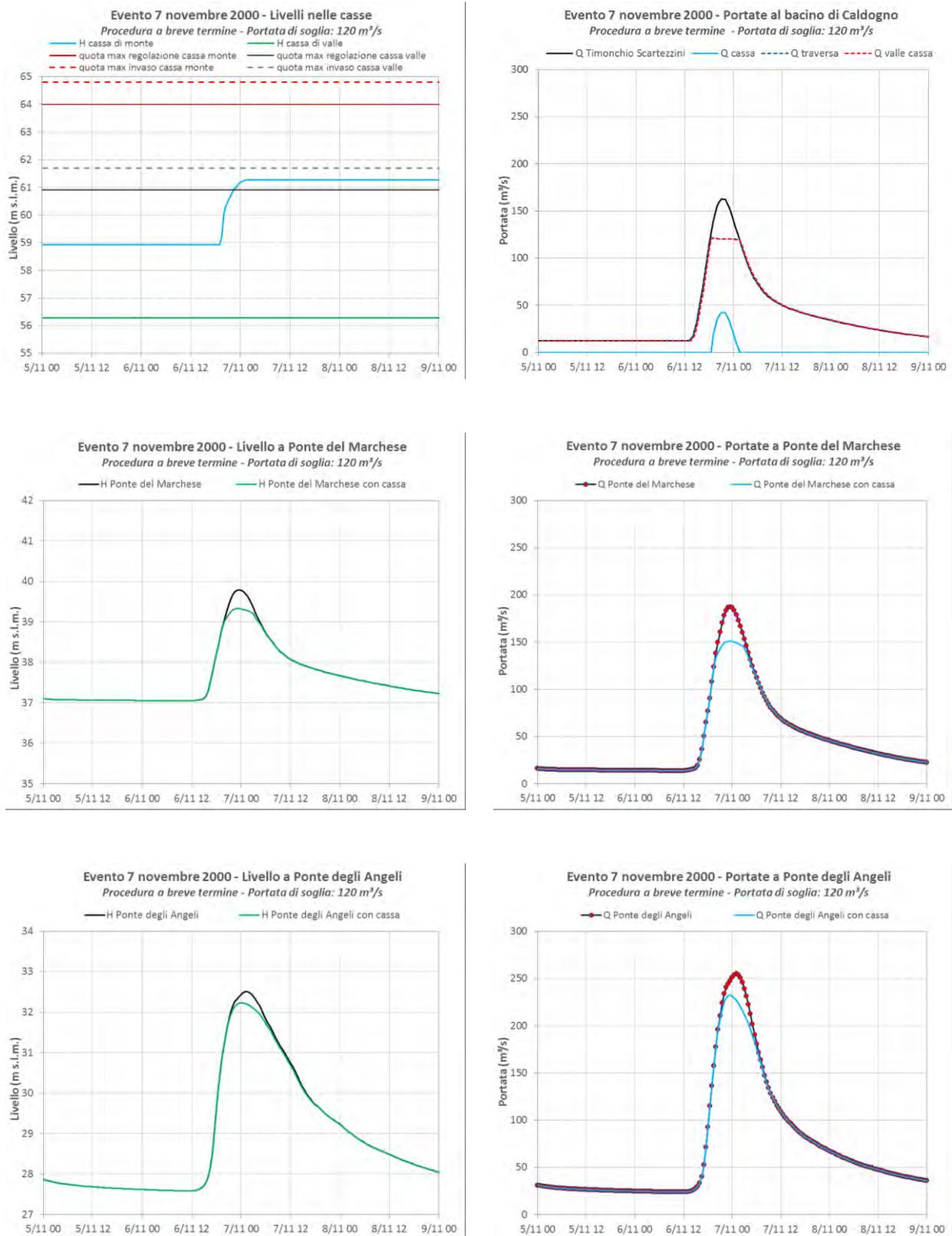


Fig. 10.4 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **novembre 2000**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

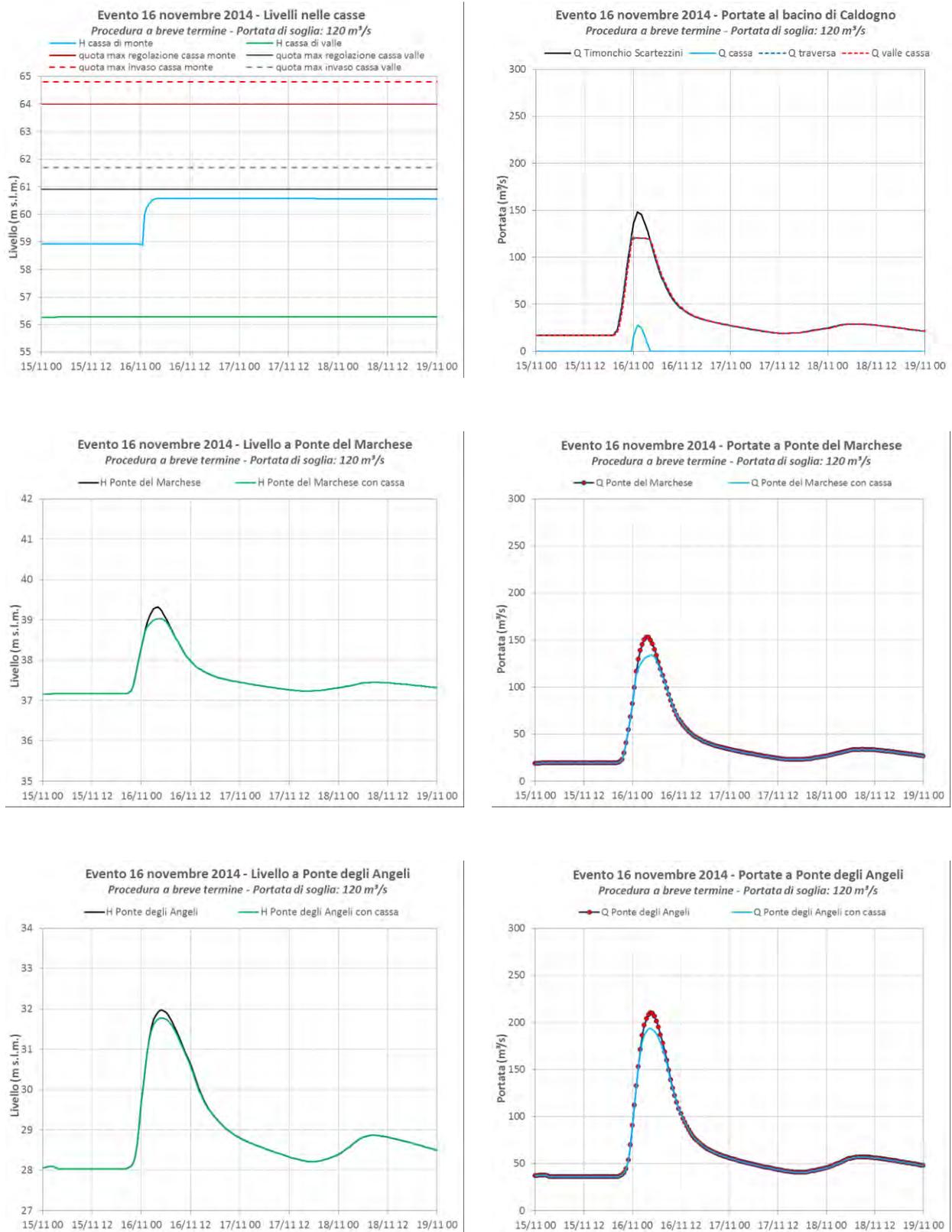


Fig. 10.5 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **novembre 2014**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

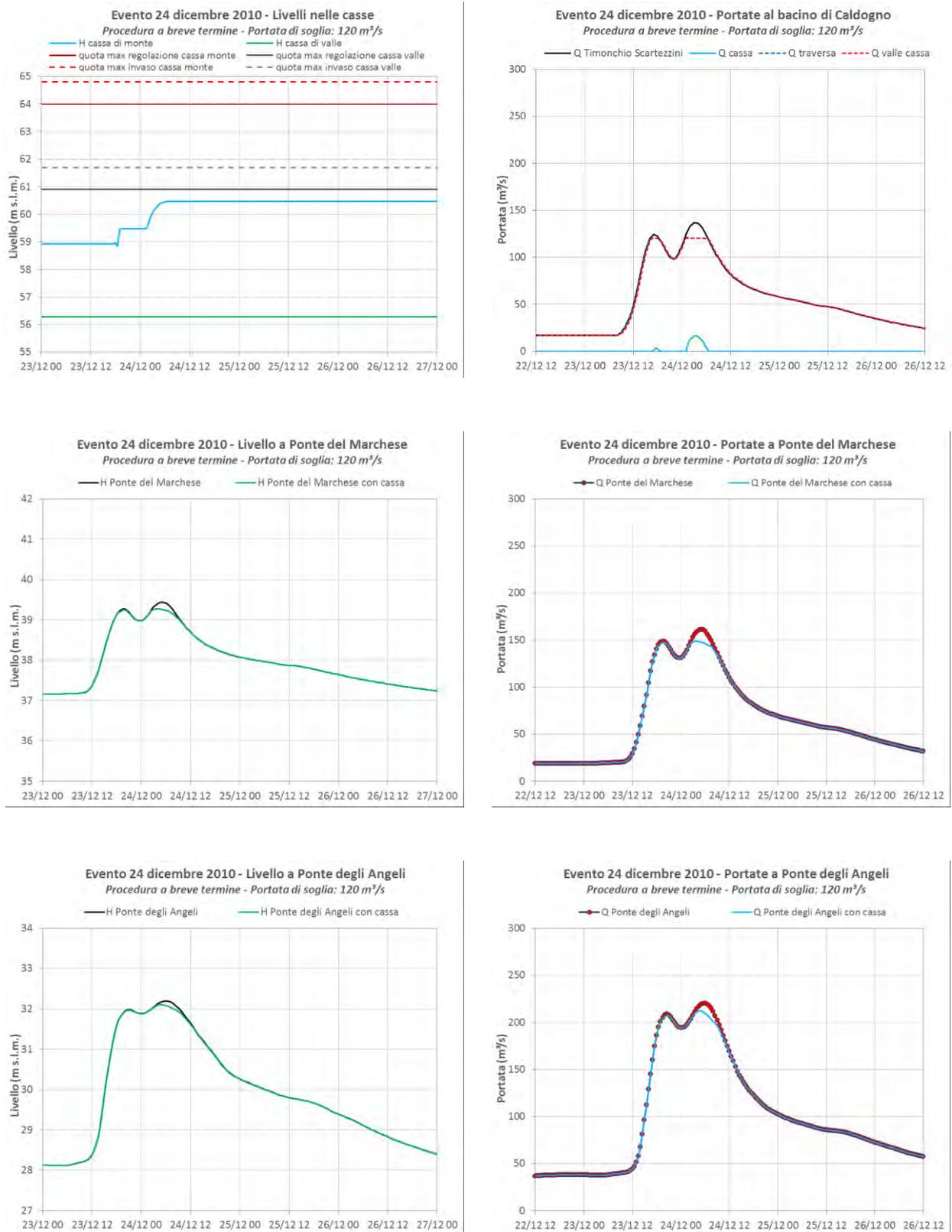


Fig. 10.6 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **dicembre 2010**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

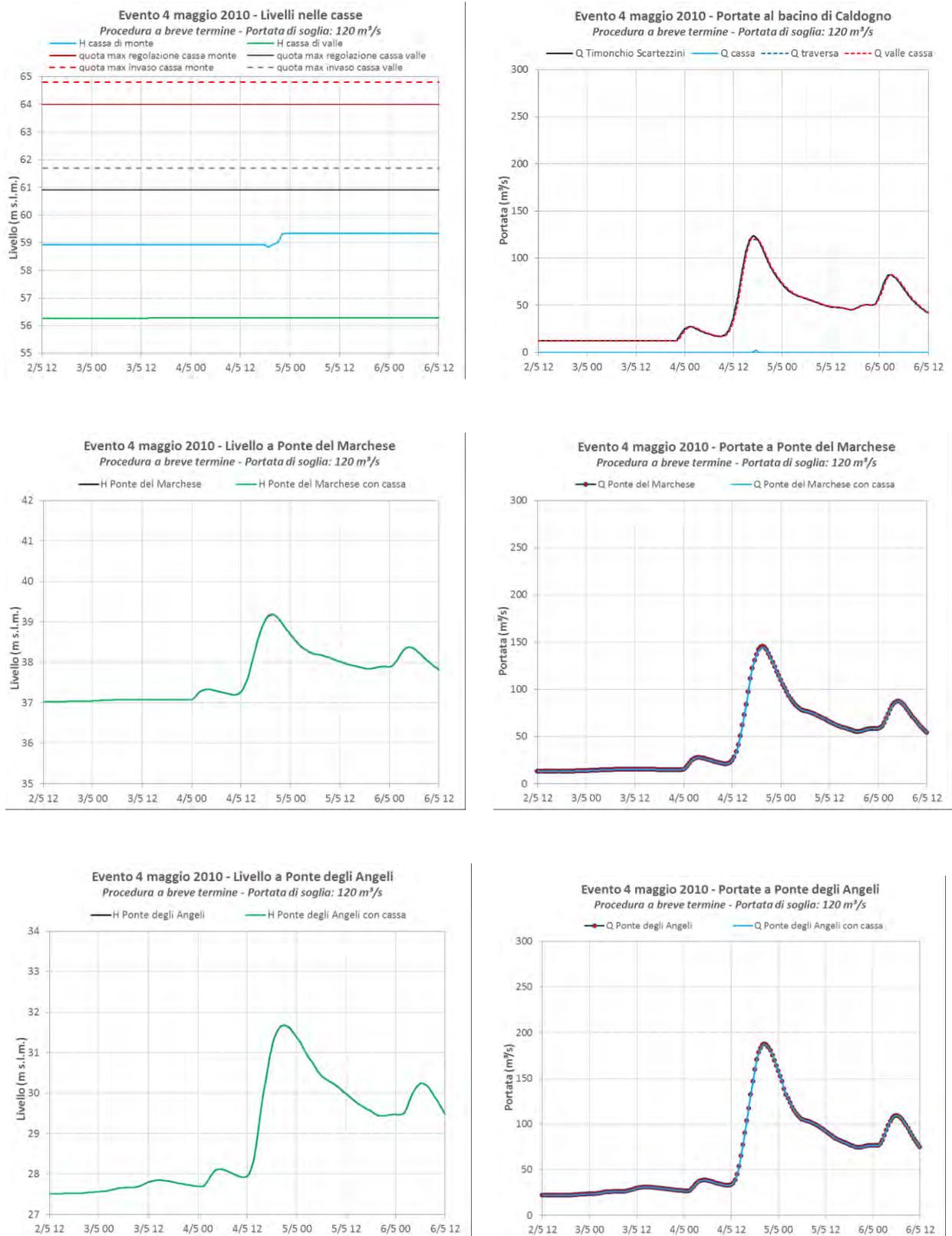


Fig. 10.7 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **maggio 2010**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

