

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE  
 OBIETTIVO N. 443/01  
 LINEA A.V. /A.C. TORINO-VENEZIA Tratta VERONA-PADOVA  
 Lotto funzionale Verona-Bivio Vicenza  
 PROGETTO ESECUTIVO  
 PARTE GENERALE  
 IDROLOGIA E IDRAULICA  
 GENERALE  
 RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA - RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE**

GENERAL CONTRACTOR		DIRETTORE LAVORI		SCALA
IL PROGETTISTA	Consorzio			
Ing. Giovanni MALAYENDA ALBO INGEGNERI PROV. DI MESSINA n. 4503 Data: Maggio 2022	Iricav Due ing. Paolo CARMONA Data: Maggio 2022		Data:	-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.	FOGLIO
I N 1 7	1 0	E	I 2	R H	I D 0 0 0 0	0 0 3	D	

	VISTO CONSORZIO IRICAV DUE	
	Firma	Data
	Ing Alberto Levorato 	Maggio 2022

Progettazione:

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	IL PROGETTISTA
A	PRIMA EMISSIONE	D. Canesso S. Cocco	Marzo 2021	S. Cocco	Marzo 2021	P. Peretti	Marzo 2021	
B	REVISIONE GENERALE	D. Canesso S. Cocco	Aprile 2021	S. Cocco	Aprile 2021	P. Peretti	Aprile 2021	
C	REVISIONE A SEGUITO INTERLOCUZIONE ITLF	D. Canesso S. Cocco	Ottobre 2021	S. Cocco	Ottobre 2021	P. Peretti	Ottobre 2021	
D	REVISIONE A SEGUITO RAPPORTO ITLF	D. Canesso S. Cocco	Maggio 2022	S. Cocco	Maggio 2022	P. Peretti	Maggio 2022	

CIG. 8377957CD1	CUP: J41E91000000009	File: IN1710EI2RHID0000003D.DOCX
		Cod. origine: IN1710EI2RHID0000003D



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>		ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 2 di 134	

## INDICE

1	PREMESSE.....	4
2	CONTENUTI ED OBIETTIVI .....	6
3	PIANIFICAZIONE TERRITORIALE.....	8
3.1	Il P.A.I. dell’Autorità di Bacino dell’Adige .....	9
3.2	Il PGRA dell’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali .....	11
3.3	Il P.G.B.T.T. del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta .....	17
3.4	Eventi eccezionali .....	18
3.4.1	Novembre 2010 e Maggio 2013.....	18
3.4.2	Settembre 1882.....	20
3.5	Il “Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico” della Regione Veneto .....	21
4	COSTRUZIONE DEL MODELLO IDRAULICO UNI-BIDIMENSIONALE NELLA TRATTA VERONA – MONTEBELLO VICENTINO.....	23
4.1	Dati cartografici e rilievi topografici .....	24
4.2	Schematizzazione del reticolo idrografico.....	29
4.3	Condizioni al contorno.....	32
4.4	I parametri del modello.....	42
4.5	Valutazioni preliminari .....	43
5	VERIFICHE IDRAULICHE PER LA CONFIGURAZIONE ANTE-OPERAM .....	45
5.1	Ante-operam in assenza di rotte (scenario 0) .....	45
5.1.1	Evento di piena con Tr=300 anni e Tp=24 ore .....	45
5.1.2	Evento di piena con Tr=100 anni e Tp=24 ore .....	52
5.1.3	Eventi di piena con Tr=100-300 anni e Tp=12 ore .....	58
5.1.4	Eventi di piena con Tr=100-300 anni e Tp=6 ore .....	58
5.2	Ante-operam con presenza di rotte (scenari 1, 2, 3) .....	62
5.2.1	Scenario 1 – Presenza di rotte nell’argine sinistro dell’Illasi e nell’argine sinistro del Chiampo.....	63
5.2.2	Scenario 2 – Presenza di rotte nell’argine sinistro dell’Illasi e nell’argine destro dell’Alpone.....	66
5.2.3	Scenario 3 – Presenza di rotte nelle arginature destra e sinistra del Valpantena e nell’argine destro dell’Illasi .....	69
6	VERIFICHE IDRAULICHE PER LA CONFIGURAZIONE POST-OPERAM .....	75
6.1	Descrizione sintetica della configurazione di progetto .....	75
6.2	Post-operam in assenza di rotte (scenario 0) .....	80
6.2.1	Evento di piena con Tr=300 anni e Tp=24 ore .....	80
6.2.2	Evento di piena con Tr=100 anni e Tp=24 ore .....	87
6.2.3	Eventi di piena con Tr=100-300 anni e Tp=6-12 ore .....	89
6.3	Post-operam con presenza di rotte (scenari 1, 2, 3).....	92
6.3.1	Scenario 1 – Presenza di rotte nell’argine sinistro dell’Illasi e nell’argine sinistro del Chiampo.....	92
6.3.2	Scenario 2 – Presenza di rotte nell’argine sinistro dell’Illasi e nell’argine destro dell’Alpone.....	92

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 3 di 134</p>

6.3.3	Scenario 3 – Presenza di rotte nelle arginature destra e sinistra del Valpantena e nell'argine destro dell'Illasi .....	93
6.4	Valutazioni comparative sugli effetti della nuova linea ferroviaria sulla base dei risultati del modello uni-bidimensionale.....	95
7	VERIFICA IDRAULICA DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN PREVISIONE DELLA REALIZZAZIONE DEL PIANO DEGLI INTERVENTI DELLA REGIONE VENETO .....	99
7.1	Descrizione sintetica degli interventi previsti e della loro schematizzazione nel modello uni-bidimensionale .....	99
7.2	L'evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni generato da piogge di durata 24 ore.....	100
7.3	L'evento di piena con tempo di ritorno di 300 anni generato da piogge di durata 24 ore.....	101
8	CONCLUSIONI.....	104
	ALLEGATI.....	108
	APPENDICE A – MODELLI MATEMATICI UNI-BIDIMENSIONALI.....	110
	A.1 Premessa.....	110
	A.2 Il modello 2D-1D della Ipros Ingegneria Ambientale srl .....	110
	A.2.1 Le equazioni del moto .....	110
	A.2.2. Lo schema numerico.....	111
	A.2.3 Elementi 2D speciali.....	112
	A.2.4 Elementi unidimensionali .....	112
	A.2.3 Elementi 1D speciali.....	114
	Riferimenti bibliografici del modello.....	115
	A.3 Il modello 2D-1D FemTool dell'ing. Martini.....	116
	A.3.1 Caratteristiche dello schema numerico bidimensionale.....	119
	Riferimenti bibliografici del modello .....	132
	BIBLIOGRAFIA.....	133

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 4 di 134	

## 1 PREMESSE

Con riferimento al modello uni-bidimensionale implementato e utilizzato per le attività di supporto al progetto definitivo dell'opera, per sostanzialmente ottemperare allora alle richieste dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (ex Autorità di Bacino dell'Adige e dell'Alto Adriatico) in merito alla necessità di approfondimenti progettuali per la valutazione degli effetti che l'opera in progetto può indurre sul territorio, nell'ambito della progettazione esecutiva sono state ora condotte nuove indagini idrauliche di dettaglio mettendo a punto un nuovo modello, a partire dal primo, per considerare, rispetto al precedente:

- una modellazione più di dettaglio entro una fascia di territorio della larghezza di circa 250 m + 250 m a cavallo della linea AV/AC prevista;
- l'estensione del modello anche al progno di Valpantena, inserendo nello schema di calcolo il tratto compreso tra loc. Cellore, a monte, e la confluenza in Adige, che interferisce con la linea ferroviaria storica e con quella in progetto alla progressiva chilometrica km 0+751;
- l'inserimento nello schema di modelli internamente annidati per descrivere con maggior dettaglio i sottopassi e i sottovia interferenti con la linea AV/AC e le sottostazioni elettriche;

con lo scopo, ancora, di fornire gli elementi conoscitivi tali da garantire che l'opera in progetto sia idraulicamente compatibile con i territori attraversati.

A tale riguardo, si osserva che per realizzare lo schema di calcolo nella configurazione di progetto, integrato, aggiornato e dettagliato come sopra sinteticamente descritto, si è tenuto conto del progetto definitivo post-CIPE, provvedendo, di volta in volta, a recepire e ad inserire nel modello stesso le modifiche e gli aggiornamenti forniti dai progettisti delle opere.

Obiettivo dello studio è quello di verificare che il progetto del sub-lotto Verona-Montebello Vicentino della linea AV/AC Verona-Padova, che costituisce un'infrastruttura di interesse pubblico, sia redatto in modo tale che, una volta realizzato, non produca un aggravio delle condizioni di sicurezza idraulica nel territorio attraversato rispetto alla situazione attuale.

L'obiettivo dello studio è stato perseguito attraverso il confronto dei risultati ottenuti da una modellazione idraulica uni-bidimensionale della configurazione ante e post operam.

Si precisa che:

- nello stato di fatto sono stati considerati tutti gli interventi di difesa e ringrosso arginali già realizzati nel sistema Chiampo–Alpone–Aldegà–Tramigna da parte della Regione Veneto e gli interventi eseguiti anche lungo il corso del Valpantena;
- la modellazione ha considerato anche la rete idrografica consortile.

Dal punto di vista idrografico, procedendo da ovest verso est, il sub-lotto analizzato attraversa i bacini dei fiumi Valpantena, Fibbio, Antanello, Illasi, il bacino "Zerpano" del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta, il torrente Alpone, il bacino Togna-Fratta del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta. Alcuni corsi d'acqua sono arginati, altri sono incisi e altri ancora sono pensili.

Il sub-lotto analizzato è costituito dal bacino del Valpantena, affluente di sinistra dell'Adige, che vi si immette, in golena, sottopassando una zona abitata di Verona, la SR11 e la linea ferroviaria storica mediante un tombino della lunghezza di oltre 200 m, e da 4 macrobacini:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 5 di 134

- il sistema Antanello-Fibbio-Illasi che scarica unitariamente nel canale S.A.V.A. subito a valle della Centrale Enel Green Power di Zevio;
- il sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna che scarica unitariamente in Adige al confine tra i comuni di Arcole e Belfiore;
- i canali di bonifica del bacino “Zerpano” che scaricano nel torrente Alpone, in destra idrografica, attraverso l’idrovara Zerpa (comune di Arcole), o che possono sotto-passare il fiume mediante la botte Zerpana, sullo scolo Masera Sud, e la botte palladiana, sullo scolo Sarega;
- i canali di bonifica del bacino “Togna-Fratta” che scaricano direttamente o tramite il condotto Zerpano nel fiume Fratta-Gorzone (affluente del Bacchiglione).

Le acque dei 4 sistemi idrografici restano distinte durante il periodo irriguo o durante le normali piene. Durante le piene maggiori, le esondazioni prodotte per tracimazione o rottura arginale dai sistemi idrografici principali si riversano nei territori sottiacenti e qui si propagano e si distribuiscono in funzione della morfologia presente (rilevati, varchi, canali, depressioni, pendenze naturali, ecc.).

Volendo verificare in modo cautelativo gli effetti idraulici dell’infrastruttura ferroviaria e delle opere di attraversamento previste nei confronti del territorio attraversato, lo studio ha assunto che tutti e 4 i sistemi idrografici, e anche il Valpantena, siano soggetti al medesimo evento meteorico critico, cioè che vadano in piena critica contemporaneamente. Questa scelta è stata suggerita, oltre che dalla prassi adottata dalle Autorità di Bacino, anche dal fatto che il tracciato ricade in un’area che nel corso degli anni è stata soggetta ad importanti episodi di criticità idraulica della rete maggiore.

In particolare, sono ben documentati gli allagamenti verificatisi nel sistema idrografico Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna e nel bacino del fiume Fibbio. I primi corsi d’acqua sono arginati e appartengono alla rete idrografica principale della Regione del Veneto, vale a dire sono gestiti direttamente dalla U.O. Genio Civile di Verona che rappresenta l’organo tecnico periferico della Regione stessa. Il Fibbio, invece, è un corso d’acqua non arginato, se non nel tratto terminale, e appartiene alla rete secondaria della Regione del Veneto, cioè è gestito dal locale Consorzio di Bonifica “Alta Pianura Veneta”.

La Pianificazione per la difesa idrogeologica, per la mappatura della pericolosità e del rischio idraulico, per la tutela delle acque e degli ambienti acquatici è di competenza dell’ex Autorità di Bacino dell’Adige, per i primi tre sistemi idrografici sopra elencati, e dell’ex Autorità di Bacino dell’Alto Adriatico, per il sistema Togna-Fratta. Le due Autorità costituiscono l’Autorità di Distretto delle Alpi Orientali.

Dopo gli eventi alluvionali del 2010÷2013 che hanno interessato soprattutto i territori del veronese, del vicentino e del padovano, la Regione del Veneto ha dato avvio ad una imponente campagna di interventi per la messa in sicurezza idraulica dei principali corsi d’acqua, sia rinforzando/manutenendo le sezioni, sia trattenendo nei bacini le portate di piena maggiori mediante casse di espansione. Molti lavori sono completati, altri sono in esecuzione, alcuni sono in fase di appalto o finanziati, molti sono da finanziare. Nel sito internet della Direzione Difesa del Suolo della Regione Veneto lo stato di avanzamento del Piano e dei Finanziamenti viene aggiornato a cadenza trimestrale.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 6 di 134	

## 2 CONTENUTI ED OBIETTIVI

L'obiettivo dello studio è quello di verificare, nella configurazione di progetto, gli effetti delle esondazioni/rotte dalla rete principale sul territorio attraversato. A tale riguardo, si sono utilizzati tutti gli elementi topografici integrativi rilevati sia per le attività di supporto al progetto definitivo, in particolare la campagna di rilievi integrativi condotta lungo la rete secondaria consortile, sia quelli sui corsi d'acqua in attraversamento alla linea AV/AC eseguiti nel 2020, nonché le informazioni fornite dagli enti sull'idrografia superficiale.

La presente nota è costituita da:

- un inquadramento della pianificazione territoriale vigente, dove viene presa in esame la pianificazione territoriale esistente, in particolare il P.A.I. e le carte tematiche del PGRA su cui l'opera viene sovrapposta;
- un'analisi idrologica ed idraulica del 1° sub-lotto Verona-Montebello Vicentino.

Sono state analizzate tre diverse configurazioni:

- “ante-operam”, gennaio 2021, situazione attuale in cui sono stati inseriti tutti gli interventi strutturali di difesa idraulica da parte della Regione Veneto già realizzati nel sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna che influenzano la dinamica dei fenomeni oggetto di indagine, modificandola sensibilmente rispetto a quella degli anni passati;
- “post-operam”, gennaio 2021, configurazione “di progetto”, cioè con l'inserimento della nuova linea ferroviaria;
- “post-operam”, anno 2022, configurazione futura con tutte le casse di espansione nel sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna e con l'inserimento della nuova linea ferroviaria.

Per le configurazioni ante e post operam sono stati ipotizzati scenari con e senza possibili rotte arginali, secondo le logiche meglio specificate nel paragrafo 5.2.

Le verifiche hanno considerato come eventi critici:

- $Tr=100$  anni ( $Tp=24-12-6$  ore), riferimento per i Piani di Assetto Idrogeologico delle Autorità di Bacino;
- $Tr=300$  anni ( $Tp=24-12-6$  ore), riferimento per lo scenario più gravoso della cartografia del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione del Distretto Alpi Orientali.

Per le descrizioni dei bacini idrografici e delle caratteristiche dei corsi d'acqua attraversati dalla linea AV/AC, si rimanda, infine, ai contenuti di dettaglio della Relazione Idrologica-Idraulica del progetto.

Si evidenzia, che la cartografia del PGRA rappresenta scenari in condizioni limite e non ha, al momento, valore urbanistico o pianificatorio alternativo o sostitutivo del PAI vigente, ma lo avrà al termine dell'aggiornamento del PGRA stesso, ora in corso, previsto per la fine del 2021. Le mappe del Distretto non rappresentano uno specifico scenario di allagamento, bensì l'involuppo di n scenari con la presenza “libera” di rotte arginali (non sempre in posizioni totalmente realistiche). Lo scopo principale della cartografia del PGRA è dichiarato essere quello di Protezione Civile.

Si sottolinea pertanto che le verifiche con  $Tr=300$  anni sono state redatte per verificare il sistema in condizioni limite.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 7 di 134

Si precisa inoltre che per quanto riguarda le configurazioni del modello, nelle due versioni “ante operam” e “post-operam”, entrambe riferite temporalmente alla situazione gennaio 2021, sono stati esaminati i seguenti possibili scenari:

- Scenario 0: esondazioni dagli argini che non generano rotte;
- Scenario 1: esondazioni dagli argini che generano rotte in sinistra Illasi a Colognola ai Colli e in sinistra Chiampo a Montebello Vicentino;
- Scenario 2: esondazioni dagli argini che generano rotte in sinistra Illasi al confine tra Caldiero e San Martino Buonalbergo e in destra Alpone a Soave;
- Scenario 3: esondazioni dagli argini che generano rotte in destra Illasi al confine tra Caldiero e San Martino Buonalbergo e in destra/sinistra Valpantena poco a monte di Quinto.

In particolare, la situazione “ante-operam” corrisponde ad una sola cassa di laminazione attiva e funzionante (Colombaretta sul T. Alpone). La situazione “post-operam” corrisponde ancora ad una sola cassa attiva e funzionante (Colombaretta).

La situazione “post-operam” con completamento degli interventi residui da parte della Regione Veneto (anno 2022) prevede quattro casse di laminazione attive e funzionanti (Colombaretta, S. Lorenzo, ampliamento della cassa di Montebello, S. Vito, tutte a monte del nodo di S. Bonifacio sul T. Alpone e tutte per il sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna). In questo caso è stato analizzato solamente la situazione in assenza di rotte.

Lo scenario 0 è quello assunto a riferimento nel progetto.

La scala di restituzione dei risultati del modello (elaborati da IN1710EI2N3ID0000007B a IN1710EI2N3ID0000040B) è stata scelta al 1:25000 per rendere più comprensibili i risultati stessi a scala dei singoli sottobacini e per consentire un più agile confronto con le corrispondenti tavole del PAI e del PGRA, anch’esse alla medesima scala. Le geometrie del reticolo di calcolo sono state tuttavia inserite nel modello con un dettaglio adeguato in modo da poter essere utilizzate anche alla scala delle singole WBS, all’interno delle quali sono riportate le planimetrie delle aree allagate estratte dal modello ante e post-operam alla scala 1:2000, relative allo scenario 0. Sempre per tale scenario, sono stati rappresentati i risultati di dettaglio del modello in scala 1:2000 nella situazione “ante-operam” e “post-operam” in corrispondenza dei seguenti tratti del rilevato ferroviario in progetto:

- da pk 03+500 a pk 07+400 (elaborati IN1710EI2N6ID0000001A e IN1710EI2N6ID0000008A)
- da pk 07+250 a pk 11+150 (elaborati IN1710EI2N6ID0000002A e IN1710EI2N6ID0000009A)
- da pk 11+000 a pk 15+000 (elaborati IN1710EI2N6ID0000003A e IN1710EI2N6ID0000010A)
- da pk 15+000 a pk 18+900 (elaborati IN1710EI2N6ID0000004A e IN1710EI2N6ID0000011A)
- da pk 21+500 a pk 25+100 (elaborati IN1710EI2N6ID0000005A e IN1710EI2N6ID0000012A)
- da pk 25+000 a pk 28+700 (elaborati IN1710EI2N6ID0000006A e IN1710EI2N6ID0000013A)
- da pk 28+000 a pk 31+500 (elaborati IN1710EI2N6ID0000005A e IN1710EI2N6ID0000012A)

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 8 di 134	

### 3 PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

La pianificazione territoriale fa frequente uso delle mappe di criticità idraulica prodotte dalle Autorità Idrauliche competenti, assemblandole a seconda delle necessità. Molte di queste mappe derivano dal censimento degli allagamenti storici cui evidentemente si succedono interventi di manutenzione/rinforzo o addirittura interventi strutturali (casce di espansione) che impediscono il ripetersi di quel fenomeno o ne riducono la frequenza di accadimento. L'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (ex dell'Alto Adriatico e dell'Adige) ha tenuto conto dei principali allagamenti storici generati dalla rete principale come aree a pericolosità P1, a memoria storica della pericolosità del territorio, in quanto spesso "le criticità restano nella zona", oppure le ha mantenute invece come aree di attenzione. Inoltre, fa riferimento alla modellazione matematica della rete principale o maggiore, per la definizione della pericolosità idraulica del territorio, in funzione del tirante d'acqua atteso e della velocità.

Gli allagamenti dalla rete secondaria nella tratta di studio sono memorizzati dal Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta. Prima del 2010 la competenza era invece del Consorzio Zerpano-Adige-Guà. Le mappe delle criticità idrauliche prodotte dal Consorzio di Bonifica (PGBTT del 2011; aggiornamento del 2013) riflettono la pericolosità idraulica del periodo senza alcun riferimento al tempo di ritorno. Le criticità della rete di competenza del Consorzio sono spesso di più facile soluzione e meno importanti/pericolose rispetto a quelle della rete principale. Ovviamente vi sono le eccezioni come per esempio il Fibbio-Squaranto e il Mezzane (affluente dell'Illasi), andati in crisi nel maggio 2013, rispettivamente, con tracimazioni diffuse e rotta.

Il problema principale legato all'utilizzo di mappe storiche/datate di pericolosità/allagamento come rappresentazione della attuale situazione di pericolosità è quello che, purtroppo, così facendo non si tiene conto dei lavori di manutenzione e strutturali che via via (spesso velocemente) si susseguono nei corsi d'acqua, magari anche proprio per annullare le criticità storiche evidenziate nel passato.

In Veneto, dopo gli eventi alluvionali a scala regionale del 2010 e 2013, la difesa idraulica del territorio è diventato obiettivo prioritario della Giunta Regionale attraverso l'attuazione del Piano degli Interventi ex OPCM 3906/2010 a seguito dell'alluvione del novembre 2010. Attualmente la Regione sta intervenendo sul Piano sia per attribuire ai vari interventi gradi di priorità diversificati in funzione delle risorse finanziarie disponibili, sia per inserire gli interventi necessari agli altri bacini idrografici del Veneto che non sono stati messi in crisi dall'evento 2010.

L'utilizzo ingegneristico delle mappe di pericolosità idraulica (storiche/datate, sia prodotte tramite modelli matematici, sia derivanti dal censimento di allagamenti storici) è quindi un'applicazione utile e necessaria per conoscere l'evoluzione storica della pericolosità idraulica, ma da utilizzare con attenzione e buon senso, in quanto si deve tener conto:

- dell'assenza di indicazioni, che può essere confusa con un'assenza di pericolosità, quando invece può essere dovuta ad una carenza conoscitiva o ad una dimenticanza storica o ad una scala dimensionale non compatibile;
- delle modifiche intervenute, nel frattempo, alle geometrie e/o al quadro conoscitivo a cui la Pianificazione ufficiale non si è ancora adeguata.



<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 9 di 134

Un'altra informazione da cercare nelle elaborazioni numeriche è quella della velocità. Le rotte arginali sono sempre associate, per definizione, ad aumenti della velocità. Il parametro velocità viene utilizzato dalle due Autorità di Bacino per passare dal concetto di pericolosità idraulica a quello di rischio idraulico. Le aree prossime ad una rotta arginale sono forse associate ad un battente maggiore ma certamente sono soggette a velocità maggiori e quindi ad un rischio idraulico maggiore. Quanto sopra viene utilizzato nel seguito per leggere criticamente le mappe prodotte dal Distretto Alto Adriatico.

### 3.1 Il P.A.I. dell'Autorità di Bacino dell'Adige

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dell'ex Autorità di Bacino dell'Adige (stralcio Regione Veneto) è del 2005 ed è stato ad oggi soggetto ad una variante idraulica nel 2014, nonché a vari Decreti Segretariali nel 2014-2015 per l'aggiornamento delle "aree di attenzione". I corsi d'acqua oggetto di studio sono stati lo Squaranto-Fibbio, l'Illasi e il sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna.

Le portate con  $Tr=50-100$  anni di riferimento del PAI-2005, riportate in Tab. 3.1, sono state calcolate assumendo precipitazioni di durata pari a 1.5 volte il tempo di corrivazione e coefficienti di deflusso da letteratura.

Corso d'acqua	Sezione	A	a	n	L	Hm	H0	Tc	Tp	$\phi$ medio	$Q_{50}$
		[km <sup>2</sup> ]	[mm]		[km]	[m s.m.m.]	[m s.m.m.]	[h]	[h]		[m <sup>3</sup> /s]
Progno di Fumane	Fumane	39,51	56,02	0,221	11,7	629	175	2,50	3,76	0,13	43
Progno di Marano	Valgatarà	9,15	56,02	0,221	5,8	384	174	1,79	2,69	0,17	17
Progno di Mezzane	V. Crocevia Fontana	54,58	56,02	0,221	17,4	438	53	3,55	5,32	0,15	52
Progno di Negrar	Carpene	24,95	56,02	0,221	7,8	383	149	2,59	3,88	0,16	31
Progno di Valpantena	Valle di Quinto	137,73	53,65	0,3	25,4	865	101	3,85	5,77	0,15	136
T. Fibbio	V. conf. Squaranto	97,34	53,65	0,3	27,7	877	53	3,53	5,29	0,13	90
T. Illasi	Ponte Asse	133,88	53,65	0,3	11,4	771	48	2,95	4,42	0,14	143
T. Illasi	Tregnago	95,58	53,65	0,3	9,6	962	337	2,68	4,01	0,12	99
T. Illasi	S. Andrea	63,4	51,32	0,38	8,3	1133	516	2,23	3,34	0,12	74
Vaio Squaranto	Cerro Veronese	58,87	51,32	0,38	14,3	1185	503	2,50	3,74	0,13	69

t. Alpone a valle confluenza t. Tramigna, (280 km<sup>2</sup>), circa 380 m<sup>3</sup>/s con  $Tr=100$  anni

Tab. 3.1 – Portate con tempo di ritorno di 50-100 anni riportate nel PAI 2005.

Si osservano, come già detto, tempi di pioggia bassi e coefficienti di deflusso altrettanto bassi. Gli eventi del 2010 e 2013 hanno in realtà dimostrato che si raggiungono condizioni di estrema o maggiore criticità, sia in termini di portate al colmo, sia in termini di volumi defluiti, durante eventi meteorici di durata maggiore (24÷36 ore, preceduti da periodi piovosi) e con coefficienti di deflusso ben maggiori raggiungendosi a) condizioni di saturazione/imbibizione dei suoli e b) concomitanza di falde profonde cariche e deflussi sub-superficiali attivi.

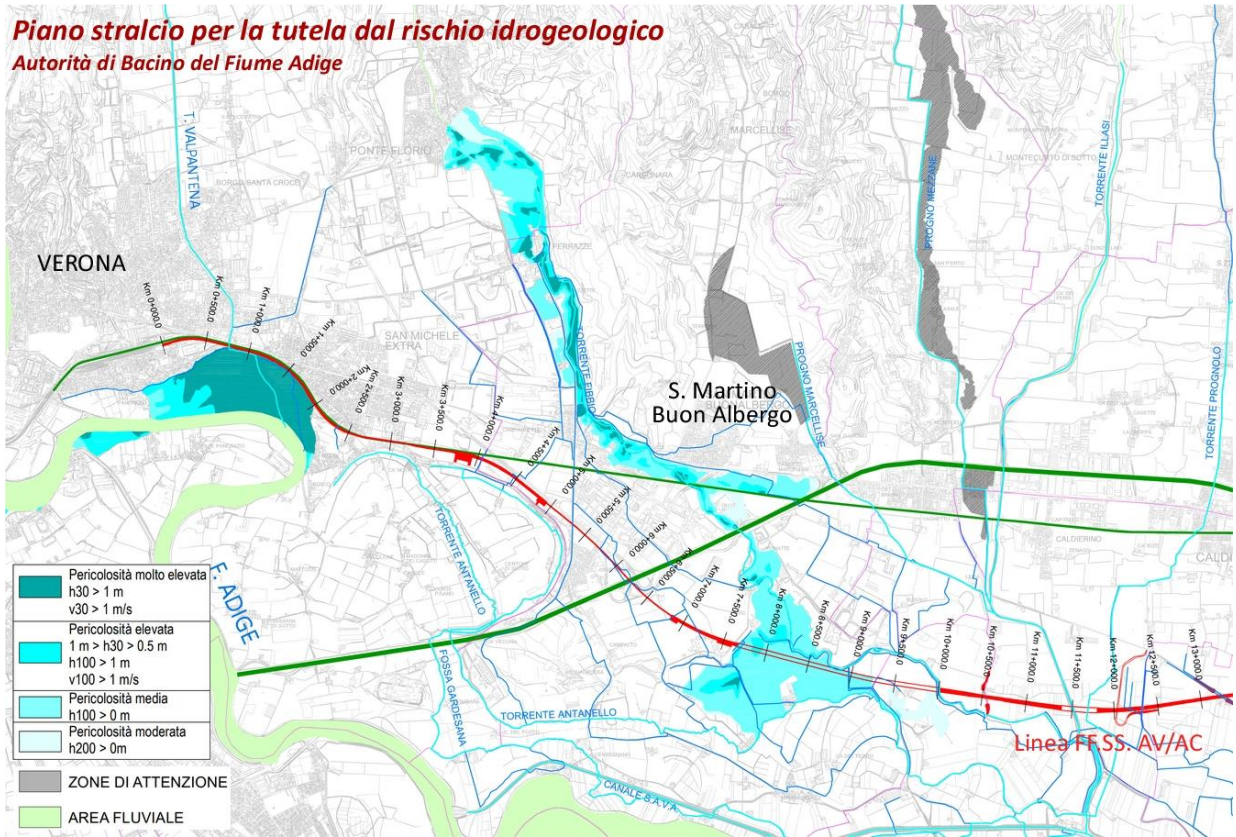
L'ex Autorità di Bacino dell'Adige estrapola il valore al colmo calcolato per  $Tr=50$  anni a  $Tr=100$  anni e  $Tr=200$  anni moltiplicandolo per 110% e 120%.

Con la variante del 2014, a seguito dell'evento del maggio 2013 nel Fibbio che ha provocato gravi danni in comune di Verona a Montorio e in comune di San Martino Buon Albergo, l'Autorità di Bacino ha proceduto ad un'estensione dell'area perimetrata, confermando la portata idrologica complessiva del sistema Fibbio-Squaranto e non producendo studi ulteriori rispetto a quelli del 2005, ma ricordando in realtà che tale valore era il risultato di una riduzione del valore al colmo precedentemente ottenuto.

In questo contesto, la cartografia del PAI è riportata in Fig. 3.1 con sovrapposto il tracciato della linea AV/AC.



**Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico**  
**Autorità di Bacino del Fiume Adige**



**Piano stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico**  
**Autorità di Bacino del Fiume Adige**

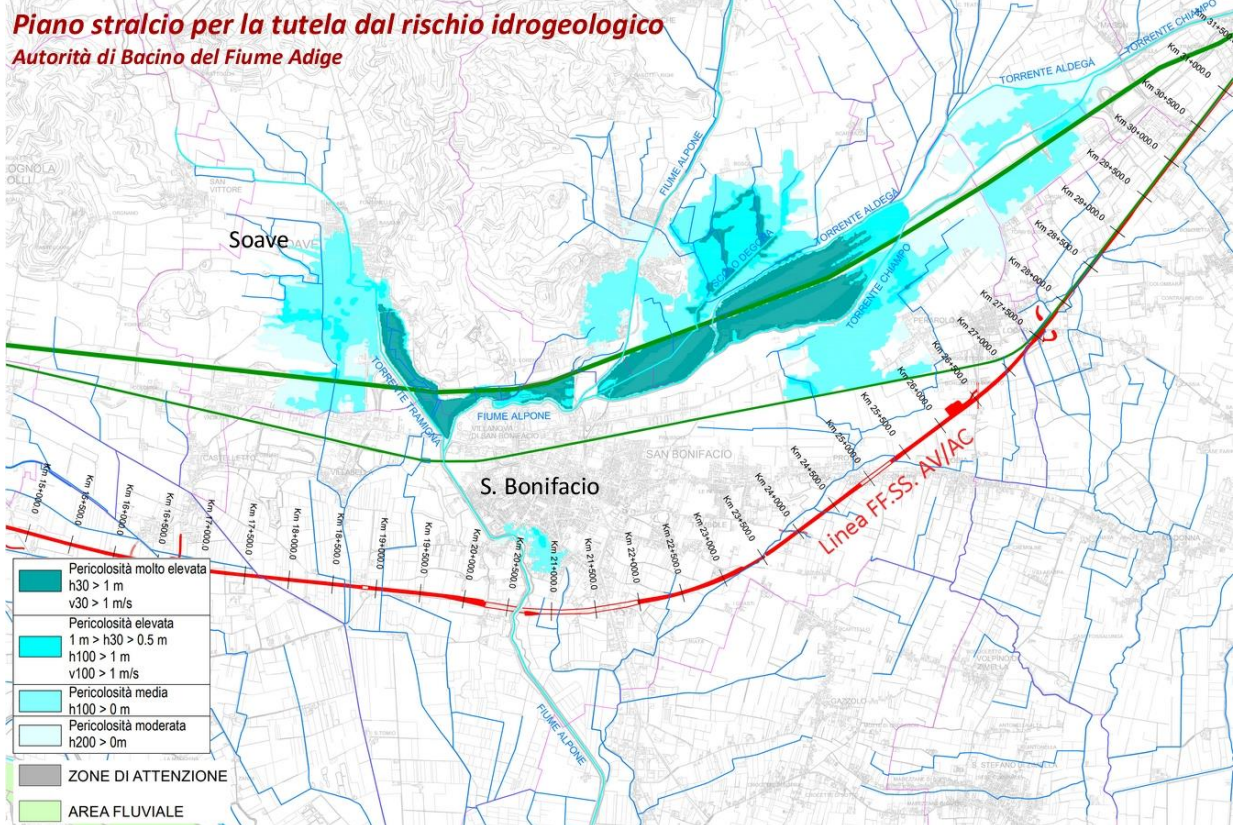


Fig. 3.1 - Particolari del PAI dell'Adige con sovrapposto il tracciato della linea AV/AC.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 11 di 134

Si osserva che praticamente tutto il tracciato è esterno ad aree pericolose/allagate classificate. Fa eccezione un tratto di circa 2'300 m tra le progressive 7.7 km e 10.0 km che è però previsto in viadotto. E' da evidenziare che il PAI non tiene conto delle rotte e tracimazioni storiche dalla rete idrografica principale e maggiore se non quelle del 2010 e 2013, forse anche correttamente in quanto a) le criticità sono state superate da interventi successivi e b) evidentemente non sono più segnalate dai modelli matematici messi a punto.

Per esempio il tratto terminale del torrente Illasi (in comune di Caldiero, dalla SP37 alla confluenza nel canale S.A.V.A.), soprattutto dopo la piena dell'Ottobre 1992, è stato rivestito nelle sponde con lastre in calcestruzzo a) per evitare lo scalzamento e l'erosione del piede; b) per ridurre le filtrazioni arginali e quindi il rischio di sifonamento; c) per abbattere il rischio di rotte arginali.

Il PAI dell'Autorità di Bacino non ha preso in esame gli effetti e le criticità della rete secondaria (o consortile) della Regione Veneto.

### 3.2 Il PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali

In attuazione alla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE, il Distretto Alpi Orientali ha prodotto nel novembre 2013 una mappatura delle aree allagabili con riferimento a 3 scenari di probabilità: bassa ( $Tr=300$  anni), media ( $Tr=100$  anni) e alta ( $Tr=30$  anni). Ogni mappa rappresenta però l'involuppo di n scenari di simulazione idraulica ognuno dei quali caratterizzato, per esempio, da rotte in posizione, istanti e caratteristiche differenti. Nei bacini della Valpantena, della Lessinia e del sistema Chiampo-Alpone, oggetto di studio, lo scenario idrologico simulato è caratterizzato da piogge di durata pari a 24 ore e di intensità lineare crescente (M2).

Vi sono due tipologie di mappe per le aree allagabili: quella in cui sono rappresentati i tiranti idrici e quella in cui sono rappresentate le classi di rischio. Le prime risultano le più note e più utilizzate come riferimento per le considerazioni ingegneristiche. Le seconde, tuttavia, risultano altrettanto importanti dal momento che la definizione di rischio tiene conto anche della classe di velocità della corrente. Le due tipologie di mappe, affiancate, consentono di individuare sia dove i modelli idrologici-idraulici del Distretto hanno ipotizzato si possano verificare rotte arginali (ciò avviene quando il franco idraulico si annulla), sia, in qualche misura, anche l'entità quantomeno relativa dei volumi/portate fuoriuscite dalle rotte lungo la medesima tratta fluviale.

Pur utilizzando il DEM Lidar del Ministero dell'Ambiente del 2008, la modellistica condotta dal Distretto era finalizzata ad un dettaglio alla scala del 1:25'000 e quindi la rete secondaria del Consorzio di Bonifica e quella minore non è stata rappresentata nei modelli idraulici, se non quella presente nel DEM 5x5, botti a sifone e sostegni compresi. Le sezioni utilizzate erano quelle allora disponibili (in molti casi antecedenti l'evento del novembre 2010) in parte di tipo tradizionale e in parte ricavate dal DEM LIDAR. Per il torrente Fibbio e fiume Antanello non vi erano sezioni tradizionali disponibili.

Le mappe del Distretto, riportate in Fig. 3.2, Fig. 3.3 e Fig. 3.4, sono state utilizzate nel progetto definitivo della linea AV/AC come elemento di riferimento per la definizione del profilo altimetrico del tracciato ferroviario e per la definizione delle opere di permeabilità nei rilevati di progetto.

L'idrologia alla base delle citate mappe è stata generata ex novo mediante complessi modelli idrologici messi a punto dal Distretto tramite le sue due Autorità di Bacino.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 12 di 134

Le portate idrologiche al colmo del t. Fibbio a valle della confluenza con il Vaio Squaranto per  $t_p=24$  ore e  $T_r=100$  anni sono pari a circa  $170 \text{ m}^3/\text{s}$ , a fronte di una massima portata convogliabile nel tratto cunettato di Montorio pari a circa  $90 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le portate idrologiche al colmo del torrente Illasi all'attraversamento dell'A4 sono invece valutate in circa  $300 \text{ m}^3/\text{s}$  per  $t_p=24$  ore e  $T_r=100$  anni, a fronte di una massima portata convogliabile in quel tratto di circa  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ . A tal proposito si rileva che il valore della portata al colmo e il tempo di pioggia critico calcolati dal Distretto sono in linea con la portata di  $230 \text{ m}^3/\text{s}$ , dato riportato nel Project Financing "Sistemazione del Torrente Illasi, 2009" (cfr. DGRV 1010 del 23-03-2010) e ottenuto a partire dai dati misurati (al netto, cioè, delle esondazioni avvenute a monte) ad un idrometro del Genio Civile situato nei pressi della SP38 Porcilana.

Il progetto citato rientra nel piano finanziato dalla Regione Veneto per la difesa del suolo con oggetto "Sistemazione idraulica del Torrente Illasi dalla confluenza dei torrenti Covolo e Frighi in località S. Andrea fino alla sua immissione nel fiume Adige – Comuni: Selva di Progno, Badia Calavena, Tregnago, Illasi, Colognola ai Colli, Caldiero, Zevio, Lavagno (VR)".

Le portate idrologiche al colmo del torrente Alpone, registrate a valle di San Bonifacio, sono invece valutate in circa  $400 \text{ m}^3/\text{s}$  per  $t_p=24$  ore e  $T_r=100$  anni, a fronte di una massima portata convogliabile in quel tratto di circa  $220 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le portate idrologiche nelle sezioni di chiusura dei bacini principali risultano decisamente superiori a quelle massime convogliabili dalle sezioni (a franco nullo). Per questo è naturale che i modelli idraulici del Distretto evidenzino diffuse tracimazioni in tutta la rete principale modellata. E' da evidenziare che gran parte delle aree mappate sono allagate da rotte arginali considerate sempre aperte durante gli eventi modellati, cioè senza interventi di chiusura delle brecce, di cui non sono peraltro note le geometrie (altezza e larghezza).

Si osserva che tutto il tracciato in rilevato è localizzato in aree a rischio minore R1, cioè in aree in cui i rischi a persone e a cose è praticamente nullo, idraulicamente parlando, in aree a velocità nulla o modesta. Nelle aree a rischio medio ed elevato (R2 e R3) il tracciato è in viadotto.

Nel tratto iniziale, la linea AV/AC attraversa aree classificate prevalentemente a rischio R1 per effetto delle fuoriuscite d'acqua, per sormonto e/o rotte, ipotizzate nel progno di Valpantena, in destra e in sinistra idrografica. Qui, il tracciato lambisce, a sud, una estesa zona classificata a rischio R2 ed R3. Si tratta, peraltro, della golenata sinistra dell'Adige, in cui il Valpantena sbocca dopo aver attraversato, mediante un tratto tombinato della lunghezza di oltre 200 m, una zona abitata di Verona, la SR11 e la linea ferroviaria storica.

Nella restante parte del tracciato, l'unico punto in cui l'opera è in rilevato in un'area a rischio medio R2 è tra il t. Fibbio e l'Illasi, tra le progressive 10.0 km e 11.5 km. In questo tratto di 1.5 km il progetto prevede peraltro n. 3 forniche da  $5 \times 2.5$  m e 3 tombini  $\Phi 150$  cm per la normale continuità della rete minore. Una verifica speditiva delle opere prevede che, in caso di battenti idrici dell'ordine di 2 m, i 3 forniche da  $5 \times 2.5$  m siano in grado di far defluire circa  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale dimensionamento risulta adeguato considerato il fatto che, a causa dei sormonti e/o delle rotte arginali, non tutta la portata idrologica può essere convogliata verso la sezione di chiusura, corrispondente all'interferenza del tracciato.

A tal proposito non è possibile fare alcuna considerazione se non quella che l'allagamento nell'area in questione e il suo grado di rischio "medio" può essere stato generato da uno scenario del Distretto in cui una rotta si è

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 13 di 134

prodotta nell'argine destro dell'Illasi circa 1 km a nord della progressiva 10.8 km. Sulla base della mappatura delle aree redatte dal Distretto, questa rotta in destra Illasi è chiaramente di inferiore gravità rispetto alle altre rotte e tracimazioni che si possono verificare nel tratto a monte.

In generale, le portate fuoriuscite in destra Illasi si uniscono a quelle fuoriuscite dal t. Fibbio e dal f. Antanello e si accumulano, laminandosi, a ridosso dell'argine del canale S.A.V.A.

Osservando le mappe prodotte dal Distretto si può rilevare che i volumi fuoriusciti dal t. Illasi in sinistra si accumulano a monte degli attuali rilevati autostradali e ferroviari, li attraversano/superano andandosi a distribuire prevalentemente in direzione sud-est nei comuni di Caldiero e Zevio. È importante ricordare che il modello del Distretto non ha schematizzato il Torrente Prognolo e il Fosso Dugale, nonché la rete secondaria minore, e che pertanto la capacità di drenaggio naturale delle aree in destra Illasi risulta probabilmente sottostimata dal modello del Distretto.

Propagandosi nei territori e lungo la rete dei canali del bacino Zerpano le acque di esondazione si laminano e arrivano, seguendo la pendenza naturale del terreno e della rete di scolo, a ridosso dell'argine destro del torrente Alpone in località Zerpa dove trovano un importante impianto idrovoro del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta in grado di sollevare in Alpone fino a 7 m<sup>3</sup>/s (PGBBT, 2011).

Tra il torrente Illasi e il torrente Alpone la linea AV/AC è posizionata in aree a classe di rischio prevalentemente R1 e tirante 0÷0.5 m. Inoltre, al fine di garantire la trasparenza idraulica lungo il tracciato sono stati posizionati numerosi tombini Φ 150 cm e scatolari a servizio degli scoli consortili e privati.

Circa 800 m a nord dell'intersezione della linea AV/AC con il t. Alpone le carte del Distretto segnalano importanti allagamenti con possibile/simulata formazione di rotte, sia in destra che in sinistra Alpone, in particolare nei pressi del ponte della Motta nel comune di San Bonifacio. A tale riguardo, si precisa, tuttavia, che il Ponte della Motta, che causava tracimazioni e rotte, non costituisce più un ostacolo alla corrente essendo stato rimosso nel 2015 e sostituito con un ponte sollevabile in caso di piena. Al fine di non interferire negativamente con il fronte di esondazione generato dalle citate tracimazioni/rotture il tracciato dell'AV/AC si sviluppa in viadotto.

Rispetto alla configurazione del 2010 e del 2013, le sezioni del torrente Alpone a valle di San Bonifacio e, in generale, le sezioni del sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna, sono state oggetto di rialzi e ringrossi arginali, già conclusi e collaudati. Inoltre, nei tratti a monte del nodo idraulico è stata realizzata una cassa di espansione delle piene dell'Alpone, una è in corso di realizzazione e altre 2 sono finanziate e in fase di appalto. Per questi motivi, nel tratto a sud di San Bonifacio le rappresentazioni del PGRA aggiornate al 2015 sono da considerare superate dai lavori effettuati e/o in corso di realizzazione (le casse) da parte della Regione Veneto. Si sottolinea che l'argine sinistro del t. Chiampo sembrerebbe più alto di quello destro per scongiurare assolutamente le tracimazioni verso sud e piuttosto contenerle nella regione di confluenza.