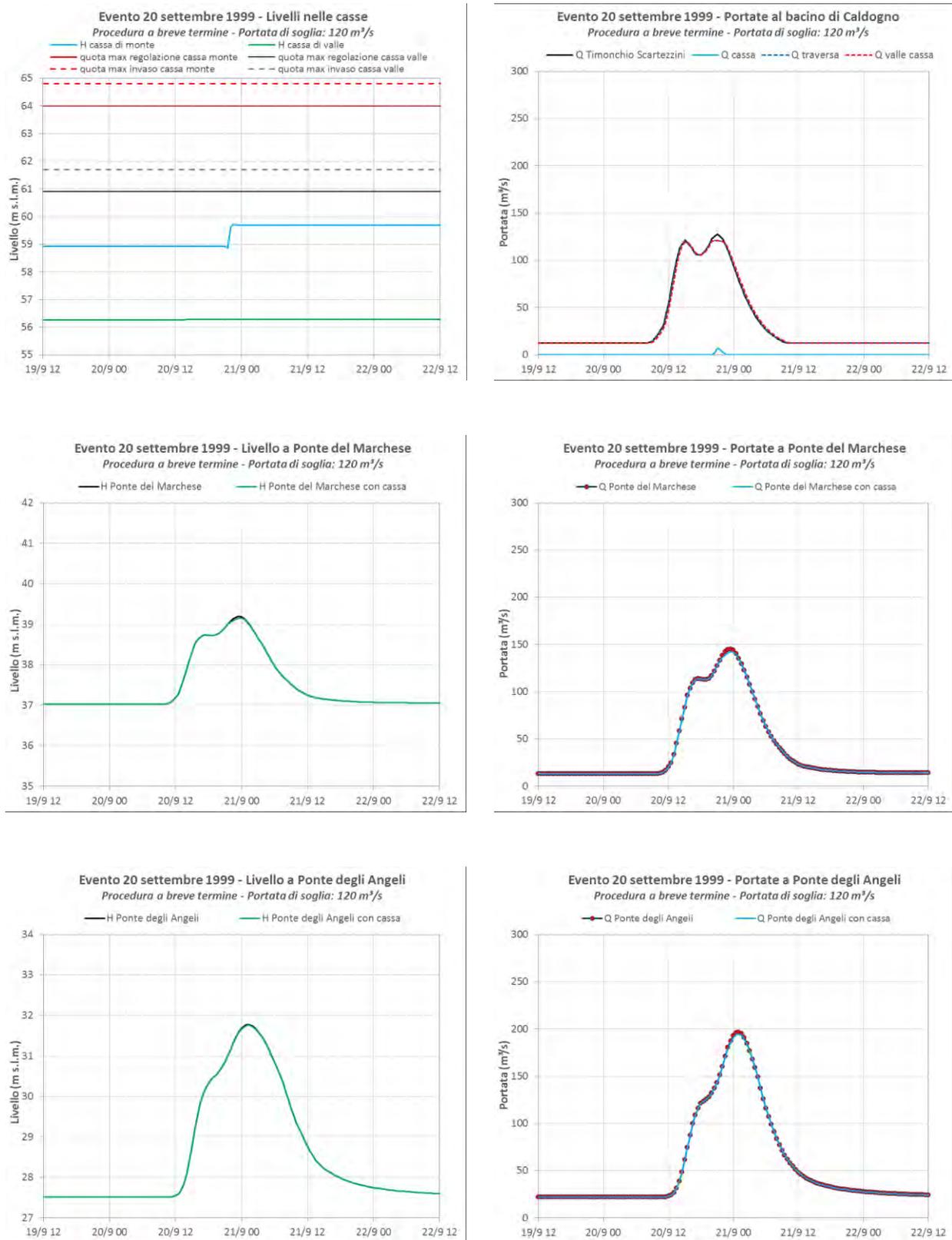


Fig. 10.8 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **settembre 1999**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

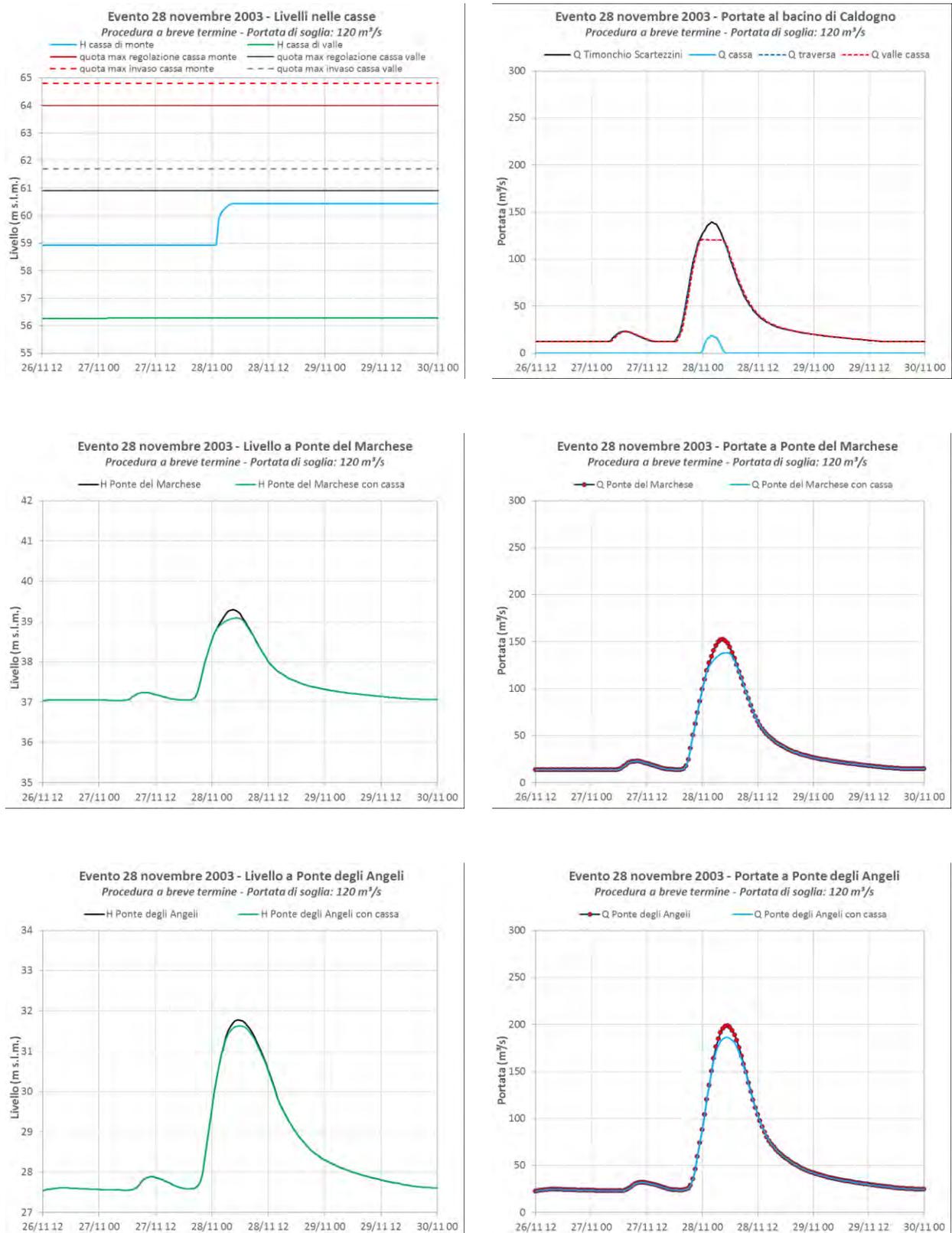


Fig. 10.9 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **novembre 2003**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

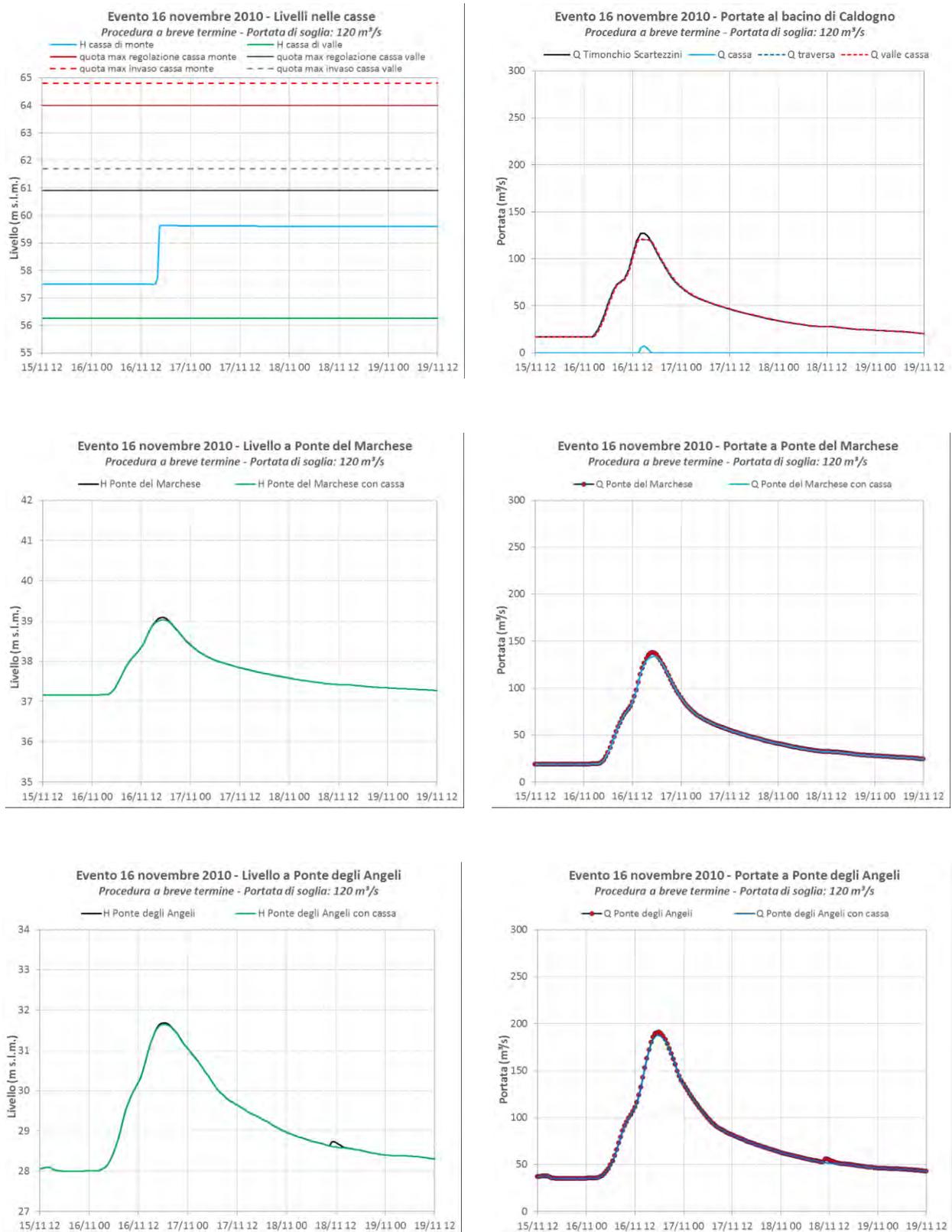


Fig. 10.10 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento di **novembre 2010**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