Si ribadisce, come già segnalato nel capitolo 1, che le rappresentazioni del PGRA non hanno, al momento, valore urbanistico o pianificatorio alternativo o sostitutivo del PAI vigente, ma lo avranno al termine dell'aggiornamento del PGRA stesso, ora in corso, previsto per la fine del 2021. Si segnala ancora, che le rappresentazioni del Distretto sono influenzate dagli scenari di simulazione che vedono la presenza "libera" di rotte arginali (cautelative e non sempre "totalmente realistiche") con finalità di Protezione Civile, a prescindere forse dalla attuale configurazione delle difese di sponda delle sezioni.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 14 di 134</p>

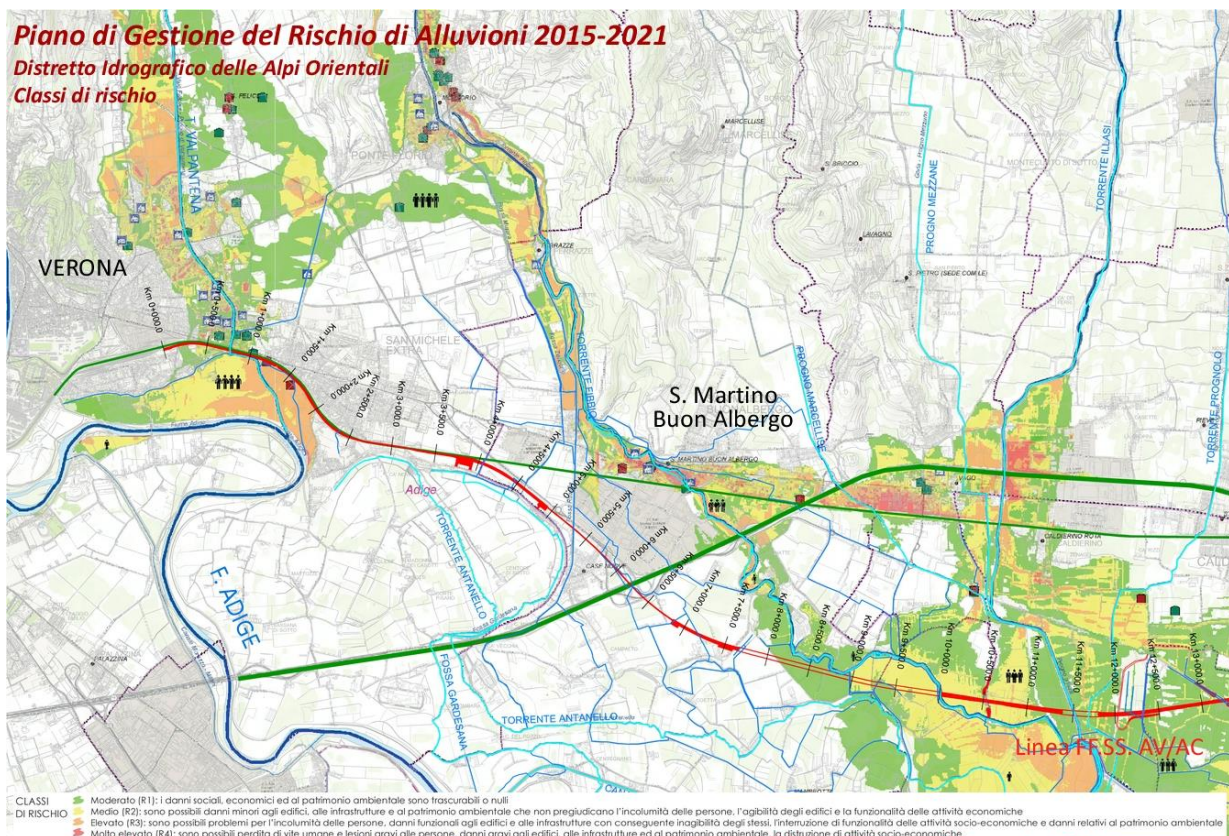
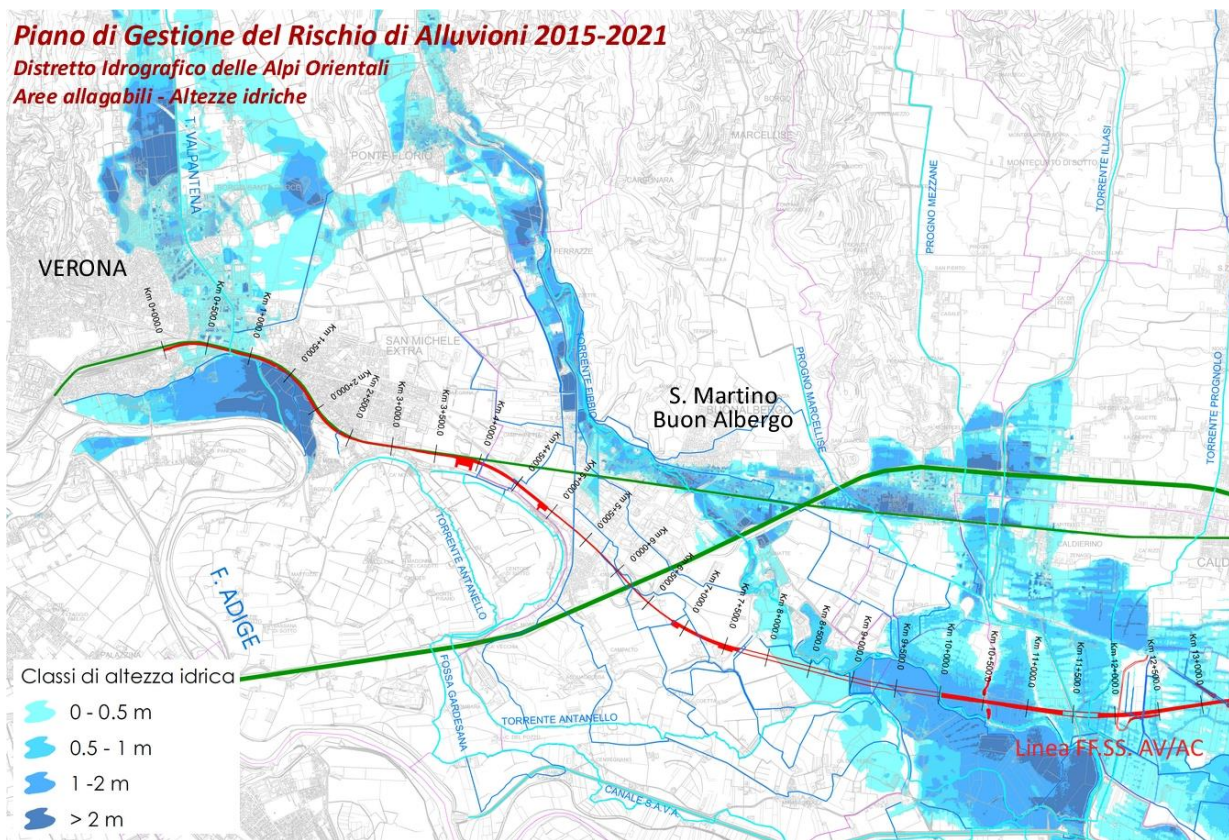


Fig. 3.2 - Particolari delle mappe del PGRA (Tr=300 anni) del Distretto Alpi Orientali con sovrapposto il tracciato della linea AV/AC. In alto la rappresentazione dei possibili tiranti idrici. In basso la rappresentazione del possibile rischio.

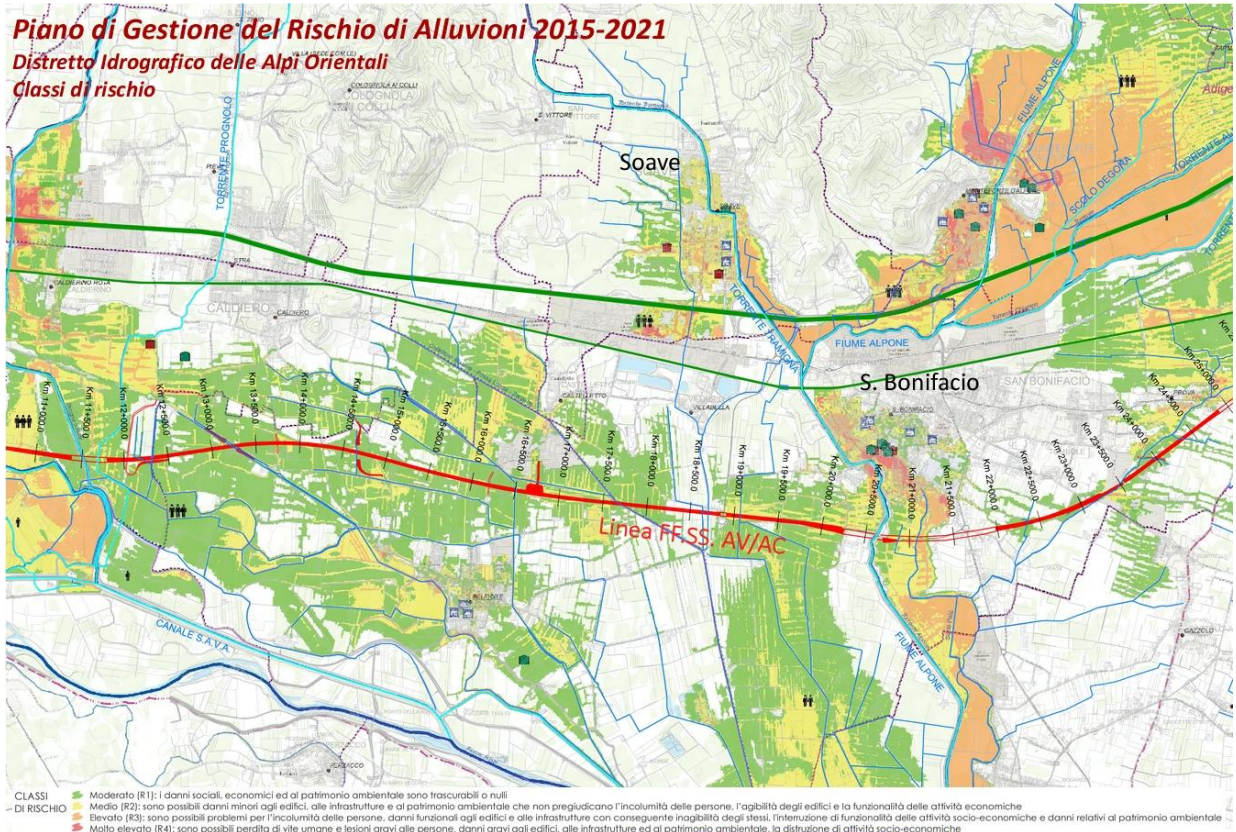
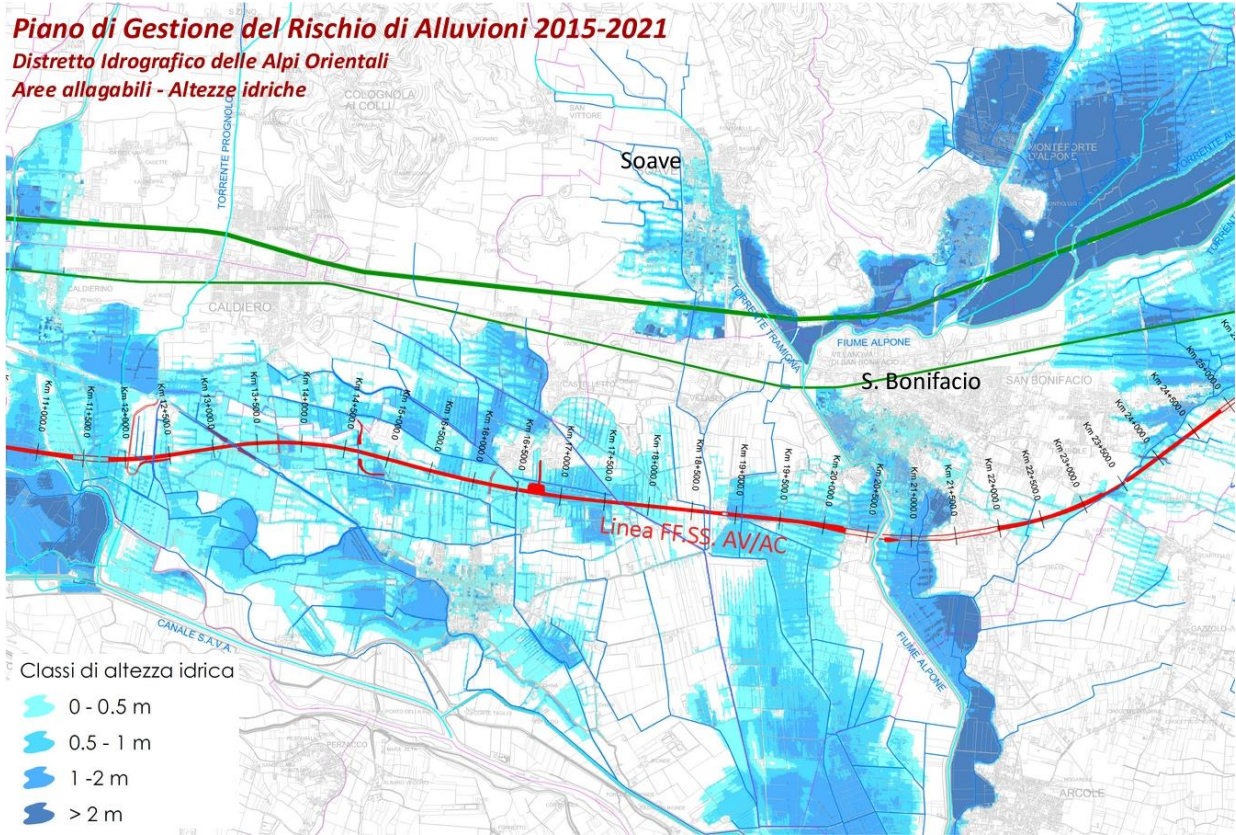


Fig. 3.3 - Particolari delle mappe del PGRA (Tr=300 anni) del Distretto Alpi Orientali con sovrapposto il tracciato della linea AV/AC. In alto la rappresentazione dei possibili tiranti idrici. In basso la rappresentazione del possibile rischio.

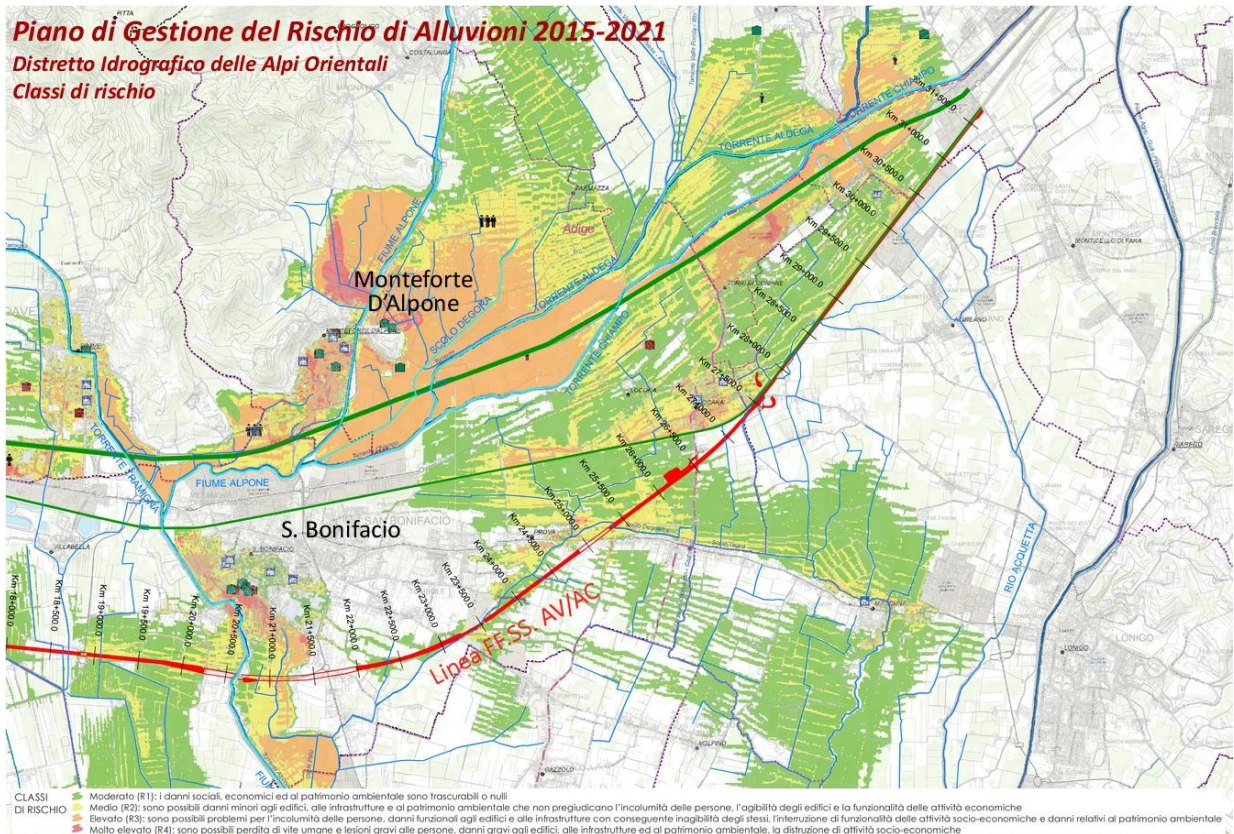
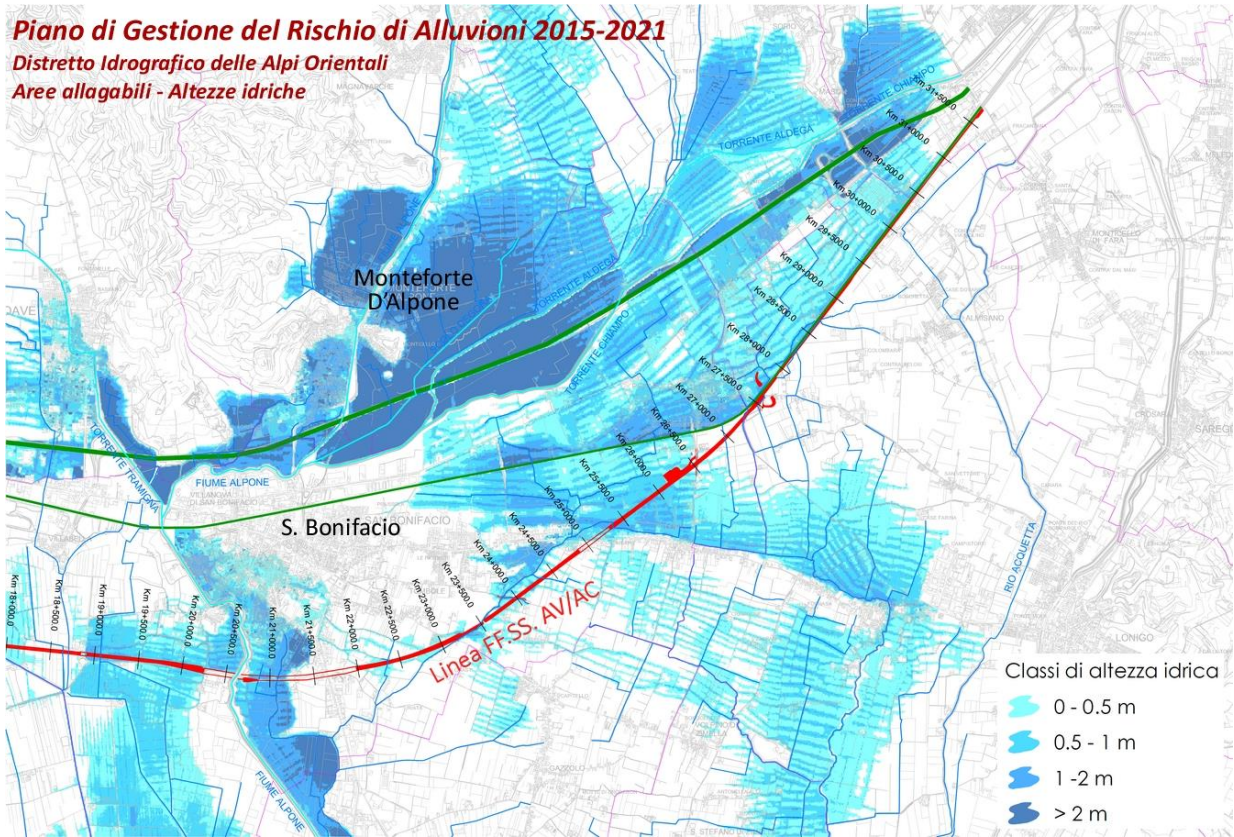


Fig. 3.4 - Particolari delle mappe del PGRA (Tr=300 anni) del Distretto Alpi Orientali con sovrapposto il tracciato della linea AV/AC. In alto la rappresentazione dei possibili tiranti idrici. In basso la rappresentazione del possibile rischio.



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 17 di 134

### 3.3 Il P.G.B.T.T. del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta

Il Consorzio di Bonifica ha completato nel luglio 2011 il Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio e lo ha adottato poi nell'ottobre dello stesso anno.

Un estratto della "carta delle criticità idrauliche" è riportato in Fig. 3.5. Il documento non specifica il tempo di ritorno a cui la tavola si riferisce, ma è probabile che non sia superiore a 30 anni.

Sono segnalate criticità lungo il t. Fibbio, a Montorio e Ferrazze (area Z2), assai minori in realtà di quelle prodottesi nell'evento del maggio 2013, nel f. Antanello, in località Centore e Casetta (area Z1, bassura in paleo alveo Adige), nei t. Illasi e Prognolo, a nord della Sp38 Porcilana in Comune di Caldiero (area Z3) e attorno al centro abitato omonimo (area Z4), nel bacino Zerpano, in Comune di Belfiore, tutt'attorno all'idrovora Zerpa (aree Z6, Z7 e Z8) e in un'area prossima agli scoli Dugale-Sereghetta-Ponte Rotto.

Nel sistema del Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna sono evidenziate criticità nei comuni di Soave, Monteforte e Gambellara nei pressi della confluenza Tramigna-Alpone e in aree afferenti alle idrovore Degora, Gambellara e Costalunga (aree Z11, Z12, Z13 e Z14). Al confine tra il Comune di San Bonifacio e Arcole sono segnalate criticità nella rete minore che afferisce al f. Togna (aree Z16 e Z19).

Per queste criticità, nel PGBTT il Consorzio di Bonifica ha individuato anche gli interventi necessari. Molti sono stati realizzati: per esempio, con riferimento alle problematiche qui di interesse, a) quello di sistemazione del fiume Fibbio nel 2012-2013 con l'eliminazione di alcune strozzature e la realizzazione di bypass e l'automatizzazione dei sostegni idraulici e b) quello di potenziamento dell'idrovora Zerpa a difesa dei territori del Comune di Belfiore.

L'evento del Maggio 2013 nel bacino Zerpano ha messo in evidenza l'esistenza di criticità nei corsi d'acqua consortili Fibbio e Mezzane, affluente dell'Illasi.

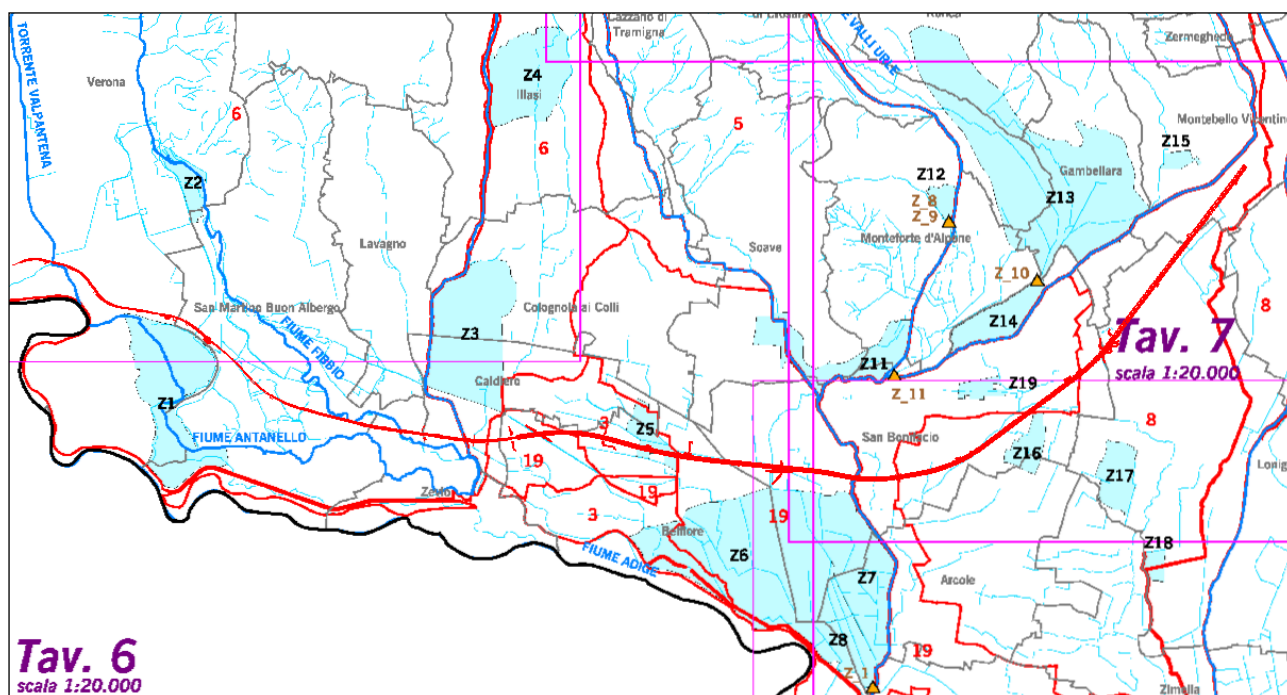


Fig. 3.5 - Particolare della Carta delle Criticità Idrauliche del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta con sovrapposto il tracciato della linea AV/AC.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 18 di 134</p>	

### 3.4 Eventi eccezionali

#### 3.4.1 Novembre 2010 e Maggio 2013

Risulta significativo evidenziare (Fig. 3.6, Fig. 3.7, Fig. 3.8) le aree allagate durante gli eventi del 2010 e del 2013, in quanto essi sono stati molto importanti sia per il sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna, sia per i corsi d'acqua della Lessinia (Fibbio e Illasi).

Un'analisi sulle piogge cadute in 24 ore ha evidenziato che nella Lessinia e nel sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna l'evento del 15÷17 maggio 2013 (con circa 210 mm di pioggia in 24 ore) è stato gravoso come quello del 3-6 Ottobre 1992 e più gravoso di quello del novembre 2010.

Risulta interessante evidenziare che l'unico corso d'acqua maggiore che non è stato messo in crisi negli eventi del 2010 e/o 2013 è il t. Illasi.

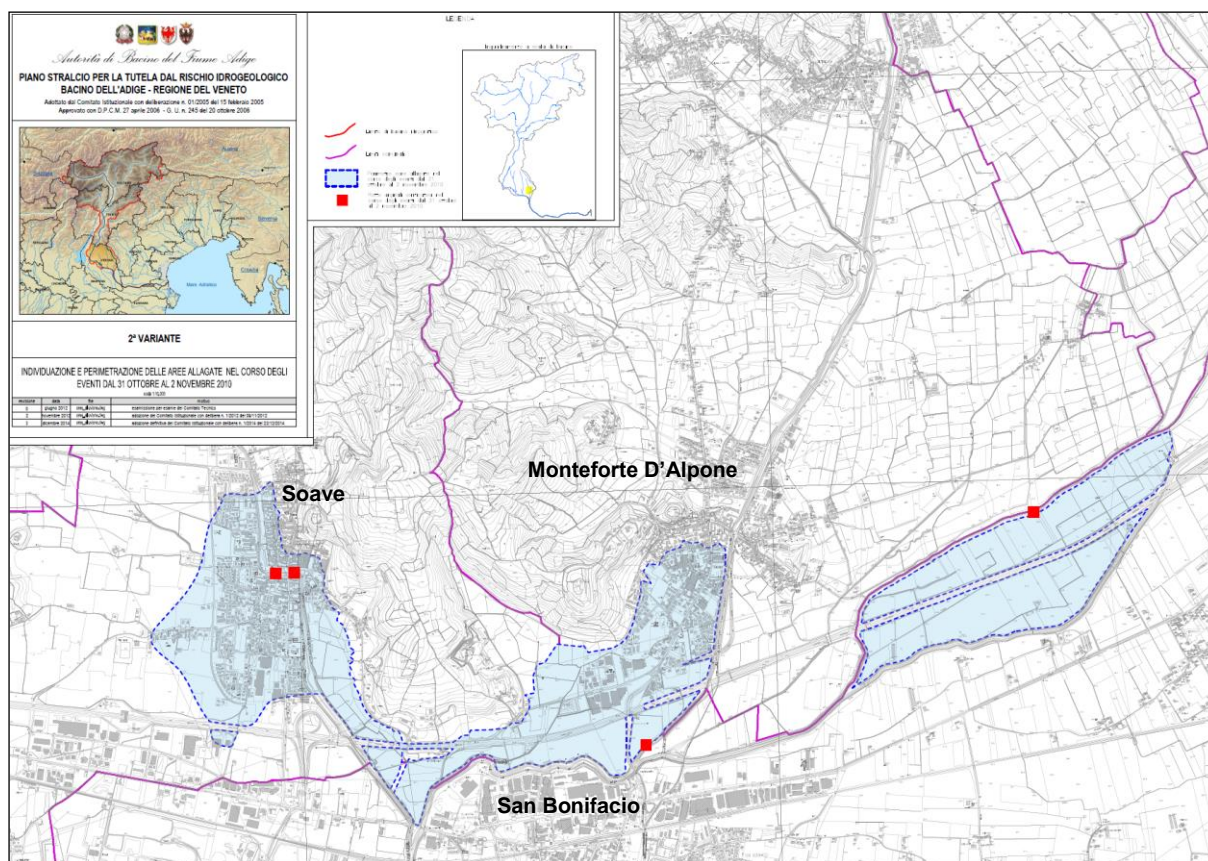


Fig. 3.6 - Aree allagate dal sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna durante la piena del 2010 a monte del nodo di San Bonifacio. In rosso le posizioni delle rotte arginali.

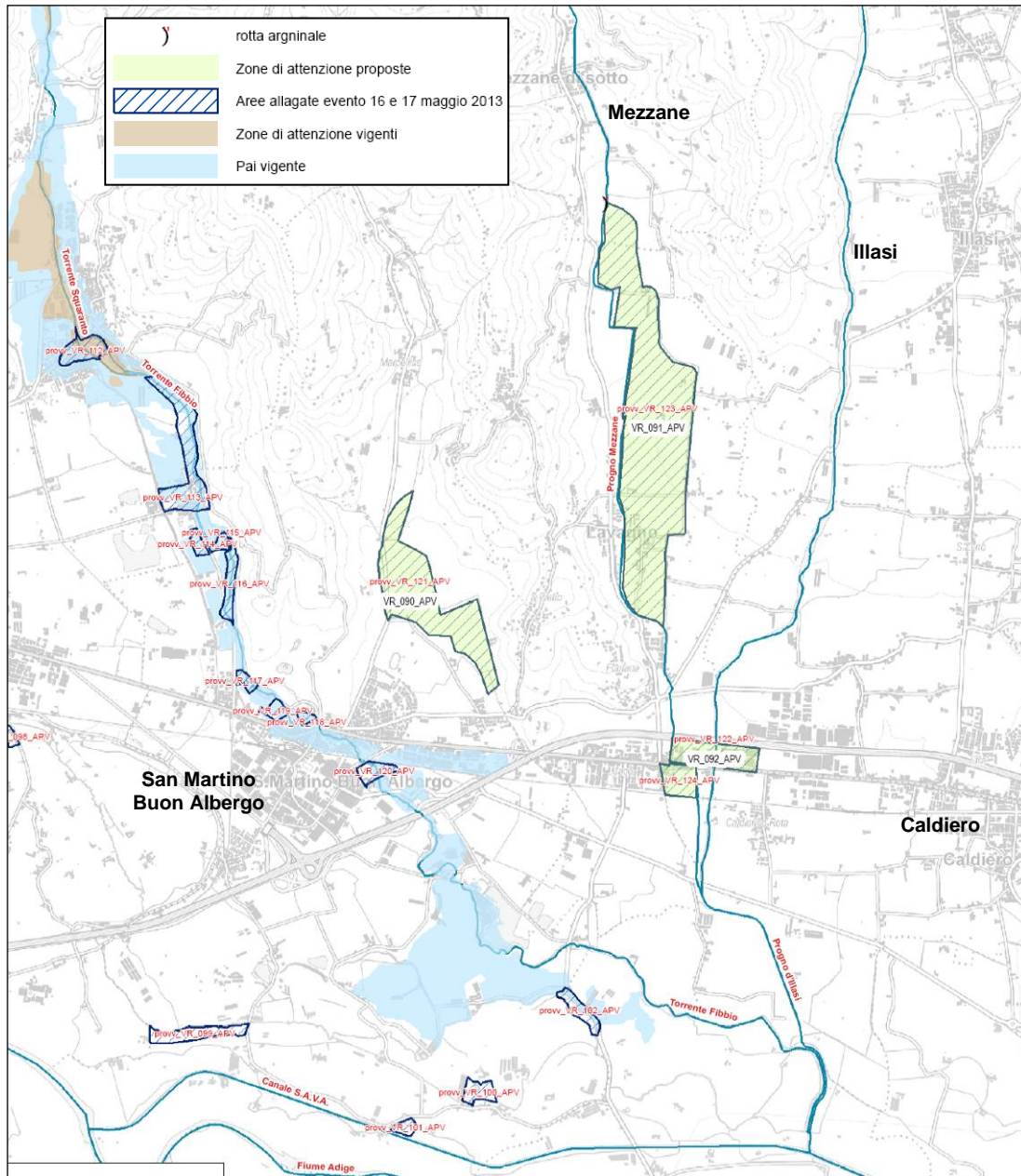


Fig. 3.7 - Aree allagate (in retino blu) nel bacino del Figgio e del Mezzane durante la piena del maggio 2013. In azzurro il PAI (fonte: Autorità di Bacino, Giugno 2013).



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 21 di 134

geometrie delle sezioni e della morfologia del territorio profondamente mutate nel corso del tempo. E' di interesse notare peraltro a) la posizione della rotta dell'Illasi, b) la direzione sud-est del fronte di allagamento, come anche la cartografia del PGRA lascia intravedere, e c) le precipitazioni generanti non superiori a 200 mm=300 mm nella settimana dall'11 al 18 settembre 1882.

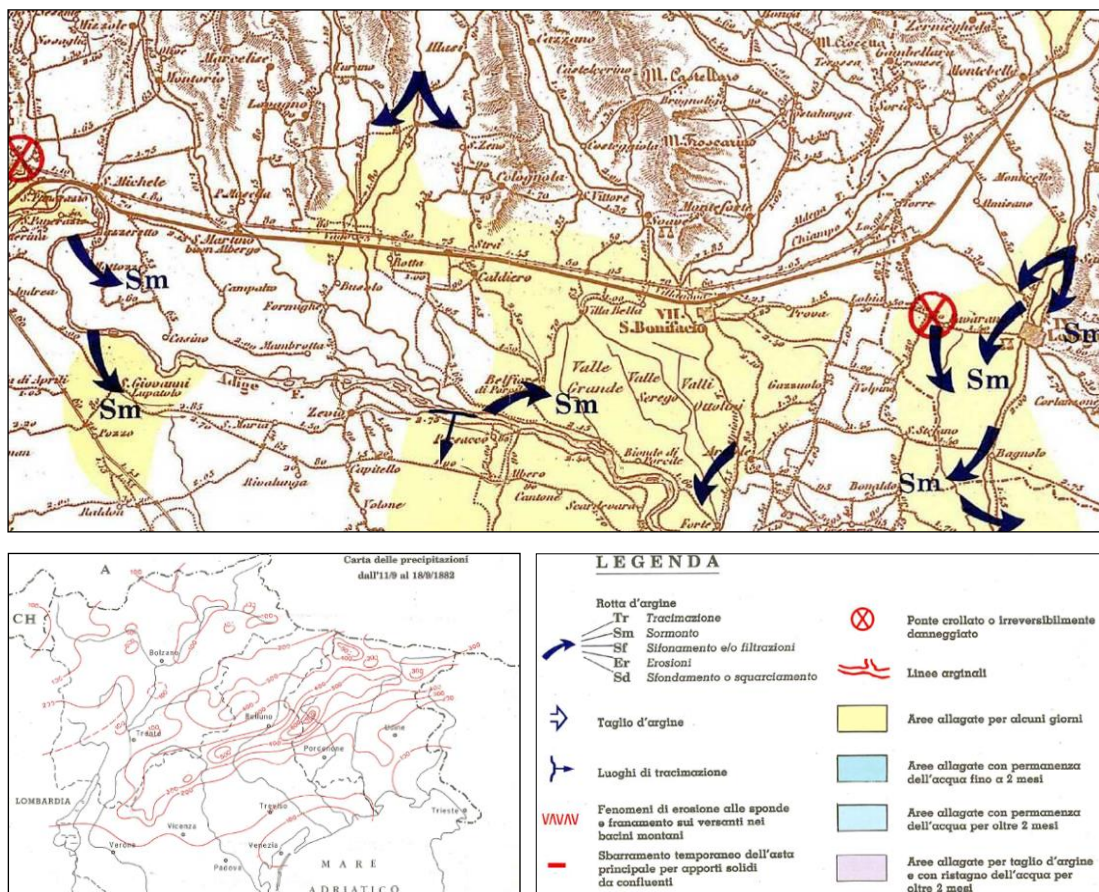


Fig. 3.9 - Aree allagate, evidenziate in colore giallo chiaro, durante la storica e catastrofica piena del settembre 1882.

### 3.5 Il “Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico” della Regione Veneto

Con DGRV 1643 del 11-10-2011 la Regione del Veneto ha preso atto del Piano degli Interventi redatto dal Commissario Delegato ex OPCM 3906/2010, a seguito dell'evento alluvionale del 31 ottobre - 2 novembre 2010 che ha colpito i bacini idrografici del Bacchiglione, dell'Agno-Guà e del Chiampo-Alpone.

Nel Piano, per il sistema Chiampo-Alpone-Aldegà-Tramigna, sono previsti alcuni interventi non strutturali:

- la disconnessione idraulica del t. Tramigna dal t. Alpone;
  - il rifacimento e la sistemazione dei muri di contenimento nell'abitato di Soave;
- e quattro interventi strutturali per la riduzione delle portate della rete principale:
- la destinazione del bacino di San Lorenzo quale cassa di espansione del t. Tramigna (0.8 milioni di m<sup>3</sup>) – ID PIANO 991;

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 22 di 134

- la destinazione di un settore del bacino di Montebello, opportunamente ampliato, alla laminazione del t. Chiampo (4.5 milioni di m<sup>3</sup>) – ID PIANO 454;
- la realizzazione del bacino della Colombaretta (0.9 milioni di m<sup>3</sup>) per la laminazione delle piene del t. Alpone – ID PIANO 999;
- destinazione del bacino naturale di San Vito alla laminazione delle piene dell'Aldegà e del Chiampo (2.0 milioni di m<sup>3</sup>) – ID PIANO 992.

Gli interventi non strutturali di Piano sono stati da tempo completati assieme, come già detto, ad un sistematico rinforzo/ringrosso/rialzo degli argini dei corsi d'acqua sulla base dei livelli registrati nelle piene 2010 e 2013 e di un adeguato franco. Per quanto riguarda gli interventi strutturali di Piano, la situazione, con riferimento allo "Stato dell'arte al 23 luglio 2020" dei bacini di laminazione delle piene reso pubblico dalla Direzione Difesa del Suolo della Regione Veneto, è la seguente:

- Bacino di San Lorenzo: Opera finanziata - Lavori in corso - Avanzamento lavori 35 % - Fine lavori prevista 06/2021.
- Bacino della Colombaretta: Opera finita – Consegna lavori 31.03.2016 – Lavori ultimati 10.2018 – Collaudi in fase di conclusione.  
Il bacino è sostanzialmente in esercizio.
- Ampliamento bacino di Montebello: Opera finanziata (finanziamento in fase di perfezionamento) - Progettazione esecutiva in corso (fine prevista 10/2020) - In fase di definizione il finanziamento per il 1° lotto funzionale delle opere afferente il bacino a servizio del torrente Chiampo.
- Bacino di San Vito: Opera non finanziata - Progetto preliminare approvato il 26/07/2012.  
Attualmente l'area del bacino può essere allagata in modo naturale, per sormonto delle arginature, in occasione delle piene importanti del Chiampo e dell'Aldegà.

Il Piano non prevede gli interventi necessari per la messa in sicurezza del sistema Fibbio-Illasi, in quanto il sistema non è stato messo in crisi dall'evento del Novembre 2010. Di seguito si riportano, per completezza di esposizione, alcune proposte avanzate sul territorio ai fini del miglioramento della sicurezza idraulica del sistema.

Dopo l'evento del maggio 2013 il Comune di San Martino Buon Albergo e il Consorzio di Bonifica hanno proposto di realizzare nel Fibbio-Squaranto due casse di espansione: una nel Vaio Squaranto a monte di Montorio in loc. Pigozzo avente volume di circa 600'000 m<sup>3</sup> e una nel Fibbio in località Ferrazze, di volume non ancora definito, invasando presso la cava di ghiaia esistente.

L'unico intervento suggerito recentemente sul t. Illasi è costituito dall'abbassamento di 1÷2 m del profilo del fondo dall'immissione in S.A.V.A. fino al ponte di Tregnago (6 km a nord di Illasi) per una lunghezza di circa 15 km con contestuale rivestimento delle sponde nel tratto approfondito, la ristrutturazione delle briglie, qualche pennello di regimazione, un ponte e la chiusura/protezione di alcuni guadi. L'intervento è stato proposto nel 2009 come intervento in Project Financing ed ha ottenuto parere favorevole di compatibilità ambientale con DGRV 1010 del 23-03-2010.

Attualmente è in corso la progettazione della sistemazione dell'Illasi, con interventi che prevedono l'abbassamento del fondo alveo.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 23 di 134	

#### 4 COSTRUZIONE DEL MODELLO IDRAULICO UNI-BIDIMENSIONALE NELLA TRATTA VERONA – MONTEBELLO VICENTINO

La nuova linea ferroviaria nel tratto Verona-Montebello attraversa corsi d'acqua e territori che fanno parte di cinque differenti sistemi idrografici, vale a dire il Valpantena e il Fibbio-Illasi-Sava, nella parte ovest della tratta, il Biniega-Sarega e lo Zerpano, nella parte centrale, il Chiampo-Alpone e il Togna-Fratta, nella parte est. Per valutare le condizioni di deflusso delle massime portate in questi sistemi idrografici è stato inizialmente messo a punto per ciascuno di essi un modello idrodinamico uni-bidimensionale costituito dagli alvei dei corsi d'acqua principali e secondari e dai terreni ad essi adiacenti. Una volta eseguite le simulazioni di calcolo preliminari, si è tuttavia deciso di fondere i reticoli di calcolo in uno solo, comprensivo dell'intero territorio indagato con tutti i relativi corsi d'acqua considerati, computazionalmente molto più oneroso, ma alla fine più opportuno dal momento che le acque che esondano dagli alvei dei corsi d'acqua passano, in grandi quantità, da un bacino ad un altro attraverso la rete idrografica secondaria.

Il territorio modellato si estende per circa 230 km<sup>2</sup>.

Le indagini modellistiche condotte sia per la situazione ante-operam, sia per quella di progetto, inserendo nel reticolo di calcolo le opere previste opportunamente schematizzate, hanno consentito di valutare, per confronto dei risultati ottenuti, gli effetti degli interventi stessi sul territorio attraversato dalla nuova linea ferroviaria, con tratte prevalentemente in rilevato, ma anche in trincea, in galleria e in viadotto, e in particolare le interferenze opera-acque di allagamento nel caso di esondazione dagli alvei dei corsi d'acqua, come generalmente richiesto in questi casi dagli Enti territoriali competenti e dalle Autorità di Bacino.

A tal riguardo, sono state eseguite simulazioni di calcolo considerando eventi di piena particolarmente gravosi per i sistemi idrografici di interesse, conseguenti a precipitazioni di diversa durata (6, 12, 24 ore) con tempo di ritorno di 100 e 300 anni. In aggiunta, in considerazione, dei contenuti del PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali che, per la redazione della cartografia delle aree allagabili e delle altezze idriche, tiene conto di configurazioni con rotte arginali, sono state ipotizzati ulteriori scenari per valutare anche gli effetti di rotte arginali che si dovessero verificare lungo i tratti dei corsi d'acqua arginati e/o pensili a seguito di episodi di tracimazione.

Le simulazioni di calcolo sono state, infine, ripetute per alcuni eventi di piena, tenendo anche conto degli interventi in corso di realizzazione e/o in programma, da parte della Regione Veneto, nel territorio in esame, in particolare nel bacino del Chiampo-Alpone, per ridurre, mediante invaso temporaneo delle acque in eccesso entro appositi bacini di laminazione, le portate in arrivo nei tratti di valle dei corsi d'acqua principali. A tale riguardo, si osserva che il bacino di laminazione della Colombaretta, previsto nel "Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico" della Regione Veneto (vedi paragrafo 3.5), posizionato in adiacenza all'alveo del T. Alpone a monte di Monteforte d'Alpone, è stato recentemente completato ed è quindi utilizzabile per ridurre le portate fluenti nel tratto di valle dell'Alpone stesso. Gli effetti di tale intervento sono stati quindi considerati fin da subito nelle configurazioni ante-operam e di progetto della modellazione.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 24 di 134	

## 4.1 Dati cartografici e rilievi topografici

Per l'estensione al Valpantena, le integrazioni e gli aggiornamenti del modello idraulico dei sistemi idrografici attraversati dalla linea ferroviaria AV/AC nella tratta Verona-Montebello, si è ovviamente tenuto conto dell'insieme dei dati di carattere cartografico e topografico forniti a suo tempo dai diversi Enti territoriali competenti e allora utilizzati per predisporre il modello a supporto del Progetto Definitivo dell'opera. Si tratta, in particolare, dei dati di interesse riportati nei seguenti documenti:

- “elementi” della Carta Tecnica Regionale Numerica della Regione Veneto rappresentati nella scala 1:5000 (elementi 124092, 124102, 124103, 124112, 124113, 124122, 124123, 124131, 124132, 124141, 124142, 124143, 124144, 124151, 124152, 124153, 124154, 124161, 124162, 124163, 124164, 125092, 125093, 125131, 125132, 125133, 125134, 145011, 145021, 145024, 145031, 145032, 145033, 145034, 145041, 145042, 145043, 145044, 145081, 145083, 145084, 146011, 146012, 146013, 146014);
- “ortofotocarte” del fotopiano IT2006 della Regione Veneto in scala 1:10000 (n. 124130, 124140, 124150, 124160, 125130, 145010, 145020, 145030, 145040, 145080, 146010, 146050);
- “ortofotocarte” del fotopiano AGEA2012 in scala 1:10000 (n. 124090, 124100, 124110, 124120, 124130, 124140, 124150, 124160, 125090, 125130, 145010, 145020, 145030, 145040, 145050, 145060, 145070, 145080, 145090, 145100, 145110, 145120, 146010, 146050, 146090);
- foto satellitare del marzo-aprile 2015 acquisita dai servizi Google (Google Maps zoom 18), opportunamente centrata e georeferenziata sull'area di studio;
- rilievo eseguito con tecnica laser scanner (LIDAR) acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A) e della sua Estensione (PST-A Estensione 2008) sotto forma di quadri con risoluzione 1x1 m di tipo DTM (Digital Terrain Model), che consentono di descrivere con notevole dettaglio l'altimetria dell'area di indagine, essendo chiaramente distinguibili i corsi d'acqua, gli scoli e i fossati con i relativi attraversamenti stradali e ferroviari, i rilevati, le strade, ecc.;
- modello digitale del terreno DTM con risoluzione 5x5 m della Regione Veneto (quadri n. 124130, 124140, 145010, 145020, 145030, 145040, 145080), limitatamente all'area non coperta dal rilievo LIDAR;
- planimetria con il piano quotato del rilievo eseguito a cura di ATI Bonifica come supporto alla progettazione su una fascia di circa 600 m a cavallo della nuova infrastruttura ferroviaria, a risoluzione variabile;
- “Campagna di rilievi dell'asta del torrente Alpone dal capoluogo del comune di Montecchia di Crosara fino alla confluenza in Adige” eseguiti nel corso del 2004 per conto del Genio Civile di Verona. Si tratta di n. 246 sezioni, numerate dal n. 01 al n. 198, e di n. 18 sezioni dei manufatti che attraversano il corso d'acqua nel tratto compreso tra Montecchia di Crosara (sezione n. 198), a nord, e la confluenza con l'Adige (sezione n. 01), a sud. Il Genio Civile di Verona ha inoltre provveduto nel corso del 2011 alla realizzazione di un aggiornamento plano-altimetrico del rilievo originale, seguito nel corso del 2015, da un secondo aggiornamento a seguito degli interventi di sistemazione idraulica già eseguiti lungo l'asta del torrente;
- sezioni topografiche dell'Alpone, rilevate nel corso del 2011 per conto del Genio Civile di Verona nel tratto compreso tra il ponte della Circonvallazione e il ponte della Rezzina (sez.-C1 – sez.-C39), a cavallo della confluenza con il Chiampo (sezione01-sezione08) e nel tratto tra il ponte della Rezzina e il ponte della S.R.



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 25 di 134

n. 11 (SEZ 1-SEZ 95). Il Genio Civile di Verona ha provveduto più recentemente ad un aggiornamento del rilievo topografico originale a seguito degli interventi di sistemazione idraulica già eseguiti lungo l'asta del torrente;

- sezioni topografiche trasversali del Chiampo, rilevate nel corso del 2011 per conto del Genio Civile di Verona nel tratto compreso tra località San Vito, circa 1200 m a monte dell'attraversamento dell'autostrada A4, e la confluenza con l'Alpone (sezioni n. 1-269). Le sezioni sono state di recente aggiornate a cura del Genio Civile di Verona, a seguito degli interventi di sistemazione idraulica già eseguiti lungo questo tratto del fiume;
- restituzione planimetrica a curve di livello e n. 152 sezioni trasversali del rilievo topografico dell'Aldegà, nel tratto compreso tra la confluenza con il colatore Arzarino in località San Vito e la confluenza con il Chiampo, effettuato per conto del Genio Civile di Verona nel corso del 2011. Le sezioni trasversali sono state di recente aggiornate a seguito degli interventi di sistemazione idraulica già eseguiti a cura del Genio Civile di Verona;
- restituzione planimetrica a curve di livello e n. 66 sezioni trasversali del rilievo topografico del Tramigna, nel tratto compreso tra il ponte di via Ca' del Bosco a nord dell'abitato di Soave e la confluenza con l'Alpone, eseguito per conto del Genio Civile di Verona nel corso del 2011;
- sezioni trasversali del Progno Mezzane (325 sezioni) e del torrente Illasi (60 sezioni) estratte da modello Mike Flood, relativamente alla sola componente monodimensionale, a cura dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali nell'ambito delle attività a supporto della redazione del PGRA;
- rilievo topografico dell'argine sinistro del tratto terminale del torrente Illasi (75 punti) eseguito a cura dell'Autorità di Bacino nel corso del 2013, a seguito degli interventi di rialzo arginale eseguiti dal Genio Civile di Verona;
- sezioni topografiche trasversali e profilo longitudinale del fiume Fibbio, rilevate per conto del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta nel tratto compreso tra località Ferrazze e lo sbocco nel canale SAVA (sezioni 1-122), nell'ambito dello studio "Lavori di adeguamento dell'alveo e regimazione delle piene del fiume Fibbio – Progetto esecutivo 1° stralcio";
- sezioni topografiche trasversali e profilo longitudinale del torrente Rosella, rilevate per conto del Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta nel tratto compreso tra località Ferrazze e lo sbocco nel torrente Antanello (sezioni 1-32), nell'ambito dello studio "Lavori di adeguamento dell'alveo e regimazione delle piene del fiume Fibbio – Progetto esecutivo 1° stralcio";
- schema idraulico generale del sistema Fibbio-Squaranto redatto nell'ambito dello studio geologico del PAT del Comune di San Martino Buon Albergo a cura di Studio Tecnico Zangheri & Basso;
- sezioni topografiche trasversali e profilo longitudinale del fiume Fibbio in corrispondenza dello sbocco nel canale SAVA (sezioni 1-14), rilevate nel corso del 2013 nell'ambito della "Domanda di concessione per un nuovo impianto idroelettrico alla confluenza dei torrenti Fibbio, Antanello e Illasi – Progetto definitivo" a cura di Technital S.p.A.;

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 26 di 134

- profilo longitudinale del canale SAVA dalla presa alla restituzione in Adige eseguito a cura di Enel Green Power nel corso del 2013 nell'ambito del progetto di "Adeguamento delle opere di presa della centrale idroelettrica Enel Green Power di Zevio per il rilascio del deflusso minimo vitale con recupero energetico";
- rilievi topografici integrativi, appositamente eseguiti nell'ambito del presente studio, al fine di rilevare manufatti e sezioni di particolare interesse idraulico. Sono state portate a termine 4 campagne di misura nelle giornate del 2, 4, 9 e 11 dicembre 2015 durante le quali sono stati eseguiti 45 rilievi classificati in 3 tipologie: rilievo schematico di un manufatto, rilievo schematico di una sezione e rilievo completo di una sezione.

Per le attività di estensione, aggiornamento e rifacimento parziale del modello idraulico realizzato per il Progetto Definitivo, in aggiunta a quelli sopra elencati, si sono qui utilizzati i dati riportati nei seguenti documenti:

- foto satellitare del marzo 2020 acquisita dai servizi Google (Google Earth), opportunamente centrata e georeferenziata sull'area di studio;
- sezioni topografiche del Valpantena, rilevate nel corso del 2005 per conto del Genio Civile di Verona nel tratto compreso tra Stallavena e Verona, allo sbocco del torrente nella golena sinistra dell'Adige, (sez.1-sez.198);
- sezioni topografiche del Valpantena, rilevate nel corso del 2015 per conto del Genio Civile di Verona nel tratto compreso tra Grezzana e Quinto (sez.1-sez.72) e nel tratto tra Poiano e Verona (25 sezioni di controllo rispetto a quelle eseguite nel 2005);
- sezioni topografiche del Valpantena, rilevate nel corso del 2020 per conto del Genio Civile di Verona nel tratto compreso tra Grezzana e Quinto a supporto del Progetto degli "Interventi per il ripristino, il consolidamento e la ricostruzione delle opere idrauliche del torrente Valpantena in tratte saltuarie tra i comuni di Grezzana e Verona";
- le planimetrie e alcune sezioni tipiche del progetto di Veneto Strade per il "Collegamento tra la tangenziale est e la SP n.6 dei Lessini in comune di Verona", nell'ambito del quale era prevista ed è stata realizzata la deviazione, con eliminazione della pensilità, del Progno di Valpantena per una lunghezza complessiva di circa 700 m a sud dell'abitato di Quinto;
- la planimetria con il piano quotato del rilievo celerimetrico eseguito a cura della Committenza nel 2020 come supporto alla progettazione su una fascia di circa 200 m a cavallo della nuova infrastruttura ferroviaria, a risoluzione variabile;
- i rilievi topografici integrativi, appositamente eseguiti a supporto del progetto, al fine di rilevare le sezioni dei corsi d'acqua nei tratti a cavallo della nuova opera (oltre 400 sezioni) e i manufatti esistenti di particolare interesse idraulico (quasi 60, di cui 47 utilizzati per lo schema del modello).

In Fig. 4.1 è illustrata la mappa del territorio indagato secondo una rappresentazione a luci e ombre e a scala di colori dei dati altimetrici rilevati in volo con la tecnica laser-scanner (LIDAR) ed elaborati, operando una filtrazione dei dati raccolti per escludere nella restituzione gli elementi che si sviluppano in elevazione (edifici, alberi, ecc.), in modo da rappresentare al meglio la superficie tridimensionale del terreno da utilizzare nella costruzione del reticolo di calcolo. In tale rappresentazione della superficie tridimensionale del terreno sono

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 27 di 134

riconoscibili, tra l'altro, le zone collinari, le incisioni sul terreno costituite dagli alvei dei corsi d'acqua e lo sviluppo in elevazione dei rilevati arginali, stradali e ferroviari.

Nella Fig. 4.2 sono riportati, a titolo esemplificativo, alcuni particolari della mappa del territorio, secondo la rappresentazione a luci e ombre e a scala di colori dei dati elaborati, da cui si evince il notevole dettaglio con cui il rilievo LIDAR consente di descrivere l'altimetria dell'area di indagine, essendo chiaramente distinguibili gli alvei e le arginature dei corsi d'acqua, i rilievi collinari, le infrastrutture viarie con i punti di attraversamento della rete idrografica. In particolare, nella parte superiore della figura si riesce a cogliere nella mappa del rilievo la confluenza Tramigna-Alpone, mentre nella parte inferiore della figura stessa sono riportate la zona dell'abitato di Soave e la confluenza Chiampo-Alpone.

Per la schematizzazione dei corsi d'acqua si è fatto dapprima riferimento ai dati geometrici delle sezioni d'alveo estratte dal rilievo LIDAR. Tuttavia, poiché la tecnica laser scanner non consente di rilevare le quote in alveo al di sotto del livello dell'acqua, per definire le quote di fondo degli alvei stessi e per un successivo controllo delle quote arginali e di sponda, si è fatto riferimento, per i corsi d'acqua principali, Valpantena, Fibbio, Marcellise, Mezzane, Illasi, Prognolo, canale S.A.V.A., Alpone, Chiampo, Aldegà e Tramigna, ai dati geometrici delle sezioni d'alveo rilevati con operazioni a terra, resi disponibili dagli Enti territoriali competenti e dall'Autorità di Bacino e a quelli riportati nei documenti e negli elaborati dei progetti consultati.

Per la schematizzazione dei corsi d'acqua nei tratti in attraversamento della nuova linea ferroviaria si sono ovviamente utilizzati i dati topografici dei rilievi integrativi appositamente eseguiti a supporto della progettazione, mentre nelle parti a più lunga distanza dall'opera, per rappresentare le quote di thalweg del fondo dei canali e fossati inseriti nello schema di calcolo, facenti parte della rete idrografica secondaria, non essendo disponibili i dati sulla geometria degli alvei, si sono apportate correzioni variabili da 40 cm a 80 cm alle quote del rilievo LIDAR, poiché si è riscontrato che il rilievo LIDAR stesso è stato probabilmente eseguito in concomitanza di un periodo di magra dei deflussi e quindi con tiranti d'acqua ridotti nei canali stessi.

Ad ogni buon conto, con i rilievi integrativi eseguiti a supporto della precedente fase della progettazione, mediante opportune operazioni a terra, sono state sia verificate le quote di sponda e di fondo di molti canali secondari, sia misurate le dimensioni di molti manufatti idraulici presenti lungo i corsi d'acqua, in particolare quelli lungo il Fibbio, operando allora in quasi 50 tra nodi idraulici, sezioni e manufatti.

Le sezioni dei canali consortili e non consortili sono stati, in buona sostanza, inseriti nel modello sulla base dei dati Lidar 1x1, dei rilievi resi disponibili per il Progetto Esecutivo dell'infrastruttura (fascia di 200 m), dei rilievi integrativi appositamente eseguiti sia per la precedente fase della progettazione (Progetto Definitivo), sia per quella in corso (Progetto Esecutivo), di ulteriori sopralluoghi e rilievi speditivi condotti dagli scriventi e, infine, di alcuni rilievi e opere relativi a lavori del Consorzio eseguiti negli ultimi anni (t. Fibbio con i manufatti di sostegno e le fosse scolmatrici).

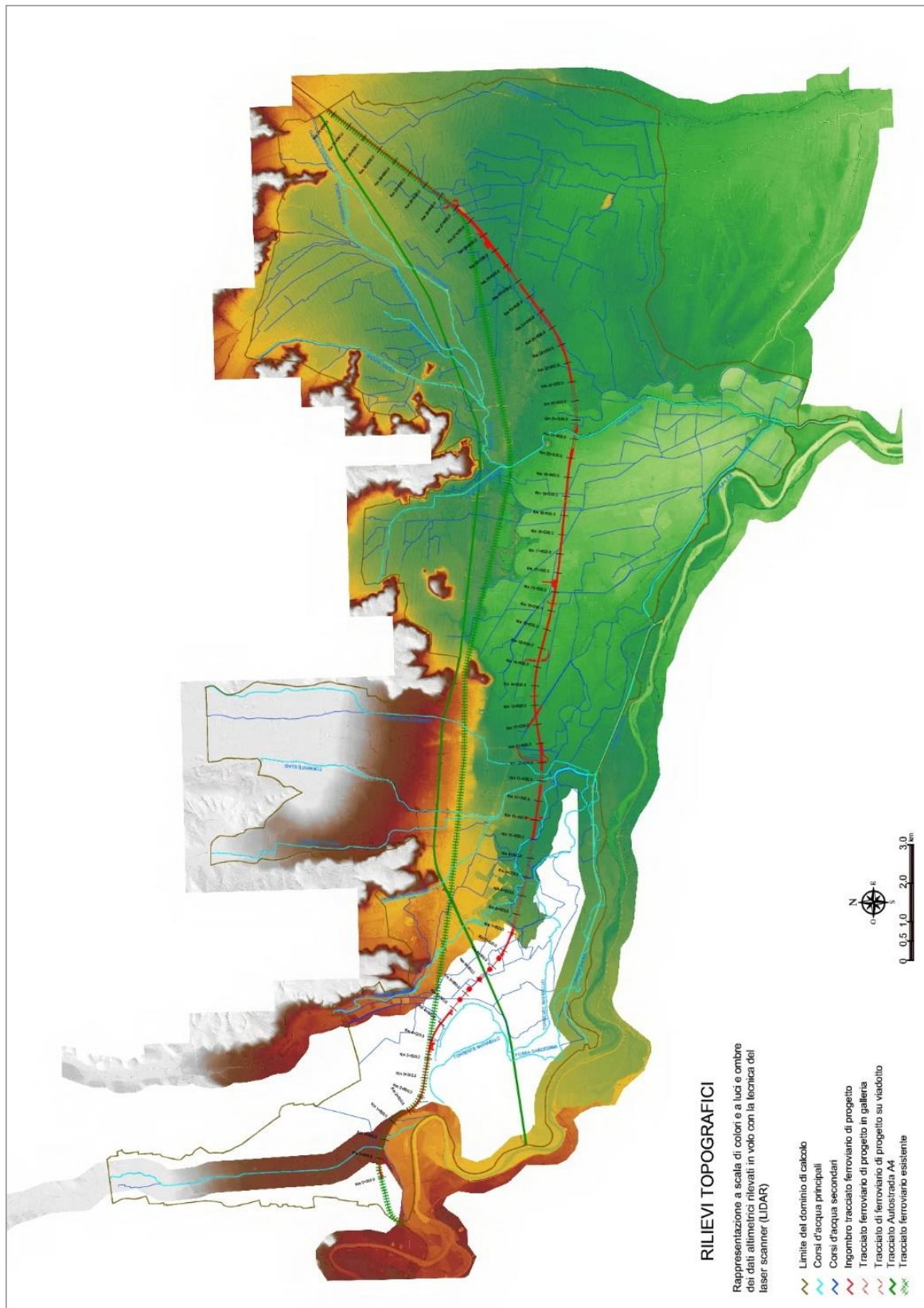


Fig. 4.1 - Corografia del territorio in esame indagato con il modello uni-bidimensionale (delimitato con una linea di colore marrone) nella rappresentazione a scala di colori ed a luci e ombre dei dati altimetrici originali rilevati in volo con la tecnica laser-scanner (LIDAR).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 29 di 134</p>



Fig. 4.2 - Particolari della rappresentazione a scala di colori ed a luci e ombre dei dati altimetrici originali rilevati in volo con la tecnica laser-scanner (LIDAR) nella zona della confluenza Tramigna-Alpone, nell'abitato di Soave e nella zona della confluenza Chiampo-Alpone.

## 4.2 Schematizzazione del reticolo idrografico

Sulla base dei dati raccolti e della modellazione predisposta a supporto del Progetto Definitivo dell'opera, si è proceduto all'estensione al Valpantena del modello stesso, all'aggiornamento e al rifacimento dello schema di calcolo con un superiore grado di dettaglio nella fascia di circa 500 m posta a cavallo della nuova linea ferroviaria, considerando il reticolo idrografico principale e minore dell'area di studio. Complessivamente, l'area

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 30 di 134

considerata nello schema di calcolo, evidenziato in Fig. 4.3, ha una superficie di poco inferiore a 230 km<sup>2</sup>. Il territorio modellato è stato schematizzato mediante elementi unidimensionali, per quanto riguarda i corsi d'acqua, ed elementi bidimensionali, per tutte le aree adiacenti potenzialmente allagabili.

Gli elementi bidimensionali, di forma triangolare, hanno dimensioni variabili, in modo tale da poter descrivere al meglio le variazioni altimetriche del terreno. Elementi di dimensioni maggiori sono stati utilizzati per le zone di territorio aperto, mentre elementi di dimensioni minori sono stati utilizzati per descrivere le zone caratterizzate da variazioni altimetriche più sensibili e per schematizzare la linea ferroviaria e le principali vie e strade che attraversano il territorio considerato. In Fig. 4.3 è, anche, rappresentata, con una scala di colori, l'altimetria del reticolo di calcolo messo a punto utilizzando le quote altimetriche del rilievo LIDAR e, per la parte mancante, del DTM 5x5 della Regione Veneto, che permette di cogliere in modo significativo i caratteri generali dell'altimetria stessa.

Complessivamente lo schema, nella configurazione dello stato di fatto (ante-operam), è composto da 67225 nodi, 123487 elementi bidimensionali, 9117 elementi unidimensionali di tipo "canale" e 2811 tronchi speciali unidimensionali che consentono di simulare il funzionamento della rete e dei manufatti in alcuni punti singolari. Molti elementi speciali sono stati infine inseriti per rappresentare eventuali fenomeni di tracimazione delle arginature dei corsi d'acqua principali in esame che, nei tratti in attraversamento al territorio indagato, sono in buona parte sopraelevate rispetto al piano di campagna.

Per quanto riguarda il parametro  $a_r$ , che, come illustrato in Appendice, quantifica, nel modello, il ruolo delle asperità e irregolarità locali del terreno nel fenomeno di allagamento, è stato assunto un valore uniforme in tutto il dominio di calcolo pari a 0.30 m, che corrisponde al valore adottato in precedenti analoghe esperienze. Va comunque osservato che, con riferimento ai risultati forniti dal modello, il valore di questo parametro controlla essenzialmente la velocità di propagazione del fronte di allagamento sulle zone di terreno asciutte. Nel caso in esame, pur non ritenendo necessario condurre un'analisi specifica per valutare accuratamente tale parametro, si sono condotte alcune simulazioni di prova facendo variare il valore di  $a_r$ . I risultati ottenuti nelle diverse situazioni hanno confermato la validità della scelta effettuata, mettendo in evidenza che, per effetto delle variazioni considerate, da una parte l'estensione delle aree allagate non mutava e, dall'altra parte, la velocità con cui esse vengono raggiunte dalle acque variava in modo appena significativo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>			
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 31 di 134</p>

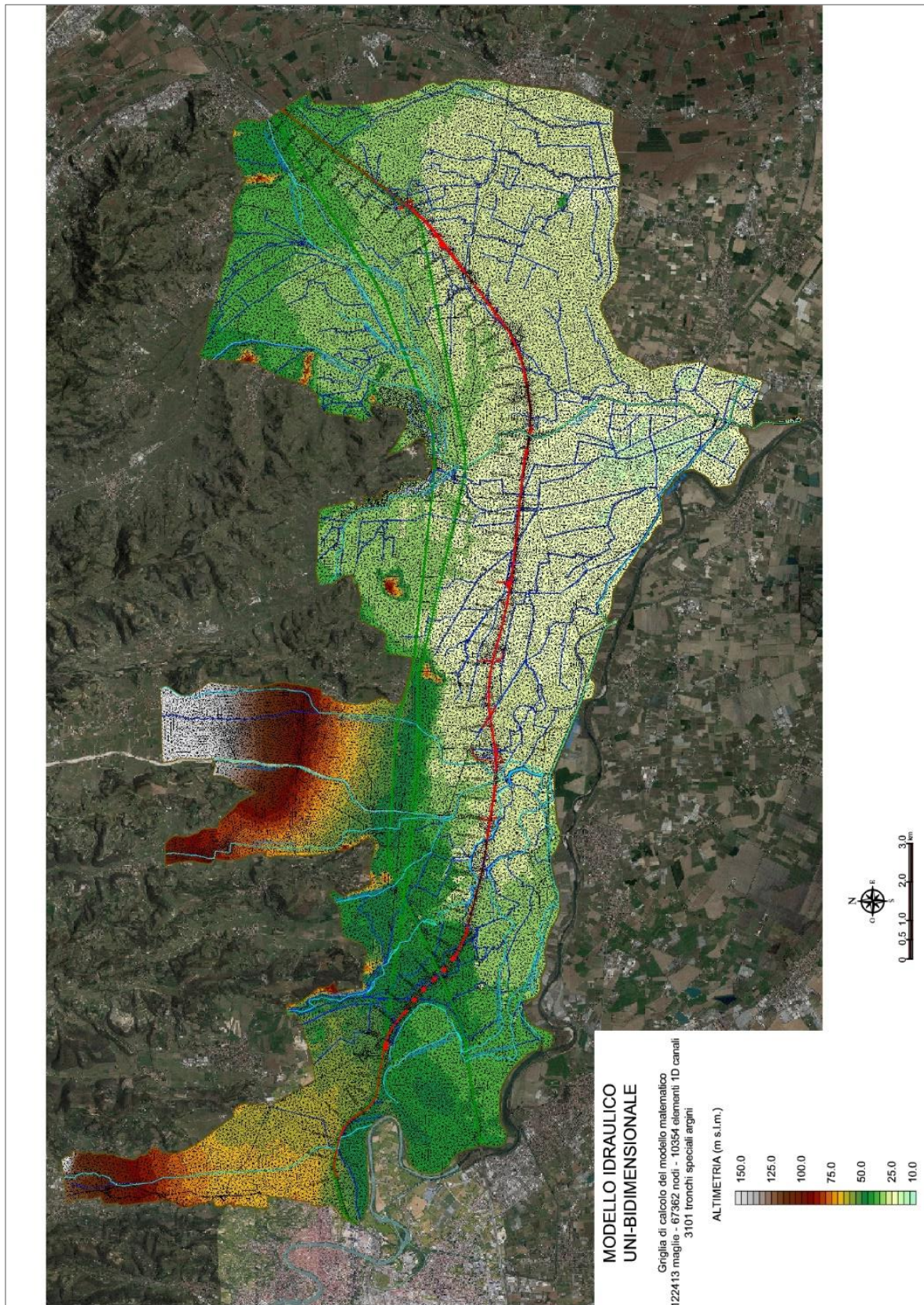


Fig. 4.3 - Corografia della schematizzazione del territorio indagato con il modello uni-bidimensionale: altimetria realizzata con i dati cartografici e topografici (rilievo LIDAR) disponibili.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 32 di 134

### 4.3 Condizioni al contorno

Le portate utilizzate per la verifica della rete idrografica schematizzata nel modello sono quelle messe a disposizione dall’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (ex Autorità di Bacino dell’Adige) e sono riferite agli eventi con  $T_r=100$  anni e  $T_r=300$  anni (Fig. 4.4÷Fig. 4.9). Le durate delle precipitazioni considerate sono pari a 6-12-24 ore e il loro andamento nel tempo è lineare crescente (scenario M2).

Il tempo di pioggia di 24 ore, utilizzato dalla stessa Autorità Distrettuale per generare le note cartografie delle aree allagabili e delle altezze idriche del PGRA, è stato adottato come rappresentativo della durata critica degli eventi meteorici che possono mettere in crisi i sistemi idrografici in esame. Si è infatti tenuto conto che, per lo scopo della presente indagine, che è quello di valutare l’interferenza della nuova opera con le acque degli allagamenti che si possono generare sul territorio in occasione delle piene più importanti, è necessario considerare non solo gli idrogrammi con i valori massimi della portata, quelli di più breve durata, ma anche quelli, con portate comunque elevate, che abbiano i volumi maggiori, caratterizzati da durate più prolungate. Le indagini condotte con il modello uni-bidimensionale sono state dunque eseguite considerando gli eventi di piena nei corsi d’acqua principali, il Valpantena, il sistema Fibbio-Illasi e il sistema Chiampo-Alpone, generati da precipitazioni di 24 ore e completate valutando anche gli effetti di piene generate da piogge di durata inferiore, pari a 6 ore e 12 ore.

Relativamente agli idrogrammi di portata calcolati per i tempi di ritorno di 100 anni e di 300 anni rappresentati in Fig. 4.4 e in Fig. 4.5, per il Valpantena, in Fig. 4.6 e in Fig. 4.7, per il sistema idrografico del Fibbio-Illasi, e in Fig. 4.8 e Fig. 4.9, per quello del Chiampo-Alpone, si rileva che:

- gli idrogrammi per il Valpantena caratterizzati da durate delle piogge di 6 ore e 12 ore, non nella disponibilità degli scriventi, sono stati dedotti da quelli calcolati per lo stesso corso d’acqua, per la durata di 24 ore, e da quelli di alcuni bacini idrografici limitrofi (Squaranto, Illasi e Mezzane) valutati per le durate di 6, 12 e 24 ore;
- rispetto agli idrogrammi utilizzati nel PAI, le portate al colmo e i volumi per  $T_p=24$  ore sono decisamente superiori. Per l’evento  $T_r=100$  anni del Distretto, la portata idrologica al colmo del Fibbio-Squaranto a Montorio (area di circa 100 km<sup>2</sup>) è pari a circa 170 m<sup>3</sup>/s contro i circa 100 m<sup>3</sup>/s del PAI, mentre la portata al colmo dell’Illasi a Tregnago-Illasi (area ancora di circa 100 km<sup>2</sup>) è di circa 240 m<sup>3</sup>/s contro i circa 110 m<sup>3</sup>/s del PAI;
- gli idrogrammi di portata considerati in ingresso nel tratto dell’Alpone schematizzato nel modello sono stati limitati a valori massimi di 70 m<sup>3</sup>/s. Il bacino di laminazione della Colombaretta, posto poco a monte della sezione iniziale dell’Alpone considerata nel modello, è ora in funzione e consente di laminare le portate di piena del torrente proprio a valori di circa 70 m<sup>3</sup>/s.

Gli idrogrammi messi a disposizione dall’Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali coprono, peraltro, solo i bacini dei corsi d’acqua principali e non i bacini di pianura dello Zerpano (dx Alpone, 51 km<sup>2</sup>) e del Fratta (sx Alpone, 66 km<sup>2</sup>). Le simulazioni svolte dal Distretto, come peraltro anche quelle del PAI, non considerano infatti il contributo dei bacini di pianura.



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 33 di 134

Nell'ambito del presente studio, nel modello è stata rappresentata anche la rete consortile di pianura in considerazione del fatto che:

- storicamente l'evento meteorico eccezionale è concentrato nella parte montana-collinare del bacino (Valpantena, Squaranto, Illasi e sistema Chiampo-Alpone);
- i canali e gli scoli di pianura, oltre che le proprie portate, possono raccogliere e convogliare anche le acque di eventuali esondazioni della rete idrografica principale, sollecitando la rete minore di pianura in misura notevole, considerato che le portate e i volumi di esondazione che vi si riversano possono essere nel complesso molto superiori rispetto a quelli dei deflussi propri naturali;
- la rete della bonifica è dimensionata storicamente per  $T_r=30$  anni. Nel presente studio, si sono tuttavia considerate immissioni di portata complessive nella rete minore corrispondenti al tempo di ritorno di 100 anni. Per i canali consortili questa scelta è una evidente "forzatura" che tuttavia risulta utile ai fini di una valutazione "cautelativa" della compatibilità idraulica

Per la stima delle portate dei bacini dello Zerpano e del Fratta si è fatto riferimento, in similitudine idrologica (Fig. 4.10), al sistema Antanello-Gardesana (l'unico bacino di pianura modellato dal Distretto). Il coefficiente udometrico per  $T_r=100$  anni e  $T_p=24$  ore risulta pari a circa  $10.5 \text{ l/s/hm}^2$ , cioè  $1.05 \text{ m}^3/\text{s/km}^2$ . Per le durate inferiori,  $T_p=6$  ore e  $T_p=12$  ore, si sono considerati coefficienti udometrici superiori a questo, pari, rispettivamente, a circa  $1.2 \text{ m}^3/\text{s/km}^2$  e  $1.3 \text{ m}^3/\text{s/km}^2$ , per tenere conto che alcuni corsi d'acqua interferiti dalla nuova opera sono caratterizzati da bacini idrografici con superficie ridotta rispetto a quelle complessive dello Zerpano e del Fratta e quindi da tempi di corrivazione più brevi, a cui dovrebbero corrispondere coefficienti udometrici più elevati. Considerando, quindi, per la rete minore, eventi di piena centenari generati da piogge con durata di 6, 12 e 24 ore, con riferimento ad uno ietogramma di tipo M2, si determinano, per valori del coefficiente udometrico di 1.2, 1.3 e  $1.05 \text{ m}^3/\text{s/km}^2$ , gli idrogrammi riportati in Fig. 4.10, che rappresentano le condizioni di piena considerate nel calcolo in concomitanza delle stesse piene nei sistemi montani e collinari.

La derivazione del Canale S.A.V.A. è stata cautelativamente considerata attiva durante gli eventi eccezionali simulati, ma a portata ridotta, pari a  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Gli effetti di tale scelta sulla infrastruttura AV/AC in destra Illasi (allagata da acque di Fibbio e Illasi) sono comunque ininfluenti in quanto i salti di fondo su Illasi e Fibbio alla confluenza con l'Antanello agiscono come disconnessioni idrauliche.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 34 di 134

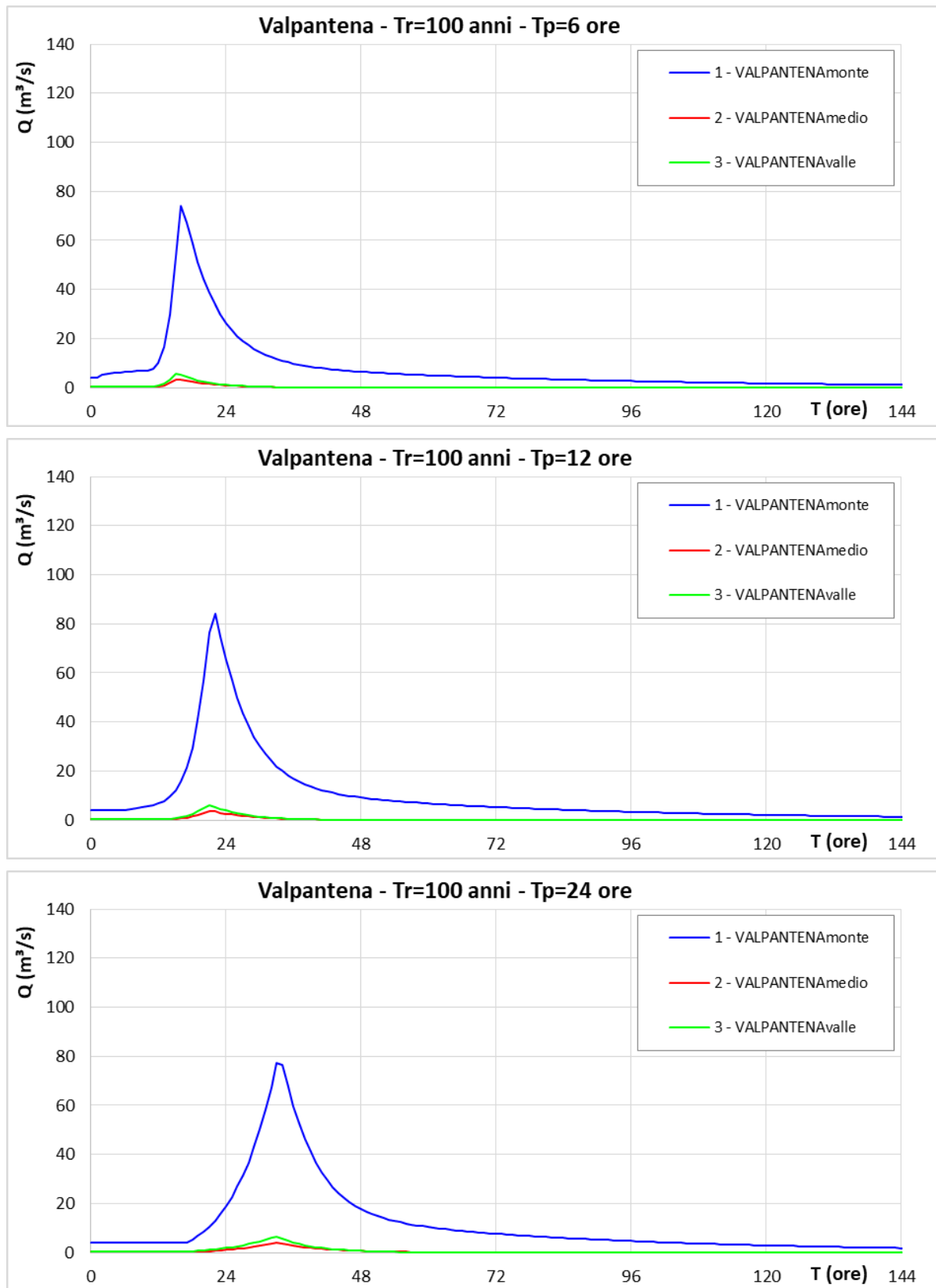


Fig. 4.4 - Idrogrammi di portata calcolati per il Valpantena, a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale [fonte: Autorità di Bacino].

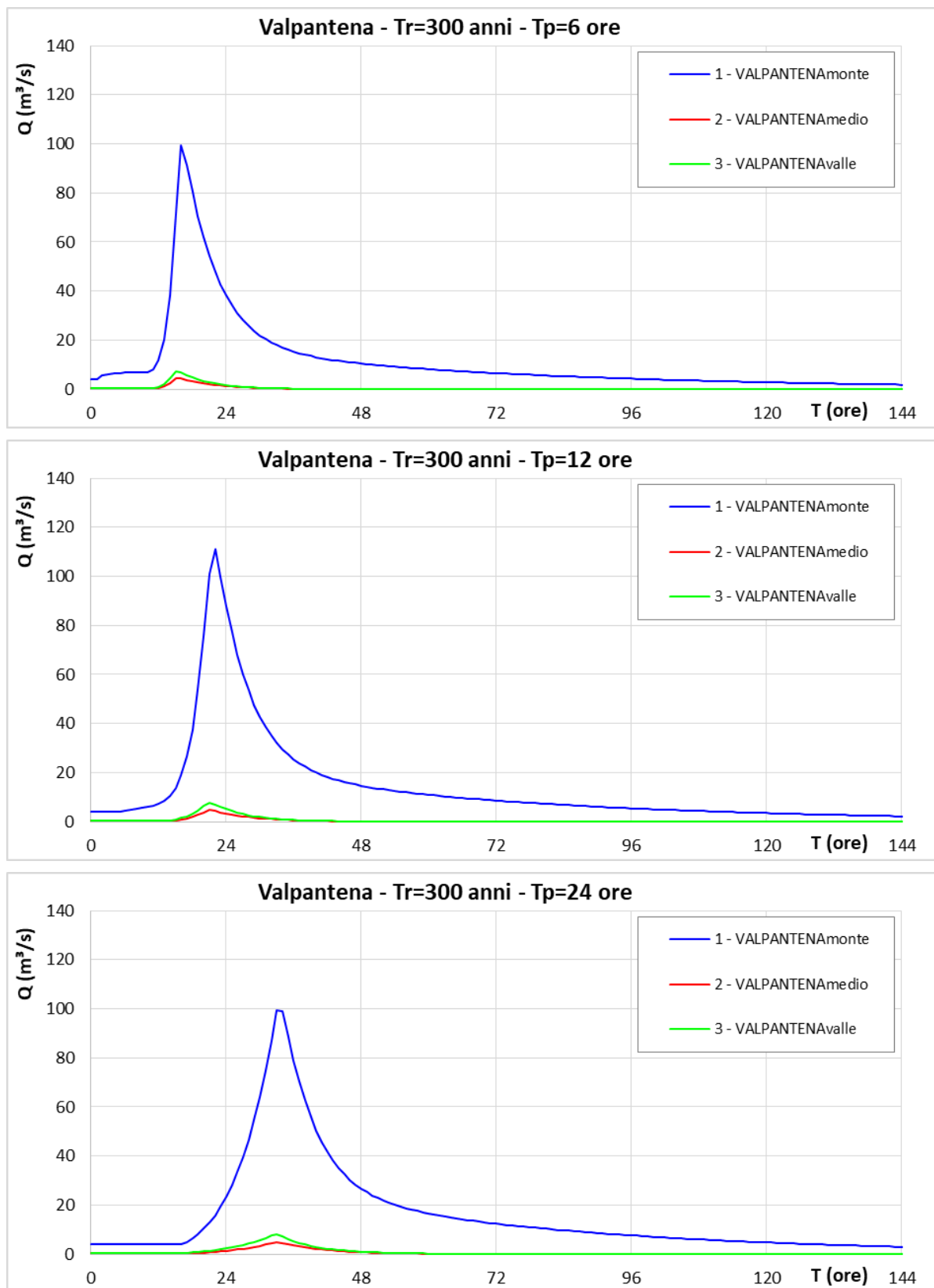


Fig. 4.5 - Idrogrammi di portata calcolati per il Valpantena, a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale [fonte: Autorità di Bacino].

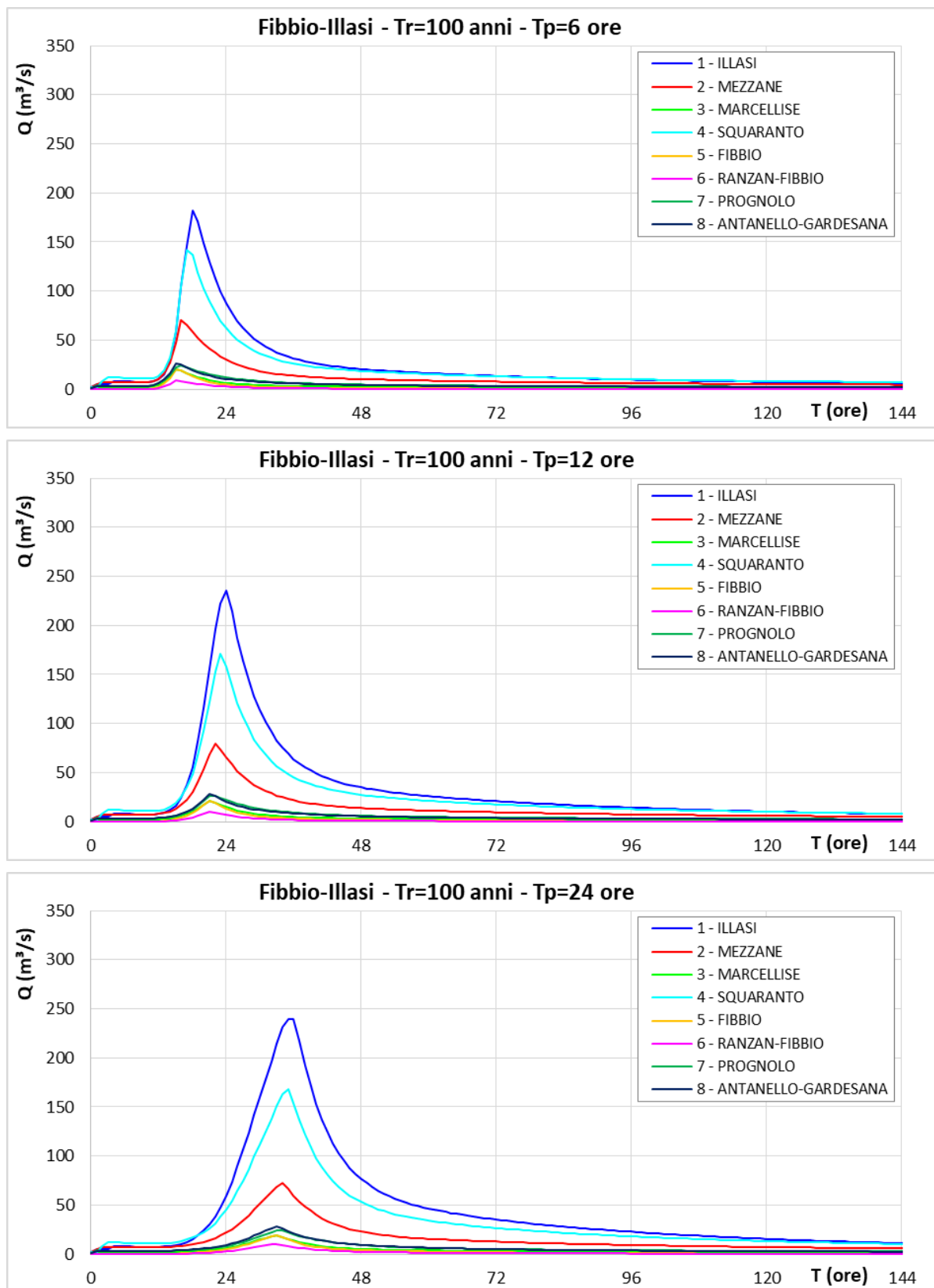


Fig. 4.6 - Idrogrammi di portata calcolati per il sistema Fibbio-Illasi, a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale [fonte: Autorità di Bacino].

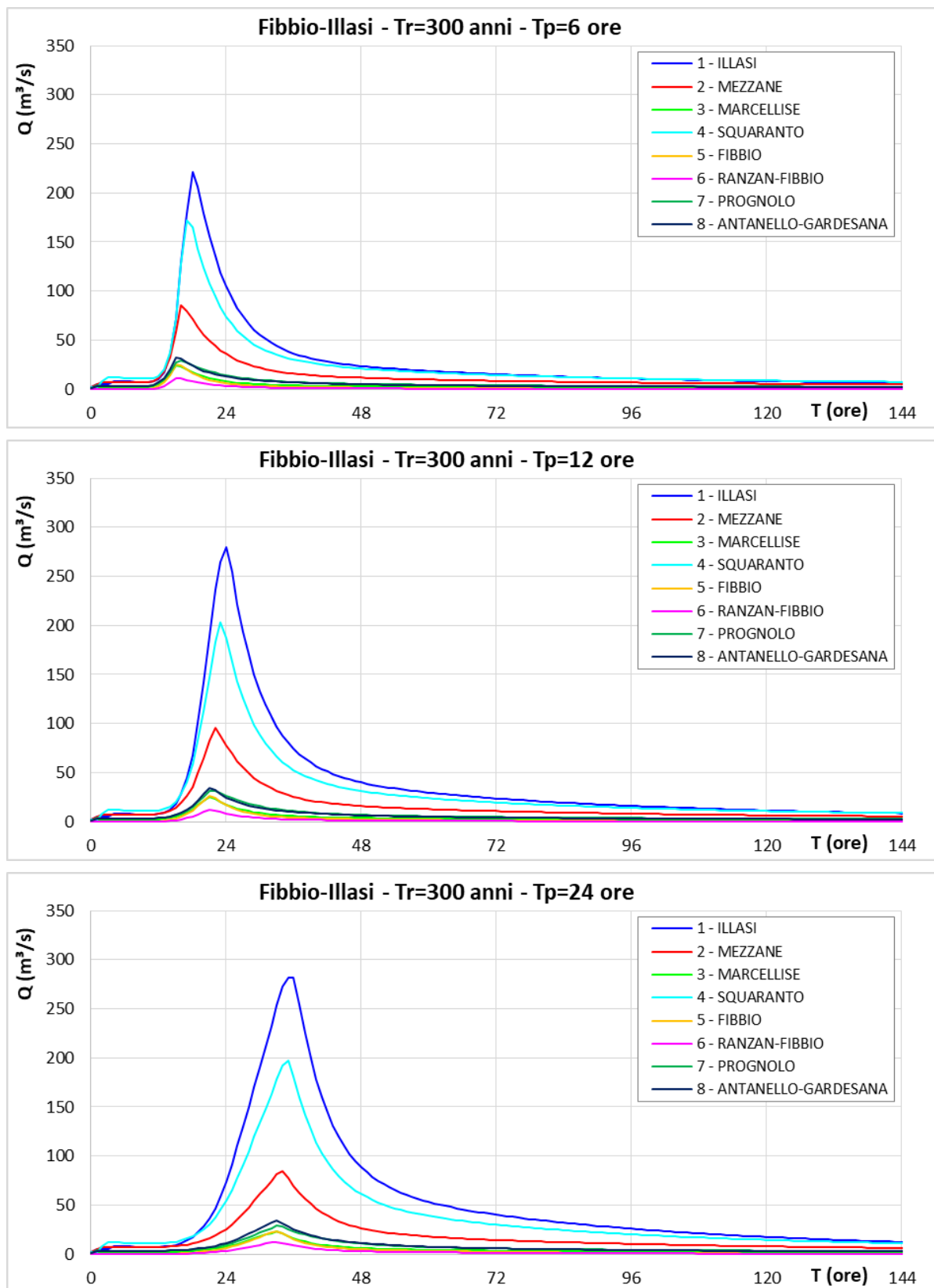


Fig. 4.7 - Idrogrammi di portata calcolati per il sistema Fibbio-Illasi, a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale [fonte: Autorità di Bacino].

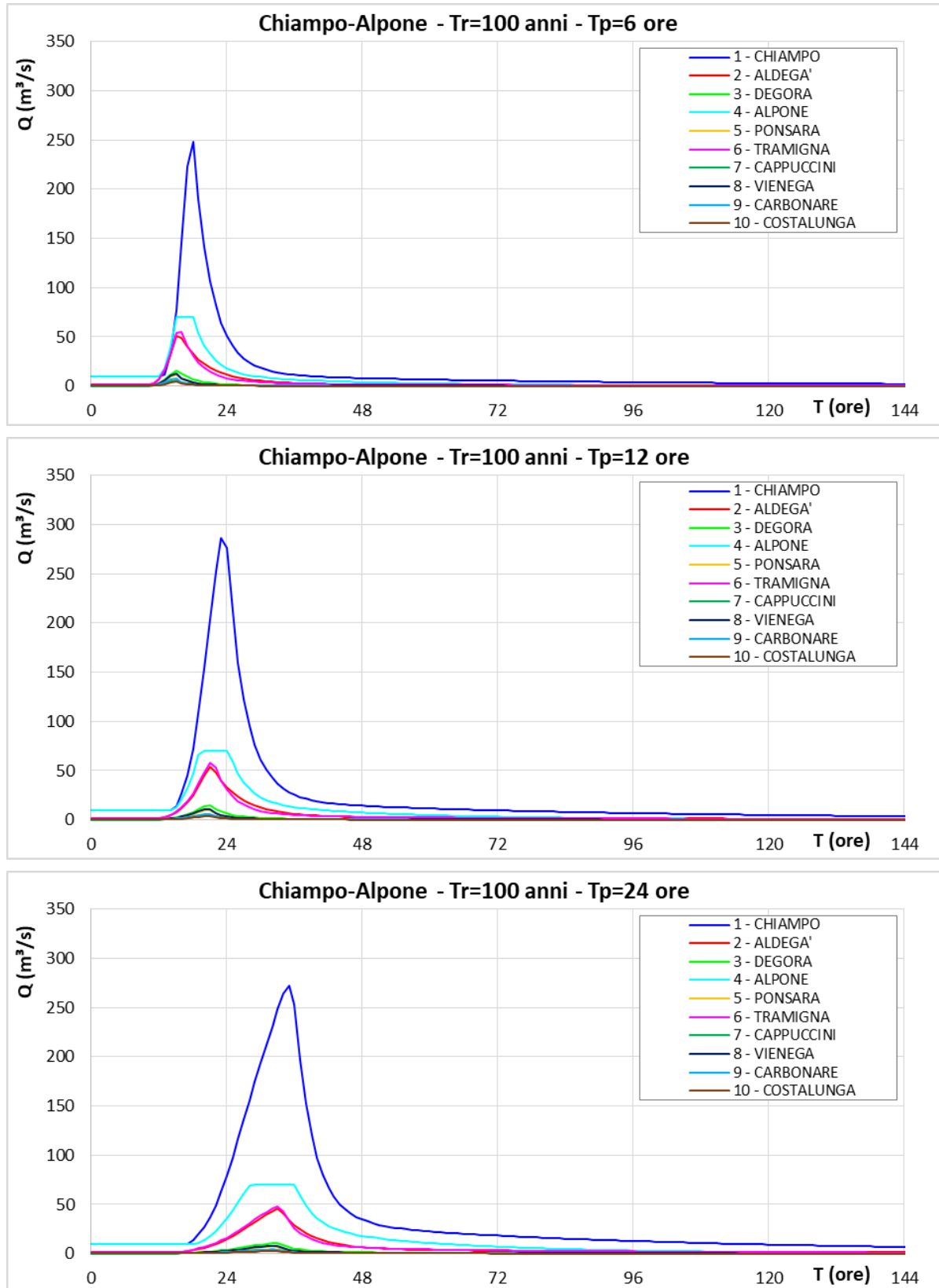


Fig. 4.8 - Idrogrammi di portata calcolati per il sistema Chiampo-Alpone, a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale [fonte: Autorità di Bacino].