10.2 Eventi sintetici – procedura a breve termine

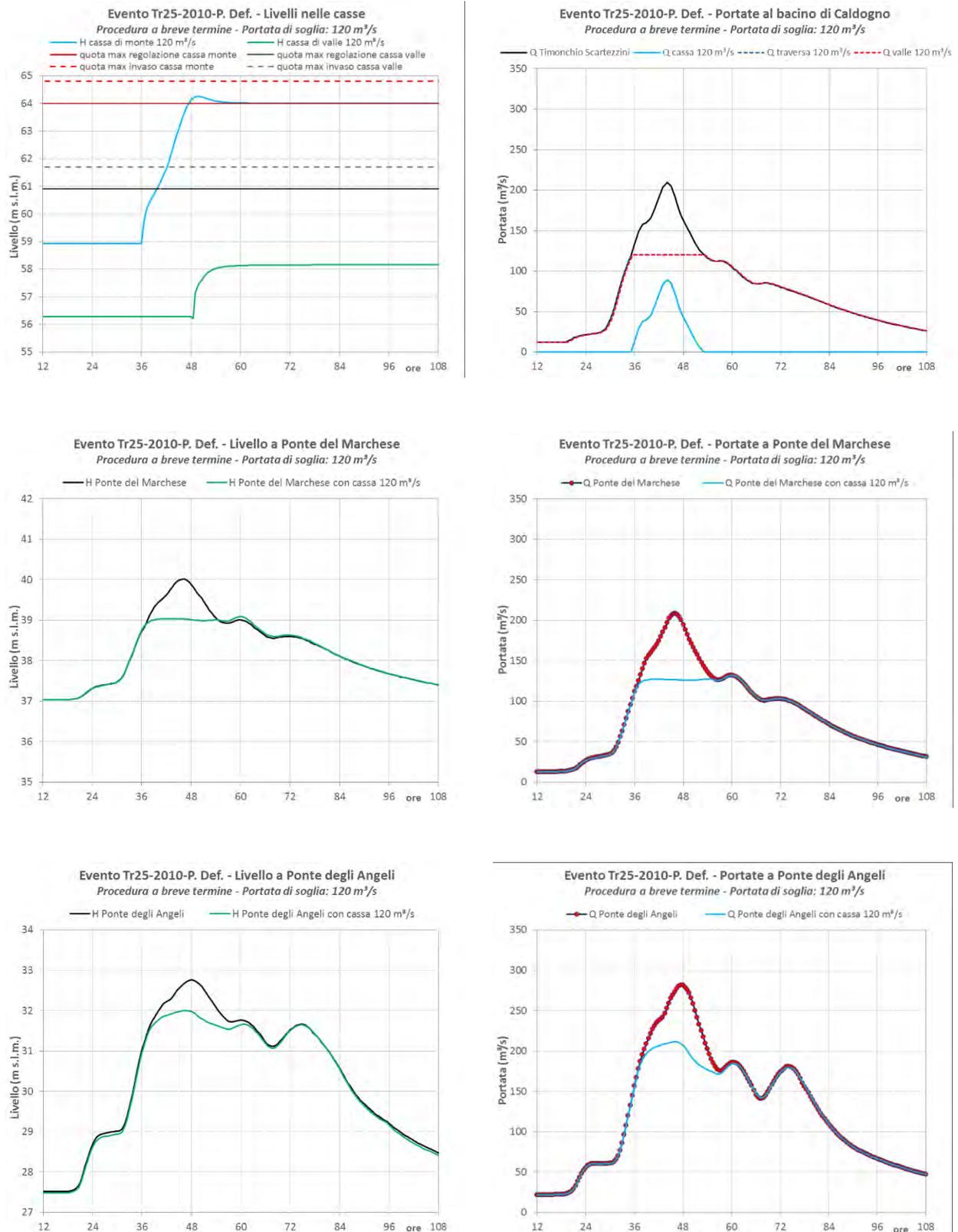


Fig. 10.11 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr25-2010-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

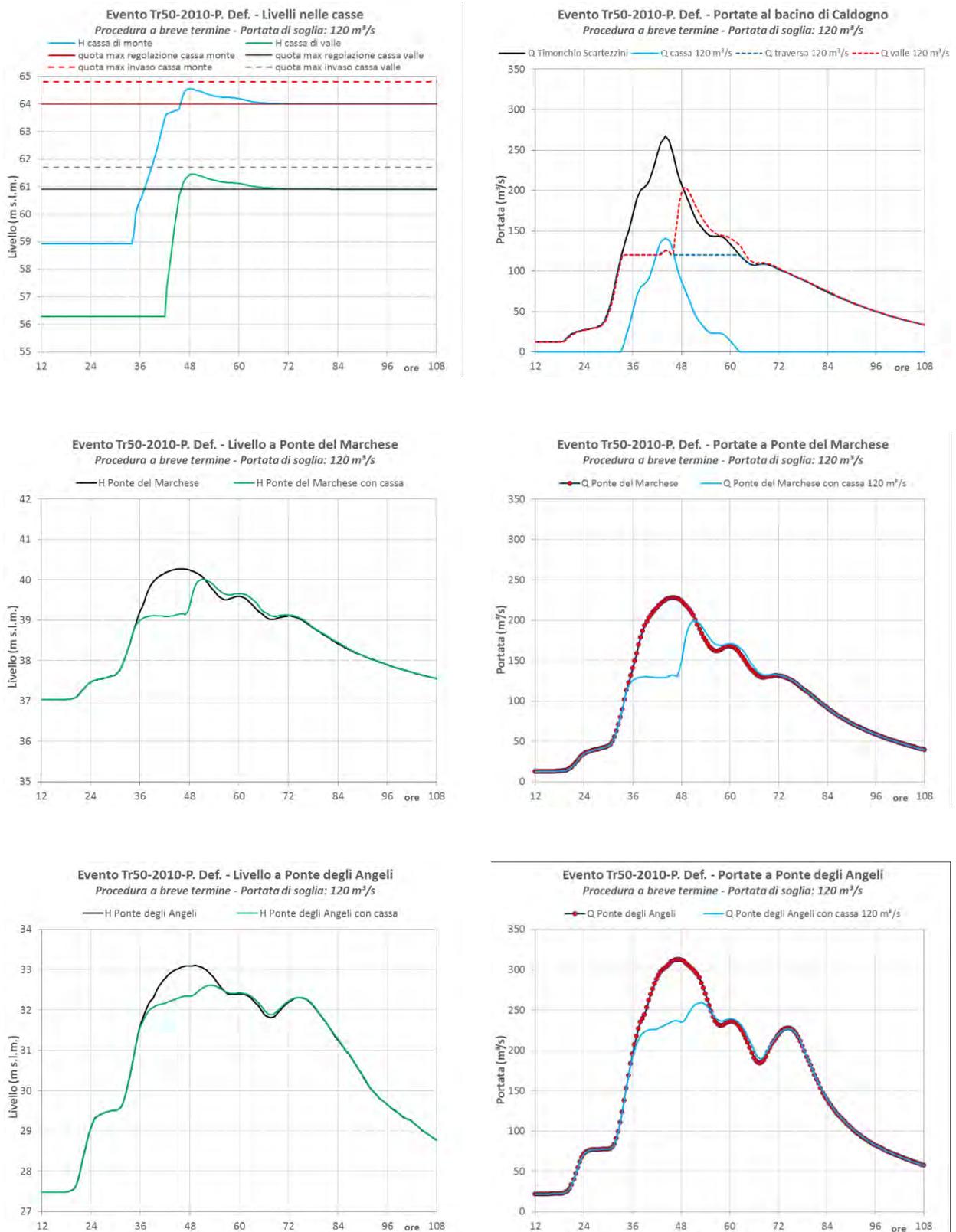


Fig. 10.12 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr50-2010-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

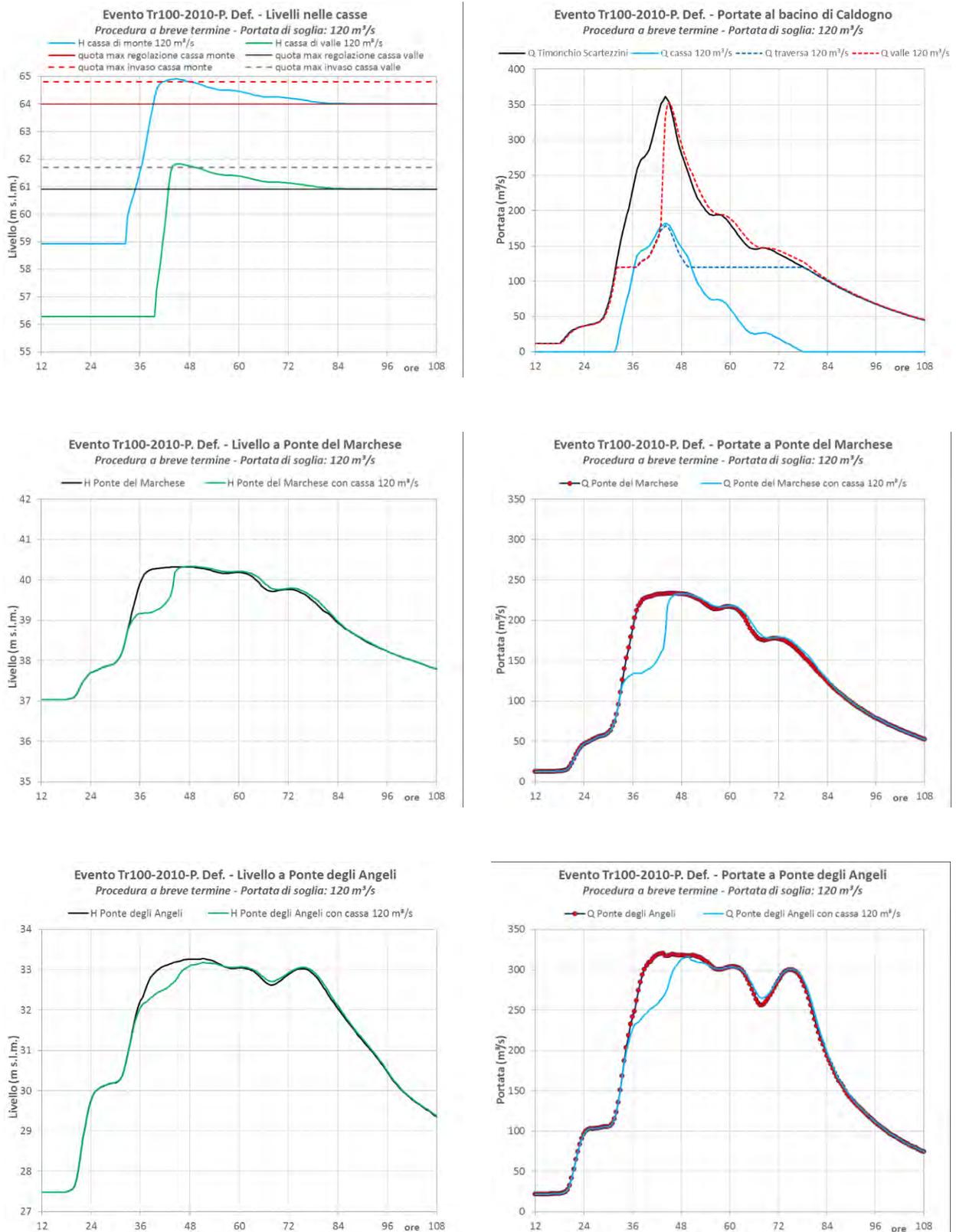


Fig. 10.13 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr100-2010-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

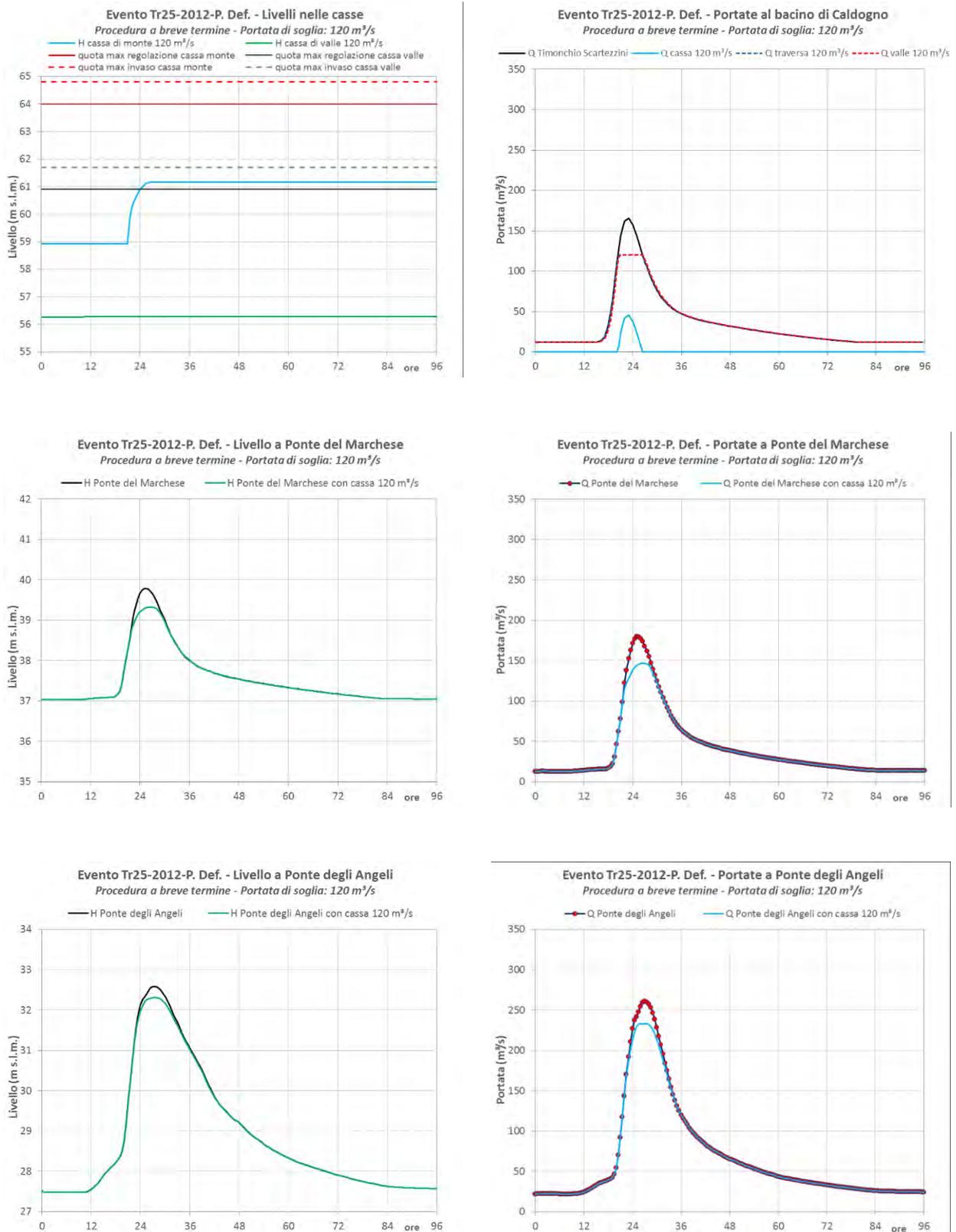


Fig. 10.14 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr25-2012-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