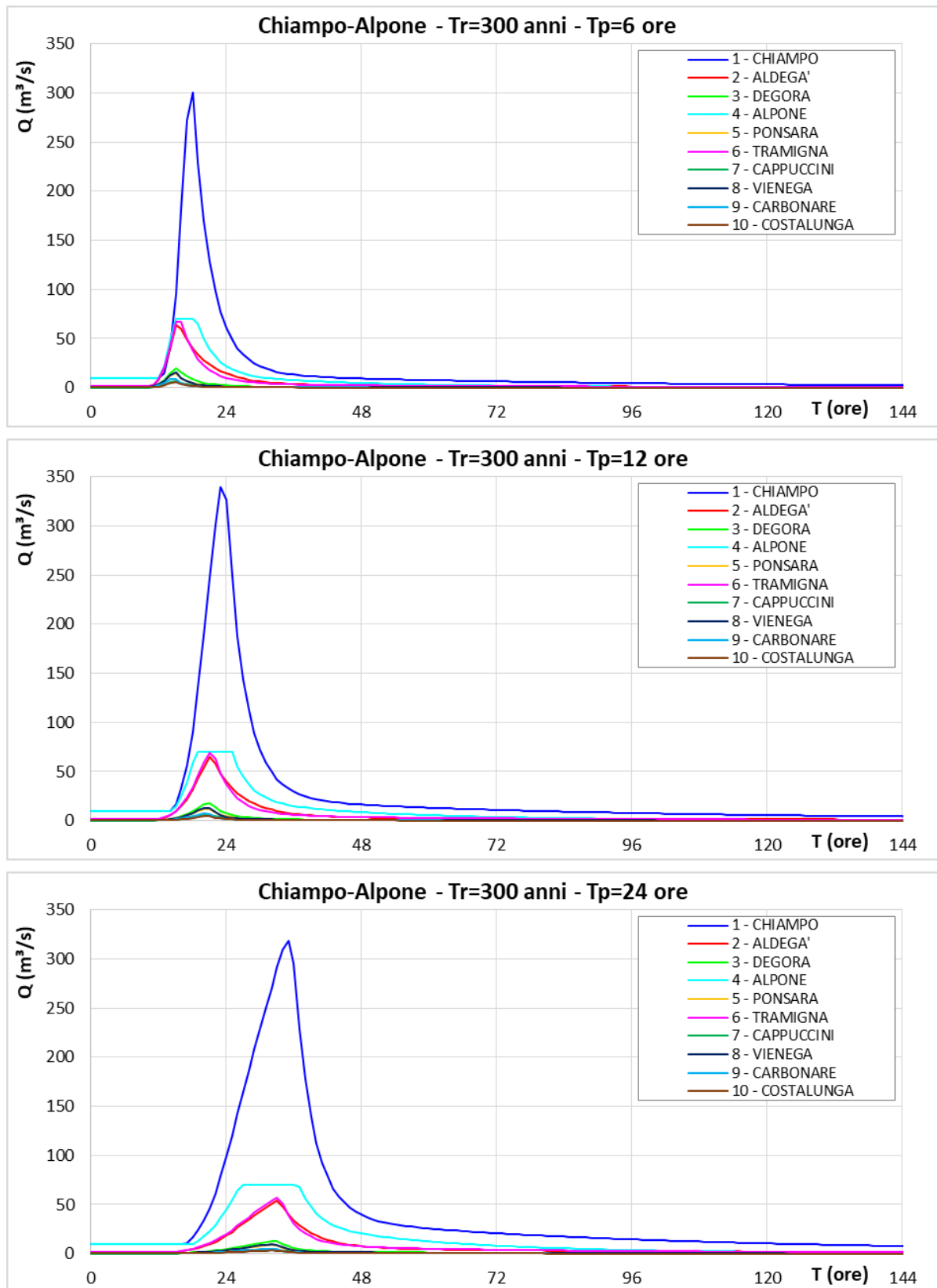


Fig. 4.9 - Idrogrammi di portata calcolati per il sistema Chiampo-Alpone, a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale [fonte: Autorità di Bacino].

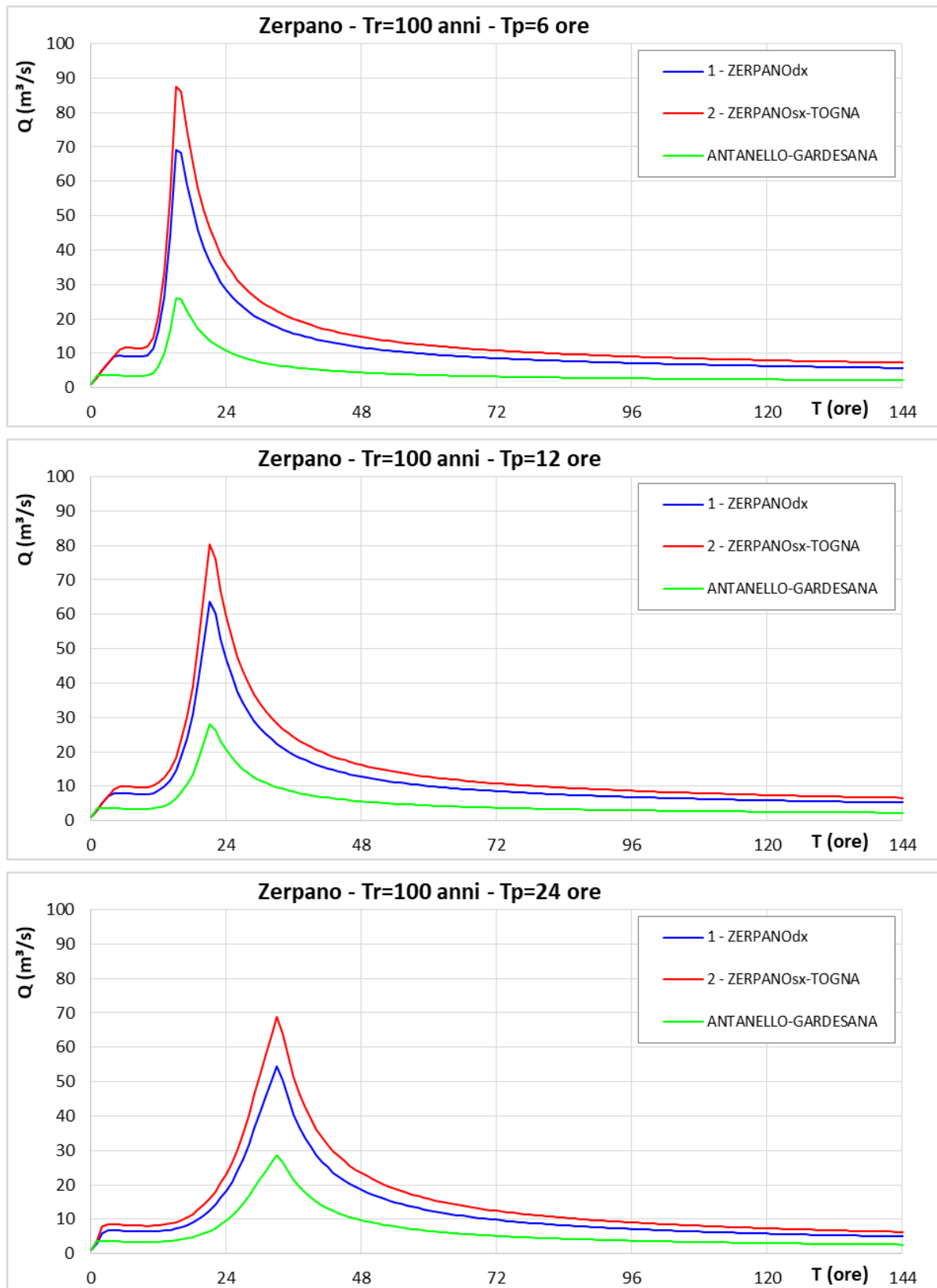


Fig. 4.10 - Idrogrammi di portata per il bacino dello Zerpano e del Fratta-Togna, per il tempo di ritorno di 100 anni e durata di 6-12-24 ore, nei nodi di immissione nella rete idrografica schematizzata con il modello uni-bidimensionale, elaborati a partire da quelli valutati per il sistema Antanello-Gardesana [fonte: Autorità di Bacino].



<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 41 di 134

Le condizioni al contorno per le simulazioni di propagazione delle piene sono completate dai dati sull'andamento del livello idrometrico nei nodi terminali della rete. In questo caso, si sono assegnati, per le confluenze con l'Adige, i valori dedotti dagli elaborati del PAI forniti dall'Autorità di Bacino riportati in sintesi in Tab. 4.1, vale a dire:

- in corrispondenza della sezione di confluenza del Valpantena nell'alveo dell'Adige, a valle del tratto in area golenale sinistra del fiume, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 43.5 m s.m. fino ai valori di massima piena forniti dall'Autorità di Bacino, o dedotti per interpolazione, pari a 47.24 m s.m. ed a 47.64 m s.m., rispettivamente, per gli eventi centenari e tricentenari con durate di 12 e 24 ore. Per gli eventi con durata di 6 ore si è invece considerato un livello di piena in Adige pari a quello trentennale di 46.89 m s.m.;
- in corrispondenza della sezione di confluenza dello scolo Orti nell'alveo dell'Adige, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 43.3 m s.m. fino ai valori di massima piena forniti dall'Autorità di Bacino, o dedotti per interpolazione, pari a 46.71 m s.m. ed a 47.09 m s.m., rispettivamente, per gli eventi centenari e tricentenari con durate di 12 e 24 ore. Per gli eventi con durata di 6 ore si è invece considerato un livello di piena in Adige pari a quello trentennale di 46.39 m s.m.;
- in corrispondenza della sezione di confluenza del canale SAVA con l'Adige, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 20 m s.m., fino ai valori di massima piena forniti dall'Autorità di Bacino, o dedotti per interpolazione, pari a 24.66 m s.m. ed a 24.93 m s.m., rispettivamente, per gli eventi centenari e tricentenari con durate di 12 e 24 ore. Per gli eventi con durata di 6 ore si è invece considerato un livello di piena in Adige pari a quello trentennale di 24.39 m s.m.;
- in corrispondenza della sezione di confluenza dell'Alpone con l'Adige ad Albaredo d'Adige, un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 17 m s.m., fino ai valori di massima piena forniti dall'Autorità di Bacino, o dedotti per interpolazione, pari a 21.19 m s.m. ed a 21.57 m s.m., rispettivamente, per gli eventi centenari e tricentenari con durate di 12 e 24 ore. Per gli eventi con durata di 6 ore si è invece considerato un livello di piena in Adige pari a quello trentennale di 20.80 m s.m..

Tratto Confluenze	Sezione PAI	Livelli di piena in Adige (m s.m.)			
		Tr=30 anni	Tr=100 anni	Tr=200 anni	Tr=300 anni
loc. SAN PANCRAZIO	997	47.84	48.22	48.57	48.69
T. VALPANTENA	999	46.89	47.24	47.53	47.64
S. ORTI	1000	46.39	46.71	46.99	47.09
C. SAVA	1063	24.39	24.66	24.84	24.93
T. ALPONE	1081	20.80	21.19	21.44	21.57

Tab. 4.1 – Livelli di piena nel fiume Adige per tempi di ritorno di 30, 100 e 300 anni considerati come condizioni al contorno di valle per i corsi d'acqua inseriti nello schema del modello uni-bidimensionale. I livelli per Tr=300 anni, evidenziati con una campitura di colore azzurro, sono stati dedotti da quelli valutati nel PAI per tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni, mediante una elaborazione secondo Gumbel [fonte: Autorità di Bacino].

In sinistra Alpone, si sono inoltre considerati:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 42 di 134

- un andamento del livello idrometrico variabile da una quota di 22.5 m s.m. fino ad un valore di piena stimato pari a 24.0 m s.m., in corrispondenza della sezione terminale del rio Acquetta;
- valori di livello costanti, corrispondenti a stati idrometrici di piena a franco idraulico ridotto e/o di incipiente esondazione, in corrispondenza delle sezioni terminali di alcuni scoli minori nel bacino del Togna.

Alcune simulazioni preliminari hanno peraltro consentito di valutare l'effetto di eventuali variazioni di livello imposte nelle sezioni a valle del reticolo di calcolo sulla propagazione della piena e quindi sui risultati ottenuti con il modello nelle diverse sezioni dei sistemi idrografici indagati. Si tratta di effetti contenuti che si esauriscono sostanzialmente, per le massime portate, nei tratti terminali dei corsi d'acqua considerati.

Tutte le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto vario, assumendo come ipotesi che le portate affluenti alla rete idrografica dai rispettivi sottobacini fossero quelle corrispondenti agli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino Distrettuale. In questa ipotesi, per gli eventi di piena considerati, si sono determinati i livelli idrometrici in tutti i nodi del reticolo di calcolo e la portata fluente in tutti gli elementi unidimensionali e bidimensionali del reticolo stesso, seguendo quindi l'evoluzione dello stato idrometrico e del campo di moto sia negli alvei dei corsi d'acqua, sia nelle aree esterne eventualmente allagate dalle acque.

Per gli scopi dell'indagine, i risultati più importanti delle simulazioni modellistiche sono stati sintetizzati in idrogrammi di portata fluente calcolati in corrispondenza delle sezioni significative dei sistemi idrografici principali considerati (Valpantena, Fibbio-Illasi e Chiampo-Alpone) e in mappe di allagamento del territorio, rappresentando queste ultime a scala di colori per le quote idrometriche massime e per le quote idrometriche riscontrate in istanti successivi dell'evento.

#### 4.4 I parametri del modello

Per quanto riguarda i parametri che nel modello descrivono i fenomeni di resistenza al moto, è stato necessario specificare i valori da attribuire al coefficiente di resistenza secondo Gauckler-Strickler, con riferimento sia ai tronchi unidimensionali (corsi d'acqua), sia agli elementi bidimensionali che descrivono le diverse parti degli alvei di alcuni corsi d'acqua, le zone abitate, le strade e il territorio agricolo.

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 goleni e di sponda adiacenti. Per i corsi d'acqua indagati, ai parametri che esprimono le resistenze al moto della corrente si sono attribuiti i seguenti valori:

- per l'Alpone, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per l'alveo centrale e di  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per le zone golenali e di sponda, nel tratto compreso tra la confluenza con il Chiampo e l'immissione in Adige, differenziando tuttavia opportunamente tali valori, sulla base di riscontri di taratura eseguiti in precedenti studi, nel tratto rettilineo compreso tra la confluenza con il Tramigna e la posizione dell'ora rimosso ponte della Motta a San Bonifacio ( $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  in alveo e  $60 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  sulle sponde) e nel tratto a valle della posizione del ponte stesso,

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 43 di 134	

della lunghezza di circa 1800 m, caratterizzato dalla presenza di numerose curve ( $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  in alveo e  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  sulle sponde);

- per il Tramigna, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per l'alveo centrale e di  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per le zone golenali e di sponda, nel tratto terminale della lunghezza di circa 1800 m, a monte della confluenza con l'Alpone.

Agli elementi unidimensionali utilizzati per schematizzare la rimanente parte del reticolo idrografico si è assegnata una scabrezza secondo Strickler pari, invece, ai seguenti valori:

- per il Valpantena, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nei tratti di monte e mediano, di  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nel tratto di monte depensilizzato e nel tratto cittadino di valle costituiti con muri di sponda o sponde rivestite, e di  $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , per il tratto terminale tobinato;
- per il Fibbio, l'Illasi (tratto vallivo), il Mezzane, il Prognolo, l'Antanello, la fossa Gardesana e il Rio Acquetta, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  e per l'Illasi nel tratto montano, valori di  $10\text{-}15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ;
- per l'Alpone, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nel tratto a monte della confluenza con il Chiampo;
- per il Tramigna, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nel tratto a monte di Soave con fondo e sponde in terra, e di  $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nel tratto in attraversamento del centro abitato dove le sponde sono costituite da muri in materiale lapideo e laterizio e/o calcestruzzo, con o senza rivestimento in malta cementizia;
- per il Chiampo, valori di  $22 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nel tratto a monte della confluenza con l'Alpone;
- per l'Aldegà, valori di  $22 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , nel tratto terminale, a monte della confluenza con il Chiampo;
- per il Degora e tutta la rete di canali secondari a superficie libera, valori di  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ;
- per i tratti tobinati della rete di canali secondari, generalmente costituiti da scatolari in calcestruzzo, valori di  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  (prudenziali quindi);
- per i canali SAVA e LEB, rivestiti in calcestruzzo, valori di  $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ .

Agli elementi bidimensionali dello schema di calcolo che descrivono le zone edificate, le aree agricole o a verde e le infrastrutture viarie sono stati infine attribuiti valori del coefficiente di scabrezza di Strickler pari rispettivamente a  $10 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ,  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  e  $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ .

#### 4.5 Valutazioni preliminari

Come in parte accennato ai paragrafi precedenti, prima di valutare le condizioni di deflusso delle massime portate nei sistemi idrografici interessati dalla nuova linea AV/AC nel tratto Verona-Montebello, per la messa a punto del modello bidimensionale agli elementi finiti si sono condotte alcune simulazioni di calcolo preliminari i cui risultati sono di seguito sinteticamente illustrati.

##### Analisi di sensibilità del modello alle variazioni dei coefficienti di scabrezza.

Si sono considerate variazioni dei coefficienti di scabrezza attribuiti ai diversi elementi bidimensionali e unidimensionali che costituiscono lo schema di calcolo del territorio indagato con il modello matematico. In particolare, per i corsi d'acqua si sono adottati valori compresi tra  $10 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  e  $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ , secondo Strickler. I risultati ottenuti, evidenziano, ovviamente, variazioni delle quote idrometriche lungo gli alvei. Valori più scabri ( $10\text{-}15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ) determinano livelli più elevati, mentre i valori più lisci ( $25\text{-}30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ ) forniscono livelli più bassi, determinando quindi, in caso di esondazione, anche le estensioni delle aree di allagamento sul territorio

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 44 di 134

adiacente ai corsi d'acqua in esame. Alla luce di tali risultati e di precedenti studi eseguiti dagli scriventi nell'ambito territoriale qui indagato, si sono quindi adottati per il fondo e le sponde degli alvei i valori del coefficiente di scabrezza sostanzialmente variabili da  $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  a  $25 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  a seconda del tratto considerato.

Variazioni di livello imposte nei nodi di valle del sistema.

Si sono valutate variazioni di livello imposte nei nodi di valle del reticolo di calcolo, in corrispondenza delle sezioni terminali del torrente Valpantena, del canale SAVA, del fiume Alpone e del rio Acquetta. Nella situazione esaminata, considerando diversi valori per i livelli adottati in tali sezioni terminali, si è riscontrato che le variazioni di livello non interferiscono sostanzialmente con le condizioni di deflusso nei tratti dei corsi d'acqua di interesse, in particolare in corrispondenza delle sezioni di attraversamento della nuova linea ferroviaria. Gli effetti di tali variazioni di livello nelle sezioni terminali di valle sono, invece, sostanzialmente nulli sulle altezze d'acqua di allagamento sul terreno che si producono, per esondazione dagli alvei, in corrispondenza del tracciato previsto per la realizzazione della nuova linea AV/AC.

Deflusso in condizioni di minima portata.

Si sono eseguite anche simulazioni di calcolo considerando immissioni di portata ridotte in corrispondenza dei nodi di monte dello schema, per individuare le cosiddette condizioni "di regime" che rappresentano lo stato iniziale del sistema a cui si sovrappongono gli effetti delle successive propagazioni in moto vario delle piene considerate.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 45 di 134

## 5 VERIFICHE IDRAULICHE PER LA CONFIGURAZIONE ANTE-OPERAM

Per valutare le condizioni di deflusso delle massime portate nei sistemi idrografici interessati dalla nuova linea AV/AC nel tratto Verona-Montebello si è utilizzato il modello uni-bidimensionale messo a punto come descritto precedentemente, considerando gli eventi di piena generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni e 300 anni e durate di 6-12-24 ore.

Per i sistemi idrografici principali del Valpantena, Fibbio-Illasi e Chiampo-Alpone, con tutti i rispettivi affluenti, si sono considerati eventi di piena centenari e tricentenari, mentre per i sistemi idrografici di bassa pianura, con ricettori finali gli scoli Sarega, Zerpano e Togna, si sono considerati eventi di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni, valutati come illustrato nel precedente paragrafo 4.3.

### 5.1 Ante-operam in assenza di rotte (scenario 0)

#### 5.1.1 Evento di piena con $T_r=300$ anni e $T_p=24$ ore

Come condizioni al contorno nei nodi di monte ed intermedi dello schema di calcolo, sono stati utilizzati, per l'evento sintetico con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 24 ore, gli idrogrammi di portata valutati per i sistemi Valpantena, Fibbio, Alpone e Zerpano-Togna riportati rispettivamente in Fig. 4.5, in Fig. 4.7, in Fig. 4.9 e in Fig. 4.10 (in basso).

La simulazione di calcolo, della durata complessiva di 360 ore, è stata condotta con il modello uni-bidimensionale, ipotizzando l'assenza di fenomeni di rotta e/o di cedimento arginale (scenario 0) e quindi anche delle conseguenti fuoriuscite d'acqua dai varchi. In questo modo, i risultati del calcolo, fatta salva la consistenza e la tenuta delle difese di sponda, consentono di evidenziare le parti della rete idrografica in esame che, nella situazione attuale, sono da ritenere idraulicamente più critiche, essendo prima e più frequentemente soggette a fenomeni di tracimazione arginale e di esondazione.

I risultati più significativi della simulazione modellistica eseguita, costituiti, per gli scopi della presente indagine, dalle mappe delle aree allagate in cui sono rappresentate, a scala di colori, sia la progressiva estensione nel tempo delle altezze della lama d'acqua sul terreno, sia la massima altezza di tale lama d'acqua raggiunta nel corso della simulazione stessa in tutti i punti del dominio di calcolo (involuppo delle altezze massime), sono riportati per l'evento considerato, in scala grafica ridotta, in Fig. 5.1 e in Fig. 5.2 (evoluzione degli allagamenti) e in Fig. 5.3, in alto (altezze massime). La distribuzione delle aree e delle altezze di allagamento massime sono rappresentate anche nell'allegato IN1710EI2N3ID0000008A.

Per considerare le velocità con cui si muovono sul territorio allagato le acque fuoriuscite dagli alvei dei corsi d'acqua, nell'allegato IN1710EI2N3ID00000011A è invece riportata la distribuzione delle velocità massime delle onde di sommersione, rappresentandone il modulo con una scala di colori e la direzione mediante frecce orientate.

Relativamente agli effetti dell'evento di piena tricenenario sui sistemi idrografici in esame, sulla base dei risultati della simulazione eseguita con il modello uni-bidimensionale sopra citati, si possono formulare le osservazioni di seguito riportate.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 46 di 134

- Secondo i risultati del calcolo, le esondazioni dagli alvei superando le sponde dei corsi d'acqua non arginati e le tracimazioni arginali in quelli invece arginati e/o pensili sul territorio adiacente, sia nel Valpantena, sia nel sistema Fibbio-Illasi, sia infine nel sistema Chiampo-Alpone, hanno origine tra la 25<sup>a</sup> e la 30<sup>a</sup> ora della simulazione. In Fig. 5.1 e in Fig. 5.2 sono riportate le aree di allagamento sul territorio in alcuni istanti successivi, vale a dire al tempo T=35, 50, 70, 150 ore della stessa simulazione.
- Lungo il Valpantena, le prime esondazioni si verificano nel primo tratto schematizzato in loc. Cellore, sia in destra, sia in sinistra. Le acque in uscita dall'alveo scorrono sul territorio adiacente al progno in direzione da nord a sud, arrivando fino alla zona abitata di loc. S. Croce, dove, peraltro, si verifica una ulteriore esondazione dal progno stesso, in sinistra. Qui, la zona di allagamento resta comunque confinata tra il corso d'acqua e il percorso di una roggia derivata dal Fibbio. Si osserva, infine, che il Valpantena si immette, attraverso un manufatto tombinato, nella golena sinistra dell'Adige che, per l'evento considerato, avendo ipotizzato nel fiume un livello massimo pari alla quota di piena tricentenaria, risulta allagata con altezze d'acqua variabili fino ad oltre 2 m.
- Lungo il Fibbio, le prime esondazioni si verificano già nel territorio di San Martino Buon Albergo a valle di località Ferrazze. Procedendo verso valle, le acque di allagamento restano in buona parte contenute nella porzione del territorio compreso tra il Fibbio stesso e le rogge che si diramano dal corso d'acqua o che vi confluiscono lungo il suo percorso e sono rallentate dalla presenza del rilevato della ferrovia esistente, prima, e da quello dell'autostrada A4, poi, con ristagni d'acqua che si accumulano nelle zone più depresse del territorio. Le acque esondate defluiscono lentamente verso valle attraverso i tombini dei fossati esistenti e anche attraverso i sottopassi pedonali e/o stradali o, rientrando in alveo, lungo i corsi d'acqua principali. Acque del Fibbio, che nel calcolo si è ipotizzato possano fuoriuscire dall'alveo a Montorio, in una posizione posta ancora più a nord del limite settentrionale dello schema di calcolo, allagano anche i terreni compresi tra San Michele Extra e San Martino stessa. Anche nel territorio attraversato dall'Antanello e dalla fossa Gardesana si verificano allagamenti, sia a nord, sia a sud del tracciato autostradale, interessando via via le località Campalto, Giaroni, Centegnano e Mambrotta. Tutte le acque di allagamento fuoriuscite dai corsi d'acqua principali e secondari del sistema Fibbio, Antanello e fossa Gardesana si dirigono negli istanti successivi, secondo le linee di pendenza dei terreni e rimanendo confinate entro i rilevati esistenti, in direzione sud-est, verso la comune confluenza dei citati corsi d'acqua nel canale SAVA in comune di Zevio, dove arrivano peraltro anche gli apporti dell'Illasi e del Prognolo. Le acque si accumulano tra il canale SAVA stesso e l'arginatura del tratto terminale del Fibbio. In tale zona arriva anche una parte delle acque esondate dagli alvei degli affluenti di destra dell'Illasi, vale a dire il Marcellise e il Progno Mezzane, che sono a loro volta inadeguati a convogliare portate con tempo di ritorno di 300 anni.
- Lungo l'Illasi, le prime tracimazioni dell'argine sinistro si verificano sia a nord dell'attraversamento autostradale, dove l'alveo del torrente si restringe in corrispondenza di una curva verso ovest, sia a sud dello stesso attraversamento, all'altezza della confluenza con il Progno Mezzane. Le acque di esondazione si dirigono in direzione sud-est ed allagano il territorio della bonifica nei bacini Biniega-Sarega e Zerpano. Le acque sono solo in parte raccolte dagli alvei della rete locale di bonifica, poiché i canali sono di per sé sollecitati dalle portate che si originano nel territorio della bassa pianura, e quindi, in gran parte scorrono

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 47 di 134

sui terreni coinvolgendo abbastanza pesantemente l'abitato di Belfiore e più a valle, sempre in direzione sud-est, le campagne comprese tra l'argine destro dell'Alpone e il canale LEB. In buona sostanza, tutte le acque esondate dai corsi d'acqua compresi tra l'Illasi, ad ovest, e l'Alpone, ad est, quindi quelle dei canali della bonifica zerpana e anche quelle del Prognolo e del Tramigna, defluiscono, come sopra accennato, verso i terreni compresi tra l'Alpone stesso e il LEB. Qui, prima si accumulano, raggiungendo altezze massime sul terreno di quasi 2 m, e successivamente defluiscono progressivamente attraverso le due botti sottopassanti l'Alpone, la botte Zerpana sullo scolo Masera Sud e la botte palladiana sullo scolo Sarega, e mediante il sollevamento nell'Alpone stesso, poco a monte della confluenza in Adige, di una portata pari a circa 7 m<sup>3</sup>/s con l'idrovora Zerpa.

- Il Tramigna esonda, inizialmente, a monte dell'abitato di Soave. Le acque allagano il territorio in destra del corso d'acqua e successivamente fuoriescono dall'alveo tracimando anche sui muretti di sponda che costituiscono le difese in attraversamento al centro storico, allagando l'abitato in sinistra idrografica. Negli istanti successivi le acque defluiscono verso sud arrivando ad invadere parzialmente i laghetti di pesca sportiva presenti in località Villabella di San Bonifacio, poco a sud della linea ferroviaria esistente. Con il passare delle ore, le acque arrivano nella zona di accumulo compresa tra l'Alpone e il LEB, nella parte meridionale del territorio indagato, e defluiscono quindi in sinistra Alpone attraverso le botti a sifone e/o sono sollevate nell'Alpone stesso mediante l'idrovora Zerpa.
- Nel bacino del Chiampo-Alpone, a monte della comune confluenza, nella parte est del territorio indagato, i terreni attraversati dall'Alpone sono interessati da allagamenti solo modesti, per lo più dovuti ad alcuni affluenti minori in destra, poiché nel fiume principale la portata in ingresso nel modello da monte è laminata dal funzionamento del bacino della Colombaretta che consente di limitare a circa 70 m<sup>3</sup>/s la portata residua in alveo. Importanti fuoriuscite d'acqua dagli alvei con i relativi allagamenti si verificano invece tra l'Alpone e l'Aldegà e tra l'Aldegà e il Chiampo. Si tratta, tuttavia, di fenomeni di esondazione e di allagamento del territorio che non interessano il tracciato ferroviario esistente e quindi anche quello in progetto, restando confinati a nord dell'alveo arginato del torrente Chiampo. Tracimazioni potenzialmente pericolose per il tracciato ferroviario si verificano invece lungo l'argine sinistro del Chiampo stesso, a monte dell'attraversamento autostradale, e alla confluenza Tramigna-Alpone, in destra. Le acque tracimate in sinistra del Chiampo sono rallentate nel deflusso verso sud sia dal rilevato autostradale, sia da quello della strada regionale n. 11 e arrivano al rilevato ferroviario esistente, più a sud, quasi interamente convogliate nella rete idrografica di bonifica del bacino Togna, in sinistra Alpone. Le acque del Tramigna-Alpone sono invece raccolte dagli scoli Ca' Muzzoni e Dugaletta di San Bonifacio che confluiscono più a valle nel canale Masera Sud, facente parte del sistema di bonifica dello Zerpano.
- In Fig. 5.2, in basso, si osserva, al tempo T=150 ore della simulazione di calcolo, che le aree di allagamento sono sostanzialmente prosciugate. Le acque di sommersione del territorio rientrano, infatti, progressivamente negli alvei principali, sia attraverso la rete idrografica secondaria non arginata, sia mediante gli impianti di sollevamento esistenti (idrovora Zerpa, idrovora Cappuccini, idrovora Degora Capri e idrovora Costalunga), e defluiscono verso i punti di immissione del canale SAVA e dell'Alpone in Adige e

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 48 di 134	

verso i nodi terminali considerai per gli scoli Sarega, Zerpano e Togna, nel territorio in sinistra dell'Alpone stesso.

- Una rappresentazione sintetica dei risultati del calcolo è riportata nell'allegato IN1710E12N3ID0000008A e, in scala grafica ridotta, anche in Fig. 5.3, in alto. Nelle immagini sono riportate le altezze massime della lama d'acqua sul terreno raggiunte nel corso della simulazione in tutti i punti del dominio di calcolo (iniluppo delle altezze massime). In aggiunta a quanto illustrato ai punti precedenti, si osserva, in particolare, che lungo il tracciato previsto per la nuova linea ferroviaria le altezze di allagamento raggiungono valori massimi superiori a 1.5 m solo in alcuni punti nella zona attraversata dal Fibbio, tra le chilometriche km 8+500 e km 10+500. Lungo la restante parte del tracciato i valori massimi di allagamento arrivano a circa 1 m, in particolare nel territorio del Biniega-Sarega e dello Zerpano, compreso tra l'Illasi e l'Alpone, tra le chilometriche km 11+500 e km 19+000.
- Nell'allegato IN1710E12N3ID0000011A è riportata la distribuzione delle velocità massime della corrente in alveo e delle onde di sommersione sul territorio soggetto ad allagamento, rappresentandone il modulo con una scala di colori, variabile tra 0 m/s e 1 m/s, e la direzione mediante frecce orientate. Ovviamente le velocità massime si sviluppano negli alvei dei corsi d'acqua, in particolare nell'alveo dell'Illasi, che ha una pendenza media nel tratto a monte dell'attraversamento autostradale pari a circa 20 m/km, in cui le velocità massime arrivano ad oltre 4 m/s. Le velocità con cui le acque di allagamento si propagano sul territorio risultano invece mediamente ben inferiori al valore di 1 m/s. Le velocità massime si verificano in corrispondenza dei punti in cui le acque fuoriescono dagli alvei dei corsi d'acqua, come lungo il Fibbio a San Martino Buon Albergo ed a sud dell'attraversamento autostradale, oppure lungo l'Illasi, sui terreni che lo affiancano in sinistra nel tratto compreso tra una sezione a nord dell'attraversamento dell'autostrada A4 e una sezione posta all'altezza del tracciato previsto per la nuova linea ferroviaria, oppure infine lungo il Chiampo, nei punti di tracimazione arginale a monte dell'attraversamento autostradale.
- In Fig. 5.4, Fig. 5.5, Fig. 5.6, Fig. 5.7, in alto a sinistra, sono riportati gli andamenti della portata in alveo calcolati in alcune sezioni significative rispettivamente del Valpantena, del Fibbio, dell'Illasi e del Chiampo-Alpone. Si tratta di idrogrammi che evidenziano come le portate in ingresso nelle sezioni di monte si riducono via via, procedendo verso quelle di valle, in modo modesto per gli effetti della propagazione e in misura consistente per gli effetti delle esondazioni che si verificano lungo questi corsi d'acqua, di cui si è accennato ai punti precedenti. In particolare, la portata massima del Valpantena, pari a circa 100 m<sup>3</sup>/s nella sezione iniziale considerata, in loc. Cellore, si riduce a circa 60 m<sup>3</sup>/s a Quinto, appena a monte del nuovo tratto depensilizzato del progno. A valle, il corso d'acqua riceve qualche modesto apporto, ma ulteriori riduzioni di portata si verificano per esondazioni in sinistra in loc. S. Croce di Verona. La portata in ingresso al manufatto tombinato della lunghezza di circa 230 m che consente di sottopassare una zona abitata cittadina, la SR11 e la linea ferroviaria esistente e che sbocca nella zona golenale sinistra del fiume Adige arriva a poco più di 55 m<sup>3</sup>/s. Si tratta, in buona sostanza, della capacità di portata attuale del corso d'acqua nel tratto in esame. La portata massima nel Fibbio (Fig. 5.5, in alto a sinistra) si riduce dai 200 m<sup>3</sup>/s della sezione di Montorio ai poco meno di 100 m<sup>3</sup>/s in ingresso a San Martino Buon Albergo. A valle dell'abitato, per effetto delle esondazioni e delle diversioni di portata attraverso le diramazioni delle rogge e delle fosse



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 49 di 134

di diversione, la portata residua in alveo si riduce a poco meno di 50 m<sup>3</sup>/s e a 30-40 m<sup>3</sup>/s nel tratto terminale. Nell'Illasi (Fig. 5.6), la portata massima nella sezione di monte, superiore ai 250 m<sup>3</sup>/s, si riduce progressivamente verso valle per effetto delle tracimazioni arginali, segnalando quindi una capacità di portata del tratto terminale del corso d'acqua sostanzialmente pari a circa 100 m<sup>3</sup>/s. Nel Chiampo (Fig. 5.7), la portata massima considerata nella sezione iniziale, pari a oltre 300 m<sup>3</sup>/s, si riduce a circa 150 m<sup>3</sup>/s, a monte della confluenza con l'Alpone, per effetto delle tracimazioni arginali che si verificano in sinistra e soprattutto in destra idrografica. Qui, la portata si incrementa a circa 230 m<sup>3</sup>/s per gli apporti dell'Aldegà e dell'Alpone e si mantiene su tali valori o di poco superiori fino all'immissione in Adige, essendo questa sostanzialmente la capacità di portata del tratto terminale.

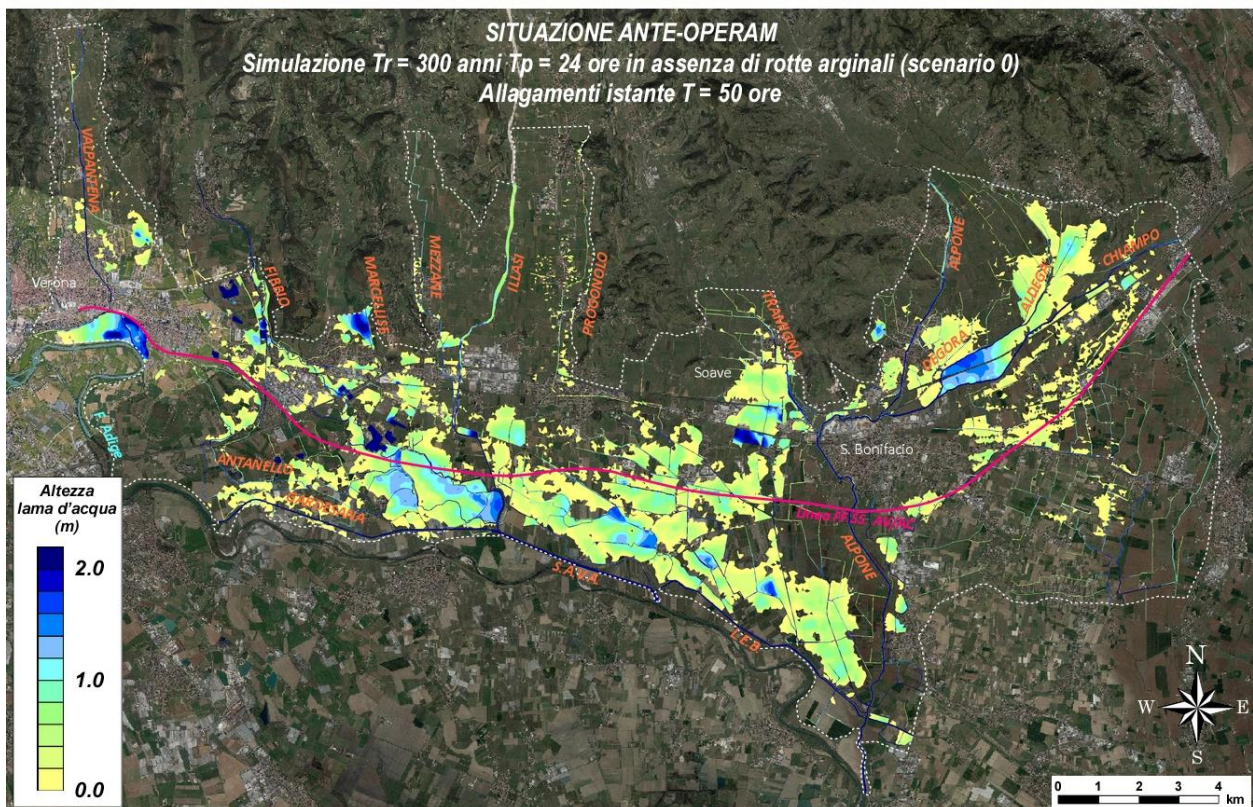
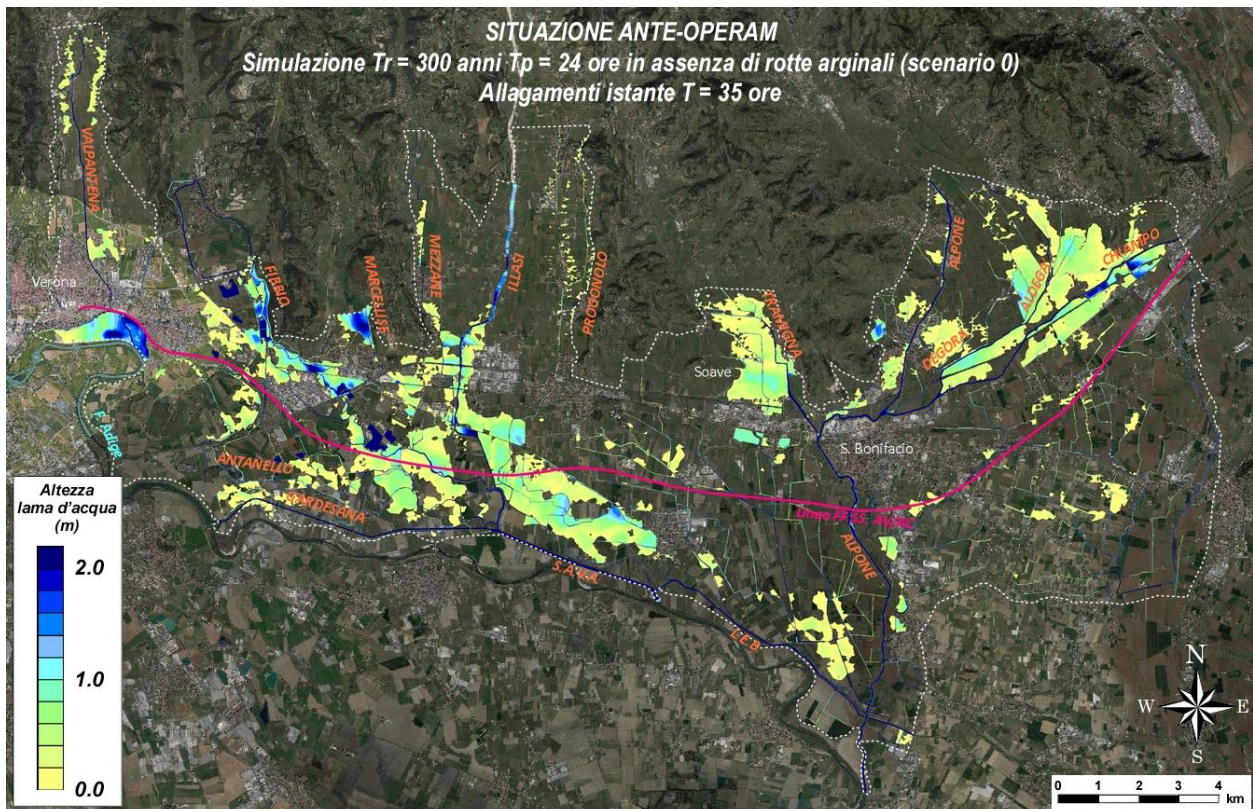


Fig. 5.1 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'evoluzione nel tempo delle aree e delle altezze di allagamento calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame (allagamenti agli istanti  $t=35-50$  ore della simulazione).

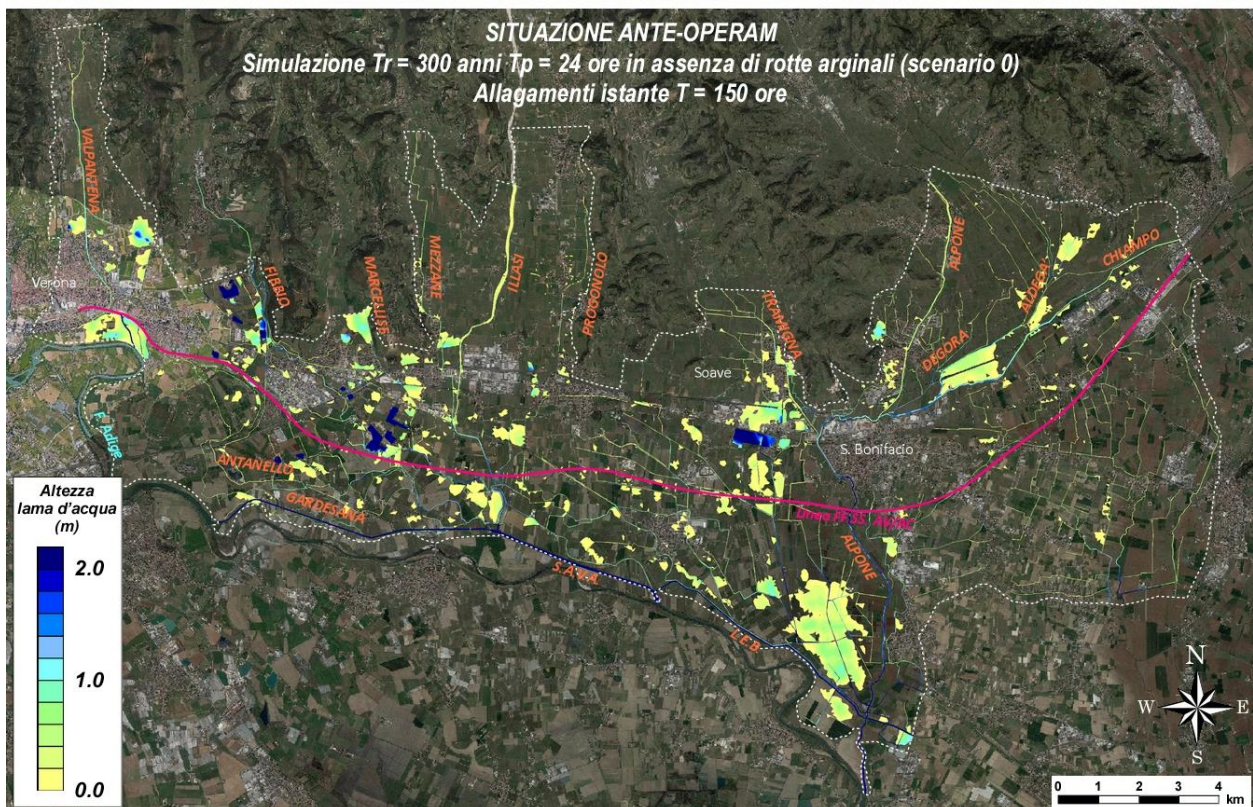
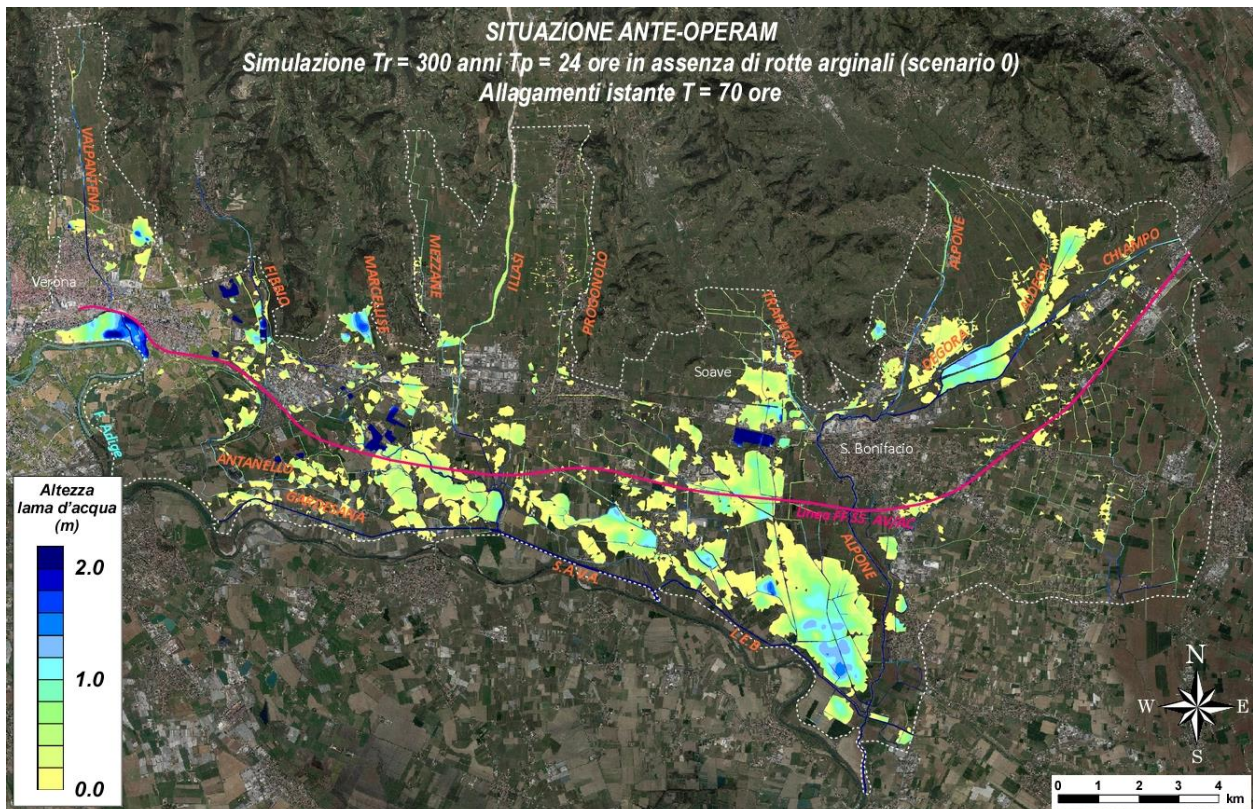


Fig. 5.2 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'evoluzione nel tempo delle aree e delle altezze di allagamento calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame (allagamenti agli istanti  $t=70-150$  ore della simulazione).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 52 di 134	

### 5.1.2 Evento di piena con $T_r=100$ anni e $T_p=24$ ore

La simulazione di calcolo eseguita per la situazione ante-operam studiando gli effetti di un evento di piena con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 24 ore è stata ripetuta considerando anche un evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni. Si tratta del valore del tempo di ritorno con cui, ad esempio, si prevede di dimensionare o si sono già dimensionati tutti gli interventi di mitigazione del rischio idraulico nel territorio del Chiampo-Alpone da parte della Regione Veneto. Tale intervallo temporale risulta assolutamente cautelativo.

In assenza di fenomeni di rotta e/o di cedimento arginale (scenario 0), i risultati della simulazione modellistica eseguita, costituiti dalla mappa delle aree allagate in cui sono rappresentate, a scala di colori, le altezze massime della lama d'acqua sul terreno raggiunte nel corso della simulazione stessa in tutti i punti del dominio di calcolo (inviluppo delle altezze massime), sono riportati per l'evento considerato nell'elaborato IN1710EI2N3ID0000012A e in forma grafica ridotta in Fig. 5.3, in basso.

Con riferimento all'evoluzione dei fenomeni di propagazione delle portate di piena in alveo, delle esondazioni e tracimazioni sulle arginature e della successiva propagazione sul territorio delle acque esondate, si osserva che lo sviluppo di tali fenomeni non cambia sostanzialmente rispetto all'evento con tempo di ritorno di 300 anni. Nel caso in esame, per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni, le differenze sui risultati rispetto al caso precedente consistono in una riduzione dell'estensione complessiva delle aree allagate e dei volumi di allagamento. In particolare, le aree di allagamento si riducono da circa 69 km<sup>2</sup>, per  $T_r=300$  anni, a circa 56 km<sup>2</sup>, per  $T_r=100$  anni, mentre i corrispondenti volumi di allagamento decrescono da circa  $43 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, per  $T_r=300$  anni, a circa  $33 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, per  $T_r=100$  anni (vedi Tab. 5.1).

Tali riduzioni di aree e volumi di allagamento trovano peraltro riscontro anche negli idrogrammi di piena calcolati in alcune sezioni significative del Valpantena, del Fibbio, dell'Illasi e del Chiampo-Alpone rappresentati, rispettivamente, in Fig. 5.4, Fig. 5.5, Fig. 5.6, Fig. 5.7, in alto a destra, messi a confronto con quelli tricentenari riportati nelle stesse figure, ma in alto a sinistra. Si osservano, ovviamente, valori massimi di portata e volumi degli idrogrammi sensibilmente inferiori. Tuttavia, si rileva che le portate massime in arrivo alle rispettive sezioni di attraversamento della linea AV/AC in progetto restano sostanzialmente inalterate, pari a poco più di 55 m<sup>3</sup>/s per il Valpantena, a circa 35 m<sup>3</sup>/s per il Fibbio, a circa 110 m<sup>3</sup>/s per l'Illasi e a 230 m<sup>3</sup>/s per l'Alpone, essendo esse determinate dall'insufficienza degli alvei a monte a convogliare le portate in arrivo. Tali valori corrispondono quindi sostanzialmente alla capacità di portata degli alvei dei corsi d'acqua nei tratti di monte sottesi dalle stesse sezioni della AV/AC.

Simulazione				Sup. allagata (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Vol. allagamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Ante-operam</b>	<b>scenario 0</b>	<b>Tr100</b>	<b>Tp24</b>	56.2	32.8
		<b>Tr300</b>	<b>Tp24</b>	68.8	42.6

Tab. 5.1 – Valori calcolati delle superfici allagate e dei volumi di allagamento massimi, nelle diverse situazioni e condizioni idrologiche indagate con il modello uni-bidimensionale.

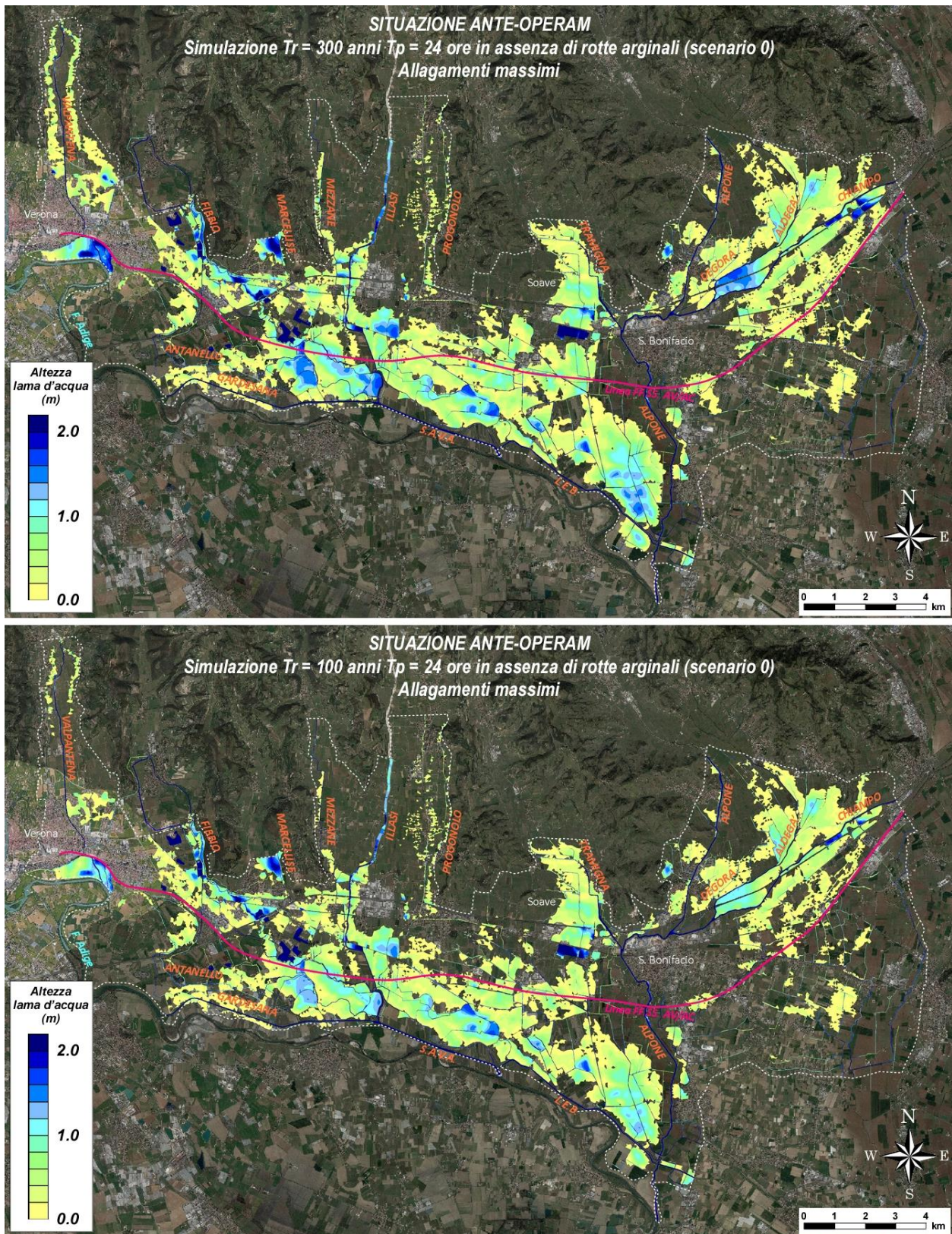


Fig. 5.3 - Evento con  $T_r=300$  anni (sopra) e  $T_r=100$  anni (sotto) e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), lungo i corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame, come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua stessi.

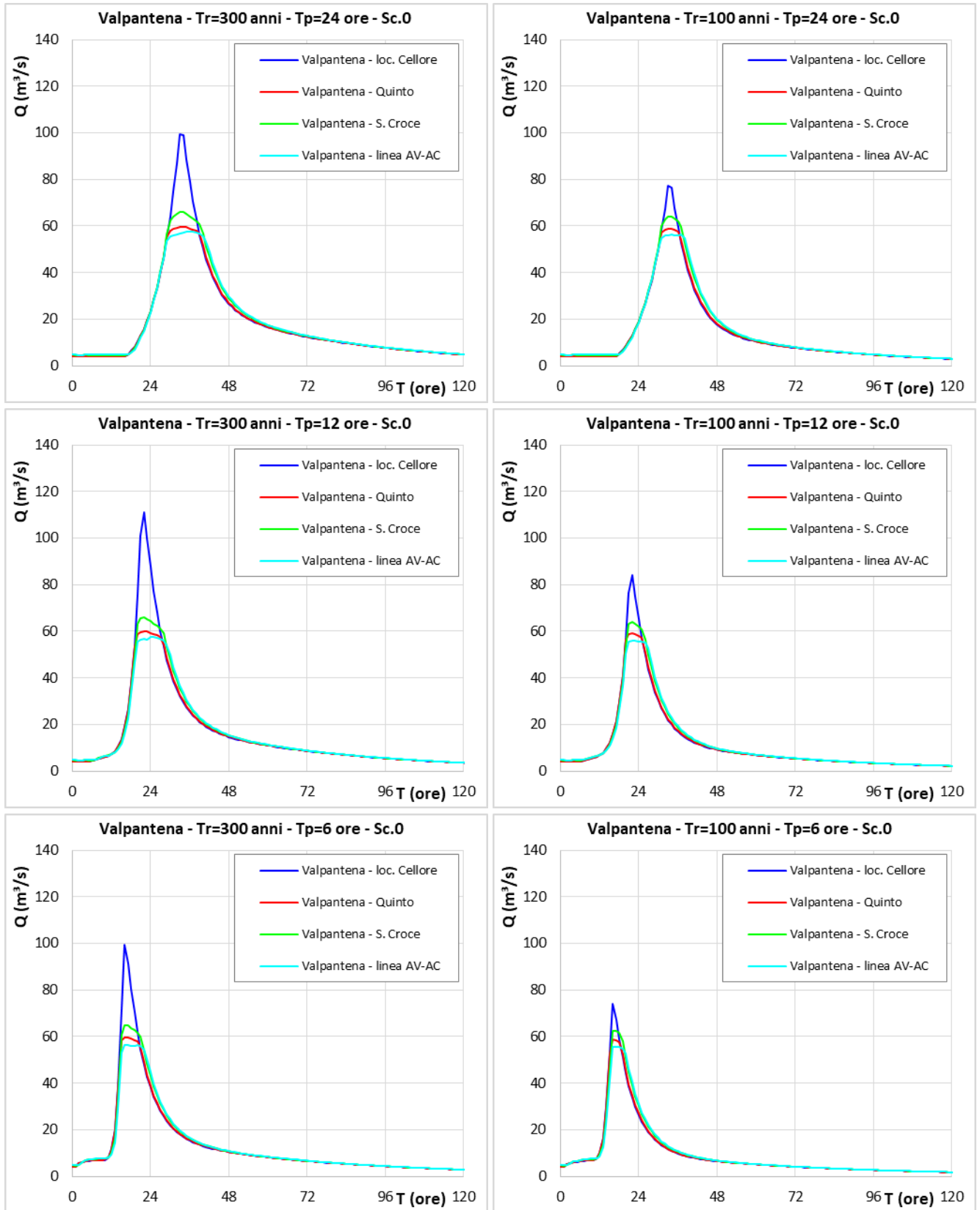


Fig. 5.4 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100-300 anni e durata di 6-12-24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), in alcune sezioni significative del Valpantena.

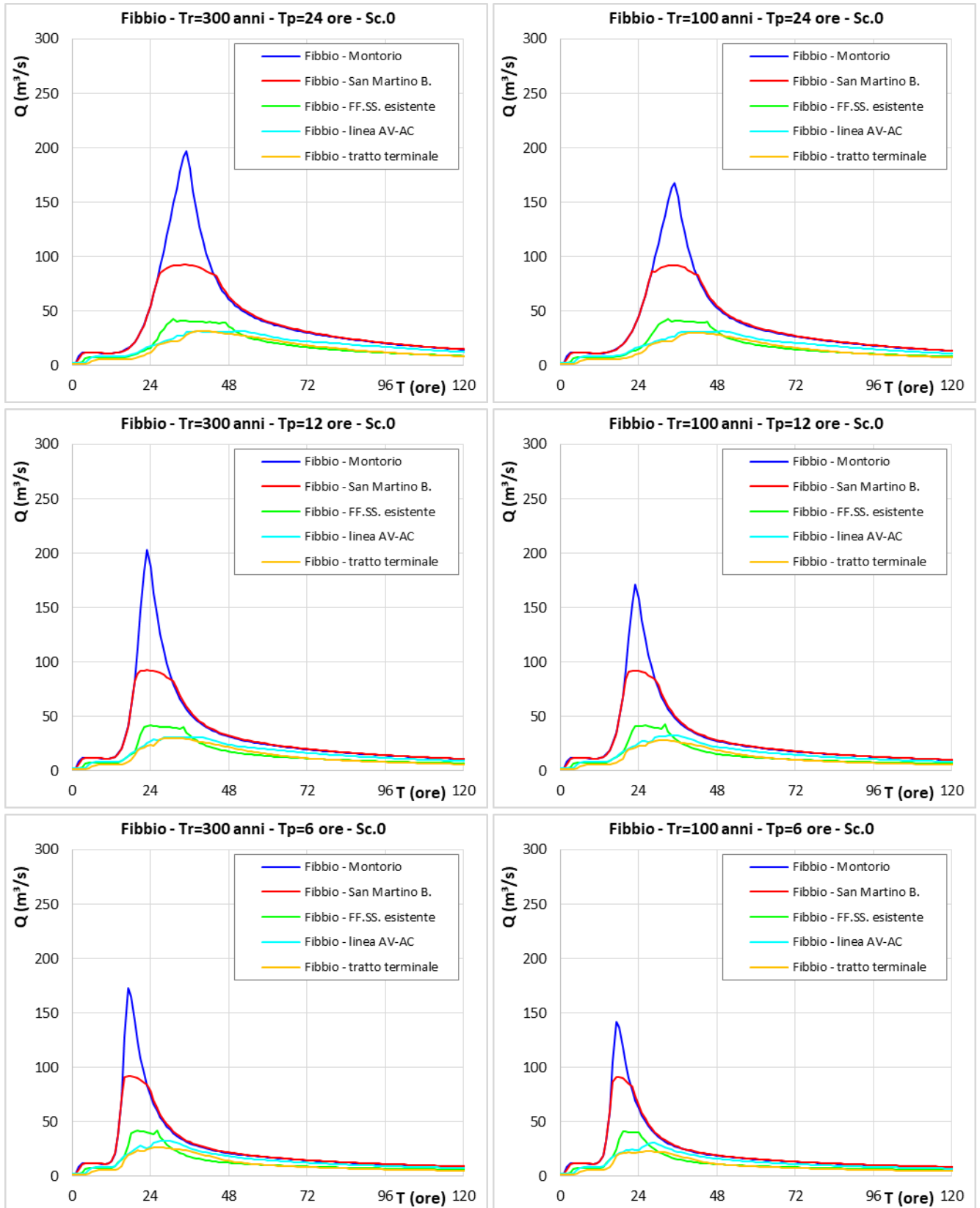


Fig. 5.5 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100-300 anni e durata di 6-12-24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), in alcune sezioni significative del Fibbio.

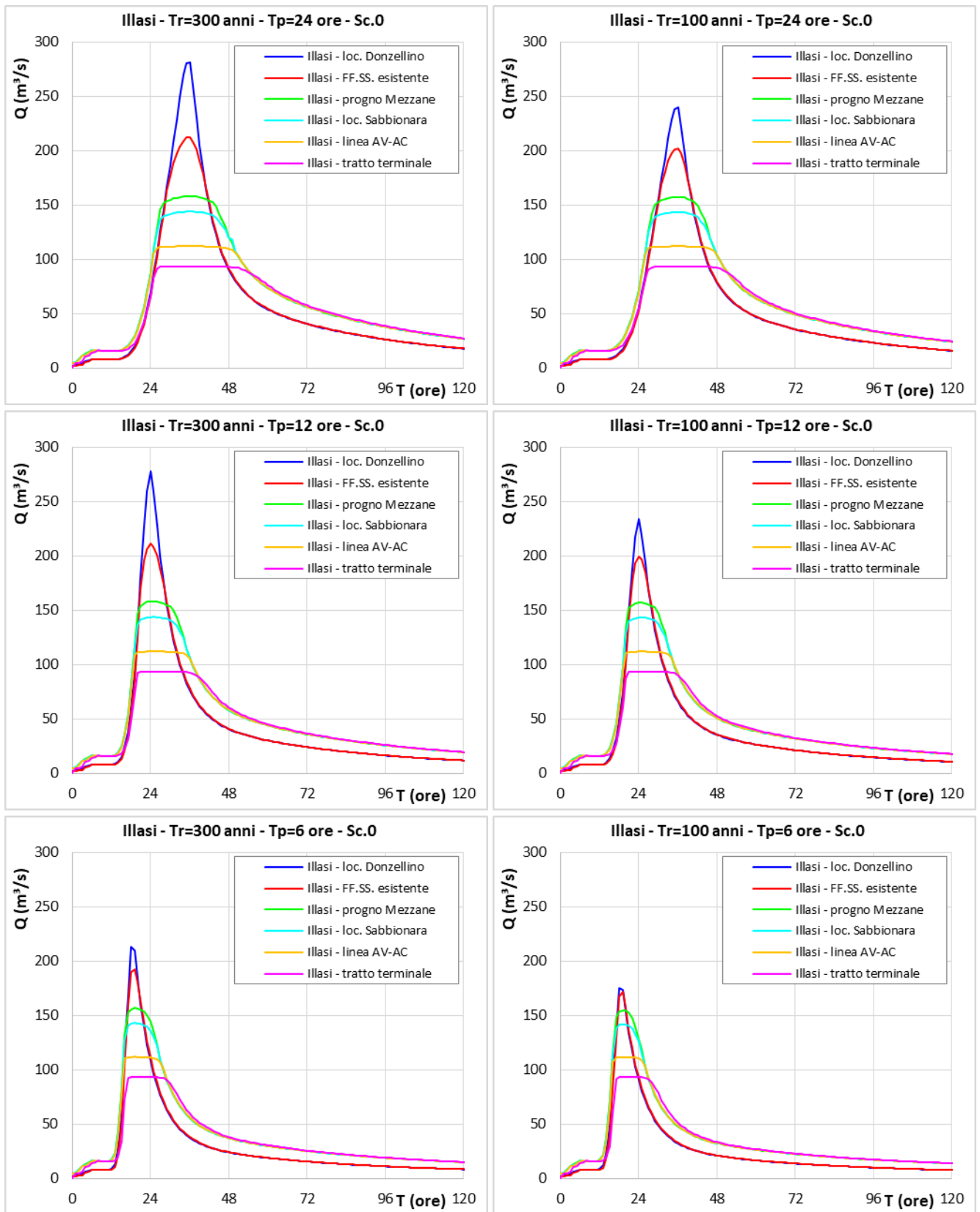


Fig. 5.6 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100-300 anni e durata di 6-12-24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), in alcune sezioni significative dell'Illasi.



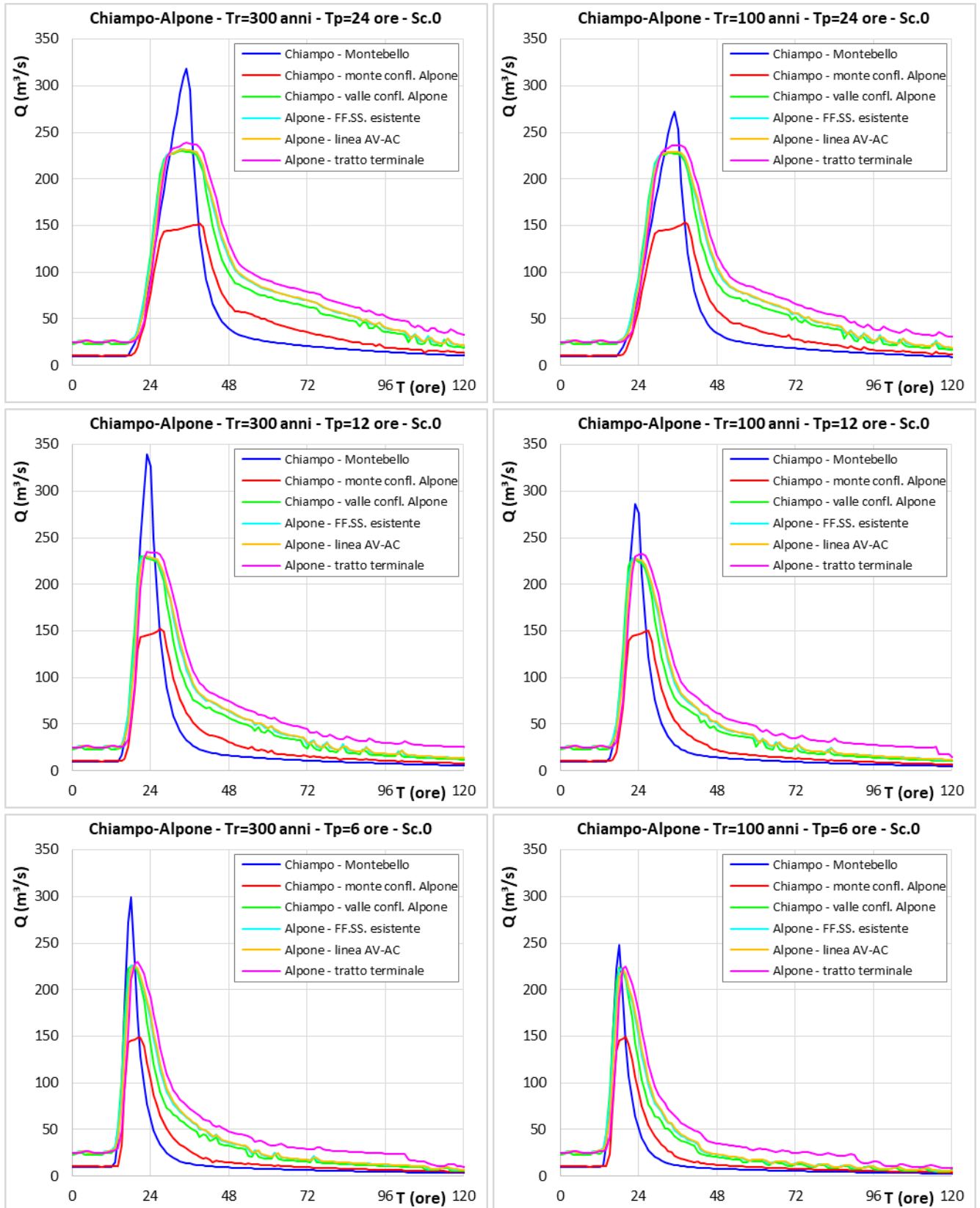


Fig. 5.7 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100-300 anni e durata di 6-12-24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), in alcune sezioni significative del Chiampo-Alpone.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 58 di 134

### 5.1.3 Eventi di piena con $Tr=100-300$ anni e $Tp=12$ ore

Le simulazioni di calcolo eseguite per la situazione attuale valutando gli effetti di eventi di piena con tempo di ritorno di 100 e 300 anni e durata di 24 ore sono state ripetute considerando piene di pari frequenza, ma generati da piogge di durata inferiore, pari a 12 ore.

Gli idrogrammi di portata immessi nei sistemi dei corsi d'acqua principali, Valpantena, Fibbio-Illasi e Chiampo-Alpone, illustrati nel paragrafo 4.3, hanno generalmente valori massimi pari o poco superiori a quelli della durata più prolungata, ma sono ovviamente caratterizzati da volumi complessivi inferiori.

Anche nella rete minore si sono considerati idrogrammi con portate complessive superiori (Fig. 4.10), per tenere conto delle maggiori portate che potrebbero interessare alcuni scoli di questa rete idrografica caratterizzati da tempi di corrivazione relativamente brevi.

I risultati delle simulazioni modellistiche eseguite, costituiti dalle mappe delle aree allagate in cui sono rappresentate le altezze massime della lama d'acqua sul terreno raggiunte nel corso delle stesse simulazioni in tutti i punti del dominio di calcolo (involuppo delle altezze massime), sono riportati per gli eventi considerati in forma grafica ridotta in Fig. 5.8.

La propagazione delle portate di piena negli alvei, i punti di esondazione sulle sponde e di tracimazione sulle arginature e la successiva propagazione sul territorio delle acque esondate sono sostanzialmente gli stessi rispetto agli eventi con durata più prolungata. Tuttavia, considerati i minori volumi in gioco degli idrogrammi immessi nelle reti idrografiche e quindi anche di quelli delle acque esondate, le differenze sui risultati rispetto ai casi precedenti consistono nella riduzione dell'estensione complessiva delle aree allagate e dei volumi di allagamento e delle altezze di allagamento sul territorio, anche in prossimità della posizione della nuova linea AV/AC. Le aree di allagamento si riducono a circa 59 km<sup>2</sup>, per  $Tr=300$  anni, e a circa 47 km<sup>2</sup>, per  $Tr=100$  anni, mentre i corrispondenti volumi di allagamento decrescono fino a poco meno di  $34 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, per  $Tr=300$  anni, e a circa  $26 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, per  $Tr=100$  anni (vedi Tab. 5.2).

La riduzione delle parti del territorio coinvolte dai volumi di esondazione trovano riscontro negli idrogrammi di piena calcolati in alcune sezioni significative del Valpantena, del Fibbio, dell'Illasi e del Chiampo-Alpone rappresentati, rispettivamente, in Fig. 5.4, Fig. 5.5, Fig. 5.6, Fig. 5.7, in centro, messi a confronto con quelli tricentenari e centenari della durata più prolungata riportati nelle stesse figure, ma in alto. Si osserva, infatti, che le differenze tra i volumi degli idrogrammi valutati nelle diverse posizioni dovute alle esondazioni sono inferiori rispetto ai casi precedenti. Anche per questi eventi, si rileva peraltro che le portate massime in arrivo alle sezioni di attraversamento della linea AV/AC in progetto restano sostanzialmente inalterate, pari a poco più di 55 m<sup>3</sup>/s per il Valpantena, a circa 35 m<sup>3</sup>/s per il Fibbio, a circa 110 m<sup>3</sup>/s per l'Illasi e a 230 m<sup>3</sup>/s per l'Alpone.

### 5.1.4 Eventi di piena con $Tr=100-300$ anni e $Tp=6$ ore

Le simulazioni di calcolo eseguite per la situazione attuale per valutare gli effetti di eventi con tempo di ritorno di 100 e 300 anni sono state completate considerando anche piene generate da piogge di durata ancora inferiore, pari a 6 ore.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 59 di 134

Gli idrogrammi di portata del Valpantena, del Fibbio-Illasi e del Chiampo-Alpone, riportati nel paragrafo 4.3, sono caratterizzati da valori massimi e da volumi complessivi inferiori a quelli delle durate più prolungate, mentre nella rete minore gli idrogrammi di breve durata hanno portate complessive superiori (Fig. 4.10) rispetto a quelli con durata di 12 e 24 ore.

I risultati delle simulazioni di calcolo, vale a dire le mappe delle aree allagate con le altezze massime di allagamento sul terreno (involuppo delle altezze massime), sono riportati in Fig. 5.9.

Come per i casi precedenti esaminati, i fenomeni di propagazione delle portate di piena negli alvei, i punti di fuoriuscita delle acque dagli alvei e la successiva propagazione sul territorio delle acque di esondazione restano sostanzialmente gli stessi, ma, per gli ancora minori volumi d'acqua in gioco, l'estensione complessiva delle aree allagate, i volumi di allagamento e le altezze di sommersione sul territorio, anche in prossimità della posizione della nuova linea AV/AC, sono proporzionalmente inferiori. Le aree di allagamento si riducono a circa 44 km<sup>2</sup>, per Tr=300 anni, e a circa 35 km<sup>2</sup>, per Tr=100 anni, mentre i corrispondenti volumi di allagamento decrescono fino a circa 23×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, per Tr=300 anni, e a poco meno di 18×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, per Tr=100 anni (vedi Tab. 5.2).

Gli idrogrammi di piena calcolati in alcune sezioni significative del Valpantena, del Fibbio, dell'Illasi e del Chiampo-Alpone sono anch'essi rappresentati in Fig. 5.4, Fig. 5.5, Fig. 5.6, Fig. 5.7, in basso. Essi, in particolare quelli relativi alle sezioni di monte, hanno valori massimi e volumi molto inferiori rispetto a quelli dei casi con durata più prolungata precedentemente indagati. Gli idrogrammi valutati in corrispondenza delle sezioni di attraversamento della nuova linea AV/AC sono invece caratterizzati da portate massime di pari valore ai precedenti, circa 55 m<sup>3</sup>/s nel Valpantena, circa 35 m<sup>3</sup>/s nel Fibbio, circa 110 m<sup>3</sup>/s nell'Illasi e circa 230 m<sup>3</sup>/s nell'Alpone.

Simulazione				Sup. allagata (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Vol. allagamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Ante-operam</b>	<b>scenario 0</b>	<b>Tr100</b>	<b>Tp24</b>	56.2	32.8
		<b>Tr300</b>	<b>Tp24</b>	68.8	42.6
		<b>Tr100</b>	<b>Tp12</b>	47.3	26.0
		<b>Tr300</b>	<b>Tp12</b>	58.8	33.6
		<b>Tr100</b>	<b>Tp6</b>	34.7	17.9
		<b>Tr300</b>	<b>Tp6</b>	44.3	23.0

Tab. 5.2 – Valori calcolati delle superfici allagate e dei volumi di allagamento massimi, nelle diverse situazioni e condizioni idrologiche indagate con il modello uni-bidimensionale.



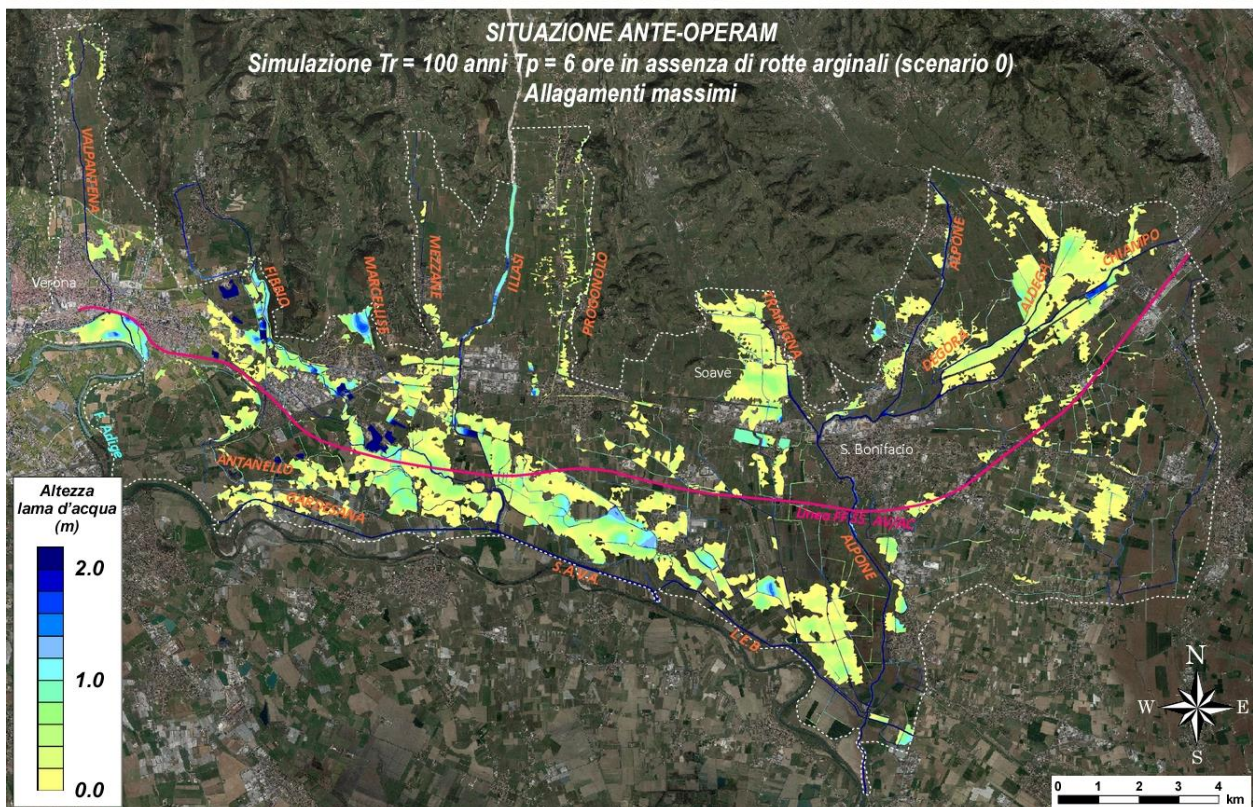
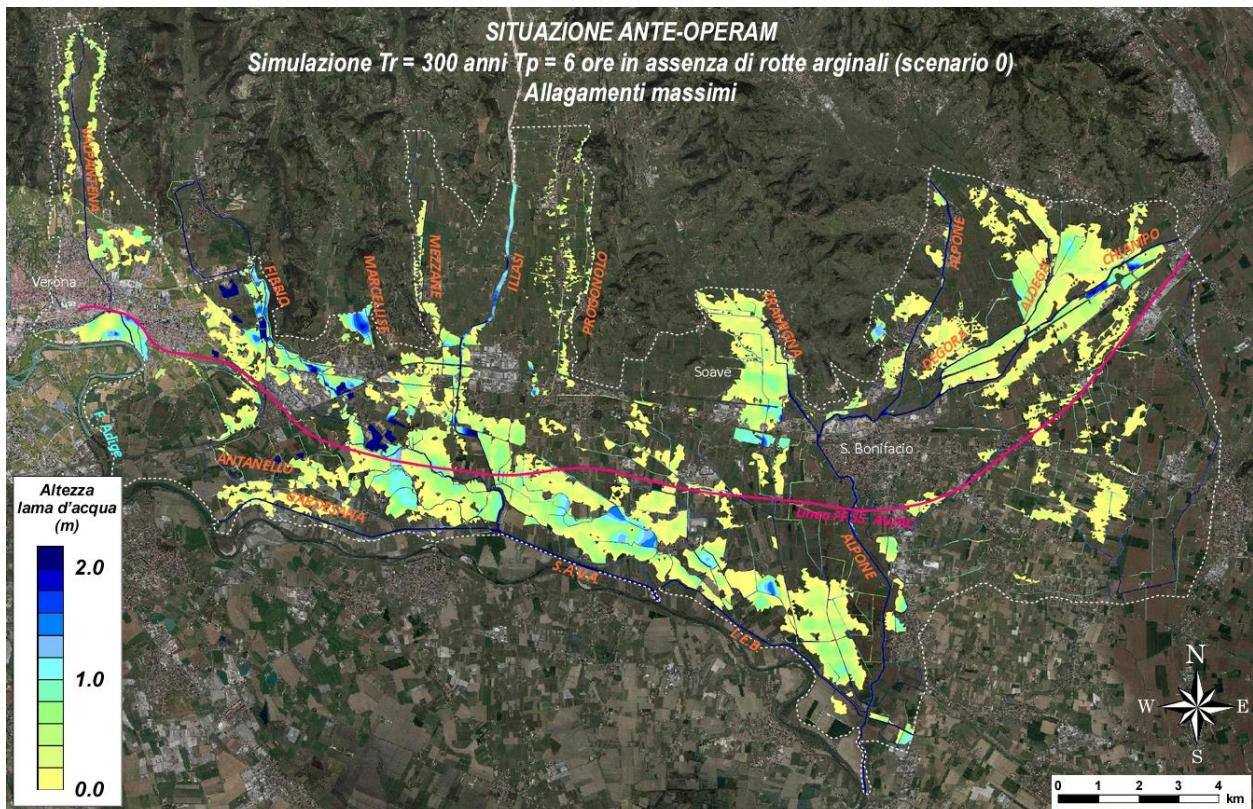


Fig. 5.9 - Evento con  $T_r=300$  anni (sopra) e  $T_r=100$  anni (sotto) e  $T_p=6$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione ante-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), lungo i corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame, come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua stessi.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 62 di 134

## 5.2 Ante-operam con presenza di rotte (scenari 1, 2, 3)

I risultati ottenuti con le simulazioni condotte con il modello uni-bidimensionale, illustrati ai precedenti paragrafi 5.1.1 e 5.1.2, hanno consentito di constatare che tracimazioni arginali si verificano lungo alcuni corsi d'acqua principali che attraversano il territorio in esame con arginature che si elevano di alcuni metri sui terreni adiacenti, come ad esempio il Valpantena, l'Illasi e il Chiampo-Alpone.

In tali casi, in condizioni di incipiente sormonto e/o di tracimazione delle arginature, fa seguito molto spesso un cedimento iniziale dell'argine stesso con successiva rotta e apertura di un varco nella difesa, attraverso la quale generalmente fuoriesce una gran parte della portata in arrivo da monte.

Per valutare condizioni di allagamento ancor più gravose per il territorio attraversato dalla nuova linea ferroviaria, si sono considerati allora ulteriori scenari di calcolo, relativi al possibile verificarsi di rotte arginali che si potrebbero innescare in corrispondenza delle prime zone di sormonto delle arginature di difesa del Valpantena, dell'Illasi e del Chiampo-Alpone, nelle posizioni più prossime al tracciato della nuova linea ferroviaria stessa. In particolare:

- nello scenario 1 si è considerata la formazione di una rotta nell'argine sinistro dell'Illasi, a monte dell'attraversamento della ferrovia esistente, in corrispondenza di una curva verso ovest del corso d'acqua, e di una rotta anche lungo l'argine sinistro del Chiampo, a monte dell'attraversamento dell'autostrada A4, all'altezza del casello autostradale di Montebello;
- nello scenario 2 si è considerata la formazione di una rotta nell'argine sinistro dell'Illasi, a valle della confluenza del Progno Mezzane e del Marcellise, in corrispondenza di una curva verso sud del corso d'acqua, e di una rotta anche lungo l'argine destro alla confluenza Alpone-Tramigna, nella posizione in cui si è verificato un cedimento/rotta dell'argine, per sormonto, durante l'evento del maggio 2013;
- nello scenario 3 si è considerata la formazione di due rotte contemporanee nelle arginature del Valpantena, una in destra e una in sinistra, in loc. Cellore, poco a monte di Quinto, e di una rotta nell'argine destro dell'Illasi, poco a valle della confluenza del Progno Mezzane e del Marcellise.

Tali scenari, caratterizzati da ipotetiche rotte arginali la cui posizione è riportata in Fig. 5.10, sono stati indagati considerando gli eventi di piena con tempo di ritorno di 100 anni e di 300 anni e durata di 24 ore, per valutare le condizioni di allagamento più gravose per il territorio adiacente alla rete idrografica in esame, simulando la formazione della rotta attraverso gli effetti di un cedimento che apra sul corpo arginale una breccia che si vada progressivamente e rapidamente ampliando per l'azione erosiva della corrente effluente, senza tenere conto di un intervento di emergenza per tamponare il varco così formatosi.

I risultati ottenuti sono di seguito illustrati.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 63 di 134

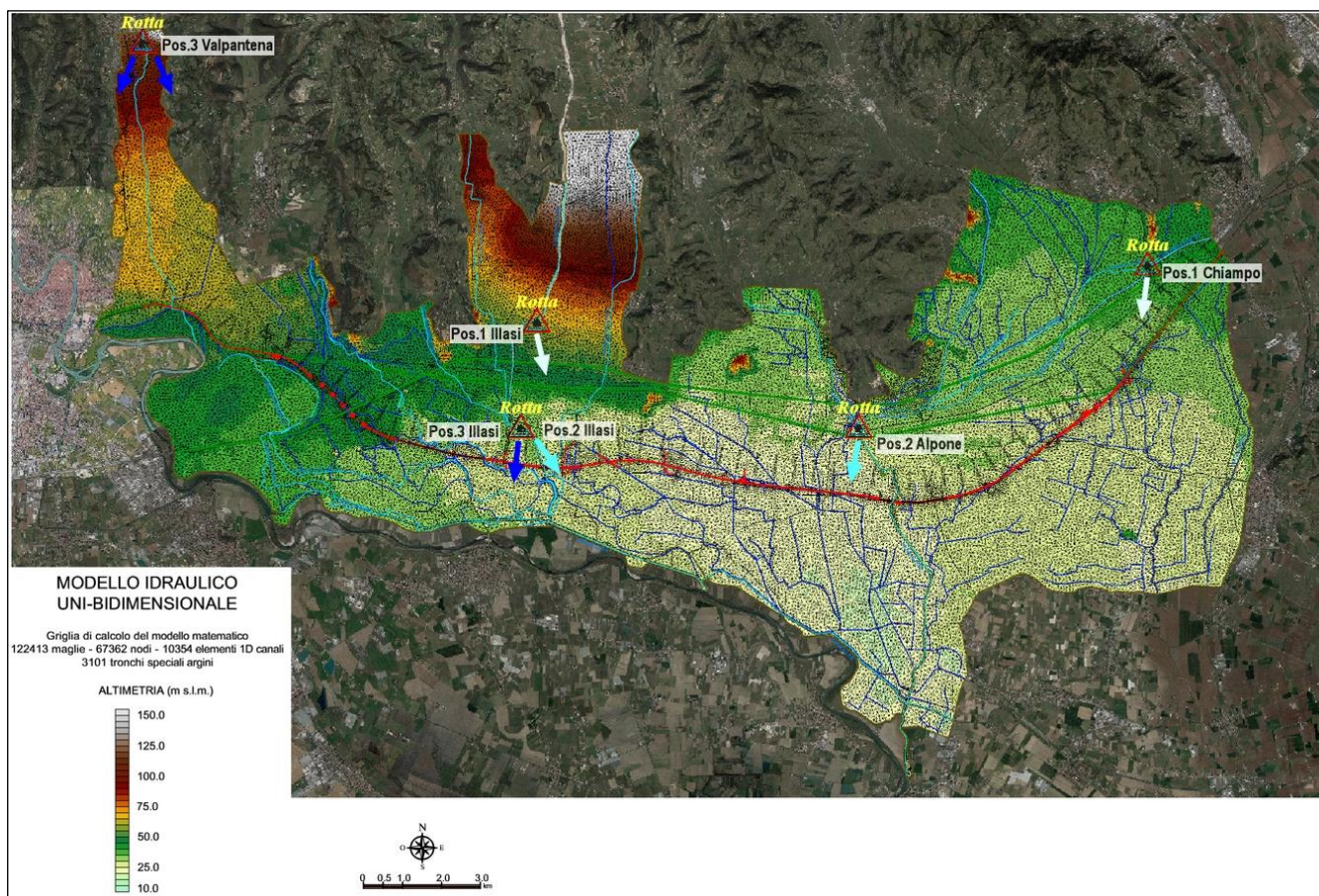


Fig. 5.10 - Rappresentazione, sull'ortofoto regionale e sul reticolo di calcolo, delle posizioni considerate per le rotte ipotizzate come conseguenza delle tracimazioni lungo gli argini sinistro e destro del Valpantena e dell'Illasi, lungo l'argine sinistro del Chiampo e lungo l'argine destro alla confluenza Alpone-Tramigna per lo scenario 1 (pos.1), per lo scenario 2 (pos.2) e per lo scenario 3 (pos.3).

### 5.2.1 Scenario 1 – Presenza di rotte nell'argine sinistro dell'Illasi e nell'argine sinistro del Chiampo

Nelle simulazioni eseguite per lo scenario 1 si è ipotizzata la formazione di una rotta nell'argine sinistro dell'Illasi e nell'argine sinistro del Chiampo, nelle posizioni 1 segnalate in Fig. 5.10, dopo che si siano verificati proprio in quelle posizioni i sormonti sulle difese interessate.

Le simulazioni hanno una durata di 360 ore e, nelle ipotesi assunte, l'apertura della breccia nell'argine dell'Illasi ha origine circa all'istante  $T=30.5$  ore, per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni, e all'istante  $T=29$  ore, per quello tricentenario, con portata fluente in alveo di circa  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ , come si rileva osservando gli andamenti della portata calcolati con il modello uni-bidimensionale in corrispondenza della rotta stessa (Fig. 5.11).

Il varco sulla difesa sinistra del Chiampo si verificherebbe in un istante poco diverso della piena, verso la 30<sup>a</sup> ora della simulazione di calcolo, per l'evento centenario, e alla 28<sup>a</sup> ora, per l'evento con  $T_r=300$  anni, con portata in arrivo da monte di circa  $170 \text{ m}^3/\text{s}$  (Fig. 5.12).

Considerando il cedimento completo delle difese, fino quasi alla quota del terreno esterno agli alvei, con altezze del varco pari a 2.2 m per l'Illasi ed a poco meno di 4 m per il Chiampo, e il rapido allargamento di ciascuna breccia fino ad una larghezza finale di circa 50 m, la portata in uscita dagli alvei stessi aumenterebbe nel tempo

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 64 di 134

fino a raggiungere il valore massimo di circa 150 m<sup>3</sup>/s e di 175 m<sup>3</sup>/s nell'Illasi (Fig. 5.11), rispettivamente per Tr=100 anni e per Tr=300 anni, e di poco più di 180 m<sup>3</sup>/s nel Chiampo (Fig. 5.12).

I volumi d'acqua complessivamente fuoriusciti nelle ore successive all'inizio dei fenomeni, fino alla 96<sup>a</sup> ora di ciascuna simulazione, sono riportati con altri elementi caratteristici delle rotte nel prospetto riassuntivo di Tab. 5.3 e ammonterebbero, per gli eventi con tempo di ritorno di 100 anni e di 300 anni, a circa  $(11.5 \div 14.0) \times 10^6$  m<sup>3</sup> nell'Illasi ed a circa  $(7.2 \div 8.8) \times 10^6$  m<sup>3</sup> nel Chiampo.

Rispetto alla situazione attuale precedentemente indagata con lo scenario 0, senza rotte, le acque fuoriuscite dalle brecce ipotizzate determinerebbero, ovviamente, un aggravio delle condizioni di allagamento nella zona ad est dell'argine sinistro dell'Illasi ed a sud dell'argine sinistro del Chiampo, coinvolgendo, nel caso del Chiampo, anche superfici molto estese non soggette ad allagamento nella situazione senza rotte (scenario 0). In particolare, le acque in uscita dall'Illasi a monte del ponte dell'autostrada resterebbero sostanzialmente addossate all'argine sinistro del corso d'acqua. Più a valle, superato il rilevato autostradale e quello della ferrovia esistente, allagherebbero in parte l'abitato di Caldierino e si spaglierebbero verso sud-est, verso i terreni della bonifica drenati dai sistemi idrografici Biniega-Sarega e Zerpano, restando in buona parte a nord del tracciato della strada Porcilana. Le acque del Chiampo, invece, defluendo verso sud secondo la pendenza del terreno, si addosserebbero ai rilevati dell'autostrada, della strada regionale 11 e della ferrovia esistente determinando, in qualche caso, ristagni d'acqua con tiranti superiori ai 2 m, prima di defluire attraverso i passaggi esistenti (tombini, sottovia, ponti, ecc.).