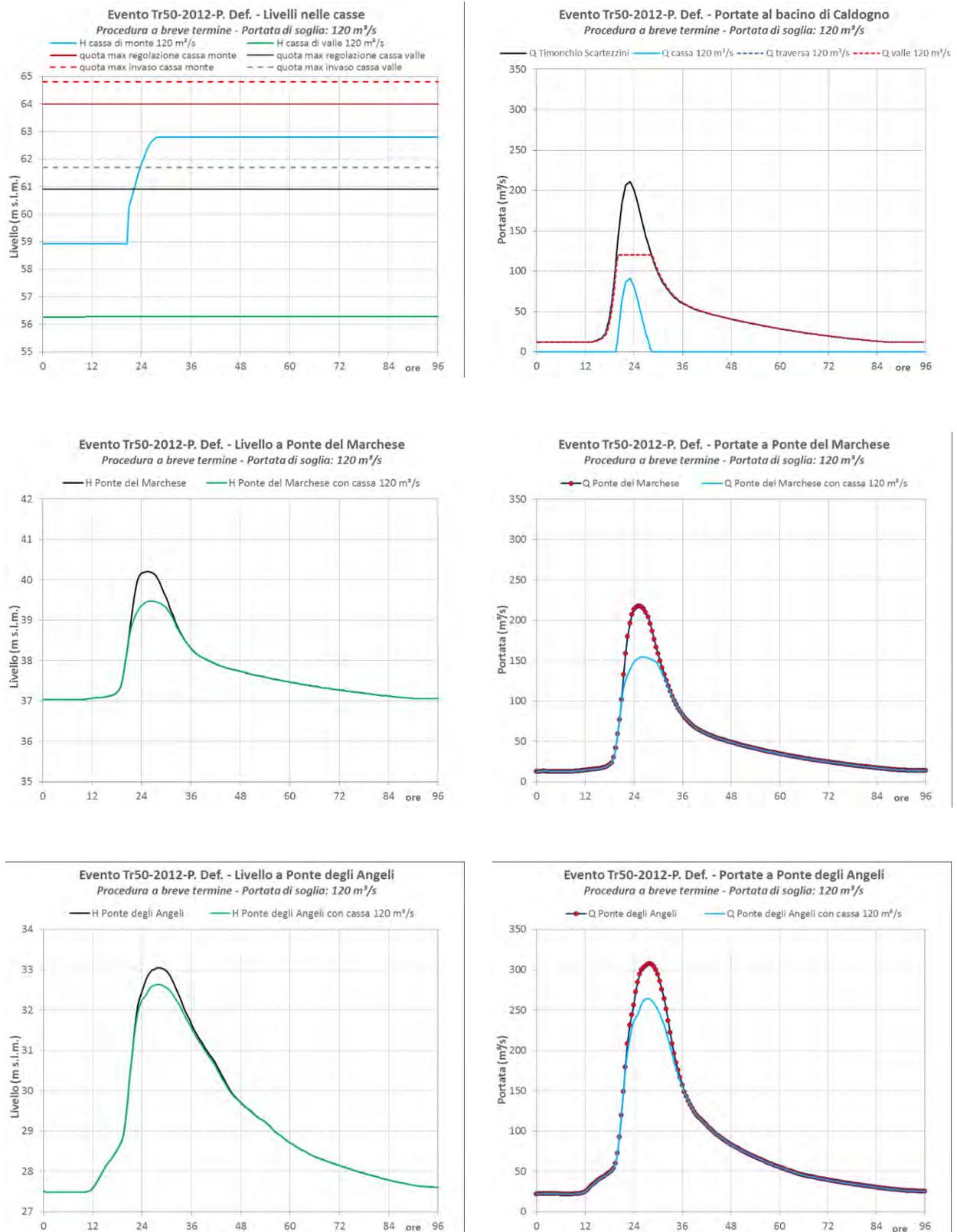


Fig. 10.15 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr50-2012-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

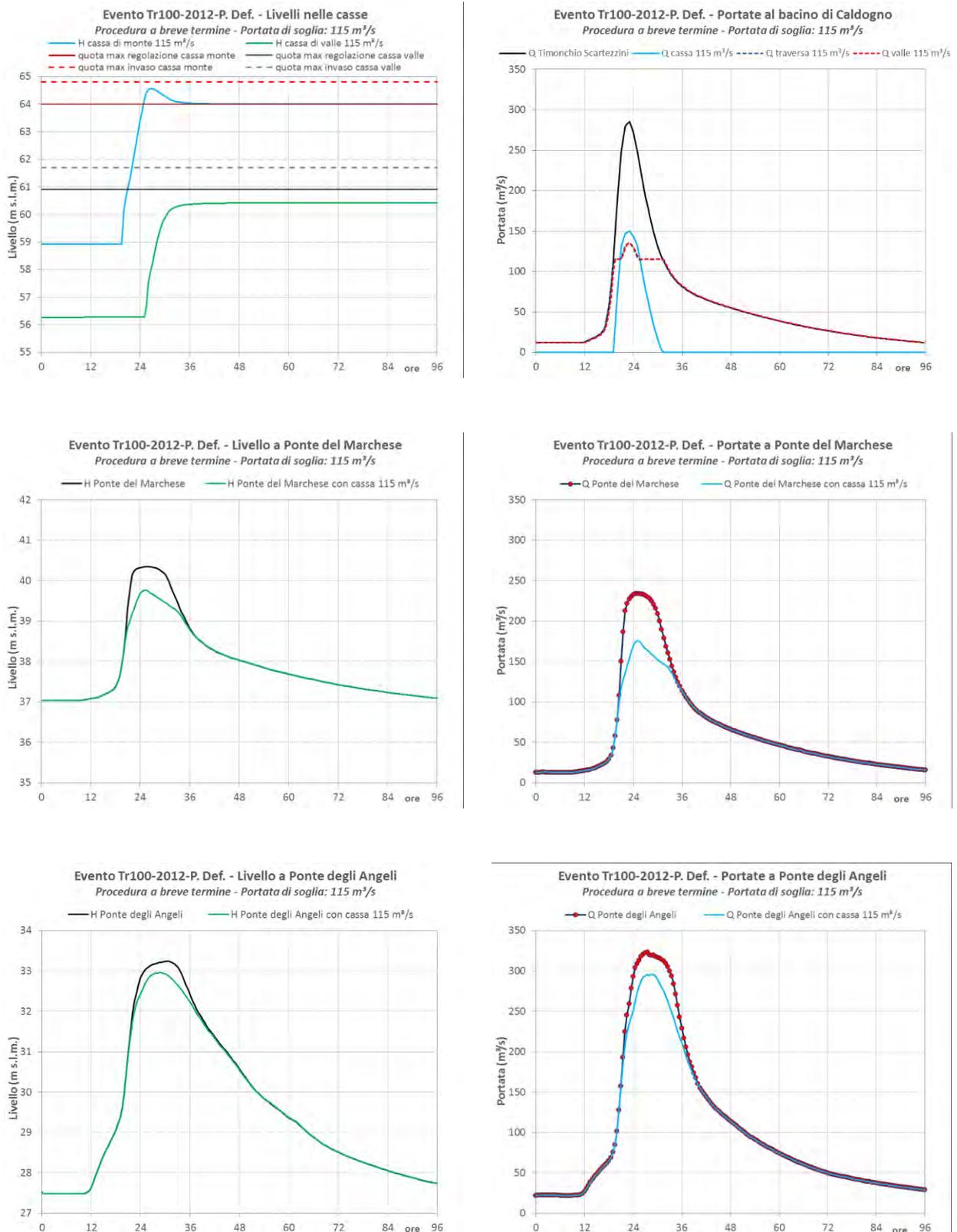


Fig. 10.16 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr100-2012-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

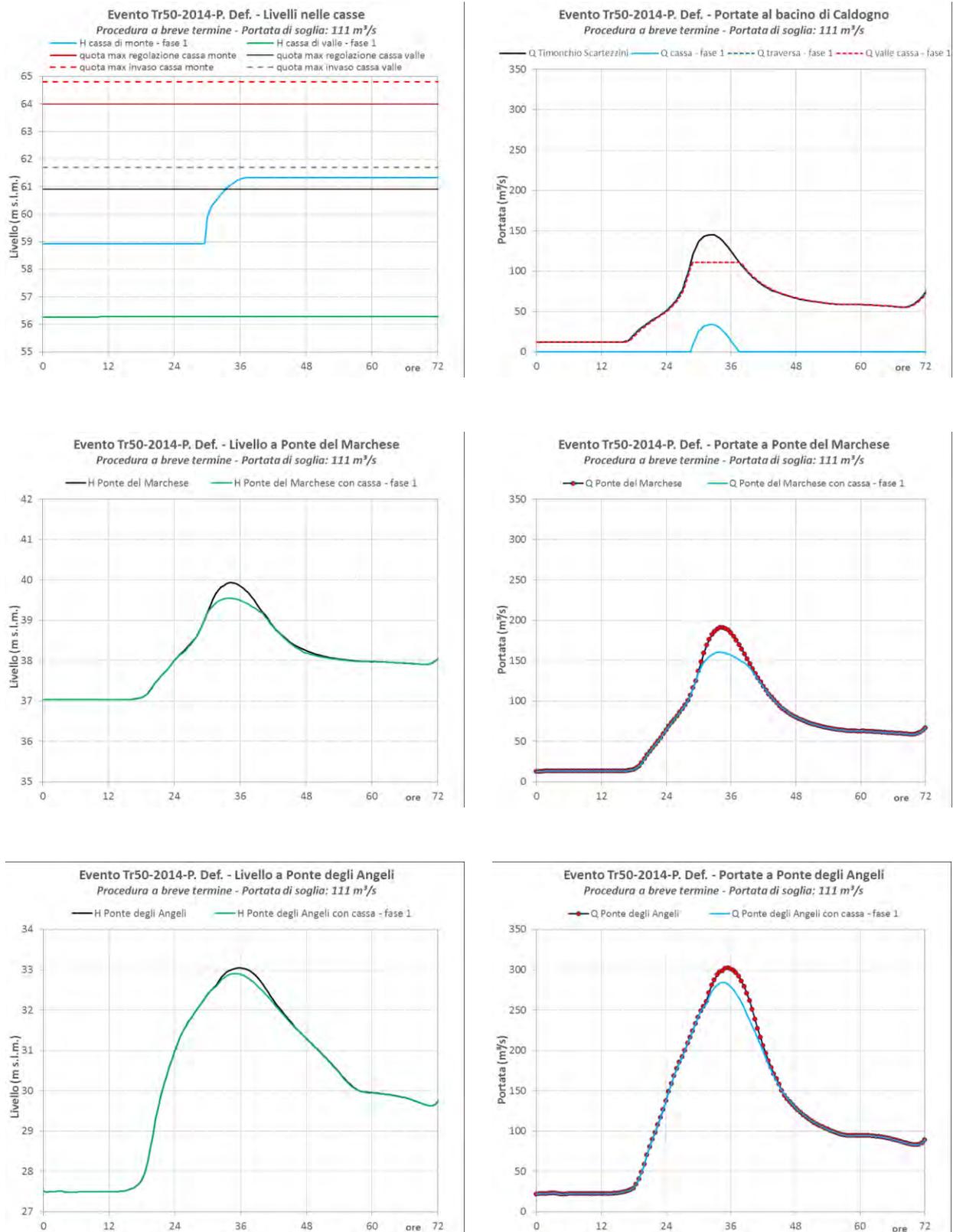


Fig. 10.17 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr50-2014-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

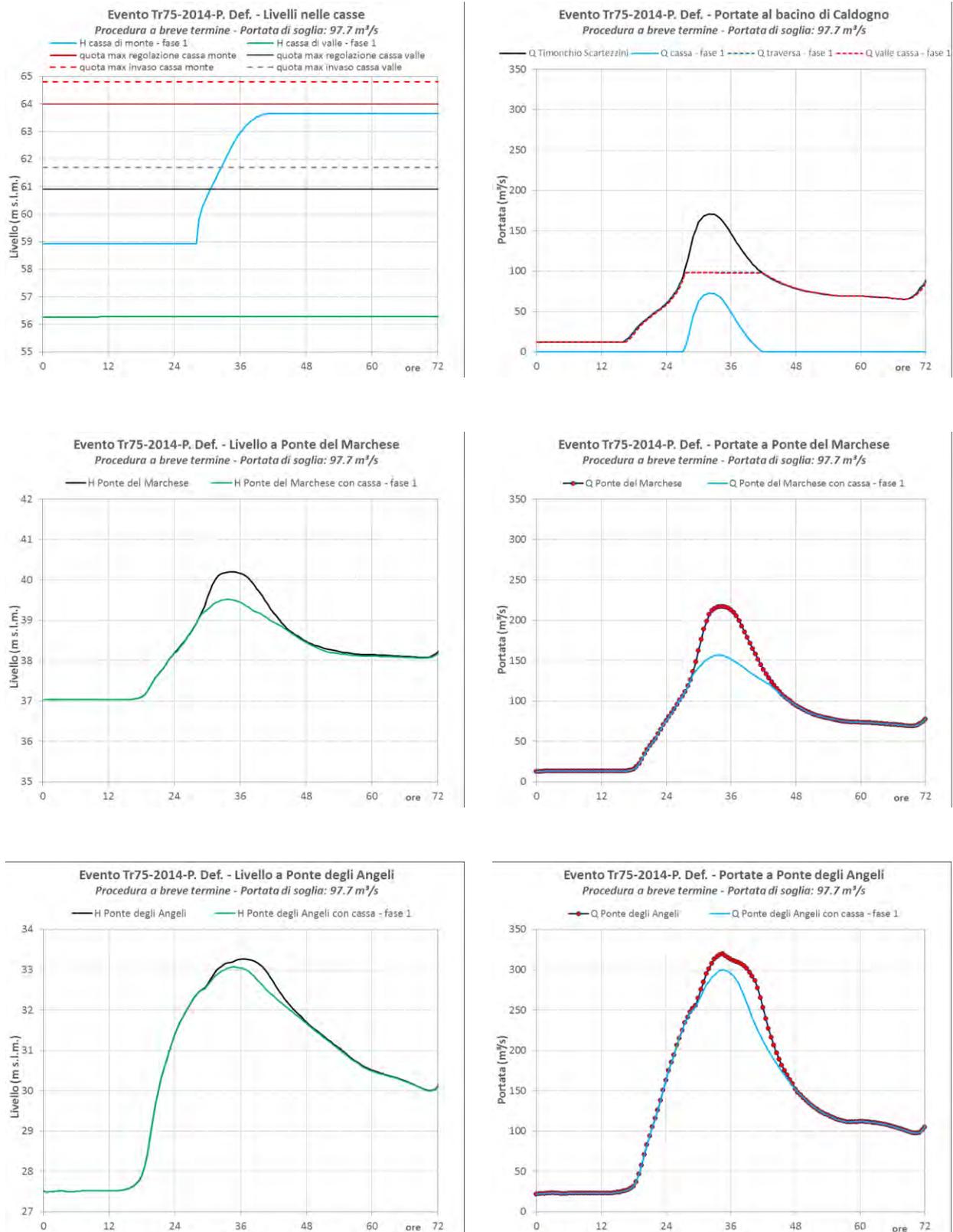


Fig. 10.18 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr75-2014-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