Se si considerano l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento massimi, riportati nel prospetto di sintesi in Tab. 5.4, si rileva, ad esempio per il tempo di ritorno di 300 anni, che le aree allagate aumentano da circa 69 km<sup>2</sup>, per lo scenario 0 senza rotte, a circa 80 km<sup>2</sup>, per lo scenario 1 con rotte, mentre i corrispondenti volumi di allagamento si incrementano da circa  $43 \times 10^6$  m<sup>3</sup> a poco meno di  $51 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

In Fig. 5.11 e in Fig. 5.12, in basso, sono riportati gli andamenti della portata in alveo calcolati in alcune sezioni significative dell'Illasi e del Chiampo-Alpone. Se si confrontano le portate dell'Illasi (Fig. 5.11) con quelle calcolate per lo stesso scorso d'acqua in assenza di rotte (Fig. 5.6) si evidenzia ancora una volta l'importante fuoriuscita d'acqua attraverso la rotta ipotizzata. Si segnala, peraltro, che la portata residua in alveo resta comunque su valori elevati, quasi 150 m<sup>3</sup>/s alla confluenza con il Progno Mezzane, che si riducono, per ulteriori esondazioni, ai poco meno di 100 m<sup>3</sup>/s fluenti nel tratto terminale.

Nel caso del Chiampo-Alpone (Fig. 5.12), la portata residua nell'alveo del Chiampo alla confluenza con l'Alpone (circa 80 m<sup>3</sup>/s) si incrementa prima a 160-170 m<sup>3</sup>/s e più a valle, per l'apporto del Tramigna, a circa 180 m<sup>3</sup>/s. Nel tratto terminale, la portata massima resta quindi al di sotto del valore della capacità di portata che è di 230-240 m<sup>3</sup>/s (Fig. 5.7).



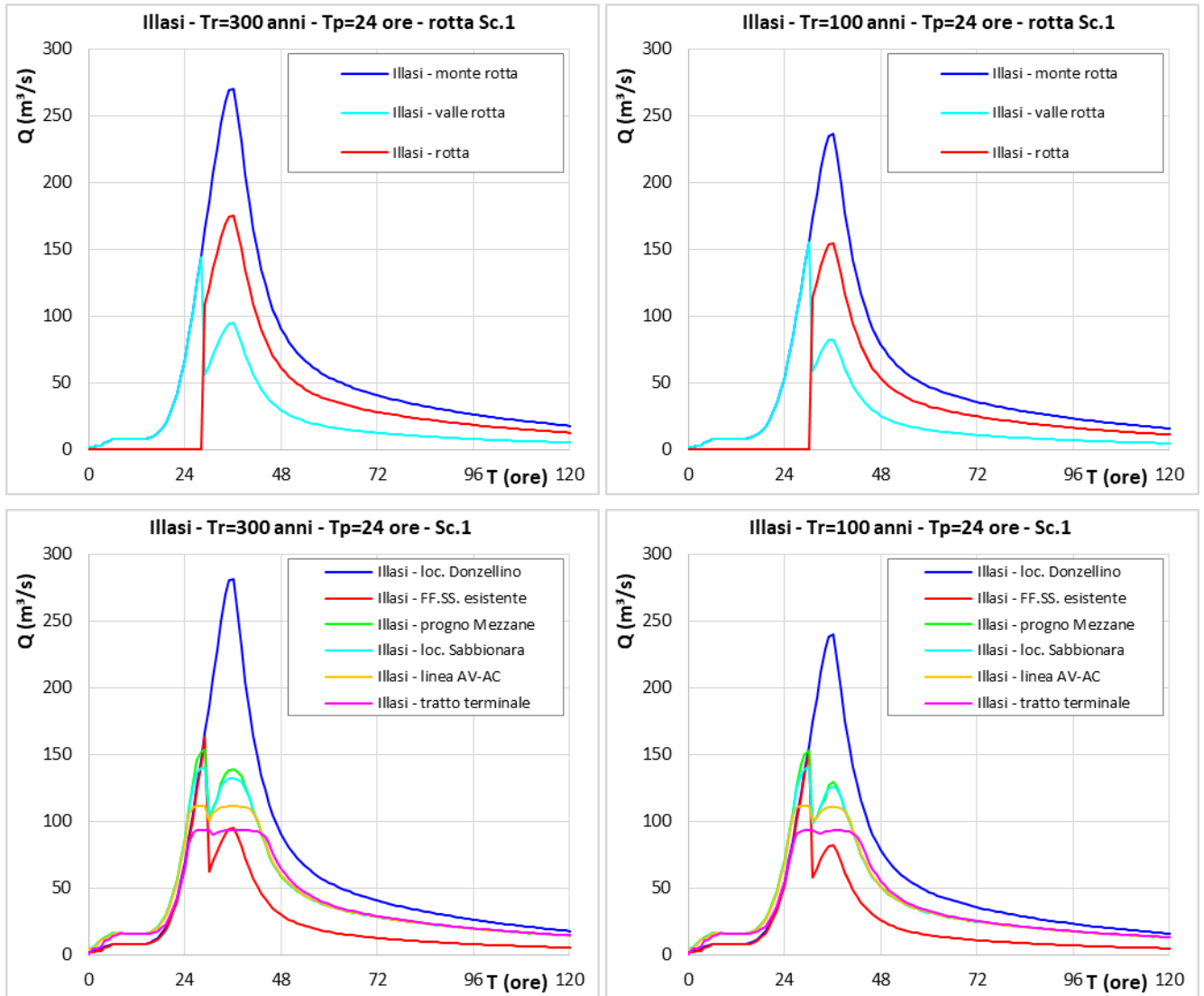


Fig. 5.11 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100 anni (destra) e di 300 anni (sinistra) e durata di 24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 1), in corrispondenza della rotta dell'Illasi (sopra) e in alcune sezioni significative dell'Illasi stesso (sotto).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 66 di 134

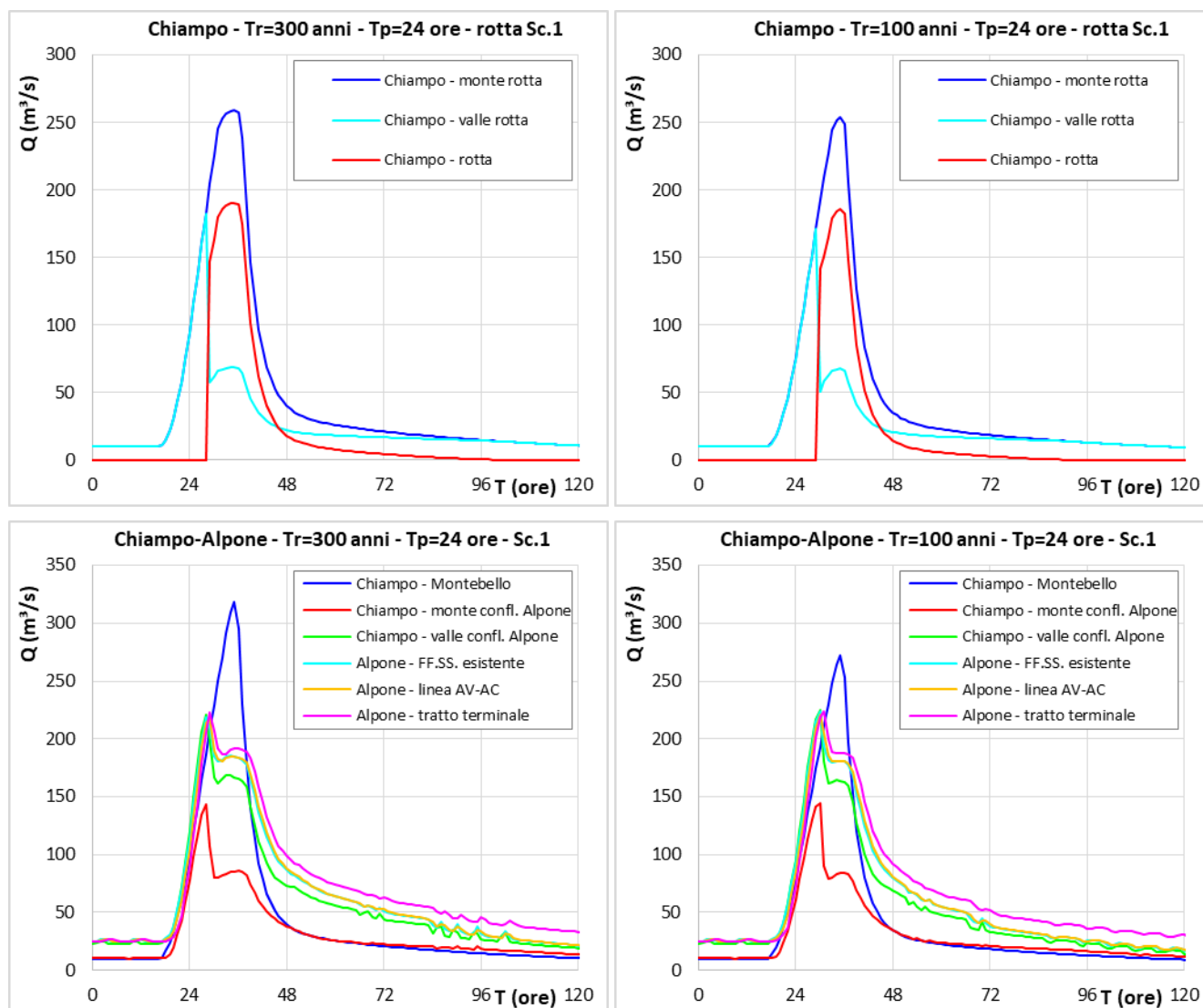


Fig. 5.12 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100 anni (destra) e di 300 anni (sinistra) e durata di 24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 1), in corrispondenza della rotta del Chiampo (sopra) e in alcune sezioni significative del Chiampo-Alpone (sotto).

### 5.2.2 Scenario 2 – Presenza di rotte nell'argine sinistro dell'Illasi e nell'argine destro dell'Alpone

Nelle simulazioni eseguite per lo scenario 2 si è ipotizzata la formazione di una rotta nell'argine sinistro dell'Illasi, all'altezza della confluenza con il Progno Mezzane, e anche nell'argine destro dell'Alpone, alla confluenza con il Tramigna, nelle posizioni 2 segnalate in Fig. 5.10, dopo che si siano verificati proprio in quelle posizioni i sormonti sulle difese.

Nelle ipotesi assunte, l'apertura della breccia nell'argine dell'Illasi ha origine circa alle ore 26.5 della simulazione, per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni, e poco dopo l'istante  $T=25$  ore, per quello tricentenario (Tab. 5.3), con portata fluente in alveo di poco inferiore ai 110  $m^3/s$ , come si rileva osservando gli andamenti della portata calcolati con il modello in corrispondenza della rotta stessa (Fig. 5.13).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 67 di 134

Il varco sulla difesa destra dell'Alpone, alla confluenza con il Tramigna, si verificherebbe in un istante successivo della piena, verso la 33<sup>a</sup> ora della simulazione di calcolo, per l'evento centenario, e alla 31<sup>a</sup> ora, per l'evento con  $Tr=300$  anni (Tab. 5.3), con portata in arrivo da monte di circa 225 m<sup>3</sup>/s (Fig. 5.14), essendo nulla la portata del Tramigna al momento del crollo, per effetto della chiusura della paratoia di interclusione presente al ponte della SR n. 11.

Considerando il cedimento completo delle difese, fino quasi alla quota del terreno esterno agli alvei, con altezze del varco pari a 2.6 m per l'Illasi ed a 3.4 m per l'Alpone, e il rapido allargamento di ciascuna breccia fino ad una larghezza finale di circa 50 m, la portata in uscita dagli alvei stessi aumenterebbe nel tempo fino a raggiungere il valore massimo di circa 115 m<sup>3</sup>/s nell'Illasi e di poco più di 50 m<sup>3</sup>/s nell'Alpone.

I volumi d'acqua complessivamente fuoriusciti nelle ore successive all'inizio dei fenomeni, fino alla 96<sup>a</sup> ora di ciascuna simulazione, sono riportati con altri elementi caratteristici delle rotte stesse nel prospetto riassuntivo di Tab. 5.3 e ammonterebbero, per gli eventi con tempo di ritorno di 100 anni e di 300 anni, a circa  $(14.3-16) \times 10^6$  m<sup>3</sup> nell'Illasi ed a circa  $(1.7-2.1) \times 10^6$  m<sup>3</sup> nell'Alpone.

Rispetto alla situazione ante-operam indagata in precedenza senza considerare le rotte arginali (scenario 0), le acque fuoriuscite dalle brecce ipotizzate determinerebbero, come per il caso dello scenario 1, un aggravamento delle condizioni di allagamento pre-esistenti e/o il coinvolgimento di nuove superfici nelle zone direttamente investite dalle acque di esondazione.

Le acque in uscita dall'Illasi, a valle del ponte sulla strada Porcilana, determinerebbero nell'area direttamente interessata dalla rotta un incremento medio di circa 40 cm delle altezze di allagamento. Le acque fuoriuscite sarebbero quindi convogliate, in parte negli alvei della rete di bonifica Biniega-Sarega e Zerpano e in parte scorrendo sul terreno, verso sud-est, andando ad interessare il territorio e l'abitato di Belfiore, prima di andare ad accumularsi nell'ampia zona di campagna delimitata dall'argine destro dell'Alpone, ad est, e dal canale LEB verso sud-ovest, nella parte meridionale del territorio indagato nell'ambito della presente indagine. Qui, le acque di allagamento si accumulerebbero e un'ampia superficie sarebbe interessata da altezze d'acqua superiori ai 2 m per l'evento con tempo di ritorno di 300 anni. Ad incrementare tale invaso d'acqua temporaneo contribuirebbe anche la portata in uscita dall'argine destro dell'Alpone all'altezza della confluenza con il Tramigna. La portata esondata, infatti, prima interesserebbe località Villabella di San Bonifacio, come accaduto durante la piena del 16 maggio 2013, e quindi defluirebbe lungo i canali esistenti e sul terreno verso sud, fino alla posizione dell'idrovora Zerpa, con sollevamento nell'Alpone, e delle due botti a sifone che sotto-passano l'Alpone stesso.

Se si considerano l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento massimi, riportati nel prospetto di sintesi in Tab. 5.4, si rileva, ad esempio per il tempo di ritorno di 300 anni, che le aree allagate aumentano da circa 69 km<sup>2</sup>, per lo scenario 0 senza rotte, a poco più di 75 km<sup>2</sup>, per lo scenario 2 con rotte, mentre i corrispondenti volumi di allagamento si incrementano da circa  $43 \times 10^6$  m<sup>3</sup> a circa  $53 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

In Fig. 5.13 e Fig. 5.14, in basso, sono riportati gli andamenti della portata in alveo calcolati in alcune sezioni significative dell'Illasi e del Chiampo-Alpone. Nell'Illasi (Fig. 5.13), per effetto della rotta in sinistra ipotizzata in loc. Sabbionara, la portata residua in alveo nel tratto terminale del corso d'acqua si riduce a circa 50 m<sup>3</sup>/s, valore inferiore rispetto alla capacità di portata del tratto terminale (Fig. 5.6). Nel caso del Chiampo-Alpone (Fig. 5.14), la portata in arrivo nell'Alpone al punto della rotta (circa 230 m<sup>3</sup>/s) si riduce a valle di essa e per tutto il

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 68 di 134</p>

tratto terminale ad un valore di circa 200 m<sup>3</sup>/s, inferiore alla capacità di portata del tratto stesso (230-240 m<sup>3</sup>/s in Fig. 5.7).

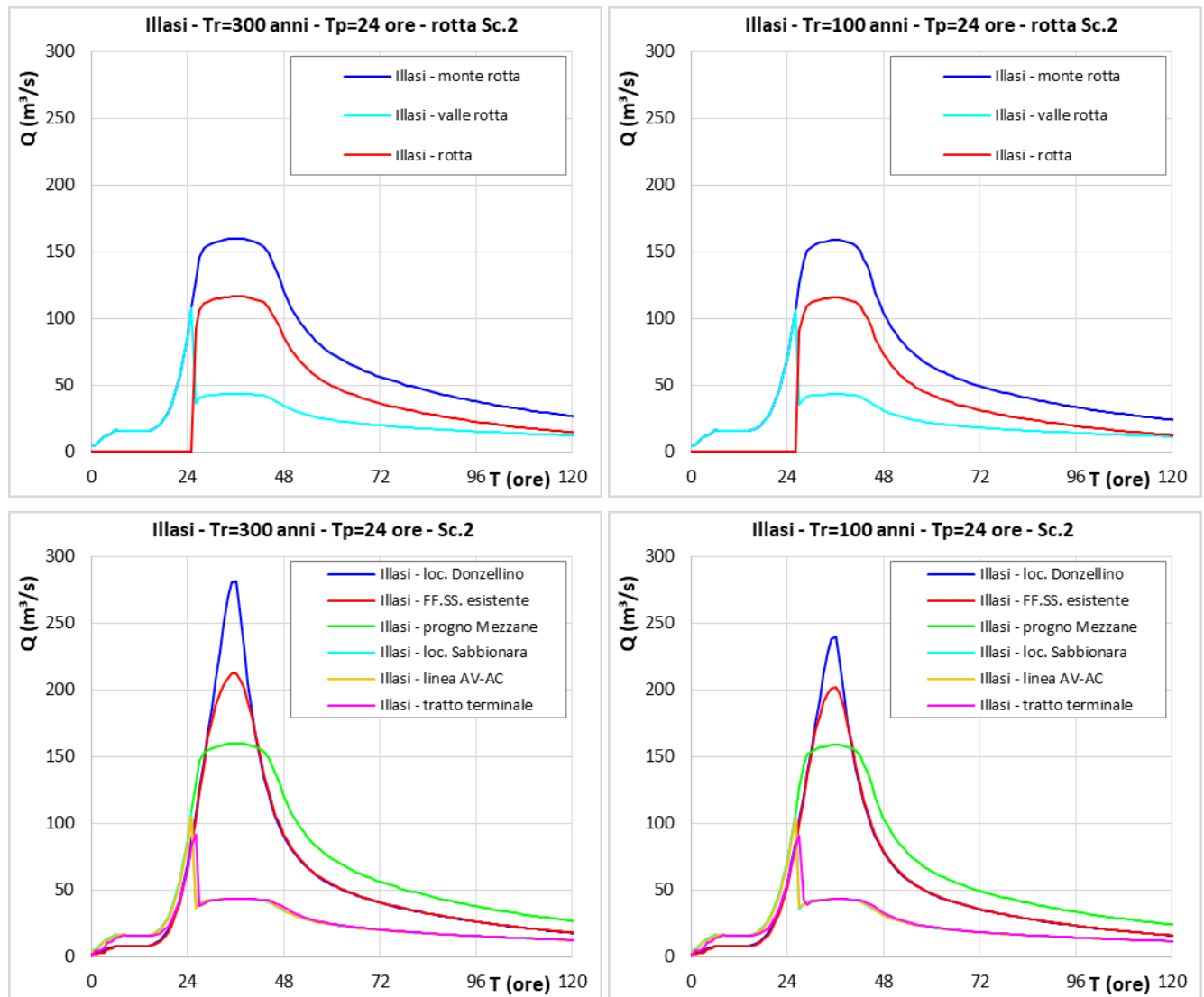


Fig. 5.13 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100 anni (destra) e di 300 anni (sinistra) e durata di 24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 2), in corrispondenza della rotta dell'Illasi (sopra) e in alcune sezioni significative dell'Illasi stesso (sotto).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 69 di 134

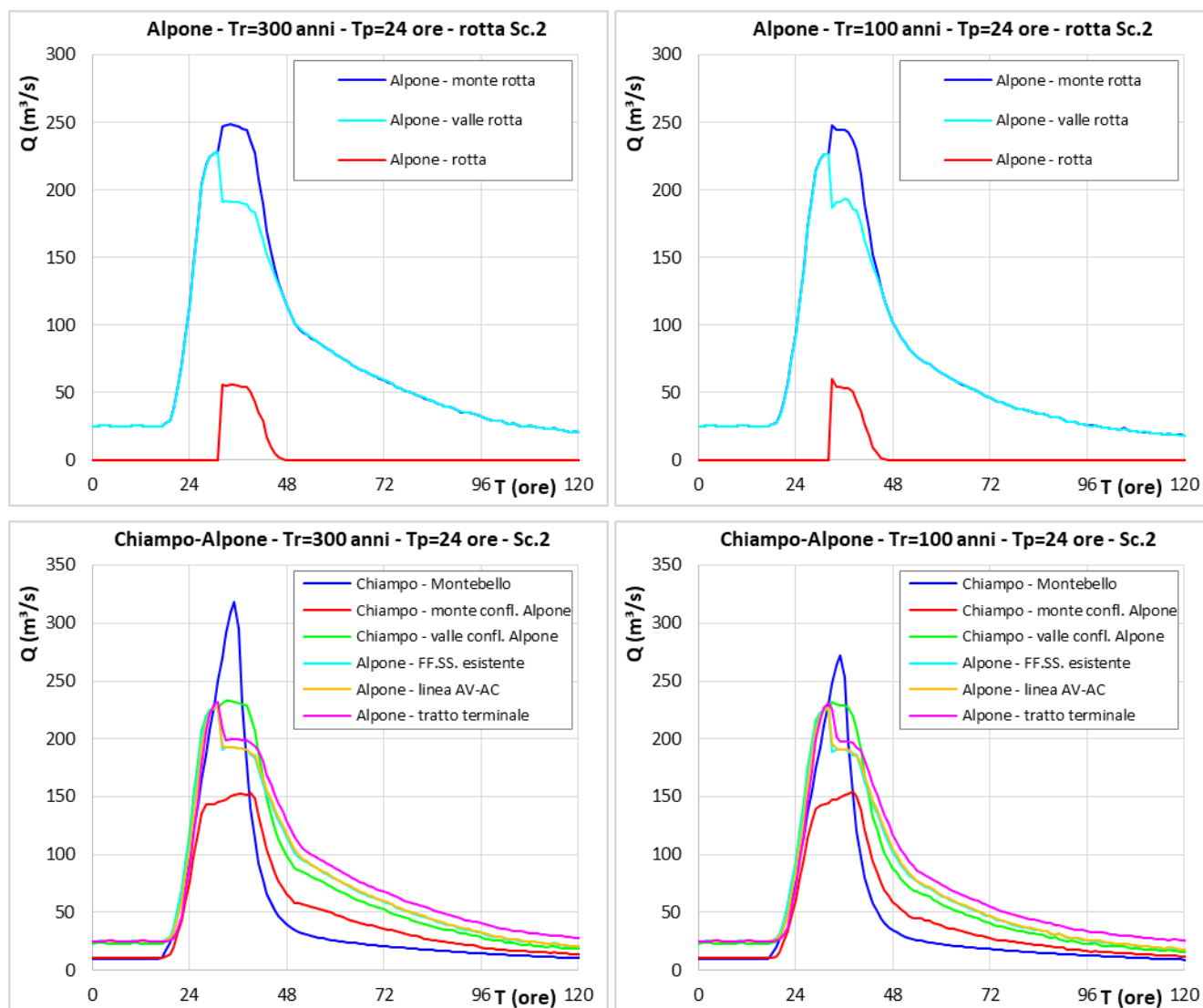


Fig. 5.14 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100 anni (destra) e di 300 anni (sinistra) e durata di 24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 2), in corrispondenza della rotta dell'Alpone alla confluenza con il Tramigna (sopra) e in alcune sezioni significative del Chiampo-Alpone (sotto).

### 5.2.3 Scenario 3 – Presenza di rotte nelle arginature destra e sinistra del Valpantena e nell'argine destro dell'Illasi

Nelle simulazioni eseguite per lo scenario 3, si è ipotizzata la formazione di due rotte contemporanee nelle arginature del Valpantena, una in destra e una in sinistra, in loc. Cellore, poco a monte di Quinto, e di una rotta nell'argine destro dell'Illasi, poco a valle della confluenza con il Progno Mezzane, nelle posizioni 3 segnalate in Fig. 5.10, in condizioni di sormonto delle sommità arginali o di incipiente sormonto, vale a dire con un livello idrometrico in alveo inferiore di soli 10-20 cm rispetto alla quota dell'argine.

Nelle ipotesi assunte, per gli eventi di piena indagati, quelli con tempo di ritorno di 100 e 300 anni e durata di 24 ore, le rotte nel Valpantena hanno origine alla 30<sup>a</sup> ora e alla 29<sup>a</sup> ora della simulazione rispettivamente per gli

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 70 di 134

eventi centenario e tricentenario (Tab. 5.3), con portata fluente in alveo pari a poco più di 50 m<sup>3</sup>/s, come si rileva osservando gli andamenti della portata calcolati con il modello in corrispondenza delle rotte stesse (Fig. 5.15).

Il varco sulla difesa destra dell'Illasi si verificherebbe invece alla 29<sup>a</sup> ora della simulazione di calcolo, per l'evento centenario, e dopo la 27<sup>a</sup> ora, per l'evento con Tr=300 anni (Tab. 5.3), con portata in arrivo da monte di circa 150 m<sup>3</sup>/s, come si rileva osservando gli andamenti della portata calcolati con il modello in corrispondenza della rotta stessa (Fig. 5.16).

Considerando per il Valpantena il cedimento quasi completo degli argini, con altezze dei varchi di poco inferiori a 2.5 m, e il rapido allargamento delle due brecce fino ad una larghezza finale ciascuna di 30 m, la portata in uscita dall'alveo aumenterebbe nel tempo fino a raggiungere il valore massimo complessivo pari a circa 80 m<sup>3</sup>/s ed a circa 60 m<sup>3</sup>/s, rispettivamente, per l'evento tricentenario e per quello centenario (Fig. 5.15).

Nell'Illasi, il cedimento completo dell'argine, fino quasi alla quota del terreno esterno all'alveo, con altezze del varco pari a 3.0 m, e il rapido allargamento della breccia fino ad una larghezza finale di circa 50 m, determinerebbe l'aumento nel tempo della portata in uscita dall'alveo fino a raggiungere il valore massimo di poco meno di 115 m<sup>3</sup>/s.

I volumi d'acqua complessivamente fuoriusciti nelle ore successive all'inizio dei fenomeni, fino alla 96<sup>a</sup> ora di ciascuna simulazione, sono riportati con altri elementi caratteristici delle rotte stesse nel prospetto riassuntivo di Tab. 5.3 e ammonterebbero, per gli eventi con tempo di ritorno di 100 anni e di 300 anni, a circa (2.4-4)×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> nel Valpantena ed a circa (12-14)×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> nell'Illasi.

Rispetto alla situazione ante-operam, indagata in precedenza senza considerare le rotte arginali (scenario 0), le acque in uscita dalle rotte del Valpantena, in destra e in sinistra a monte di Quinto, determinerebbero l'allagamento di zone più estese del territorio sui due lati del progno. Le acque, in particolare per l'evento con Tr=300 anni, arriverebbero ad interessare pesantemente anche la zona di abitata di loc. S. Croce di Verona e localmente, nelle aree più depresse dal punto di vista altimetrico in destra e in sinistra, le altezze di sommersione potrebbero superare i 2 m.

Anche per l'Illasi, le acque fuoriuscite dalla breccia ipotizzata in destra determinerebbero il coinvolgimento di nuove superfici nella zona direttamente investita dalle acque di esondazione, compresa tra via Maccagnina a ovest, l'Illasi stesso a est e l'alveo del Fibbio a sud. In tale zona, come si osserva in Fig. 5.17, in cui sono riportate le altezze di allagamento in alcuni istanti successivi al verificarsi della rotta, nonché le altezze di allagamento massime, le acque in uscita dall'Illasi determinerebbero estesi allagamenti con altezze d'acqua che arriverebbero a superare i 2 m nella parte meridionale, a ridosso della sponda sinistra del Fibbio. Le acque di esondazione dell'Illasi sormonterebbero anche le arginature del Fibbio e contribuirebbero ad allagare le aree a sud del Fibbio stesso.

Se si considerano l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento massimi, riportati nel prospetto di sintesi in Tab. 5.4, si rileva che le aree allagate non aumentano rispetto a quelle valutate per lo scenario 0 senza rotte (56.2-68.8 km<sup>2</sup>), anzi si riducono, di poco (54.8-67.6 km<sup>2</sup>), mentre i volumi di allagamento restano sostanzialmente inalterati. Questo è dovuto alla rotta ipotizzata in destra Illasi che determina allagamenti concentrati sui terreni in prossimità del varco e, inoltre, un più rapido smaltimento al di fuori del dominio di calcolo delle acque di allagamento di quella parte del territorio attraverso il canale SAVA. In sinistra

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 71 di 134</p>

Illasi, invece, per effetto della riduzione dei fenomeni di tracimazione arginale da quella parte del corso d'acqua, le aree di allagamento massime, e anche i volumi massimi, si riducono in modo significativo.

In Fig. 5.15, in basso, sono riportati gli andamenti della portata in alveo del Valpantena calcolati in alcune sezioni significative. Per effetto delle rotte, la portata residua in alveo nel tratto terminale del corso d'acqua si riduce a 25-30 m<sup>3</sup>/s, valore inferiore rispetto alla capacità di portata del tratto terminale stesso (Fig. 5.4).

In Fig. 5.16, in basso, sono riportati gli andamenti della portata in alveo calcolati in alcune sezioni significative dell'Illasi. Per effetto della rotta in destra, la portata residua in alveo nel tratto terminale del corso d'acqua si riduce a circa 50 m<sup>3</sup>/s, valore inferiore rispetto alla capacità di portata del tratto terminale stesso (Fig. 5.6).

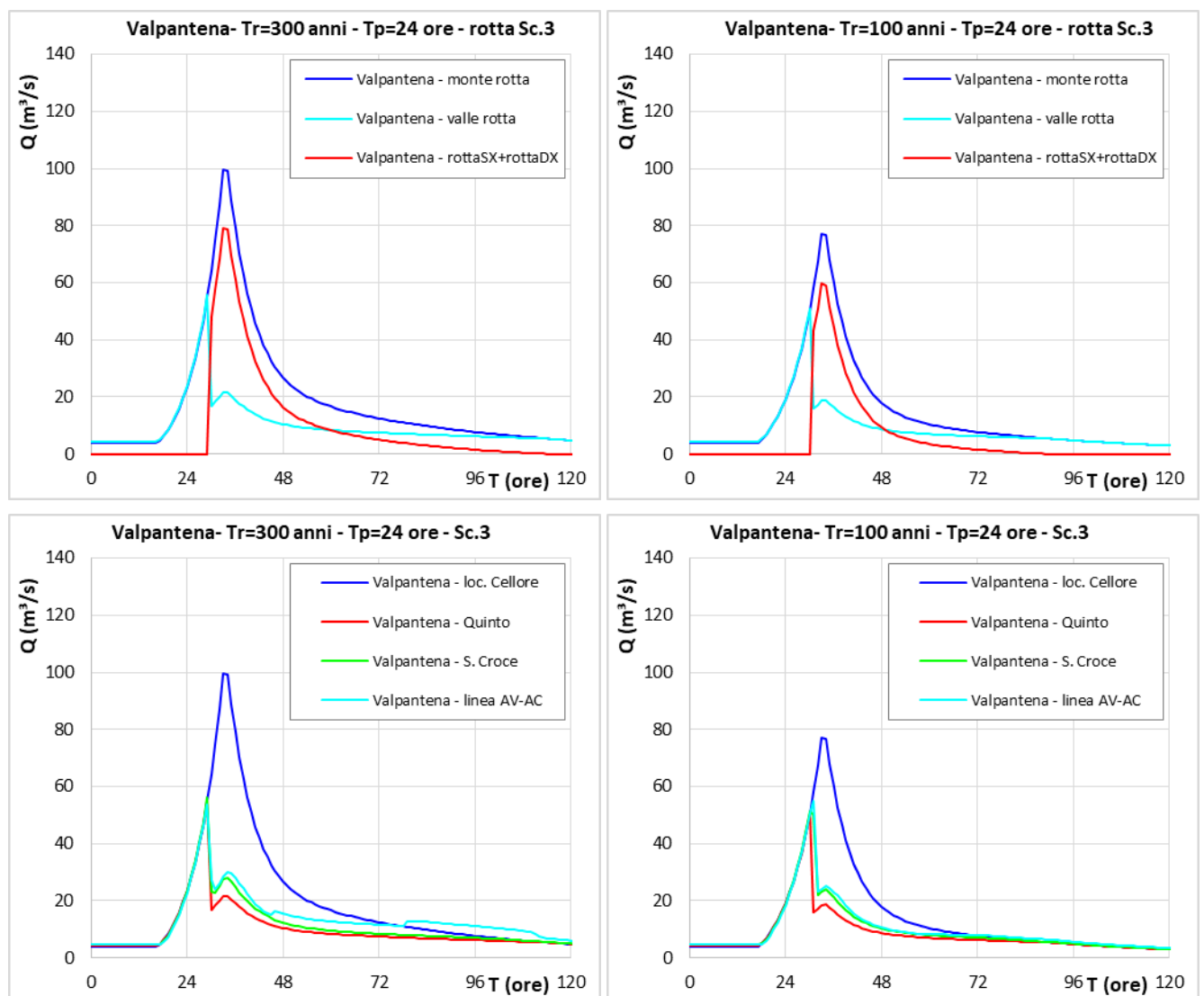


Fig. 5.15 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100 anni (destra) e di 300 anni (sinistra) e durata di 24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 3), in corrispondenza delle rotte del Valpantena (sopra) e in alcune sezioni significative del Valpantena stesso (sotto).

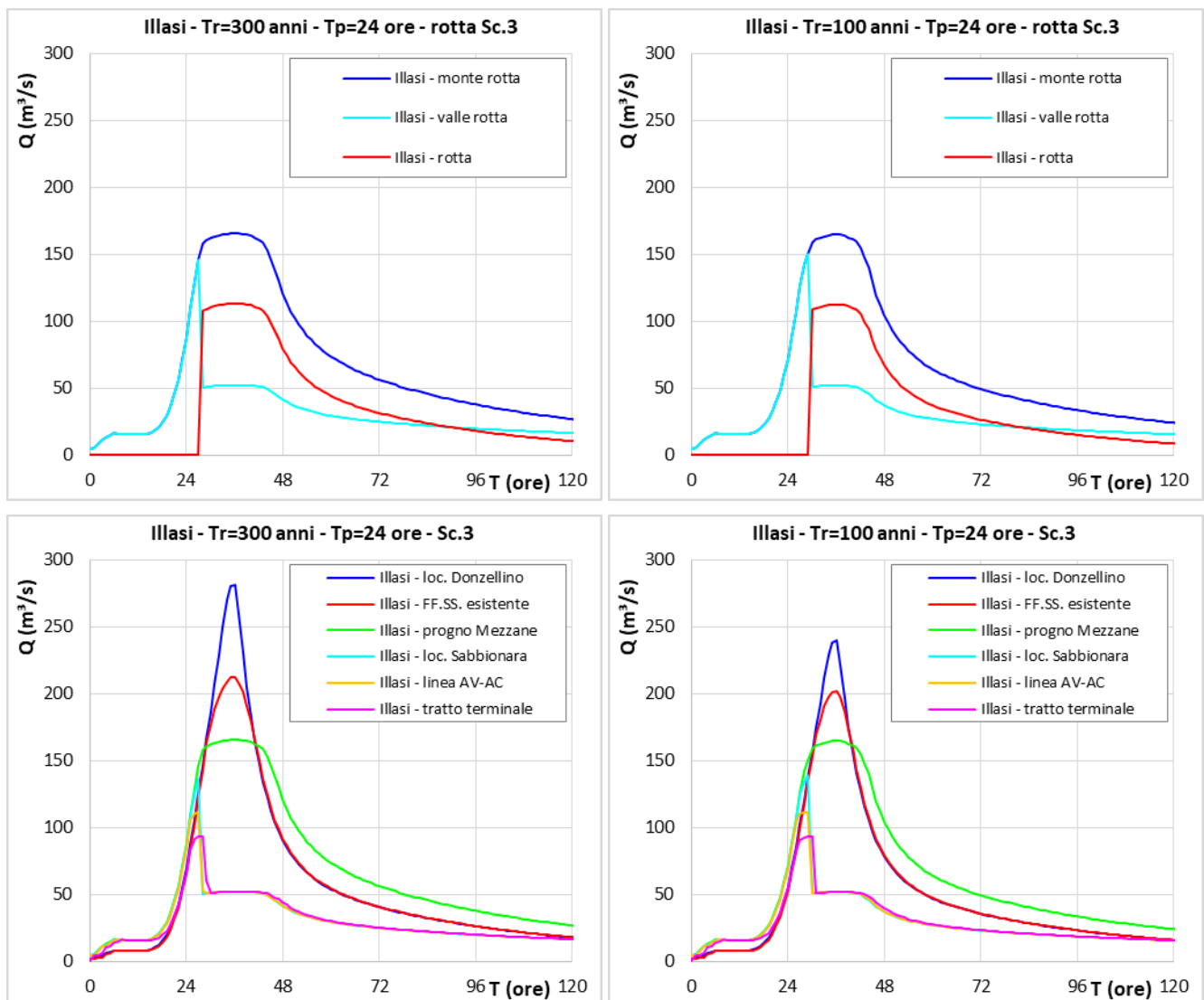


Fig. 5.16 - Eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 100 anni (destra) e di 300 anni (sinistra) e durata di 24 ore: portate calcolate con il modello uni-bidimensionale nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 3), in corrispondenza della rotta dell'Illasi (sopra) e in alcune sezioni significative dell'Illasi stesso (sotto).



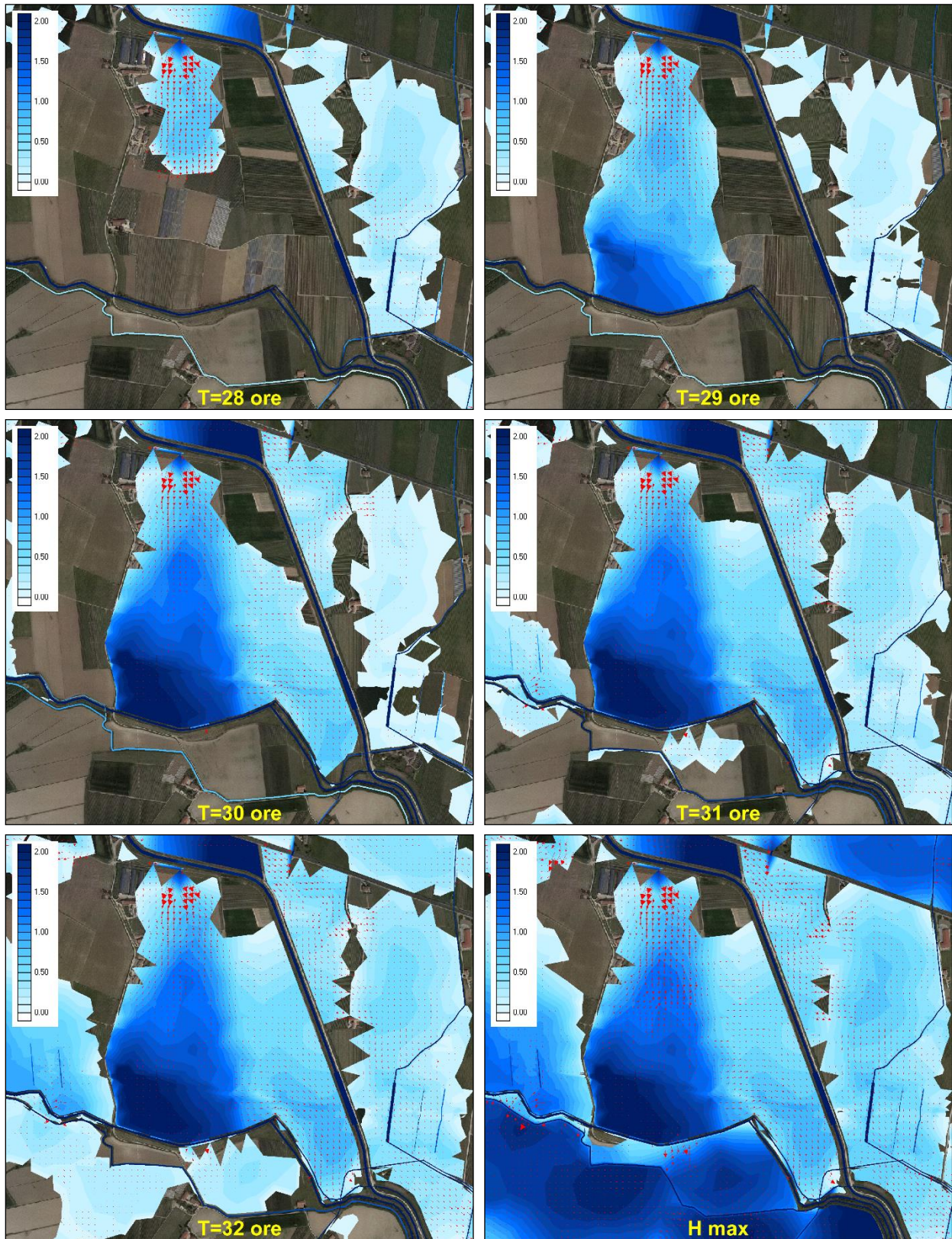


Fig. 5.17 - Evento di piena generato da piogge con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 24 ore: altezze di allagamento nella situazione ante-operam, nell'ipotesi di presenza di rotte arginali (scenario 3), calcolate in corrispondenza della rotta ipotizzata in destra dell'Illasi in istanti successivi (T=28-29-30-31-32 ore) e come involucro delle altezze massime.

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 74 di 134

STATO ANTE-OPERAM - ROTTE SCENARIO 1				
Illasi			Chiampo	
Tr=100 anni	Tr=300 anni		Tr=100 anni	Tr=300 anni
2.2	2.2	Altezza rotta (m)	3.7	3.7
30.3	28.8	Istante crollo (ore)	29.8	28.0
50	50	Lunghezza rotta (m)	50	50
11.5	14.0	Volume fuoriuscito ( $10^6 m^3$ )	7.2	8.8
STATO ANTE-OPERAM - ROTTE SCENARIO 2				
Illasi			Alpone	
Tr=100 anni	Tr=300 anni		Tr=100 anni	Tr=300 anni
2.6	2.6	Altezza rotta (m)	3.4	3.4
26.5	25.3	Istante crollo (ore)	32.5	31.0
50	50	Lunghezza rotta (m)	50	50
14.3	16.0	Volume fuoriuscito ( $10^6 m^3$ )	1.7	2.1
STATO ANTE-OPERAM - ROTTE SCENARIO 3				
Illasi			Valpantena (dx e sx)	
Tr=100 anni	Tr=300 anni		Tr=100 anni	Tr=300 anni
3.0	3.0	Altezza rotta (m)	2.3-2.4	2.3-2.4
29.0	27.5	Istante crollo (ore)	30.0	29.0
50	50	Lunghezza rotta (m)	30+30	30+30
12.1	14.1	Volume fuoriuscito ( $10^6 m^3$ )	2.4	4.0

Tab. 5.3 – Caratteristiche delle rotte ipotizzate lungo il Valpantena, l'Illasi, il Chiampo e l'Alpone per lo stato ante-operam, scenario 1, scenario 2 e scenario 3, per gli eventi con tempo di ritorno di 100 anni e 300 anni.

Simulazione				Sup. allagata ( $10^6 m^2$ )	Vol. allagamento ( $10^6 m^3$ )
Ante-operam	scenario 0	Tr100	Tp24	56.2	32.8
		Tr300	Tp24	68.8	42.6
	scenario 1	Tr100	Tp24	67.8	40.2
		Tr300	Tp24	80.2	50.7
	scenario 2	Tr100	Tp24	64.3	42.1
		Tr300	Tp24	75.2	53.2
	scenario 3	Tr100	Tp24	54.8	33.1
		Tr300	Tp24	67.6	43.1

Tab. 5.4 – Valori calcolati delle superfici allagate e dei volumi di allagamento massimi, nelle diverse situazioni e condizioni idrologiche indagate con il modello uni-bidimensionale.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 75 di 134

## 6 VERIFICHE IDRAULICHE PER LA CONFIGURAZIONE POST-OPERAM

### 6.1 Descrizione sintetica della configurazione di progetto

Al fine di valutare le condizioni di deflusso delle massime portate nei sistemi idrografici interessati dalla nuova linea AV/AC nel tratto Verona-Montebello, il modello uni-bidimensionale messo a punto come precedentemente descritto, è stato convenientemente aggiornato per includere la geometria dell'infrastruttura che interessa il territorio in esame (Allegato IN1710EI2N3ID0000021A).

Con riferimento agli elaborati del progetto definitivo aggiornati secondo le prescrizioni del CIPE, la griglia di calcolo del modello matematico comprende la tratta di linea AV/AC compresa tra la progressiva km 0+000 (sezione S.1) e la progressiva km 31+700 (sezione S.1336), per un'estensione complessiva di quasi 32 km. All'interno di questa tratta, il tracciato della nuova linea ferroviaria si snoda sostanzialmente in direzione est/ovest e si può suddividere in quattro categorie tipologiche, a seconda della modalità costruttiva, in particolare:

- opera in rilevato con 7 sub-tratti:
  1. da km 0+000 (S.1) a km 1+315 (S.60);
  2. da km 1+337 (S.62) a km 4+050 (S.186);
  3. da km 10+050 (S.442) a km 11+400 (S.496);
  4. da km 11+825 (S.515) a km 18+825 (S.800);
  5. da km 18+925 (S.804) a km 20+225 (S.860);
  6. da km 22+000 (S.933) a km 24+875 (S.1052);
  7. da km 25+325 (S.1071) a km 31+700 (S.1336);
- opera in trincea con 2 sub-tratti:
  1. da km 4+050 (S.186) a km 4+950 (S.224);
  2. da km 6+850 (S.305) a km 7+675 (S.341);
- opera in galleria con 1 sub-tratto:
  1. da km 4+950 (S.224) a km 6+850 (S.305);
- opera in viadotto con 6 sub-tratti:
  1. viadotto "Fontana delle Monache", da km 1+315 (S.60) a km 1+337 (S.62);
  2. viadotto "Fibbio", da km 7+675 (S.341) a km 10+050 (S.442);
  3. viadotto "Illasi" da km 11+400 (S.496) a km 11+825 (S.515);
  4. viadotto "Grena" da km 18+825 (S.800) a km 18+925 (S.804);
  5. viadotto "Alpone" da km 20+225 (S.860) a km 22+000 (S.933);
  6. viadotto "San Bonifacio" da km 24+875 (S.1052) a km 25+325 (S.1071).

L'infrastruttura ferroviaria è stata schematizzata all'interno della griglia di calcolo mediante l'inserimento di quattro file di maglie, con una larghezza complessiva di 20-25 metri, che rappresentano l'ingombro del tracciato all'interno dei fossi di guardia che affiancano generalmente la linea AV/AC stessa.

La schematizzazione delle tratte in rilevato è stata eseguita assegnando ad ognuna delle quattro file di maglie che contiene il corpo del rilevato stesso la media delle quote del piano del ferro desumibili dalle sezioni

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 76 di 134

progettuali che si susseguono ogni 25 metri. Essendo il passo della griglia di calcolo mediamente pari a 50 m, ogni maglia è stata quotata mediamente con i dati di 2 sezioni.

La schematizzazione delle tratte in trincea è stata effettuata in modo analogo a quanto fatto per la tipologia “opera in rilevato”, comprese le due file di elementi monodimensionali, canali a sezione trapezia, rispettivamente a nord e a sud del tracciato ferroviario, per riprodurre la presenza dei fossi di guardia previsti.

Il tratto in galleria è stato schematizzato considerando le opere di ingresso e di uscita in corrispondenza delle rampe ovest ed est. È stata inoltre simulata anche la presenza dei muretti rialzati sul terreno, secondo le quote ricavate dalle sezioni di progetto, in corrispondenza dei muri di contenimento in calcestruzzo che delimitano le estremità della galleria.