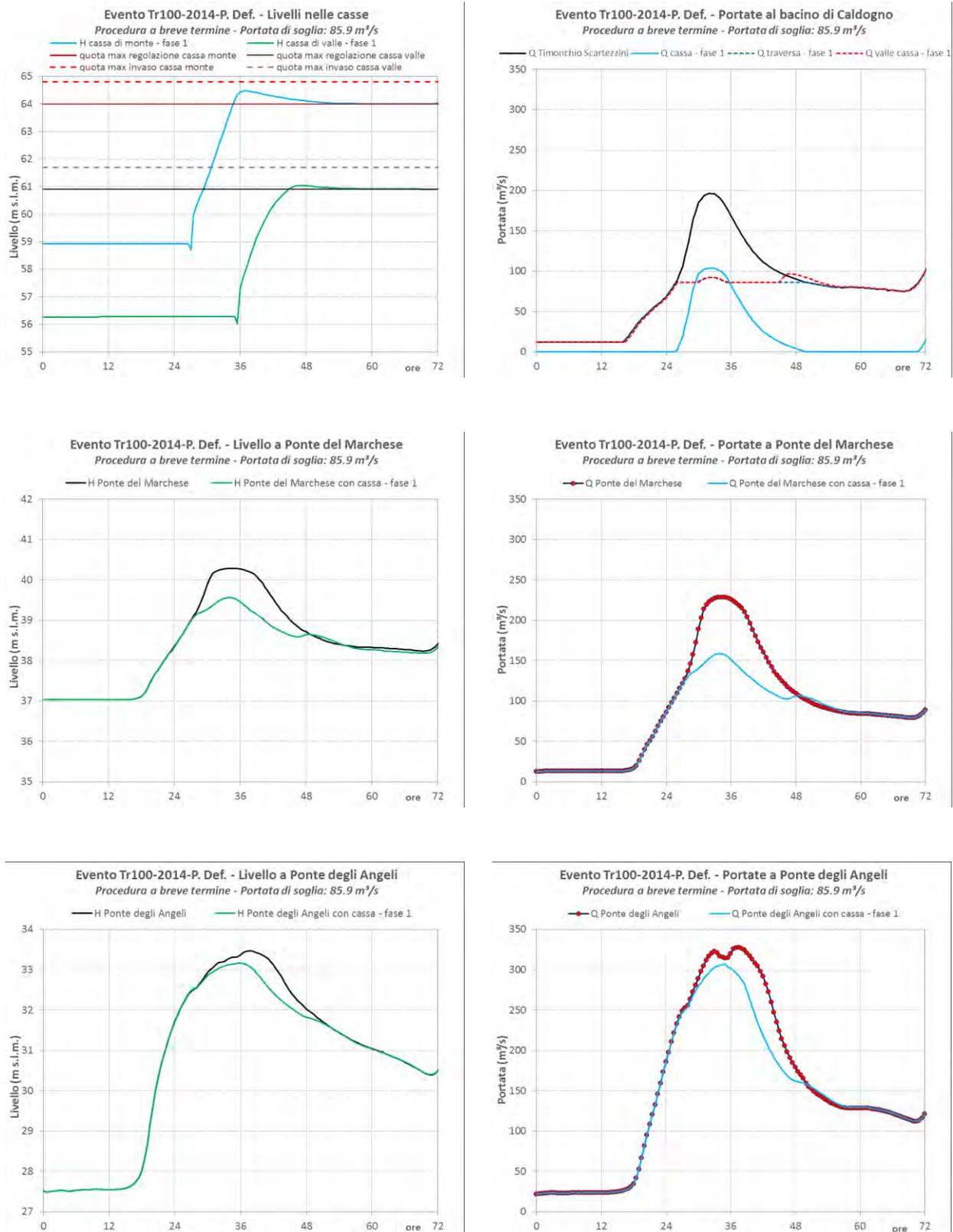


Fig. 10.19 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a breve termine per l'evento **Tr100-2014-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

10.3 Eventi reali – procedura a lungo termine

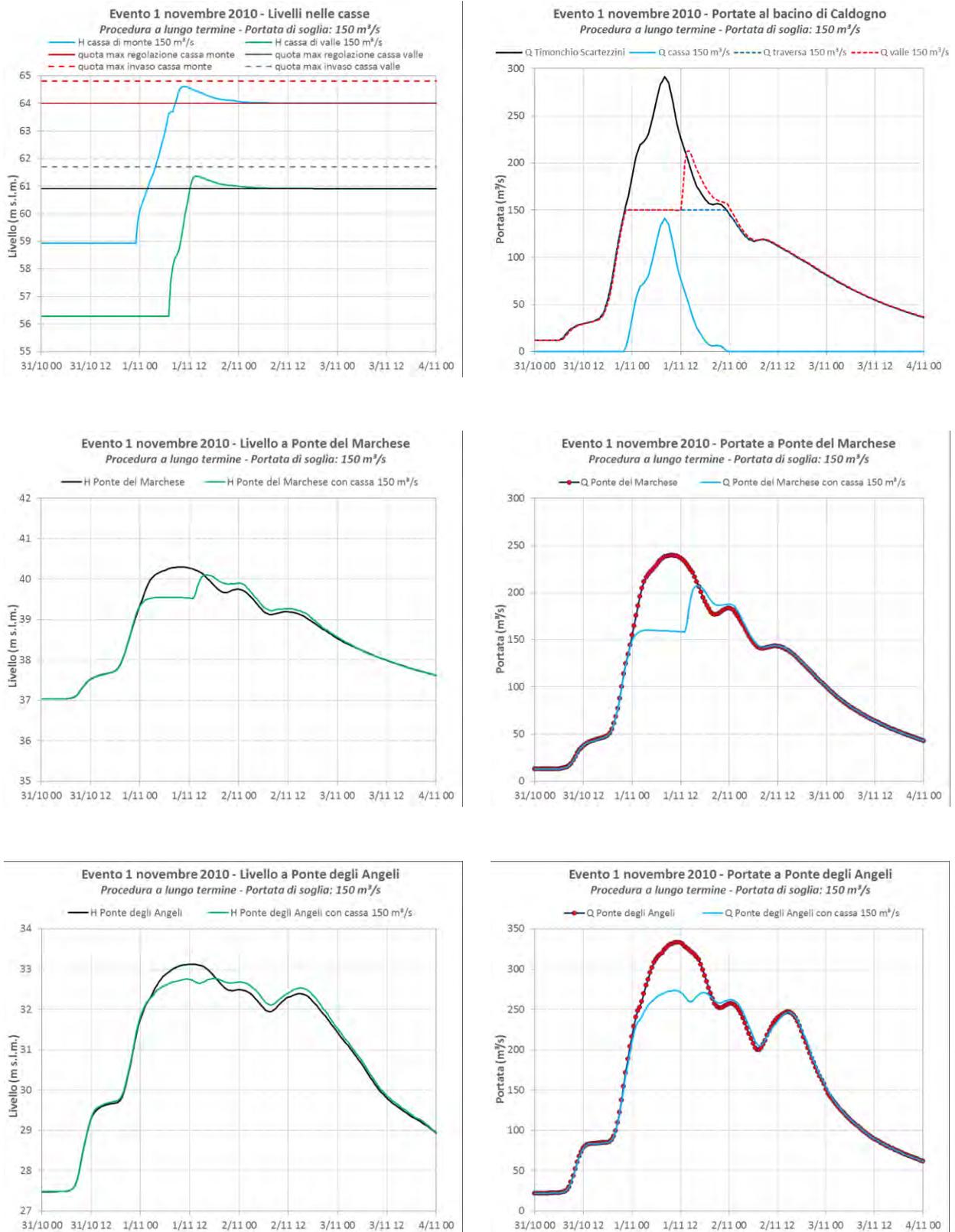


Fig. 10.20 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento di **ottobre-novembre 2010**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

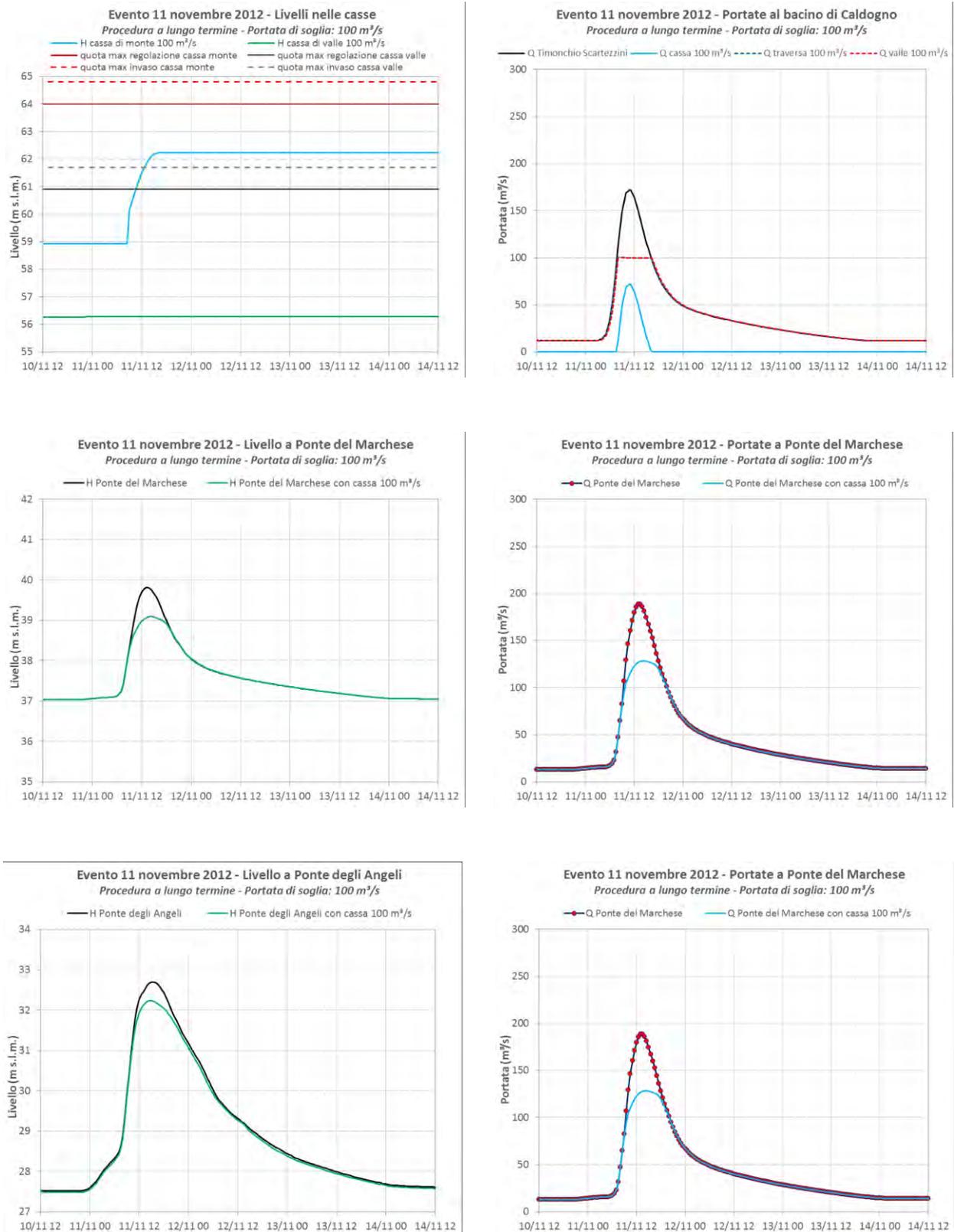


Fig. 10.21 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento di **novembre 2012**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

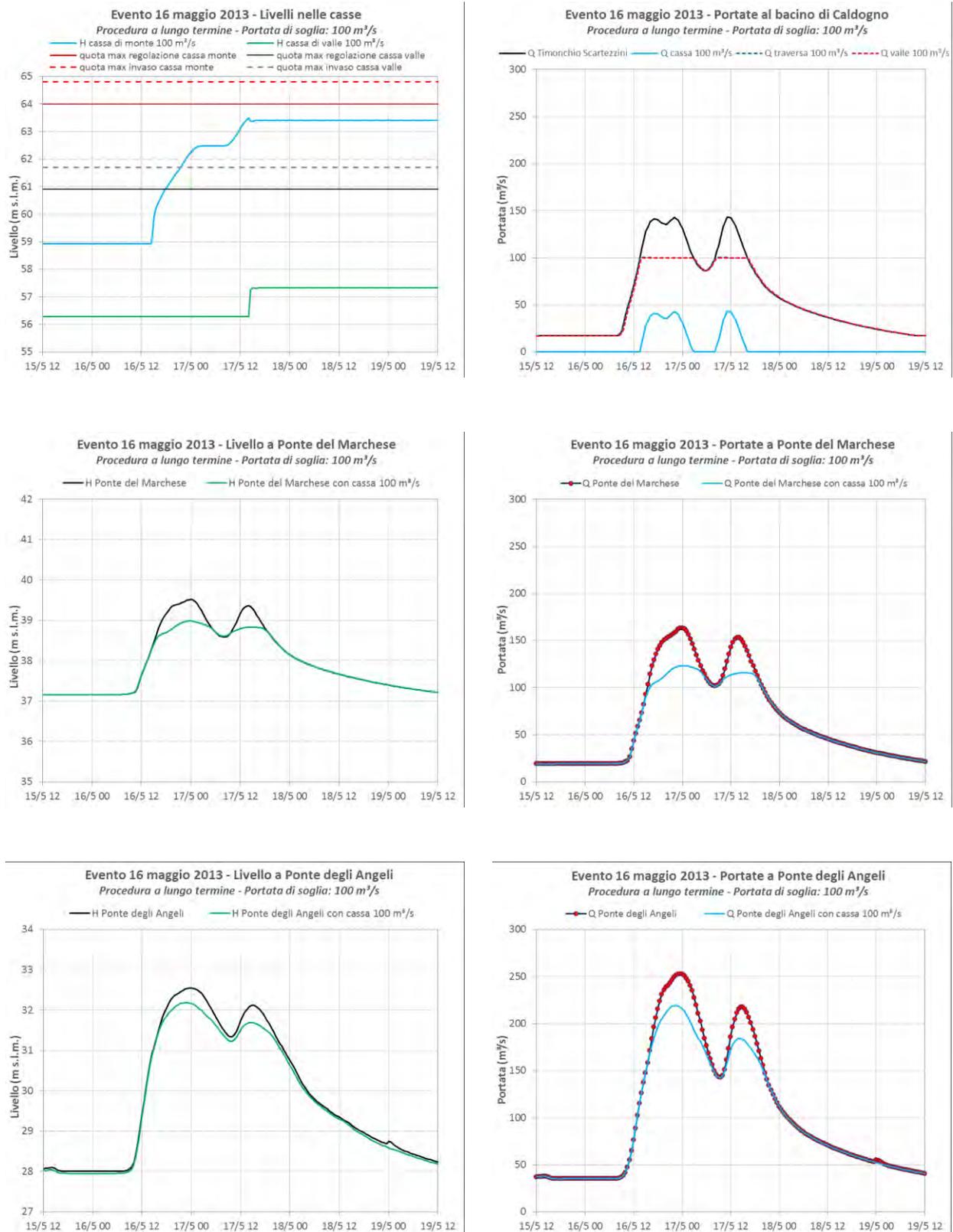


Fig. 10.22 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento di **maggio 2013**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

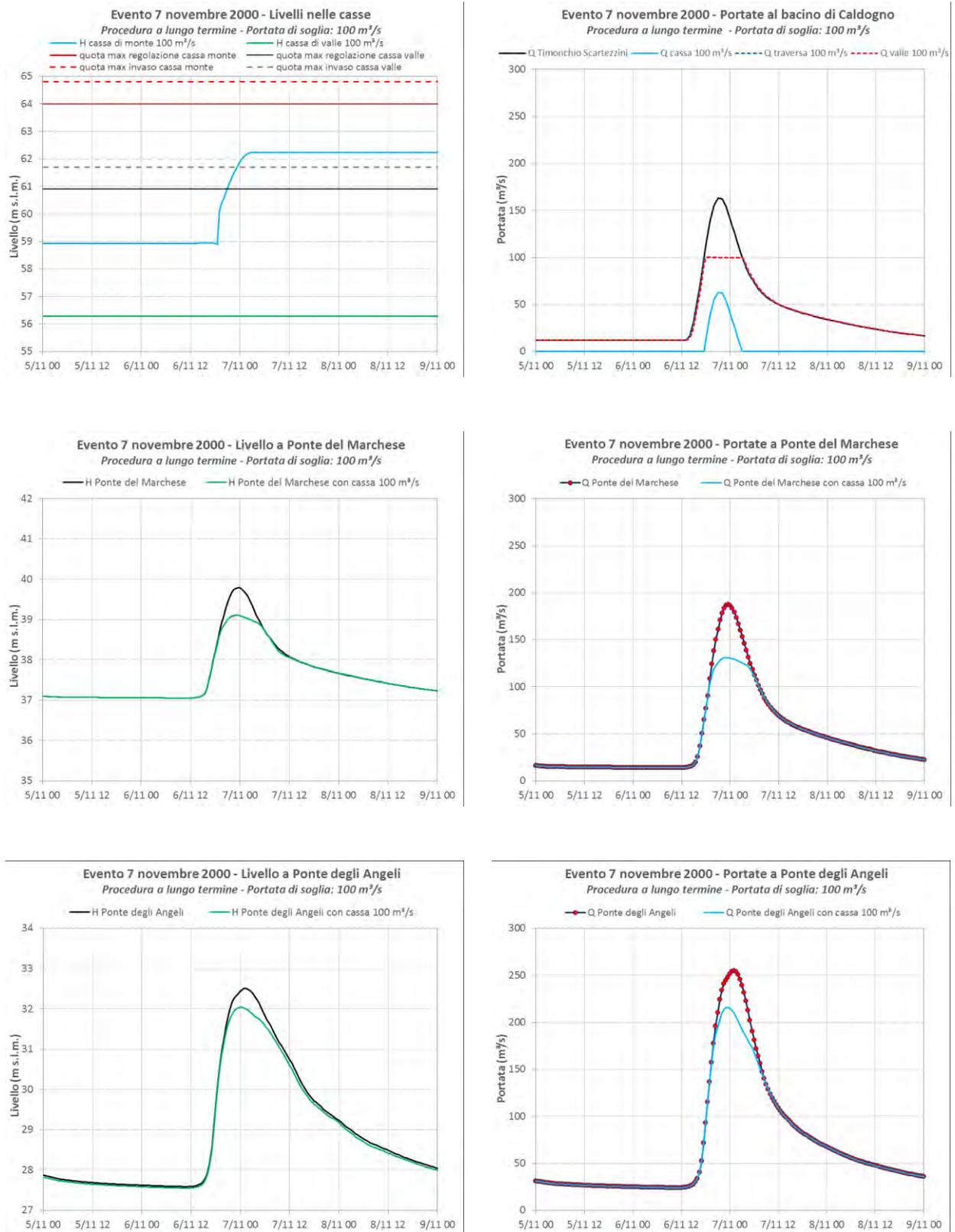


Fig. 10.23 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento di **novembre 2000**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

10.4 Eventi sintetici – procedura a lungo termine

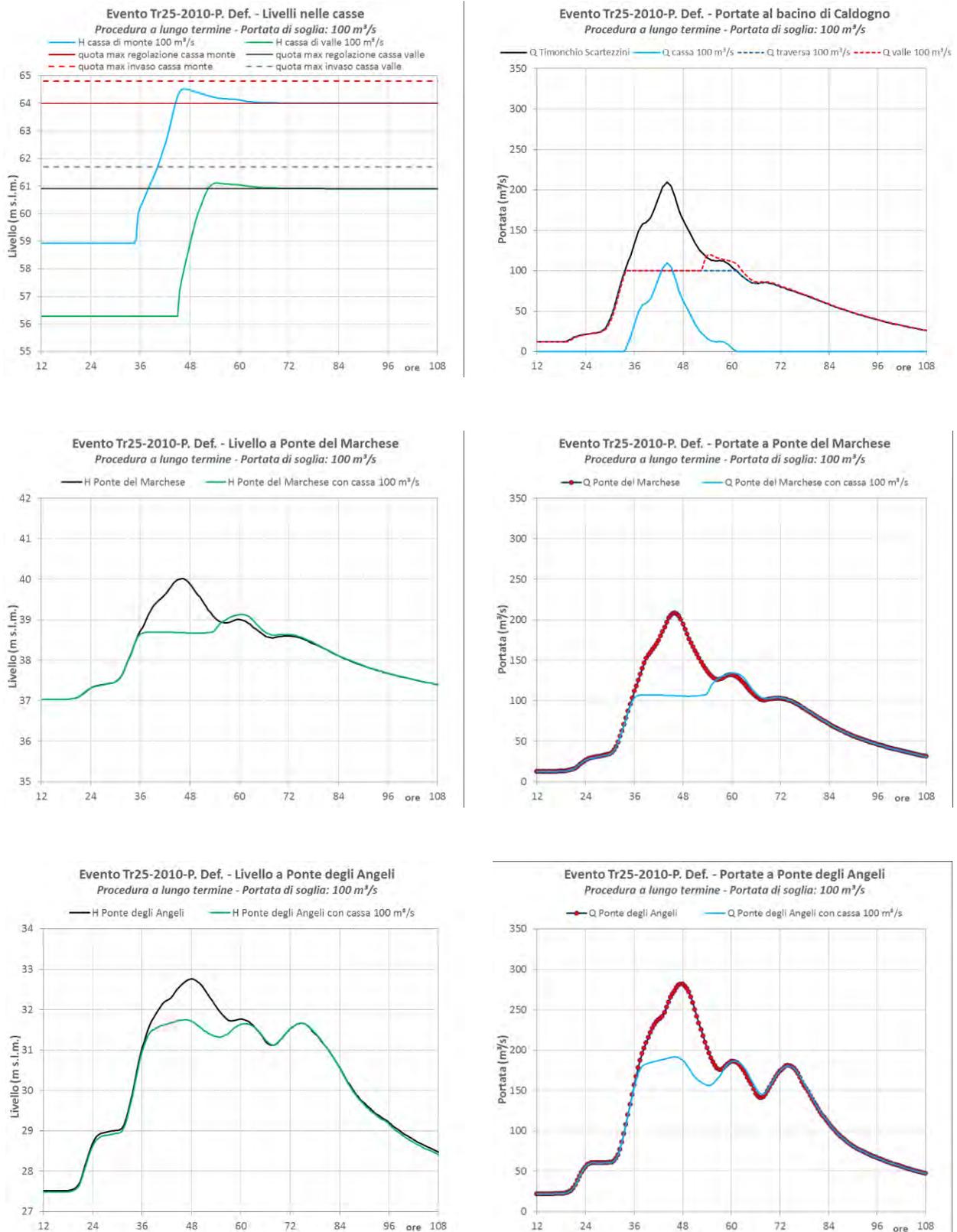


Fig. 10.24 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr25-2010-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

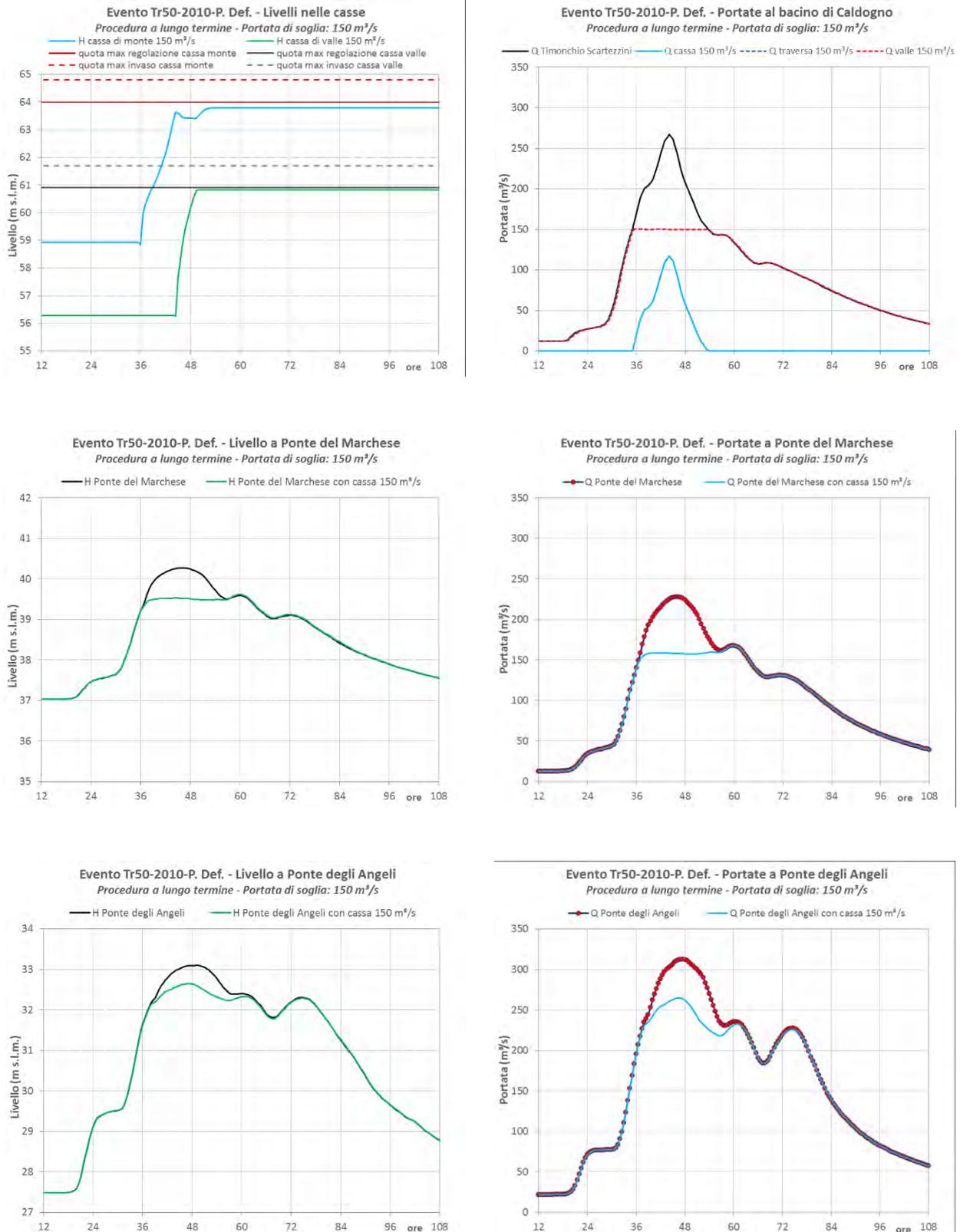


Fig. 10.25 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr50-2010-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