La presenza dei viadotti è stata infine riprodotta mediante la schematizzazione delle pile presenti nel progetto, aventi interasse di circa 25 m e sezione scatolare di dimensioni 9.4 m x 3.6 m. Il loro ingombro e inserimento nello schema del modello è stato considerato singolarmente, vale a dire tutte le pile, con le proprie dimensioni e con l'interasse previsto, sono state inserite nel modello stesso.

All'interno della geometria del modello matematico sono stati inseriti inoltre tutti i manufatti e i dispositivi predisposti per risolvere le interferenze idrauliche connesse con la presenza dell'opera (tombini, fornic, sifoni, ecc.), nonché, mediante opportuni modelli annidati di dettaglio, gli ingombri dei sottovia e dei rilevati dei cavalcaferrovia e dei ponti progettati per risolvere le interferenze viarie.

A tale riguardo, in Tab. 6.1 e in Tab. 6.2 sono elencate in sintesi tutte le interferenze idrauliche e stradali inserite nello schema di calcolo della configurazione post-operam, mediante elementi bidimensionali, canali monodimensionali ed elementi unidimensionali speciali, con indicate le principali caratteristiche geometriche e altimetriche utilizzate, dedotte dagli elaborati di progetto. In Fig. 6.1 sono invece planimetricamente rappresentati i modelli annidati di dettaglio di alcune tra queste interferenze idrauliche e stradali inserite nello schema del modello uni-bidimensionale, nella stessa configurazione di progetto. Con riferimento, in particolare, alle interferenze idrauliche, si rileva che esse rivestono un'importanza fondamentale dal momento che garantiscono la permeabilità idraulica dell'opera, con riferimento sia alla rete idrografica superficiale dei corsi d'acqua principali (Valpantena, Fibbio, Illasi, Alpone) e secondari che interferiscono con il tracciato, sia alle acque di esondazione che dovessero allagare il territorio per fuoriuscite dagli alvei dei corsi d'acqua stessi.

Come precedentemente accennato, sono stati inseriti nel modello anche i fossi di guardia a nord e a sud della linea AV/AC previsti nel progetto, che in talune tratte, come ad esempio in destra Illasi, raggiungono dimensioni di 2.5 m in cunetta dovendo svolgere anche la funzione di invaso di compensazione per le acque di piattaforma. Terminato l'evento meteorico assumono anche la funzione di vettore delle portate intercettate provenienti dalle esondazioni della rete idrografica principale e secondaria che risponde in tempi superiori.

Particolare attenzione è stata infine rivolta alla discretizzazione dei sottovia presenti nel tracciato, rappresentando anche i muretti anti-allagamento presenti lungo le rampe di accesso, come si evince dagli schemi planimetrici riportati in Fig. 6.1.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento E12 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 77 di 134</p>

N.	Asse tracciato progressiva (km 0+000)		Codice	Interferenza	Dimensioni B×H (m)	Quote fondo (m s.m.)
				Tipo		
1	0	751.4	IN01	Tombino	6x5	49.57
2	2	364.5	IN03	Prolungamento tombino	2x3.5	48.77
3	4	046.2	IN07	Sifone doppio fosso Mattarana	2x3	44.85
4	4	482.1	IN09	Sifone doppio fosso Zenobria	3x2	41.26
5	5	350.0	IN12	Deviazione definitiva Torrente Rosella	5x3	44.93
6	5	900.0	IN14	Deviazione fossa Nuova	2x2	44.3-42.8
7	6	845.3	IN18	Sifone doppio via Coetta	3x2	34.76
8	7	036.7	IN1A	Sifone doppio fosso irriguo	3x2	36.09
9	7	183.1	IN19	Sifone doppio fossa Nuova	2x3	35.25
10	7	272.0	IN1B	Sifone doppio deviazione fossa Nuova	3x2	36.36
11	7	370.8	IN20	Sifone doppio deviazione fossa Nuova	2x3	34.57
12	7	675.0	VI01A	Deviazione fosso Sorgente	3x2	31.51
13	7	675.0	VI01A	Deviazione fosso Pila	3x2	31.22
14	8	100.0	-	Deviazione canale	6.5x6	25.80
15	8	965.0	VI01B	Deviazione fosso Mariona	3x2	28.94
16	8	985.0	VI01B	Deviazione fosso Lendinara	2x1.5	28.88
17	9	294.0	VI01C	Deviazione scolo privato	2x1.5	28.54
18	9	447.0	VI01B	Deviazione scolo privato	2x1.5	28.26
19	10	222.6	IN1C	Tombino	3x2	28.13
20	10	323.0	IN21	Fornice	5x2.5	28.65
21	10	337.9	IN1D	Tombino	3x2	28.08
22	10	586.0	IN84	Fornice	5x2.5	27.76
23	10	616.0	IN84	Fornice	5x2.5	27.71
24	10	650.0	IN84	Fornice	5x2.5	27.71
25	10	689.0	IN84	Fornice	5x2.5	27.75
26	10	733.6	IN1E	Tombino	2x2	27.98
27	10	748.6	IN22	Doppio fornice	3x2	27.80
28	11	050.0	IN23	Fornice	5x2.5	29.44
29	11	823.0	-	Sistemazione alveo fosso	0.8x1	26.70
30	11	910.5	IN25	Tombino	3x2	27.10
31	11	955.0	IN87	Tombino	3x2	27.15
32	12	131.1	IN26	Tombino	3x2	25.98
33	12	314.3	VI03	Sistemazione alveo canale Maestro	1.5x2	26.14
34	12	314.3	VI03	Sistemazione alveo canale Sereghetta	2.5x2	25.29
35	12	402.3	IN27	Tombino	2x2	25.57
36	12	464.1	IN28	Tombino	3x2	25.51
37	12	800.0	IN88	Tombino	2x2	25.30
38	12	986.2	IN29	Tombino	3x2	25.02
39	13	189.0	IN30	Tombino	3x2	24.16
40	13	308.1	IN31	Tombino	5x2	24.10
41	13	478.0	IN89	Tombino	3x2	24.75
42	13	800.0	IN90	Tombino	3x2	24.46
43	13	977.8	IN32	Tombino	3x2	23.60

Tab. 6.1 – Elenco delle interferenze idrauliche e stradali con il tracciato della nuova linea AV/AC inserite nello schema del modello uni-bidimensionale nella configurazione di progetto, con dimensioni e quote considerate (tratto 0+000 – 14+000).

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 78 di 134

N.	Asse tracciato progressiva (km 0+000)		Codice	Interferenza	Dimensioni B×H (m)	Quote fondo (m s.m.)
				Tipo		
44	14	238.3	IN1F	Tombino	3x2	23.62
45	14	640.0	IN1G	Tombino	3x2	23.60
46	14	811.2	IN91	Tombino	2x2	23.66
47	15	055.4	IN33	Tombino	3x2	22.51
48	15	548.6	IN34	Tombino	3x2	22.62
49	15	860.0	IN92	Tombino	3x2	22.64
50	16	178.0	IN1H	Tombino	3x2	22.24
51	16	590.0	IN1I	Tombino	3x2	21.72
52	16	630.0	IN93	Tombino	3x2	18.85
53	16	815.4	IN36	Tombino (doppio)	3x2	21.08
54	17	266.0	IN37	Tombino	3x2	20.24
55	17	280.0	IN1J	Sifone	3x2	18.65
56	17	580.0	IN38	Tombino	2x2	20.36
57	17	638.5	IN39	Tombino	6x3	19.67
58	17	648.8	IN1K	Sifone	3x2	18.50
59	17	850.0	IN1T	Sifone	2x2	20.60
60	18	203.0	IN1L	Tombino	2x2	21.10
61	18	640.9	IN40	Tombino	4x2.5	19.92
62	18	706.0	IN41	Tombino	4x2.5	20.66
63	19	025.0	-	Tombino	2x2	21.46
64	19	065.1	IN43	Tombino	3x2	20.59
65	19	451.0	-	Tombino	2x2	21.00
66	19	531.0	IN44	Tombino	3x2	21.46
67	19	560.0	-	Condotta irrigua interrata	2x2	21.00
68	19	875.2	IN45	Tombino	3x2	20.96
69	20	886.0	VI05C	Deviazione fosso	1.5x1.5	23.68
70	22	354.2	IN81	Tombino	4x2	24.64
71	23	525.0	NV53	Deviazione canale Dugaletto	6x3.5	24.72
72	23	987.0	IN1N	Tombino	2x2	27.39
73	24	285.0	IN1O	Tombino	2x2	26.91
74	24	368.1	IN49	Tombino	4x2	26.75
75	25	275.0	WBS VI06-B	Deviazione canale Dugaletto	4x2.5	26.14
76	25	912.0	IN85	Tombino	2x2	27.80
77	26	065.1	IN1P	Tombino	2x2	27.36
78	26	152.0	IN86	Tombino	3x2	28.40
79	26	506.0	IN50	Tombino	3x2	27.85
80	26	558.0	IN1Q	Tombino	2x2	27.84
81	26	667.5	IN1R	Tombino	3x2	28.41
82	26	957.7	IN51	Tombino	3x2	28.43
83	27	279.1	IN52	Tombino doppio	3x2	29.20
84	28	176.0	IN55	Deviazione fosso	3x1.5	30.67
85	30	435.0	IN1S	Tombino	D2600	33.92
86	31	633.7	IN56	Tombino: Doppio Microtunneling	D2600	40.53

Tab. 6.2 – Elenco delle interferenze idrauliche e stradali con il tracciato della nuova linea AV/AC inserite nello schema del modello uni-bidimensionale nella configurazione di progetto, con dimensioni e quote considerate (tratto 14+000 – 31+700).

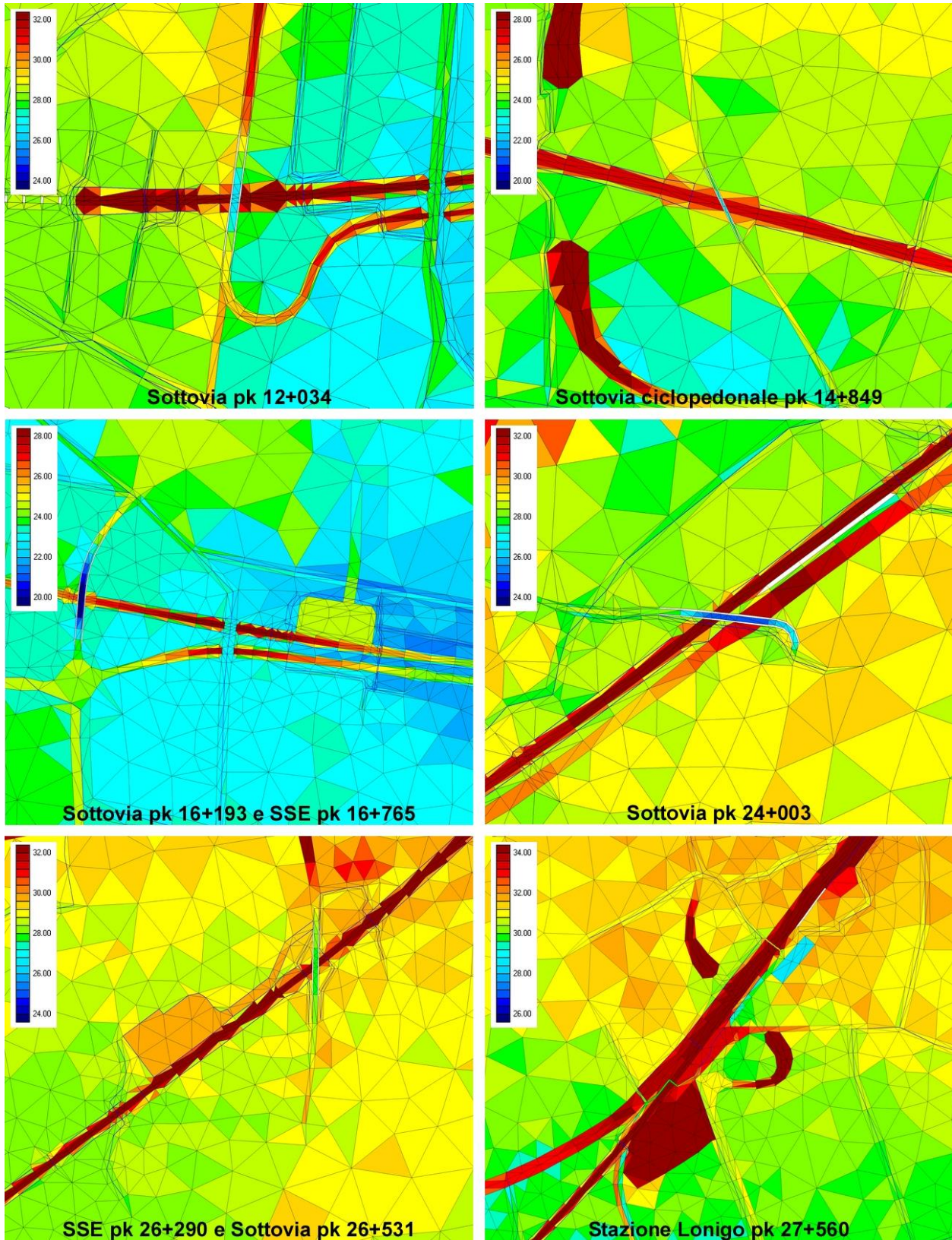


Fig. 6.1 - Rappresentazione planimetrica dei modelli annidati di dettaglio di alcune interferenze idrauliche e stradali inseriti nello schema del modello uni-bidimensionale nella configurazione di progetto.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 80 di 134

## 6.2 Post-operam in assenza di rotte (scenario 0)

### 6.2.1 Evento di piena con $T_r=300$ anni e $T_p=24$ ore

Mantenendo inalterate le altre ipotesi adottate per l'esame della situazione ante-operam, con il modello uni-bidimensionale opportunamente aggiornato con l'inserimento delle opere della nuova linea ferroviaria (rilevati, trincee, viadotti, rampe galleria, attraversamenti, tombini, sottovia, ponti, fornicci, ecc.) si è condotta una simulazione di calcolo considerando l'evento con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 24 ore ottenendo i risultati illustrati in sintesi nelle figure sotto riportate.

Con riferimento a quanto illustrato al paragrafo 5.1.1 per la situazione ante-operam, nulla cambia sui tempi, le quantità e le modalità di fuoriuscita delle acque in eccesso dai corsi d'acqua dei sistemi idrografici in esame, in particolare il Valpantena, il Fibbio-Illasi e il Chiampo-Alpone.

Se si confrontano le mappe che riportano la progressione nel tempo degli allagamenti calcolati nella situazione ante-operam (Fig. 5.1 e Fig. 5.2) e nella situazione di progetto (Fig. 6.2 e Fig. 6.3) agli istanti  $T=35, 50, 70, 150$  ore delle simulazioni, si rileva che la dinamica di deflusso della portata negli alvei dei corsi d'acqua e la propagazione delle onde di sommersione sul territorio adiacente rimane sostanzialmente invariata nelle fasi iniziali, di colmo e di esaurimento della piena nei tratti in cui la realizzazione dell'opera è prevista in viadotto e in galleria.

Nei tratti in cui l'opera è prevista in trincea e in rilevato, nelle zone soggette ad allagamento per fuoriuscita d'acqua dagli alvei della rete idrografica, in corrispondenza del tracciato l'onda di sommersione, propagandosi sul terreno, subisce una variazione locale dei livelli idrometrici, ma già a breve distanza dall'opera stessa le condizioni idrodinamiche e idrometriche risultano sostanzialmente inalterate rispetto alla situazione ante-operam.

Questo è documentato nelle figure sottostanti (Fig. 6.4 e Fig. 6.5), in cui sono riportate a confronto le rappresentazioni a scala di colori delle massime altezze di allagamento (in assenza di rotte arginali - scenario 0) calcolate per le situazioni ante-operam e di progetto a cavallo del tracciato della nuova ferrovia, tra le progressive chilometriche km 8+000 e km 19+000, vale a dire il tratto dell'opera che più interferisce con le acque che esondano dai corsi d'acqua in esame.

Ad esempio, si osserva in Fig. 6.4, al centro, come le acque di esondazione, che nella situazione ante-operam scorrono liberamente sui terreni compresi tra il Fibbio e via Maccagnina, superino nella situazione di progetto la posizione del nuovo rilevato ferroviario defluendo in parte nel varco tra la sponda sinistra del Fibbio e la spalla est del viadotto e in parte attraverso i tombini, i fornicci e i sottovia previsti.

Così pure, le acque di esondazione che scorrono sul territorio ad est dell'Illasi (Fig. 6.4, in basso, e Fig. 6.5), nella situazione di progetto sembrano defluire attraverso l'opera in rilevato, generalmente da nord a sud, ma in qualche caso anche da sud a nord, mediante i fornicci, i tombini, i ponti e i sottovia previsti, producendo in qualche posizione solo modesti incrementi di livello nella parte a nord (km 11+500, km 12+000 in Fig. 6.4, in basso, km 13+200, km 13+800 in Fig. 6.5, in alto, km 16+500, km 16+700 in Fig. 6.5, al centro) o incrementi solo poco più significativi a sud dell'opera stessa (km 16+000, km 16+400 in Fig. 6.5, al centro). Tali acque, nel territorio compreso dall'Illasi all'Alpone, come nella situazione ante-operam, defluiscono verso i terreni compresi tra l'Alpone stesso e il LEB. Qui si invasano temporaneamente prima di defluire in sinistra Alpone attraverso le



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 81 di 134	

due botti a sifone esistenti o di essere sollevate nell'Alpone stesso mediante l'idrovora Zerpa (vedi Fig. 6.6, in alto).

Nel territorio in sinistra Alpone, le acque che fuoriescono sull'argine sinistro del Chiampo defluiscono sui terreni sostanzialmente come nella situazione ante-operam e in corrispondenza del tracciato della nuova ferrovia si osservano, in qualche caso, incrementi del livello di sommersione, rispetto alla situazione precedente, dell'ordine dei 10-20 cm (vedi Fig. 5.3, in alto, per stato di fatto, e Fig. 6.6, in alto, per quello di progetto).

Se si confrontano le distribuzioni delle velocità massime della corrente in alveo e delle onde di sommersione sul territorio soggetto ad allagamento, per la situazione ante-operam e per la situazione di progetto, non si osservano variazioni sostanziali, fatta eccezione per una concentrazione di velocità superiori in corrispondenza della spalla est del viadotto del Fibbio, alla progressiva km 10+000, e in corrispondenza del viadotto dell'Illasi, in sinistra idrografica, tra le chilometriche km 11+550 e km 11+800.

Se si considerano, infine, l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento in tutto il territorio indagato, si rileva che nella situazione di progetto tali valori restano sostanzialmente inalterati rispetto a quelli determinati con il calcolo nella situazione ante-operam, e sono pari, rispettivamente, a circa 68.5 km<sup>2</sup> ed a circa 42.4×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (vedi Tab. 6.4).

In Tab. 6.3, è infine riportato l'elenco dei sottovia, esistenti e nuovi, che costituiscono una interferenza stradale con la nuova linea AV/AC e che sono stati inseriti nello schema di calcolo. Per l'evento considerato, per ciascuno di essi è riportata una nota che evidenzia se le acque di esondazione che fuoriescono dai corsi d'acqua principali possono arrivare ad interessare il manufatto, scorrendo sui terreni e/o fluendo negli alvei della rete idrografica minore. Con riferimento a tali opere, si è tenuto conto della loro condizione di potenziale allagamento per l'evento considerato negli elaborati del progetto esecutivo di ciascuna. In particolare, la viabilità di accesso è stata modificata altimetricamente in modo opportuno introducendo dossi in approccio all'opera che permettono di raggiungere una quota superiore a quella di possibile allagamento. In questo modo, per la presenza anche dei muri d'ala che delimitano le rampe stradali in progetto, si costituisce un sistema chiuso che difende il sottovia, isolandolo in caso di fenomeni di allagamento del territorio circostante.

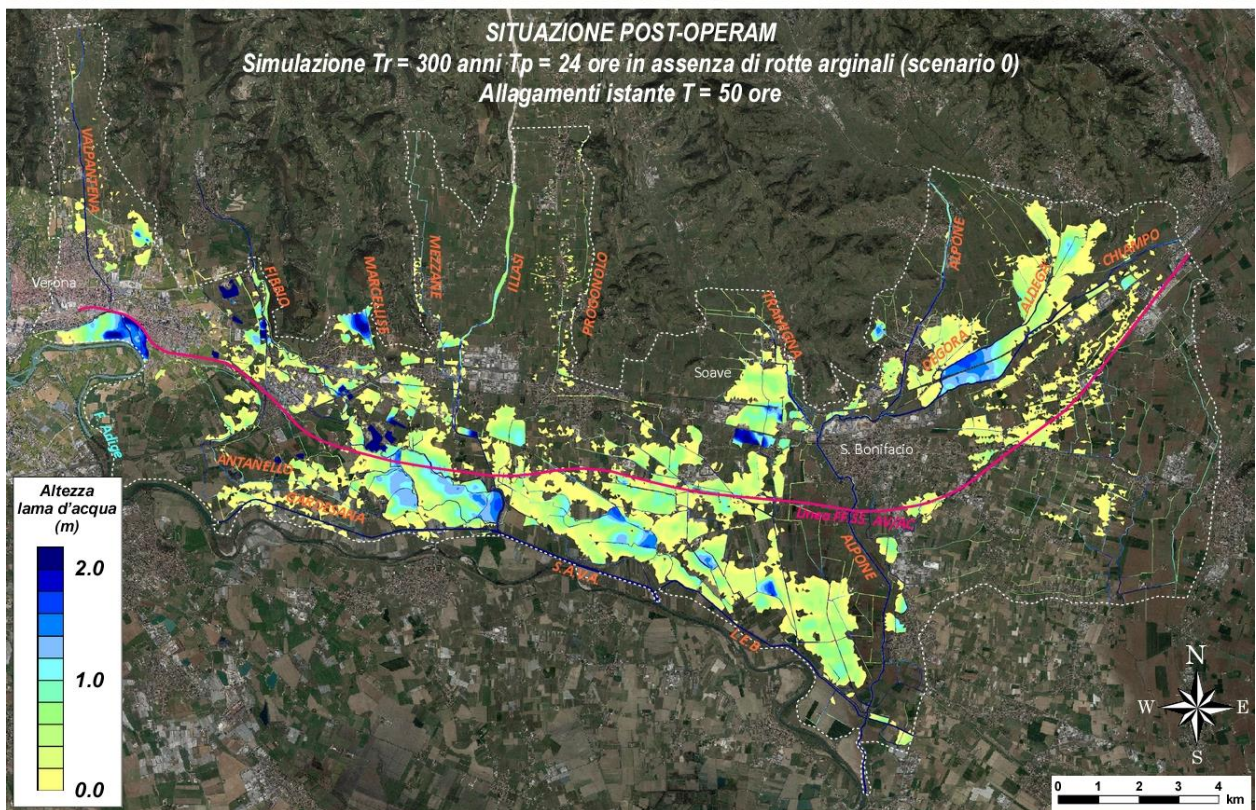
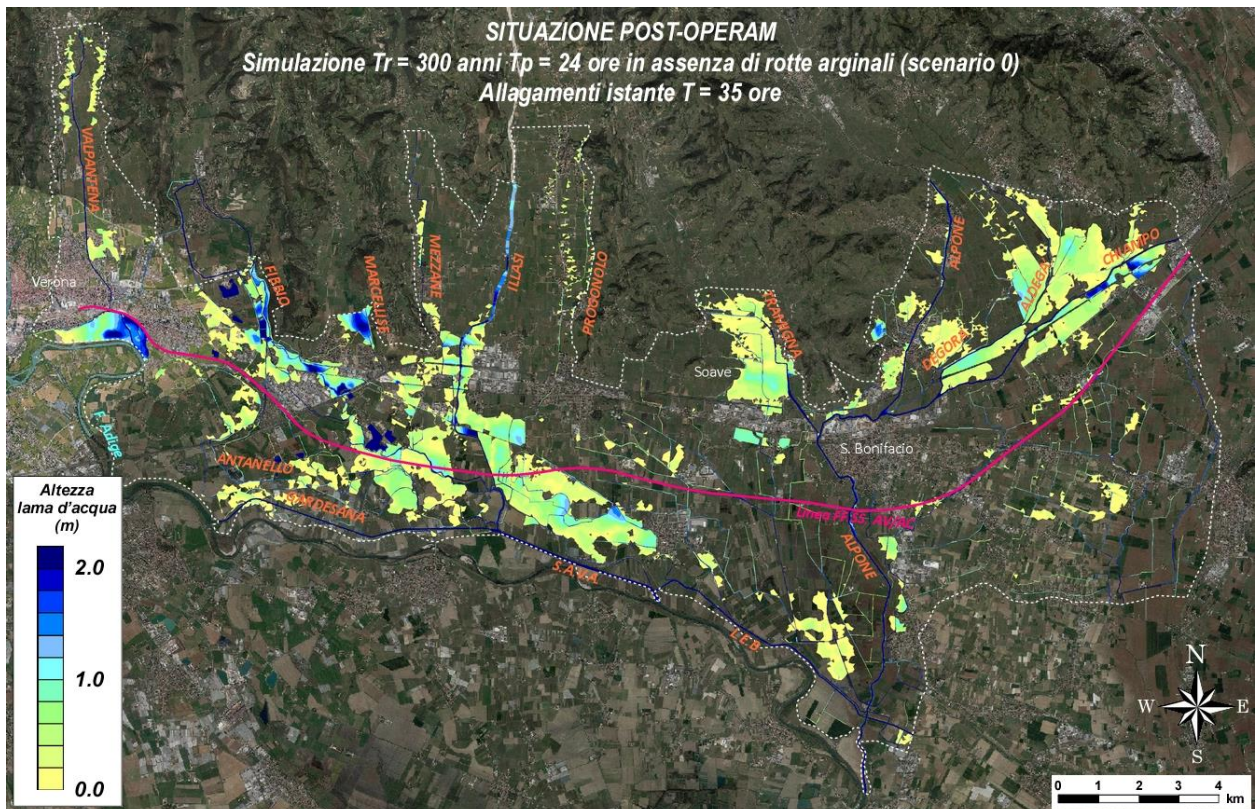


Fig. 6.2 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'evoluzione nel tempo delle aree e delle altezze di allagamento calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione post-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame (allagamenti agli istanti  $t=35-50$  ore della simulazione).

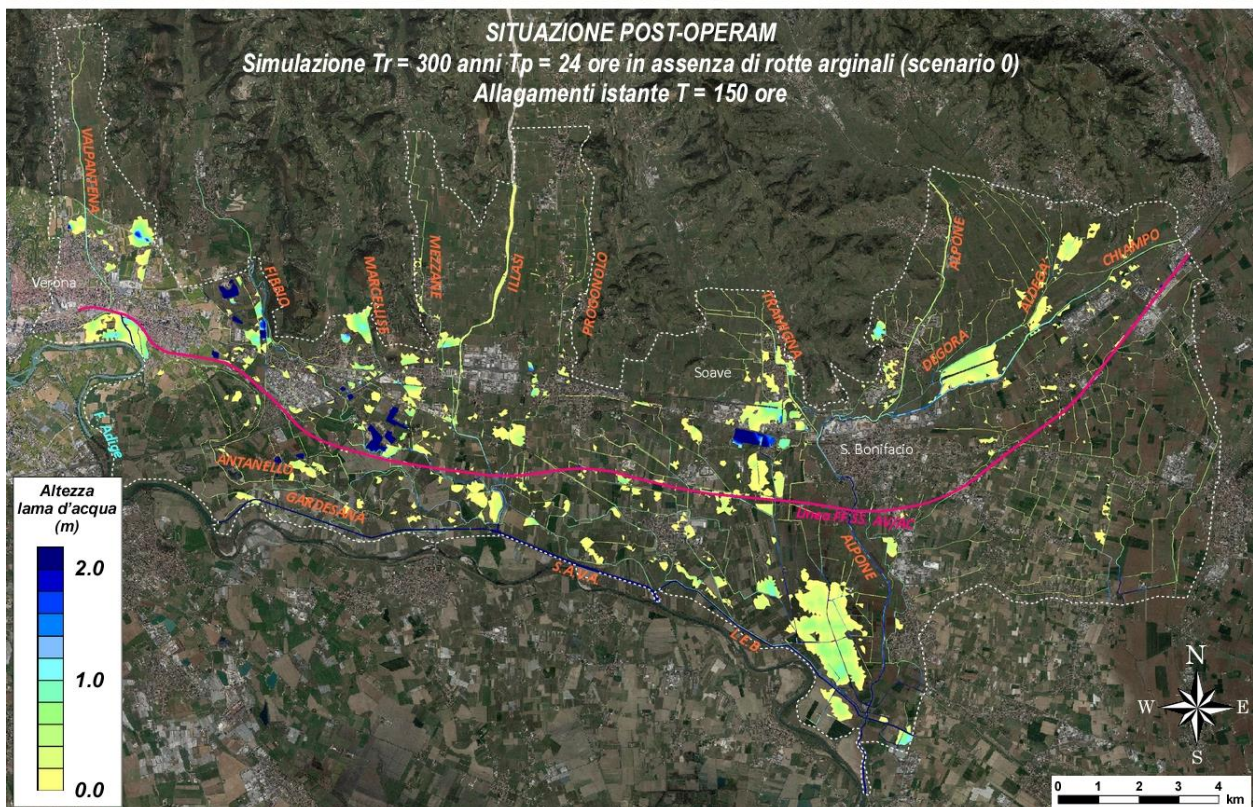
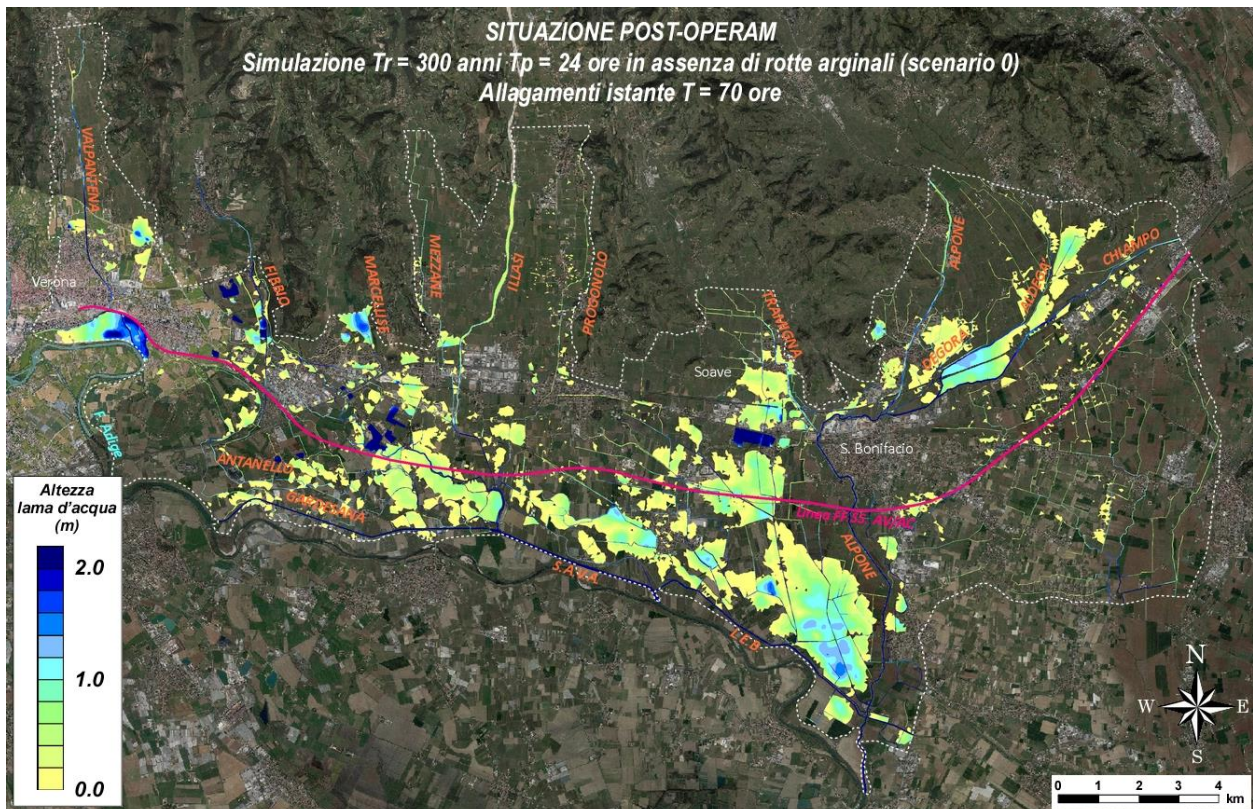


Fig. 6.3 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'evoluzione nel tempo delle aree e delle altezze di allagamento calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione post-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame (allagamenti agli istanti  $t=70-150$  ore della simulazione).

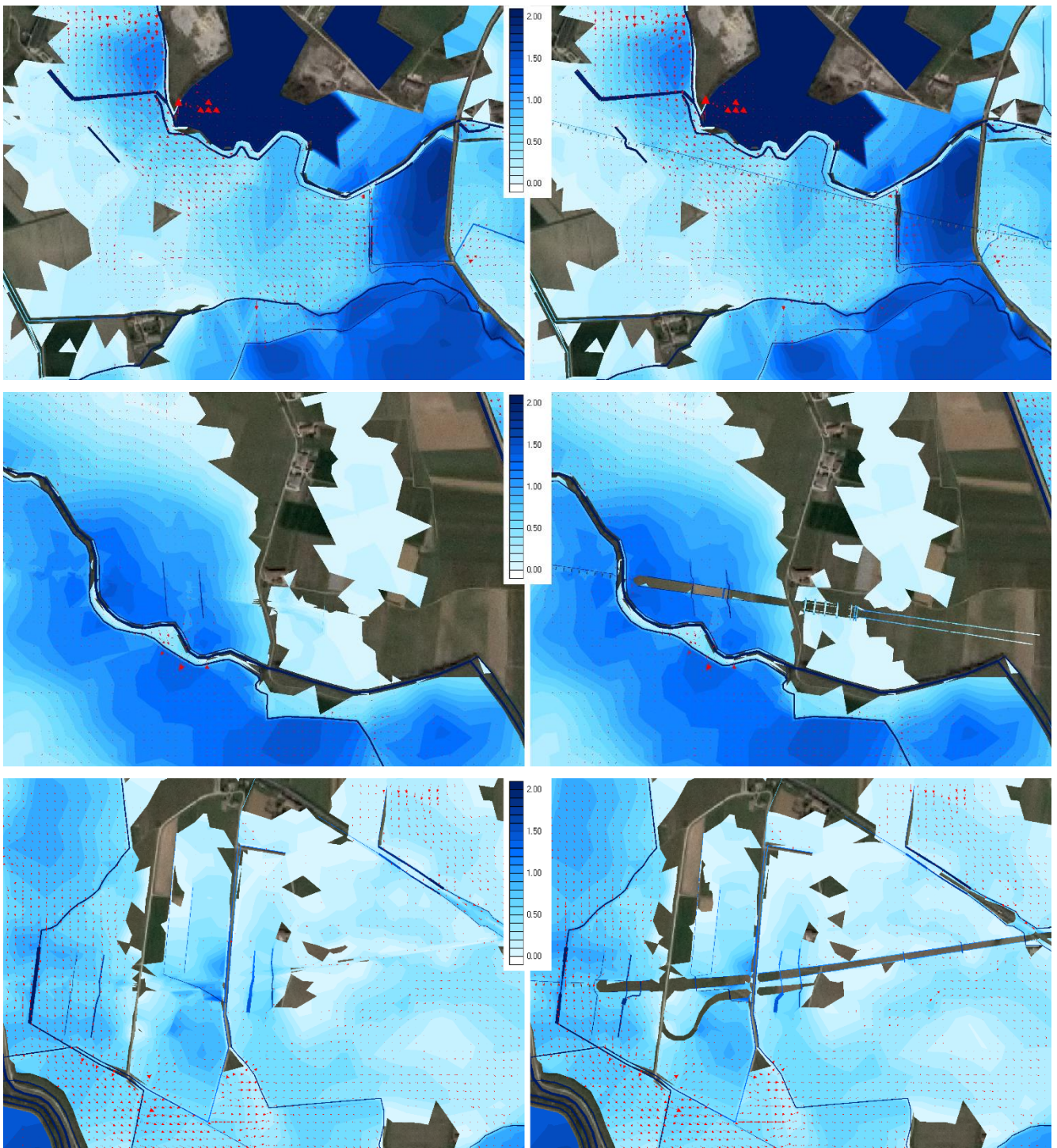


Fig. 6.4 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore. Massime altezze di allagamento nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0) calcolate tra le chilometriche: km 8+000 e km 9+500 (sopra, viadotto del Fibbio), km 9+500 e km 11+500 (centro, viadotto del Fibbio e rilevato in prossimità di via Maccagnina di Zevio) e km 11+500 e km 13+000 (sotto, viadotto Illasi e rilevato in prossimità di via Gombion e via Bova di Belfiore) nella situazione di progetto (a destra) e ante-operam (a sinistra).

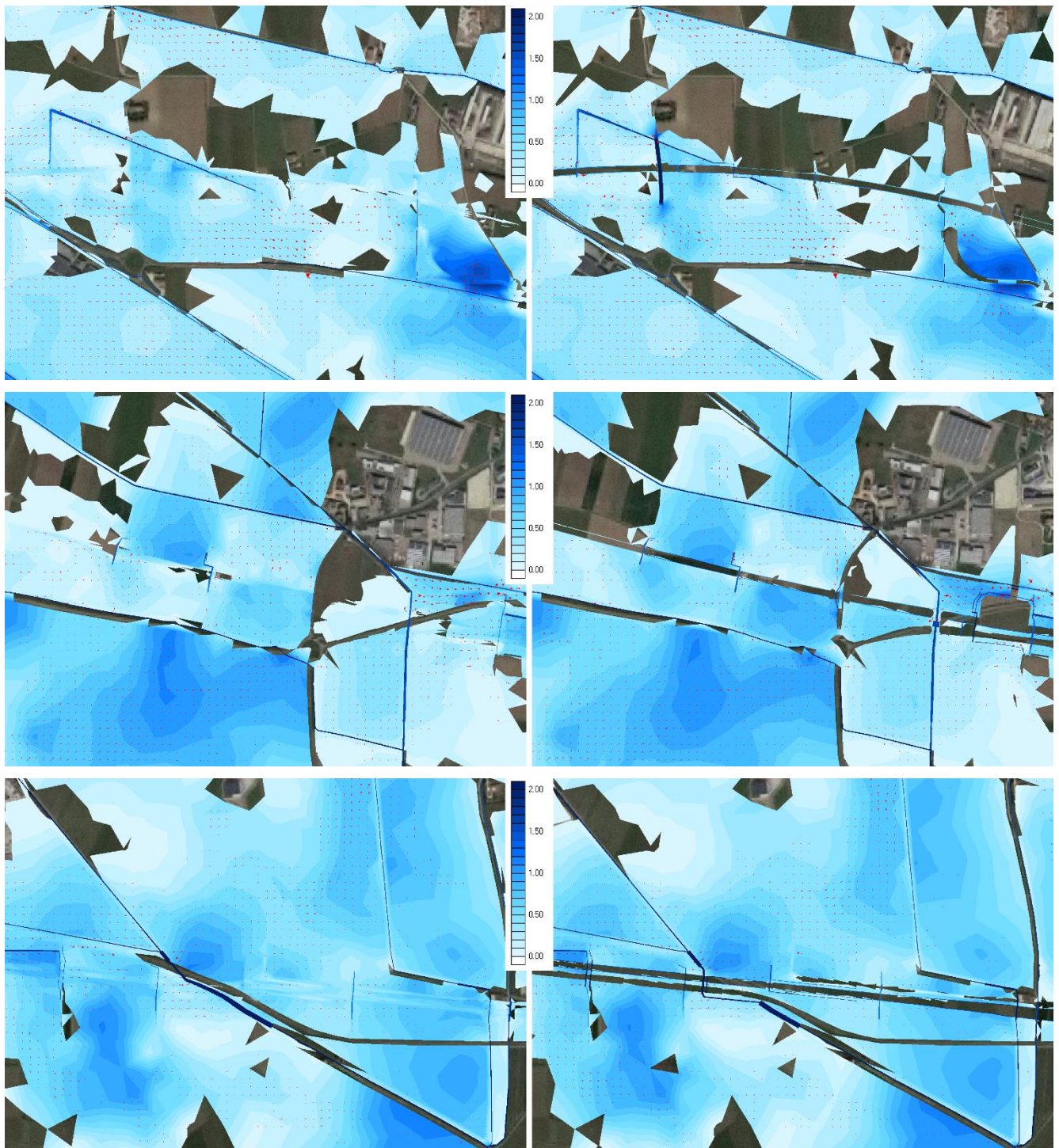


Fig. 6.5 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore. Massime altezze di allagamento nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0) calcolate tra le chilometriche: km 13+000 e km 15+000 (sopra, rilevato tra strada Porcilana e SP38b di Belfiore), km 15+000 e km 17+000 (centro, rilevato tra SP38b e SP39 a Belfiore) e km 17+000 e km 19+000 (sotto, rilevato tra via Cicogna di Belfiore e via Circonvallazione di San Bonifacio) nella situazione di progetto (a destra) e ante-operam (a sinistra).

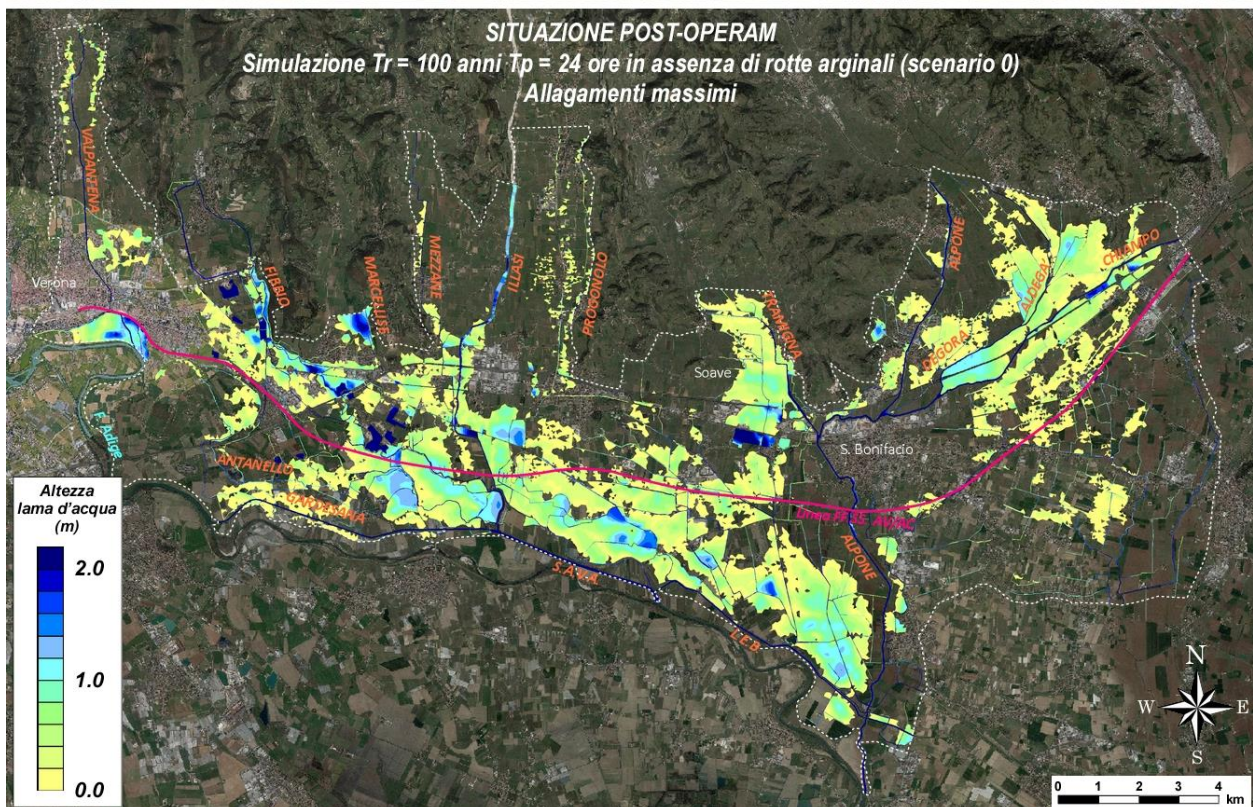
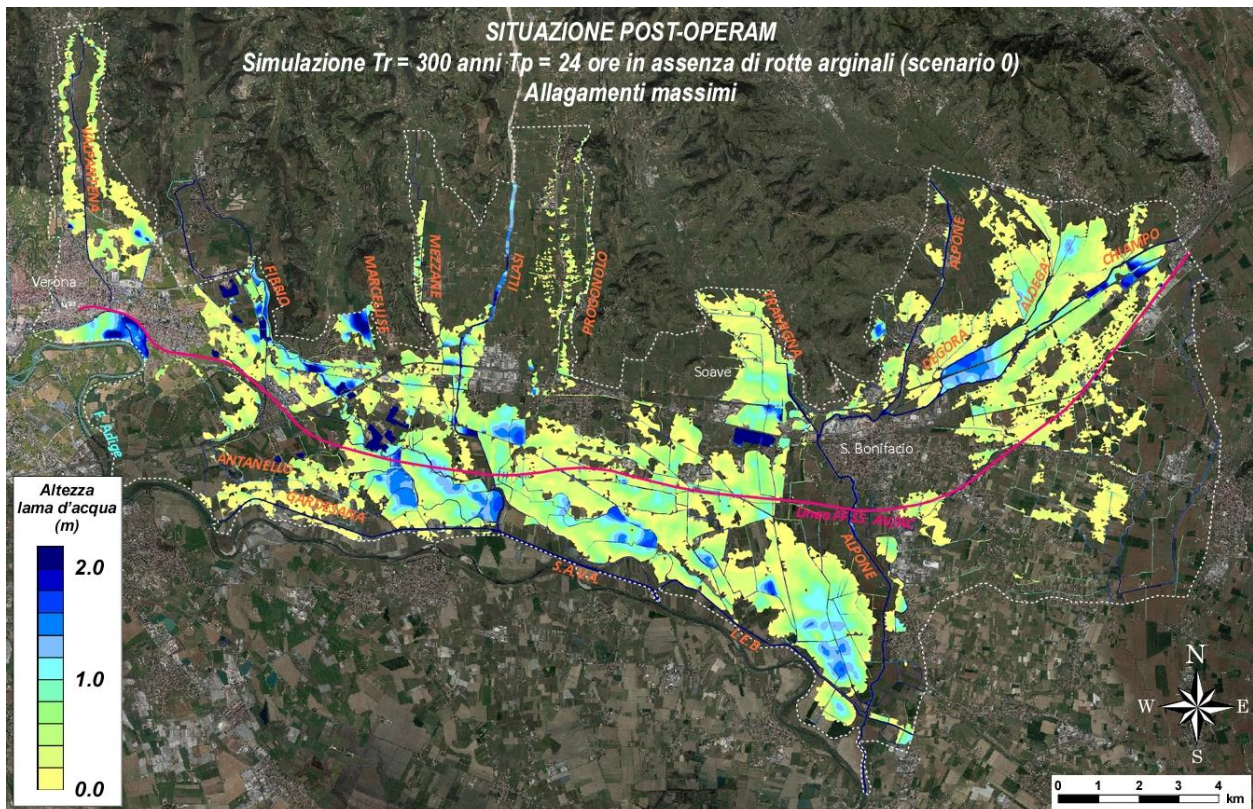


Fig. 6.6 - Evento con  $T_r=300$  anni (sopra) e  $T_r=100$  anni (sotto) e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione post-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), lungo i corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame, come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua stessi.