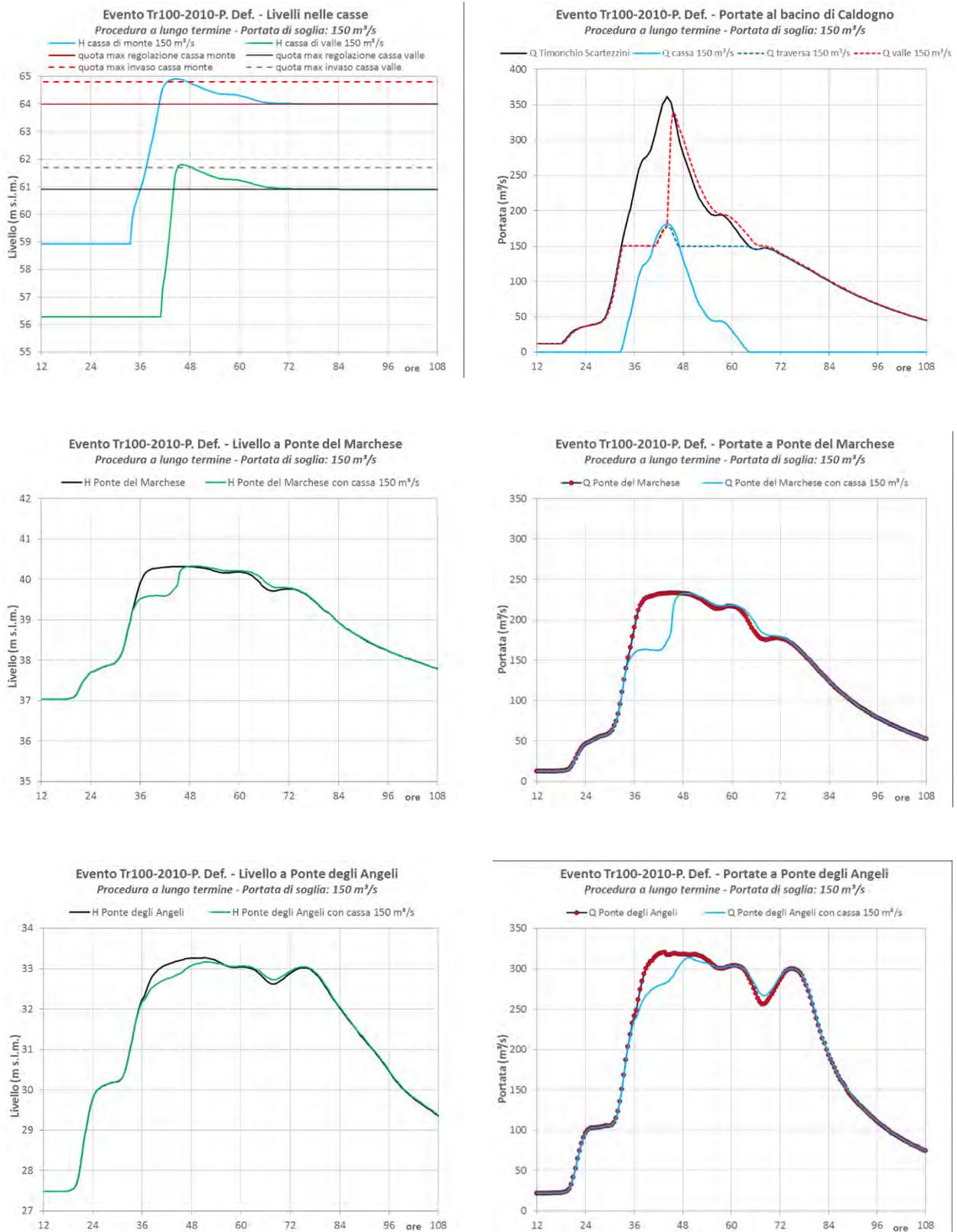


Fig. 10.26 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr100-2010-P. Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

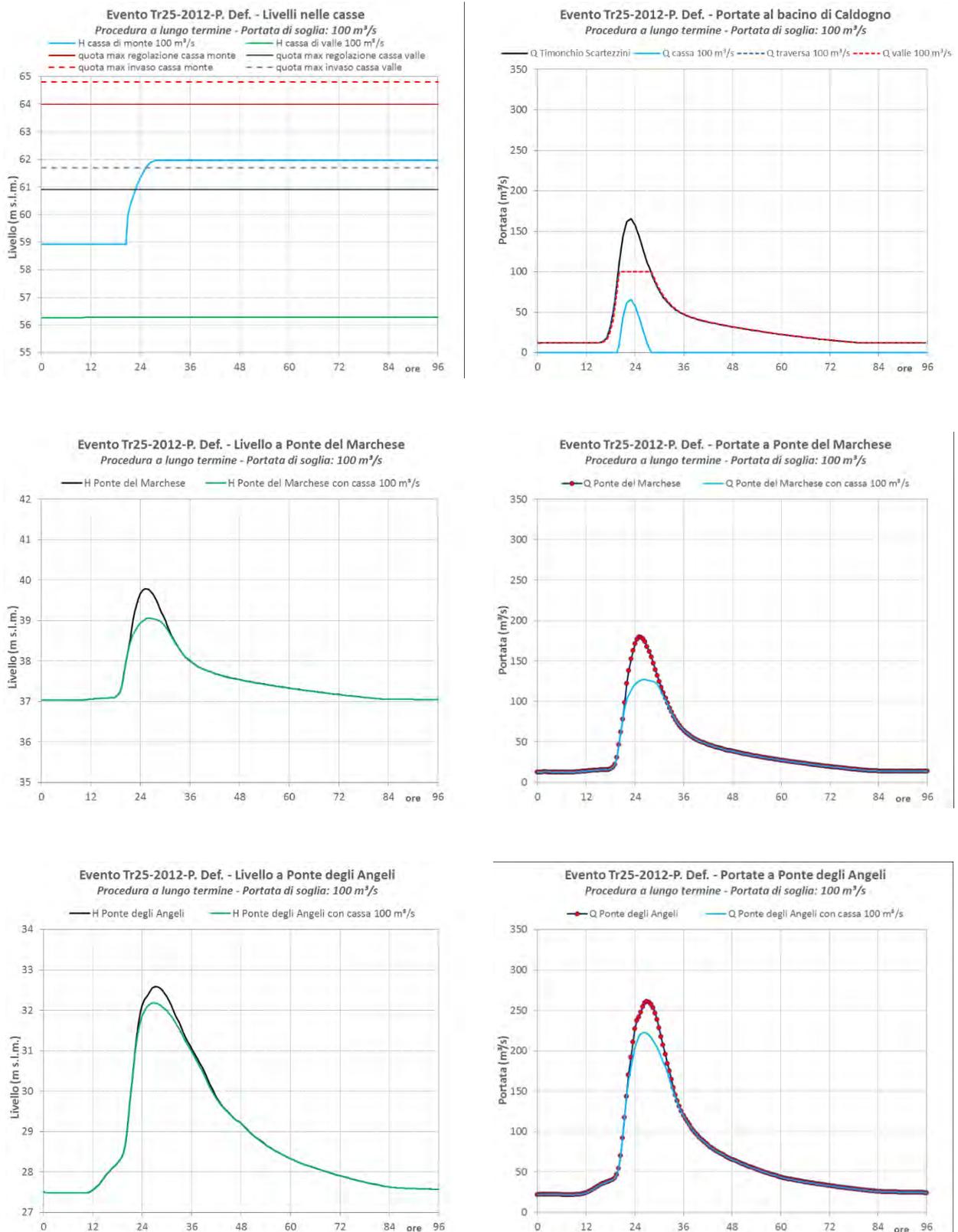


Fig. 10.27 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr25-2012-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

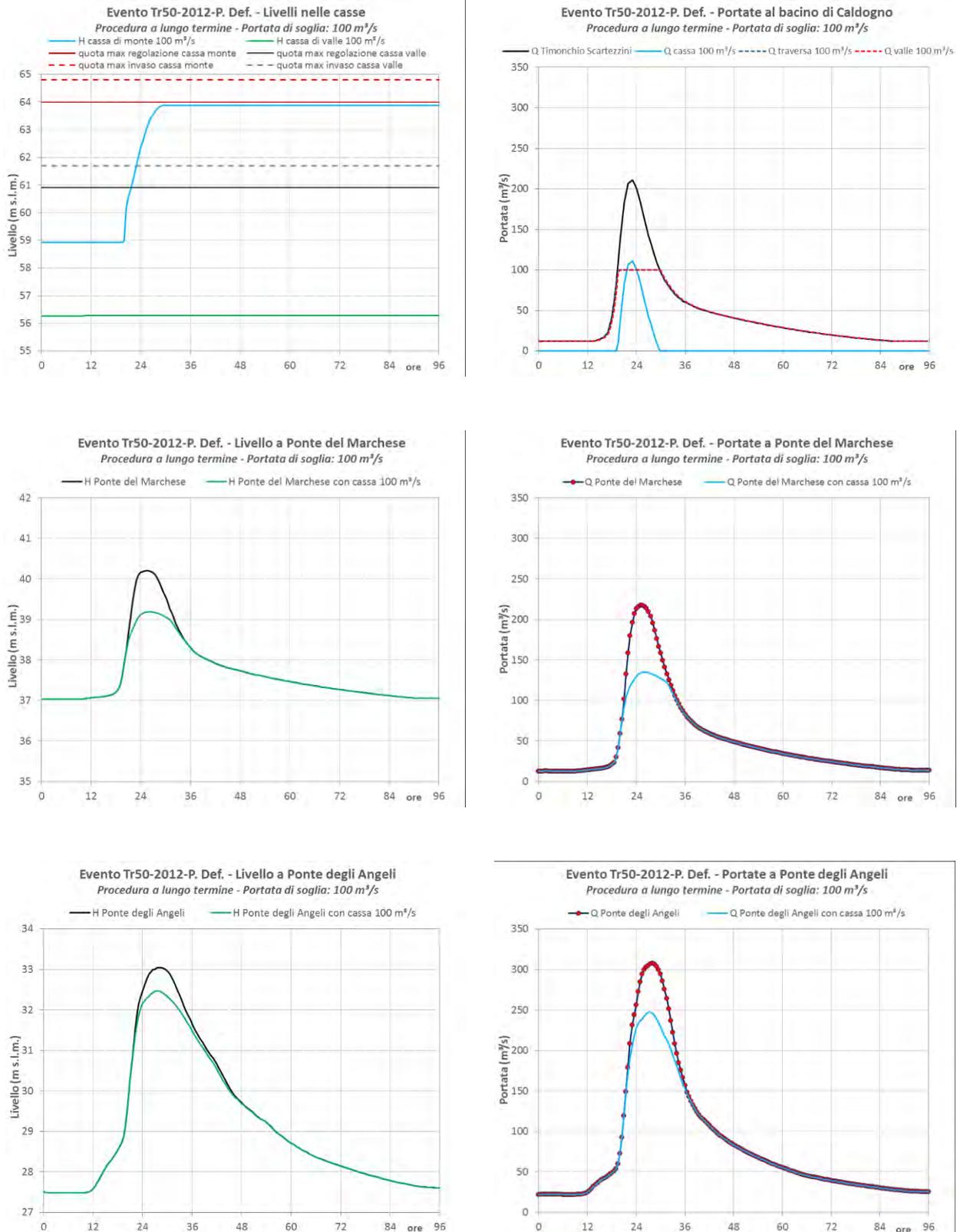


Fig. 10.28 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr50-2012-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portate in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

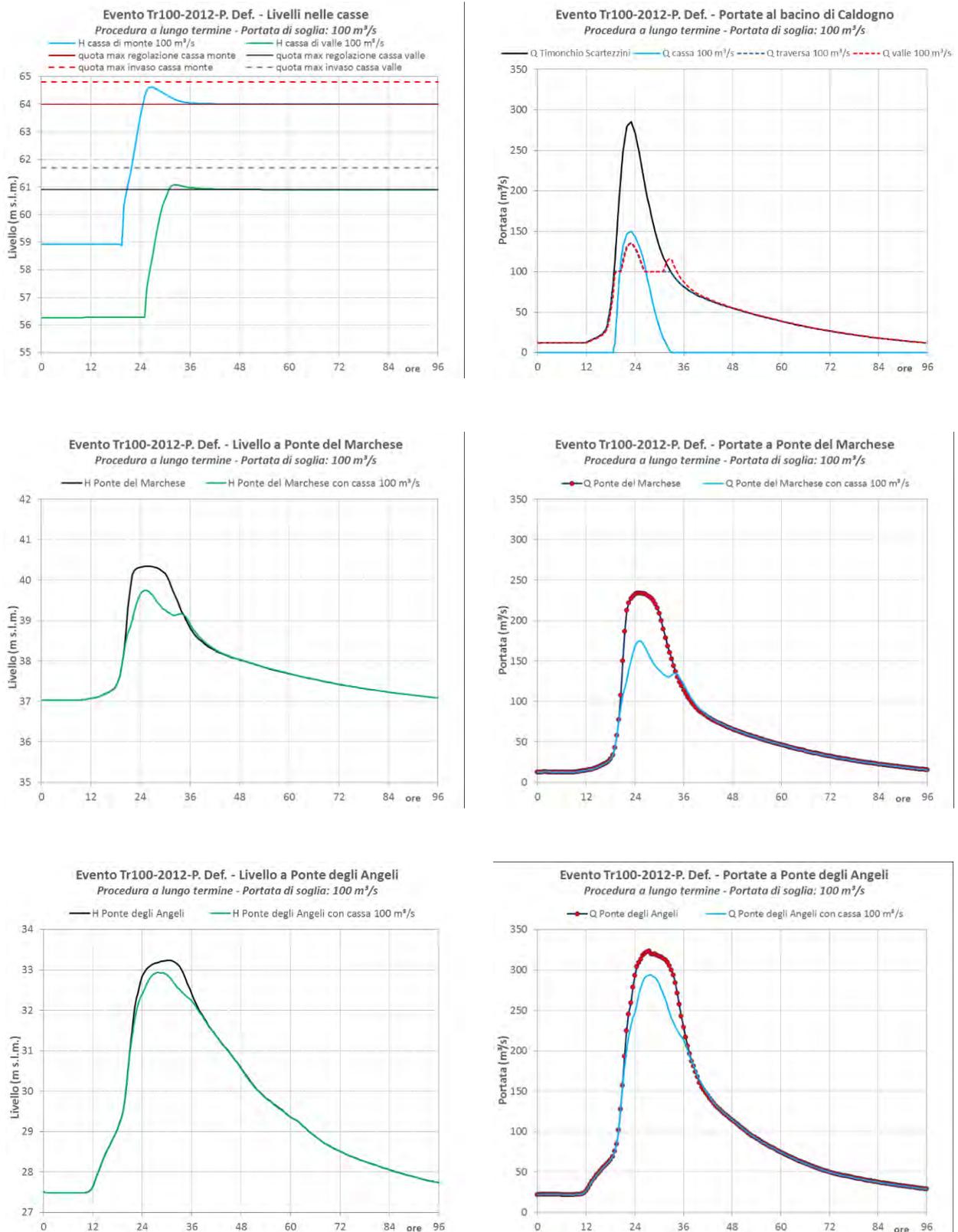


Fig. 10.29 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr100-2012-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

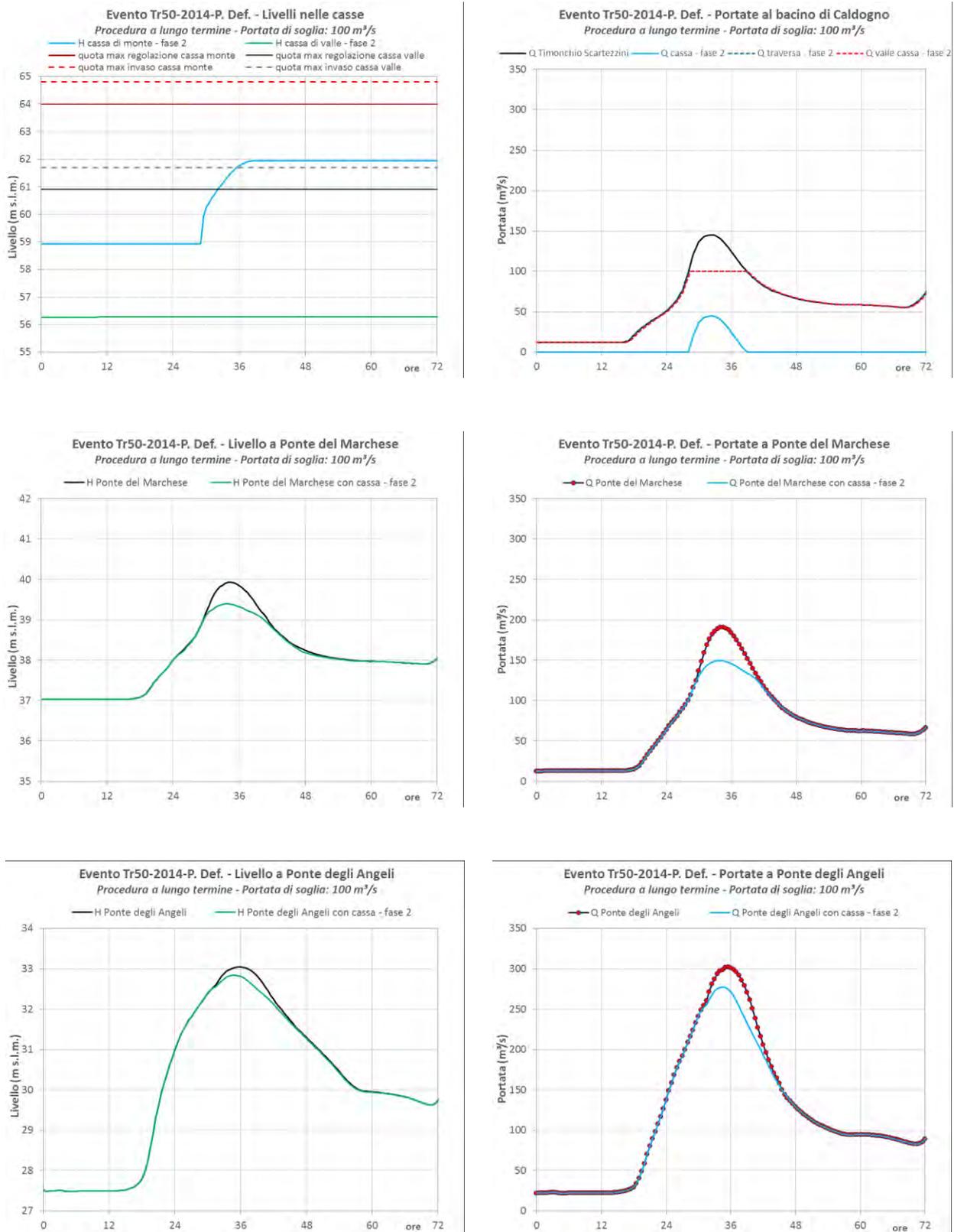


Fig. 10.30 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr50-2014-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

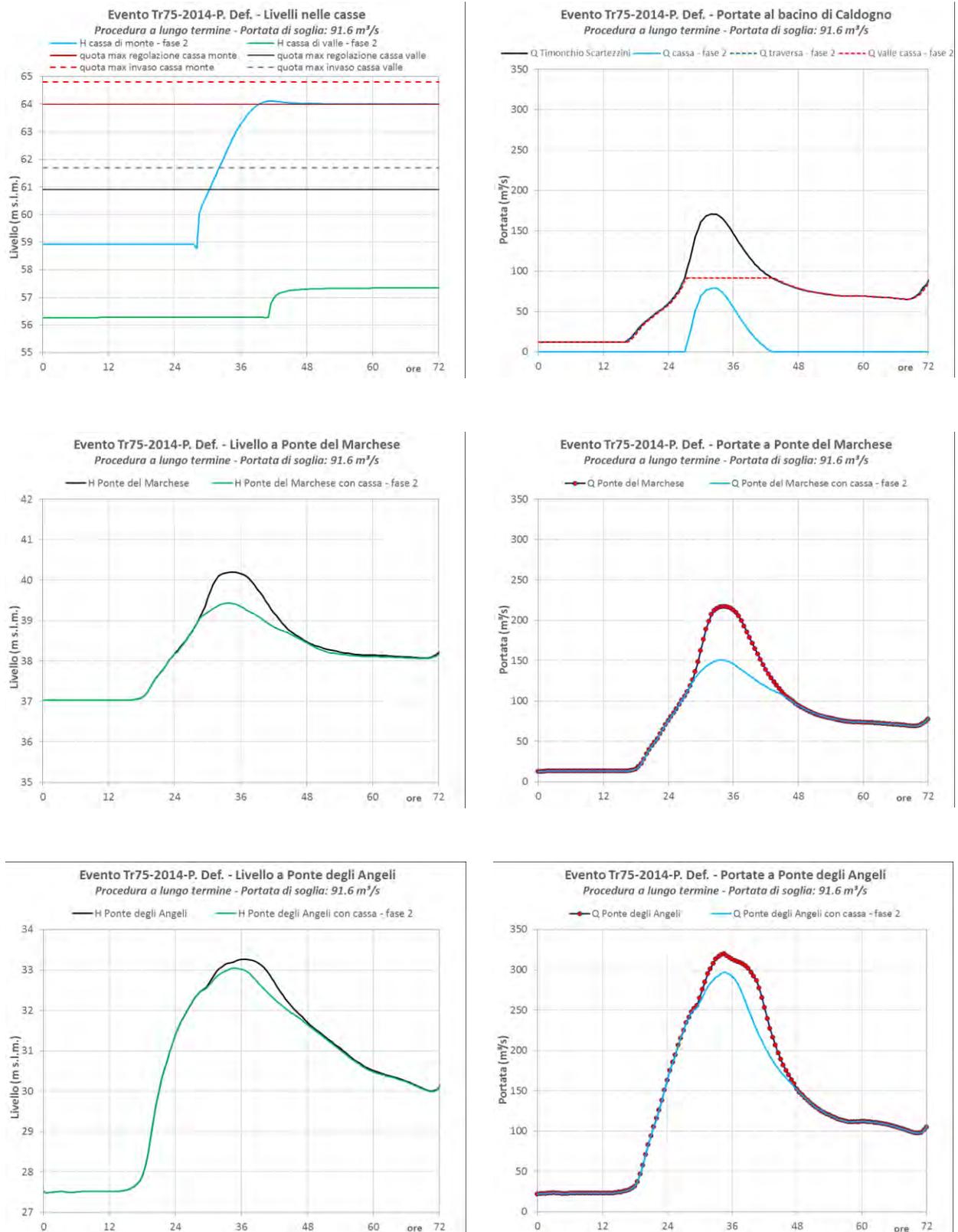


Fig. 10.31 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr75-2014-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.

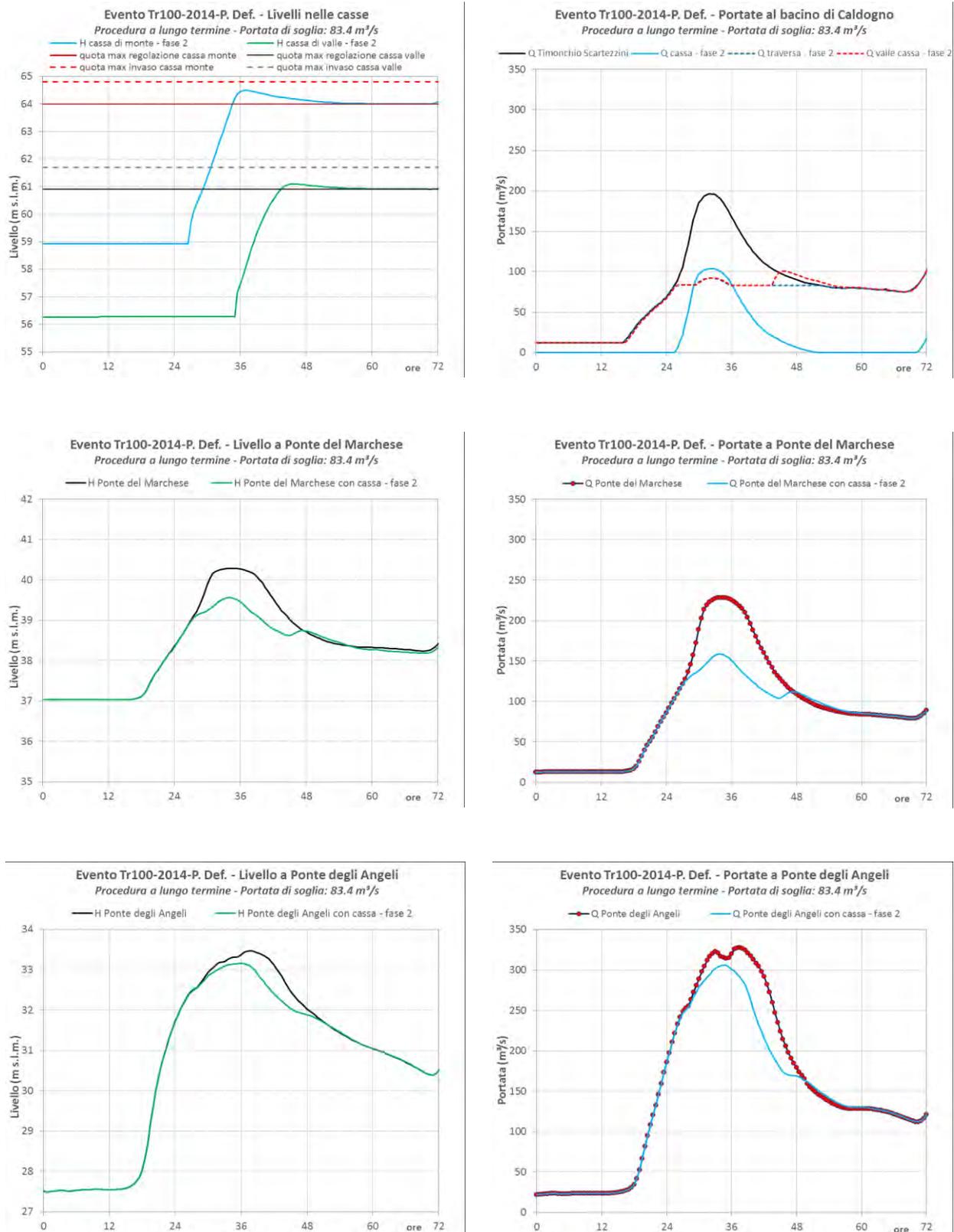


Fig. 10.32 – Verifica degli effetti del bacino di Caldogno ottenuti con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nell'ipotesi di gestione con procedura a lungo termine per l'evento **Tr100-2014-P.Definitivo**. In alto a sinistra livelli raggiunti nelle casse di monte e di valle del bacino di laminazione; in alto a destra portata in arrivo, portata derivata e portata fluente a valle del bacino; al centro livelli e portate calcolati a Ponte del Marchese con e senza attivazione del bacino; in basso livelli e portate calcolate a Ponte degli Angeli con e senza attivazione del bacino di laminazione.