 <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17    Lotto 10    Codifica Documento E12 RH ID0000 003    Rev. D    Foglio 87 di 134

N.	Asse tracciato progressiva (km 0+000)		Codice	Interferenza	Dimensioni BxH (m)	Quote fondo (m s.m.)	Note allagamento Scenario 0 Tr300 - Tp24
				Tipo			
1	0	175.5	SL01	Sottovia	14.5x5.6	50.39	NO allagamento
2	1	875.2	WBS RI06-07 (IN02)	Sottovia (pedonale) (prolungamento)	3.4x3.9	47.70	NO allagamento
3	2	196.7	SL02	Sottovia (prolungamento)	6x4.5	48.22	NO allagamento
4	2	369.2	IN04	Sottovia (ciclopedonale)	3x2.65	49.58	NO allagamento
5	4	210.0	IN16E	Sottopasso (raccordo ad A4)	6x3	49.67	SI allagamento
6	12	034.2	SL03	Sottovia	9.8x5.8	26.58	NO allagamento
7	13	741.6	SL18	Sottopasso	9.8x5.8	20.60	SI allagamento
8	14	849.0	SL23	Sottovia (ciclopedonale)	2.7x3	22.93	NO allagamento
9	16	193.9	SL04	Sottovia	12.7x6.2	19.03	SI allagamento
10	23	049.0	SL020	Sottovia	10.5x5.46	27.64	NO allagamento
11	24	003.0	SL05	Sottovia (ferrovia)	8x6.28	25.15	NO allagamento
12				Sottovia (str. Porcilana)	8x5.9	25.15	NO allagamento
13	26	531.2	SL06	Sottovia	9.5x6.2	27.84	NO allagamento
14	27	380.0	IN53	Sottovia (pedonale) (prolungamento)	3x3.5	29.64	SI allagamento
15	27	817.0	SL07	Sottovia (prolungamento)	3.5x2.7	30.86	SI allagamento
16	28	680.0	SLO8	Sottovia (nuovo)	7x5.6	31.60	SI allagamento
17	29	669.6	SL09	Sottovia (prolungamento)	6.5x5.5	33.14	SI allagamento
18	30	409.6	SL10	Sottovia (prolungamento)	6.5x6.5	36.00	SI allagamento

Tab. 6.3 – Elenco dei sottovia interferenti con il tracciato della nuova linea AV/AC inseriti nello schema del modello uni-bidimensionale e condizioni di allagamento per l'evento considerato.

### 6.2.2 Evento di piena con $Tr=100$ anni e $Tp=24$ ore

Con il modello uni-bidimensionale aggiornato con l'inserimento delle opere della nuova linea ferroviaria si è quindi condotta una simulazione di calcolo considerando anche l'evento con tempo di ritorno di 100 anni e durata di 24 ore.

Per la situazione post-operam, come per l'evento tricentenario, nulla cambia sostanzialmente sui tempi, le quantità e le modalità di fuoriuscita delle acque in eccesso dal Valpantena, dal Fibbio, dall'Illasi e dal Chiampo-Alpone.

I risultati della simulazione modellistica eseguita, costituiti dalla mappa delle aree allagate in cui sono rappresentate, a scala di colori, le altezze massime della lama d'acqua sul terreno raggiunte nel corso della simulazione stessa in tutti i punti del dominio di calcolo (involuppo delle altezze massime), sono riportati in forma grafica in Fig. 6.6.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 88 di 134

Rispetto alla situazione ante-operam, le differenze sui risultati sono sintetizzate nei valori dell'estensione complessiva delle aree allagate e dei volumi di allagamento riportati in Tab. 6.4. In particolare, le aree di allagamento sono pari a poco meno di 56 km<sup>2</sup>, mentre i corrispondenti volumi di allagamento ammontano a circa 32.5×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>. S tratta di valori, valutati in tutto il territorio indagato, sostanzialmente inalterati rispetto a quelli determinati con il calcolo nella situazione ante-operam (Tab. 6.4).

Simulazione				Sup. allagata (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Vol. allagamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Ante-operam</b>	<b>scenario 0</b>	Tr100	Tp24	56.2	32.8
		Tr300	Tp24	68.8	42.6
		Tr100	Tp12	47.3	26.0
		Tr300	Tp12	58.8	33.6
		Tr100	Tp6	34.7	17.9
		Tr300	Tp6	44.3	23.0
Simulazione				Sup. allagata (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Vol. allagamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
<b>Progetto</b>	<b>scenario 0</b>	Tr100	Tp24	55.8	32.6
		Tr300	Tp24	68.5	42.4
		Tr100	Tp12	46.9	25.9
		Tr300	Tp12	58.6	33.4
		Tr100	Tp6	34.5	17.8
		Tr300	Tp6	44.0	22.8

Tab. 6.4 – Valori calcolati delle superfici allagate e dei volumi di allagamento massimi, nelle diverse situazioni e condizioni idrologiche indagate con il modello uni-bidimensionale.



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 89 di 134

### 6.2.3 Eventi di piena con $T_r=100-300$ anni e $T_p=6-12$ ore

Le simulazioni di calcolo eseguite per la situazione di progetto per eventi di piena generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 e 300 anni e durata di 24 ore sono state ripetute considerando piene di pari frequenza, ma generate da piogge di durata inferiore, pari a 6 ore e a 12 ore.

Le mappe delle aree allagate in cui sono rappresentate a scala di colori le altezze massime di sommersione del territorio coinvolto (involuppo delle altezze massime) sono riportate, per gli eventi tricentenari e centenari considerati, sulle corografie di Fig. 6.7, per la durata delle 12 ore, e in Fig. 6.8, per la durata più breve, di 6 ore. Come per il caso degli eventi di durata più prolungata ( $T_p=24$  ore), le differenze rispetto alla situazione ante operam sono minime, rilevabili solo a ridosso della linea AV/AC e poco significative dal punto di vista ingegneristico.

Con riferimento ai valori complessivi dell'estensione delle aree allagate e dei volumi di allagamento, si osserva in Tab. 6.4 che essi sono del tutto simili a quelli valutati per la situazione ante-operam. Ad esempio, per l'evento tricentenario di durata 6 ore, le aree di allagamento sono pari a circa 44.3 km<sup>2</sup>, per lo stato di fatto, e a circa 44 km<sup>2</sup>, per lo stato di progetto, mentre i corrispondenti volumi di allagamento risultano rispettivamente pari a  $23 \times 10^6$  m<sup>3</sup> e a circa  $22.8 \times 10^6$  m<sup>3</sup>.

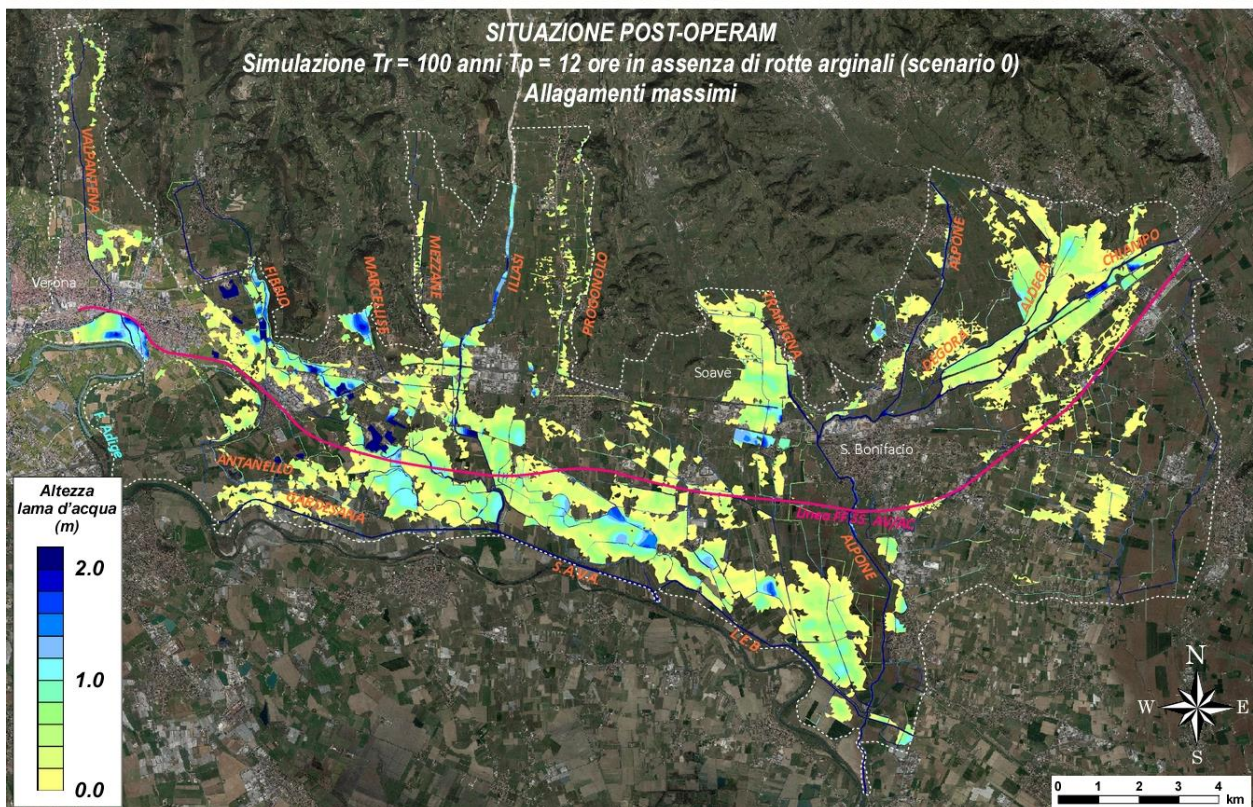
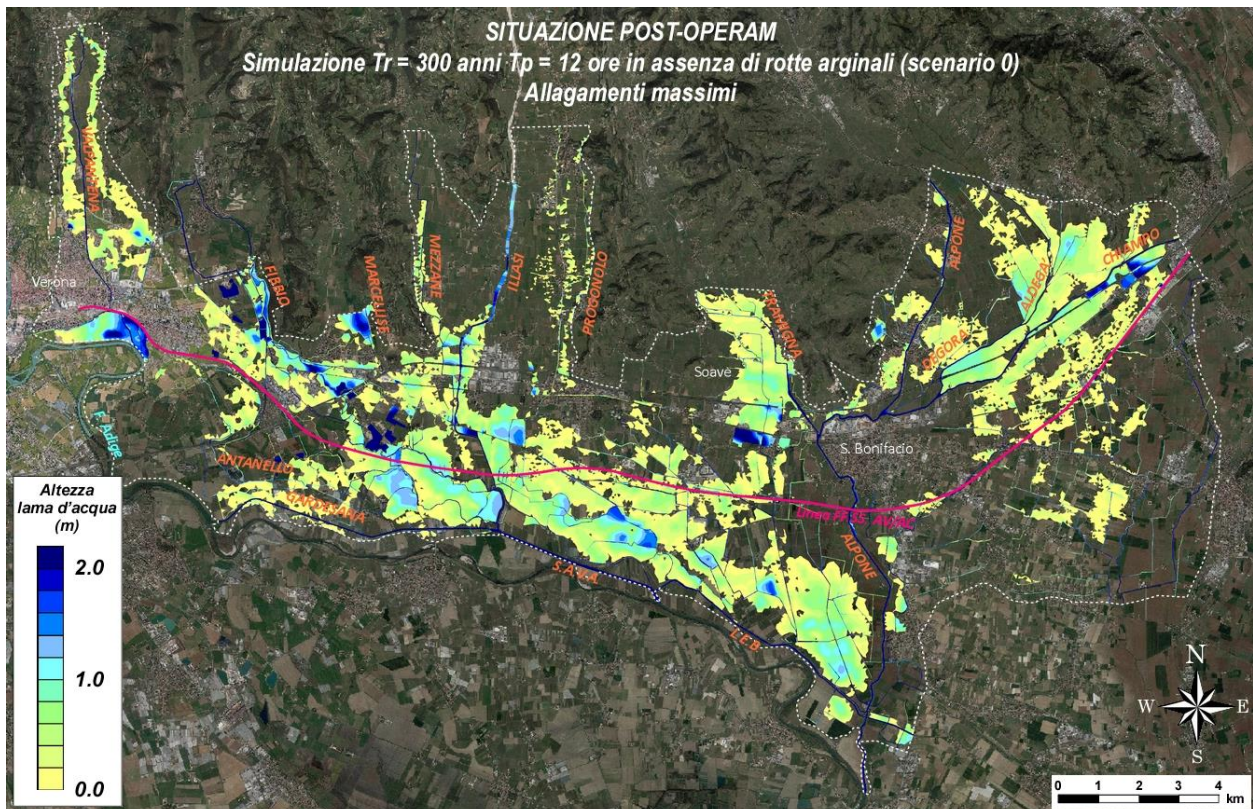


Fig. 6.7 - Evento con  $T_r=300$  anni (sopra) e  $T_r=100$  anni (sotto) e  $T_p=12$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione post-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), lungo i corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame, come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua stessi.

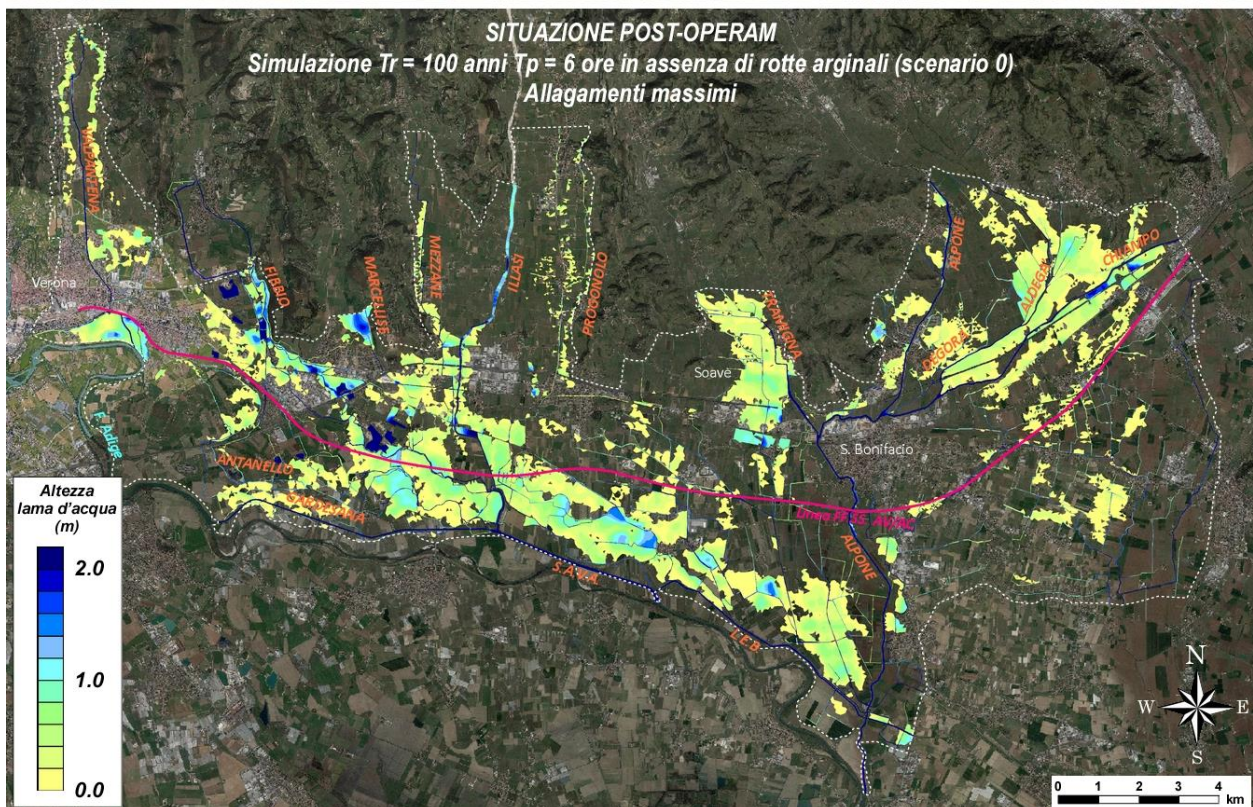
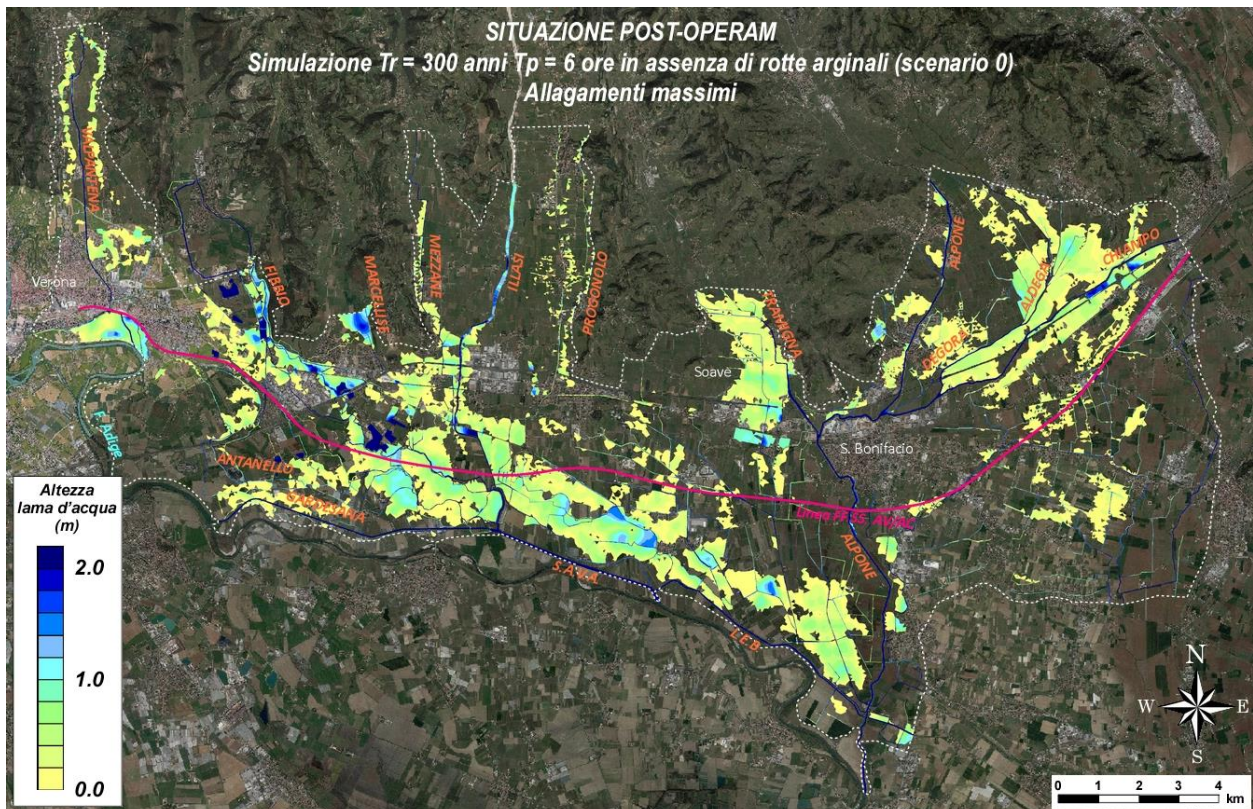


Fig. 6.8 - Evento con  $T_r=300$  anni (sopra) e  $T_r=100$  anni (sotto) e  $T_p=6$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione post-operam, nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), lungo i corsi d'acqua delle reti idrografiche in esame, come conseguenza delle esondazioni sulle difese di sponda dei corsi d'acqua stessi.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 92 di 134

### 6.3 Post-operam con presenza di rotte (scenari 1, 2, 3)

#### 6.3.1 Scenario 1 – Presenza di rotte nell'argine sinistro dell'Illasi e nell'argine sinistro del Chiampo

I risultati ottenuti per lo scenario 1 (rotta nell'argine sinistro dell'Illasi, a monte dell'attraversamento della ferrovia esistente, e rotta nell'argine sinistro del Chiampo, a monte dell'attraversamento dell'autostrada A4, in Fig. 5.10) consentono di evidenziare che:

- le caratteristiche di ciascuna rotta (altezza del cedimento, istante del crollo, lunghezza della breccia e volume fuoriuscito) sono del tutto coincidenti con quelle valutate per la situazione ante-operam (Tab. 6.5). Esse infatti non dipendono dalla presenza sul territorio delle opere previste per la realizzazione della nuova linea ferroviaria;
- gli idrogrammi della portata fluente in alveo, a monte e a valle della rotta, e di quella in uscita dal corso d'acqua attraverso il varco sono quindi gli stessi della situazione ante-operam, riportati per l'Illasi in Fig. 5.11 e per il Chiampo in Fig. 5.12;
- l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento in tutto il territorio indagato restano sostanzialmente inalterati rispetto a quelli determinati con il calcolo nella situazione ante-operam e sono pari, per l'evento tricentenario e centenario rispettivamente, a circa 79 km<sup>2</sup> e 67 km<sup>2</sup> ed a poco meno di 51×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ed a circa 40×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Tab. 6.6);
- l'estensione e le altezze massime degli allagamenti, riportate in allegato, per l'evento con tempo di ritorno Tr=100 anni e per l'evento con tempo di ritorno di 300 anni, segnalano incrementi significativi di livello, rispetto alla situazione in assenza di rotte (scenario 0), nella parte a nord del rilevato ferroviario, tra le progressive chilometriche km 11+500 e km 19+000, nel territorio in destra Alpone, per effetto della rotta dell'Illasi, e tra le progressive chilometriche km 23+500 e km 28+500, nel territorio in sinistra Alpone, per effetto della rotta del Chiampo.

#### 6.3.2 Scenario 2 – Presenza di rotte nell'argine sinistro dell'Illasi e nell'argine destro dell'Alpone

I risultati ottenuti per lo scenario 2 (rotta nell'argine sinistro dell'Illasi, a valle della confluenza del Prognò Mezzane e del Marcellise, e rotta lungo l'argine destro della confluenza Alpone-Tramigna, in Fig. 5.10) consentono invece di evidenziare che:

- le caratteristiche di ciascuna rotta (altezza del cedimento, istante del crollo, lunghezza della breccia e volume fuoriuscito) sono del tutto coincidenti con quelle valutate per la situazione ante-operam (Tab. 6.5). Esse infatti non dipendono dalla presenza sul territorio delle opere previste per la realizzazione della nuova linea ferroviaria;
- gli idrogrammi della portata fluente in alveo, a monte e a valle della rotta, e di quella in uscita dal corso d'acqua attraverso il varco sono quindi gli stessi della situazione ante-operam, riportati per l'Illasi in Fig. 5.13 e per l'Alpone-Tramigna in Fig. 5.14;
- l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento in tutto il territorio indagato restano sostanzialmente inalterati rispetto a quelli determinati con il calcolo nella situazione ante-operam e sono

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 93 di 134

pari, per l'evento tricentenario e centenario rispettivamente, a circa 75 km<sup>2</sup> e 64 km<sup>2</sup> ed a poco meno di 53×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ed a circa 42×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Tab. 6.6);

- l'estensione e le altezze massime degli allagamenti, riportate in allegato, per l'evento con tempo di ritorno Tr=100 anni e per l'evento con tempo di ritorno di 300 anni, segnalano incrementi significativi di livello, rispetto alla situazione in assenza di rotte (scenario 0), nella parte a nord del rilevato ferroviario, tra le progressive chilometriche km 11+500 e km 20+500, nel territorio compreso tra l'Illasi e l'Alpone, per effetto delle rotte negli stessi corsi d'acqua, l'Illasi, in sinistra, e l'Alpone, in destra.

### 6.3.3 Scenario 3 – Presenza di rotte nelle arginature destra e sinistra del Valpantena e nell'argine destro dell'Illasi

I risultati ottenuti per lo scenario 3 (rotte nelle arginature destra e sinistra del Valpantena, a valle di Quinto, e rotta nell'argine destro dell'Illasi, a valle della confluenza del Progno Mezzane e del Marcellise, in Fig. 5.10) consentono di evidenziare che:

- le caratteristiche di ciascuna rotta (altezza del cedimento, istante del crollo, lunghezza della breccia e volume fuoriuscito) sono del tutto coincidenti con quelle valutate per la situazione ante-operam (Tab. 6.5). Esse infatti non dipendendo dalla presenza sul territorio delle opere previste per la realizzazione della nuova linea ferroviaria;
- gli idrogrammi della portata fluente in alveo, a monte e a valle della rotta, e di quella in uscita dal corso d'acqua attraverso i varchi sono quindi gli stessi della situazione ante-operam, riportati per il Valpantena in Fig. 5.15 e per l'Illasi in Fig. 5.16;
- l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento in tutto il territorio indagato restano sostanzialmente inalterati rispetto a quelli determinati con il calcolo nella situazione ante-operam e sono pari, per l'evento tricentenario e centenario rispettivamente, a circa 67 km<sup>2</sup> e 55 km<sup>2</sup> ed a poco meno di 43×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> ed a circa 33×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (Tab. 6.6);
- l'estensione e le altezze massime degli allagamenti, riportate in allegato, per l'evento con tempo di ritorno Tr=100 anni e per l'evento con tempo di ritorno di 300 anni, segnalano incrementi significativi di livello, rispetto alla situazione in assenza di rotte (scenario 0), nella parte a nord del rilevato ferroviario, tra le progressive chilometriche km 0+300 e km 0+700, per effetto della rotta in destra del Valpantena, e tra le progressive chilometriche km 10+500 e km 11+500, per effetto della rotta dell'Illasi.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 94 di 134</p>

STATO DI PROGETTO - ROTTE SCENARIO 1				
Illasi			Chiampo	
Tr=100 anni	Tr=300 anni		Tr=100 anni	Tr=300 anni
2.2	2.2	Altezza rotta (m)	3.7	3.7
30.3	28.8	Istante crollo (ore)	29.8	28.0
50	50	Lunghezza rotta (m)	50	50
11.5	14.0	Volume fuoriuscito (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	7.2	8.8
STATO DI PROGETTO - ROTTE SCENARIO 2				
Illasi			Alpone	
Tr=100 anni	Tr=300 anni		Tr=100 anni	Tr=300 anni
2.6	2.6	Altezza rotta (m)	3.4	3.4
26.5	25.3	Istante crollo (ore)	32.5	31.0
50	50	Lunghezza rotta (m)	50	50
14.3	16.0	Volume fuoriuscito (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	1.7	2.1
STATO DI PROGETTO - ROTTE SCENARIO 3				
Illasi			Valpantena (dx e sx)	
Tr=100 anni	Tr=300 anni		Tr=100 anni	Tr=300 anni
3.0	3.0	Altezza rotta (m)	2.3-2.4	2.3-2.4
29.0	27.5	Istante crollo (ore)	30.0	29.0
50	50	Lunghezza rotta (m)	30+30	30+30
12.1	14.1	Volume fuoriuscito (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	2.4	4.0

Tab. 6.5 – Caratteristiche delle rotte ipotizzate lungo il Valpantena, l'Illasi, il Chiampo e l'Alpone per lo stato di progetto, del tutto pari a quelle dello stato di fatto, scenario 1, scenario 2 e scenario 3, per gli eventi con tempo di ritorno di 100 anni e 300 anni.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17    Lotto 10    Codifica Documento E12 RH ID0000 003    Rev. D    Foglio 95 di 134

Simulazione				Sup. allagata (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Vol. allagamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Ante-operam	scenario 0	Tr100	Tp24	56.2	32.8
		Tr300	Tp24	68.8	42.6
	scenario 1	Tr100	Tp24	67.8	40.2
		Tr300	Tp24	80.2	50.7
	scenario 2	Tr100	Tp24	64.3	42.1
		Tr300	Tp24	75.2	53.2
	scenario 3	Tr100	Tp24	54.8	33.1
		Tr300	Tp24	67.6	43.1
Simulazione				Sup. allagata (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> )	Vol. allagamento (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
Progetto	scenario 0	Tr100	Tp24	55.8	32.6
		Tr300	Tp24	68.5	42.4
	scenario 1	Tr100	Tp24	67.3	40.1
		Tr300	Tp24	79.4	50.6
	scenario 2	Tr100	Tp24	64.0	41.9
		Tr300	Tp24	74.8	52.8
	scenario 3	Tr100	Tp24	54.5	33.0
		Tr300	Tp24	67.3	42.9

Tab. 6.6 – Valori calcolati delle superfici allagate e dei volumi di allagamento massimi per le situazioni ante-operam e di progetto, per i diversi scenari e condizioni idrologiche indagati con il modello uni-bidimensionale.

#### 6.4 Valutazioni comparative sugli effetti della nuova linea ferroviaria sulla base dei risultati del modello uni-bidimensionale

Le differenze sui risultati rispetto alla situazione ante-operam consistono in variazioni locali dei livelli idrometrici nelle posizioni in cui l'onda di sommersione incontra l'opera realizzata in rilevato. Si tratta, tuttavia, di variazioni di entità generalmente ridotta rispetto ai livelli già presenti nella configurazione ante-operam e che già a breve distanza dal tracciato stesso tendono ad annullarsi.

Se si considerano, inoltre, l'estensione complessiva delle aree allagate e i volumi di allagamento in tutto il territorio indagato, si rileva che nella situazione di progetto tali valori restano sostanzialmente inalterati rispetto a quelli determinati con il calcolo nella situazione ante-operam, pari, per esempio, nello scenario 0 e per Tr=100 anni e Tp=24 ore, rispettivamente, a circa 56 km<sup>2</sup> ed a poco più di 32.5×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (vedi Tab. 6.6).

La sostanziale permeabilità dell'opera è garantita, oltre che dalla sua stessa struttura nei tratti in viadotto e in galleria, dalla presenza, lungo i tratti in rilevato, dei tombini e degli scatolari della rete di bonifica, dei fornicci e degli attraversamenti dei corsi d'acqua principali, il cui elenco completo è riportato in Tab. 6.1 e in Tab. 6.2, che consentono il deflusso delle acque, anche di quelle di sommersione del territorio, da monte a valle, e in qualche caso anche da valle verso monte, dell'opera. Nel corso delle simulazioni degli eventi esaminati, molti di essi, per

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 96 di 134

effetto delle acque di allagamento provenienti, per esondazione, dai corsi d'acqua principali, funzionano a sezione piena, mentre alcuni altri possono essere non interessati dalle acque di allagamento stesse.

Come sopra accennato, i risultati delle simulazioni modellistiche eseguite per le situazioni ante-operam e di progetto e per eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 100 anni e 300 anni, illustrati ai paragrafi precedenti, hanno evidenziato che l'inserimento del nuovo tracciato ferroviario AV/AC nel territorio indagato determina solo localmente variazioni apprezzabili sulle altezze degli allagamenti che si verificano per effetto delle acque di esondazione che fuoriescono dagli alvei principali dei corsi d'acqua in esame, in particolare il Fibbio, l'Illasi e il Chiampo-Alpone. Peraltro, lì dove si riscontrano incrementi dei livelli idrometrici generalmente corrispondono aree dove i livelli si riducono.

Per rappresentare con immediatezza il confronto tra i livelli calcolati nelle situazioni ante-operam e di progetto:

- a) negli allegati IN1710EI2N3ID0000035A, IN1710EI2N3ID0000036A e IN1710EI2N3ID0000037A sono riportate, con una scala di colori, le differenze tra le altezze massime di allagamento valutate in tutto il dominio di calcolo in assenza di rotte (scenario 0) per le situazioni attuale e di progetto, per il tempo di ritorno di 300 anni e le durate di 24, 12 e 6 ore;
- b) negli allegati IN1710EI2N3ID0000038A, IN1710EI2N3ID0000039A e IN1710EI2N3ID0000040A sono riportate, con una scala di colori, le differenze tra le altezze massime di allagamento valutate in tutto il dominio di calcolo in assenza di rotte (scenario 0) per le situazioni attuale e di progetto, per il tempo di ritorno di 100 anni e le durate di 24, 12 e 6 ore;
- c) nell'allegato IN1710EI2FZID0000001A sono rappresentati i profili idrometrici valutati lungo due linee immaginarie che corrano in parallelo a quella del tracciato della ferrovia, ma spostate da questa di 50 m verso nord e di 50 m verso sud. Sono riportati a confronto i livelli massimi di allagamento calcolati per gli eventi con tempo di ritorno di 300 anni (il massimo tra  $T_p=6-12-24$  ore) nelle situazioni ante-operam e di progetto, in assenza di rotte (scenario 0), a confronto anche con le quote del piano del ferro (in asse) e con le quote del terreno (attuale);
- d) nell'allegato IN1710EI2FZID0000002A sono infine rappresentati i profili idrometrici valutati lungo due linee immaginarie che corrano in parallelo a quella del tracciato della ferrovia, ma spostate da questa di 50 m verso nord e di 50 m verso sud. Sono riportati a confronto i livelli massimi di allagamento calcolati per l'evento con tempo di ritorno di 300 anni e  $T_p=24$  ore nelle situazioni ante-operam e di progetto, in presenza di rotte, adottando lungo i profili di riferimento il valore massimo tra quelli degli scenari 1, 2 e 3, a confronto anche con le quote del piano del ferro (in asse) e con le quote del terreno (attuale).

Con riferimento alle tavole grafiche elencate ai punti precedenti a) e b) che riportano le differenze tra le altezze massime di allagamento valutate per le situazioni attuale e di progetto per lo scenario 0, in assenza di rotte, si rileva che esse sono state utilizzate per valutare la compatibilità idraulica complessiva dell'opera, vale a dire la sua trasparenza nel caso in cui fosse investita dalle acque di esondazione provenienti da fuoriuscite d'acqua dagli alvei dei fiumi principali, non dovendo determinare incrementi significativi delle altezze di allagamento rispetto a quelle nello stato di fatto, a monte e valle della nuova infrastruttura. Si tratta di una metodologia già utilizzata e messa a punto nel corso dell'istruttoria autorizzativa del progetto definitivo, attraverso confronti con l'Autorità di Distretto delle Alpi Orientali, e valutata con parere favorevole dall'Autorità stessa con nota del 18-



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 97 di 134

04-2016. Tale istruttoria aveva comunque riguardato anche gli scenari con rotte arginali ed aveva consentito all'Autorità di Distretto di prescrivere alcuni interventi locali (fornici ed allungamento del viadotto Illasi), fatti successivamente propri dal CIPE, per garantire la trasparenza dell'opera anche per queste particolari situazioni. In particolare, se si considerano le tavole grafiche sopra citate (allegati IN1710EI2N3ID0000035A, IN1710EI2N3ID0000036A e IN1710EI2N3ID0000037A per  $Tr=300$  anni e allegati IN1710EI2N3ID0000038A, IN1710EI2N3ID0000039A e IN1710EI2N3ID0000040A per  $Tr=100$  anni), si osserva che lungo la gran parte del tracciato non vi sono incrementi di livello e quindi peggioramenti delle condizioni di sicurezza idraulica del territorio. Localmente, tuttavia, a causa di fenomeni puntuali, i risultati del calcolo evidenziano dei peggioramenti in aree di estensione comunque molto limitata e soprattutto a ridosso dei rilevati della ferrovia, come si riscontrava, peraltro in punti più numerosi, anche con le analoghe indagini condotte a supporto del progetto definitivo.

A tale riguardo, sulla base delle differenze tra i livelli idrometrici valutati 50 m a monte e 50 m a valle della linea AV/AC nella situazione attuale e in quella di progetto, come inviluppo di quelli calcolati per gli eventi con  $Tr=300$  anni e durata di 6-12-24 ore nello scenario senza rotte (scenario 0), riportate in Tab. 6.7 e rappresentate graficamente nella tavola allegata IN1710EI2FZID0000001A, si possono formulare le osservazioni di sintesi di seguito riportate.

- le differenze di livello, sia in aumento, sia in riduzione nello stato di progetto rispetto a quello attuale, sono generalmente contenute entro i 5-10 cm. Differenze in aumento superiori ai 10 cm si riscontrano solo in alcuni punti localizzati;
- le differenze massime in aumento si registrano a monte, dell'ordine dei 20-30 cm, tra le progressive 4200 m e 6000 m, e a valle, con valori di 20-30 cm e un valore puntuale di circa 50 cm, tra le progressive 15400 m e 16400 m (vedi Fig. 6.5, al centro). Si tratta di differenze che si verificano perlopiù entro zone residuali del territorio, di estensione comunque molto limitata, e che si esauriscono a breve distanza dall'opera. In particolare, la zona interessata da incrementi di circa 50 cm è un relitto di terreno che resta intercluso tra il rilevato della nuova ferrovia, a nord, il sottovia SL04 (km 16+193.9), a ovest, e il nuovo tracciato in rilevato della strada Porcilana, a sud;
- qualche zona non allagata nella situazione attuale lo è invece nello stato di progetto, mentre sono più numerose le zone che, attualmente allagabili, nello stesso stato di progetto non risultano essere più allagate, soprattutto sul lato di valle dell'opera.

Con riferimento infine alle tavole grafiche elencate al precedente punto d) che riportano i profili idrometrici valutati per le situazioni ante-operam e di progetto lungo due linee immaginarie che corrano in parallelo a quella del tracciato della ferrovia, ad una distanza di 50 m verso nord e di 50 m verso sud, considerando l'inviluppo dei massimi per gli scenari 1, 2 e 3 con rotte e per l'evento con  $Tr=300$  anni e  $Tp=24$  ore, si rileva che essi sono stati utilizzati a favore di sicurezza per la verifica del franco rispetto al piano del ferro e per la verifica delle opere di protezione dei nuovi rilevati ferroviari.

progressiva (m)	Livello (m s.m.) - 50 m MONTE		Differenza (m)	progressiva (m)	Livello (m s.m.) - 50 m VALLE		Differenza (m)
	attuale	progetto			attuale	progetto	
4000	-	49.86	-	774	47.78	47.78	0.00
4200	48.73	49.06	0.32	974	47.73	47.73	0.00
4797	49.11	49.32	0.21	1166	47.69	47.69	0.00
5954	45.37	45.60	0.23	1356	47.68	47.69	0.00
6205	45.04	-	-	1547	47.67	47.67	0.00
7826	32.34	32.33	-0.01	1737	47.65	47.65	0.00
8026	32.32	32.32	0.00	1936	47.61	47.61	0.00
8226	32.19	32.19	-0.01	4503	48.15	-	-
8426	31.76	31.76	0.00	4603	48.52	-	-
8626	31.28	31.28	0.00	4890	44.75	-	-
8826	31.38	31.37	0.00	7724	32.28	32.27	0.00
9026	31.04	31.03	-0.01	7974	32.24	32.23	-0.01
9224	31.04	31.03	-0.01	8174	32.11	32.10	-0.01
9422	29.60	29.60	0.01	8374	31.67	31.67	0.00
9621	29.59	29.60	0.01	8574	31.24	31.24	0.00
9821	29.59	29.59	0.01	8774	31.15	31.14	-0.00
10221	30.09	30.12	0.03	8974	31.05	31.04	-0.01
10421	30.09	30.12	0.03	9176	31.04	31.03	-0.01
10621	28.79	28.73	-0.06	9378	29.61	29.61	0.01
10821	28.98	29.02	0.03	9579	29.59	29.60	0.01
11666	29.15	29.18	0.03	9779	29.58	29.59	0.01
11864	29.11	29.18	0.07	9979	29.80	29.80	0.00
12259	27.80	27.74	-0.06	10179	30.09	30.09	0.00
12457	26.81	26.79	-0.02	10379	30.09	30.07	-0.01
12856	26.72	26.69	-0.03	10579	28.79	-	-
13056	26.67	26.63	-0.04	10779	28.81	-	-
13257	26.39	26.41	0.02	11634	29.05	29.07	0.01
13460	26.12	26.18	0.06	11836	29.02	28.99	-0.03
13662	-	25.99	-	12089	27.80	27.76	-0.04
13865	25.71	25.73	0.01	12241	27.80	-	-
14472	25.03	24.70	-0.33	12443	26.81	-	-
14675	24.60	24.59	-0.01	12644	26.69	26.67	-0.02
15077	24.35	24.37	0.02	12844	26.63	26.60	-0.02
15277	24.20	-	-	13044	26.53	26.50	-0.04
15576	23.82	23.83	0.01	13243	26.50	26.45	-0.05
15676	23.82	23.78	-0.03	13638	25.94	25.89	-0.06
15875	23.82	23.81	0.00	13835	25.71	25.73	0.02
16074	23.83	23.74	-0.09	14033	25.59	25.58	-0.01
16472	23.17	23.32	0.14	14428	24.74	24.74	-0.01
16672	22.87	-	-	14625	24.60	24.59	-0.01
16871	22.44	22.46	0.02	15023	24.35	24.37	0.01
17070	22.43	22.43	0.00	15223	24.27	24.32	0.05
17269	22.42	22.42	0.00	15423	24.01	24.20	0.19
17469	22.42	22.41	-0.01	15624	23.88	24.18	0.30
17669	22.41	22.41	-0.01	15825	-	24.16	-
17869	22.41	22.41	-0.01	16026	23.91	24.16	0.25
18069	22.41	22.41	-0.01	16227	-	23.68	-
18269	22.41	22.40	-0.01	16327	23.17	23.68	0.50
18469	22.41	22.40	-0.01	16628	-	23.26	-
18819	-	22.74	-	16829	22.44	22.46	0.01
19000	21.68	-	-	17030	22.43	22.42	-0.01
20670	30.72	30.72	0.00	17231	22.42	22.41	-0.01
22105	26.49	26.48	-0.01	17431	22.42	22.41	-0.01
22303	26.49	26.48	-0.02	17631	22.41	22.40	-0.01
22500	26.50	26.48	-0.02	17831	22.39	-	-
22697	26.52	26.48	-0.04	18031	22.41	22.40	-0.01
25281	28.43	28.42	0.00	18231	22.41	22.39	-0.01
25481	28.47	28.49	0.02	18431	22.41	22.39	-0.01
25681	28.48	28.53	0.04	18631	22.41	22.39	-0.01
25881	28.49	28.53	0.04	20579	30.63	30.63	0.00
26081	28.50	28.53	0.03	22045	26.49	26.48	-0.01
26281	28.73	-	-	22246	26.49	26.48	-0.01
26431	28.75	28.74	-0.01	22449	26.50	26.48	-0.01
26678	29.45	29.46	0.01	22652	26.51	26.53	0.02
26875	29.86	29.70	-0.16	22855	26.54	-	-
27072	29.90	-	-	23058	26.68	-	-
27668	31.24	31.13	-0.12	23058	26.68	-	-
28017	31.43	31.26	-0.16	23413	27.26	-	-
28218	31.58	-	-	25469	28.45	28.43	-0.01
28468	31.84	-	-	25669	28.48	28.45	-0.03
28668	32.75	32.76	0.01	25869	28.49	28.46	-0.03
28868	32.90	32.89	-0.01	26069	28.50	28.49	-0.01
29068	33.12	33.09	-0.03	26269	28.58	-	-
29268	33.58	33.56	-0.02	26671	29.37	29.34	-0.03
29468	33.90	33.89	0.00	26874	29.56	29.50	-0.06
29668	34.83	34.83	0.00	27026	29.82	29.64	-0.17
29868	35.21	35.21	-0.01	27552	30.10	-	-
30068	35.74	35.73	-0.01	27722	-	31.11	-
30268	36.63	36.63	0.01	27903	-	31.11	-
30468	37.09	37.07	-0.01	28432	31.81	31.96	0.15
30668	37.29	37.24	-0.04	28782	-	32.22	-
30868	37.33	37.29	-0.04	29682	34.43	34.60	0.17

Tab. 6.7 – Livelli idrometrici valutati 50 m a monte e 50 m a valle della linea AV/AC nella situazione attuale e in quella di progetto, come inviluppo di quelli calcolati per gli eventi con  $T_r=300$  anni e durata di 6-12-24 ore (scenario 0).

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 99 di 134

## 7 VERIFICA IDRAULICA DELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO IN PREVISIONE DELLA REALIZZAZIONE DEL PIANO DEGLI INTERVENTI DELLA REGIONE VENETO

### 7.1 Descrizione sintetica degli interventi previsti e della loro schematizzazione nel modello uni-bidimensionale

Nel Piano degli Interventi della Regione Veneto, nel bacino idrografico del Chiampo-Alpone, oltre ad interventi secondari già realizzati, come la sconnessione idraulica del Tramigna dall'Alpone mediante una paratoia automatizzata, il rifacimento e la sistemazione dei muri di contenimento del Tramigna nell'abitato di Soave e la rimozione del ponte della Motta sull'Alpone a San Bonifacio, era stata prevista anche una serie di altri interventi per la riduzione della portata:

- del Chiampo, a valle della sezione di Montebello Vicentino, a 120 m<sup>3</sup>/s utilizzando parzialmente, per la laminazione dei colmi degli idrogrammi, la cassa di espansione delle piene opportunamente potenziata di Montebello (4.5×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> riservati al Chiampo su un totale complessivo di circa 8.0×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, di cui 2.0×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> in progetto), che attualmente è destinata all'invaso delle portate in eccesso del solo Agno-Guà;
- dell'Alpone, a valle di Montecchia di Crosara, a 70 m<sup>3</sup>/s realizzando un bacino di laminazione in località Colombaretta con volume utile di 0.6-0.9×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>;
- dell'Aldegà e del Chiampo in prossimità della confluenza utilizzando il bacino naturale di San Vito con volume utile di circa 2.0×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>;
- del Tramigna nell'abitato di Soave, realizzando l'intervento denominato "Destinazione del bacino di San Lorenzo quale area di espansione del torrente Tramigna".

Per tenere conto che alcune tra le opere previste (l'ampliamento del bacino di Montebello e la realizzazione dell'invaso Colombaretta) sono posizionate a monte dei nodi di immissione delle portate nel modello idrodinamico, si sono determinate le condizioni al contorno di monte del modello stesso apportando alcune modifiche agli idrogrammi di portata originali forniti dall'Autorità di Bacino. In particolare, si sono considerate le seguenti variazioni:

- per il Chiampo a Montebello, una laminazione ideale degli idrogrammi, realizzata a portata massima costante di 120 m<sup>3</sup>/s, per effetto delle opere previste nella cassa di Montebello Vicentino;
- un trasferimento cinematico degli idrogrammi di piena del Chiampo, laminati per l'intervento della cassa di Montebello, con la successiva sovrapposizione degli idrogrammi di portata del Rodegotto, affluente di destra, fino al nodo di immissione della portata nello schema idrodinamico, posizionato a monte dell'attraversamento dell'autostrada A4;
- per l'Alpone, la sovrapposizione degli idrogrammi di portata dell'Alpone stesso a Montecchia di Crosara, del Rio Albo e della Valle Marchi e la successiva laminazione degli idrogrammi risultanti, realizzata a portata massima costante di 70 m<sup>3</sup>/s, per effetto della cassa di località Colombaretta.

In definitiva, gli idrogrammi di portata, modificati rispetto a quelli originali per l'intervento dei bacini di laminazione di Montebello, per il Chiampo, e della Colombaretta, per l'Alpone, sono riportati nella sottostante Fig. 7.1, per i tempi di ritorno di 100 anni e di 300 anni e durata della pioggia di 24 ore.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 100 di 134	

Si osserva, peraltro, come precedentemente accennato, che il bacino di laminazione della Colombaretta, posizionato in adiacenza all'alveo del T. Alpone a monte di Monteforte d'Alpone, è stato recentemente completato ed è quindi a tutt'oggi utilizzabile per ridurre le portate fluenti nel tratto di valle dell'Alpone stesso. Nel presente studio, gli effetti di tale intervento sono stati quindi considerati fin da subito nelle indagini condotte sulle configurazioni ante-operam e di progetto della modellazione.

Per simulare anche l'intervento del bacino di San Vito, ad uso di laminazione delle piene dell'Aldegà e del Chiampo, e del bacino di San Lorenzo, destinato ad invasare le acque del Tramigna, si è completato lo schema di calcolo inserendo nel modello uni-bidimensionale opportuni tronchi speciali che riproducono, come condizione interna al sistema, il funzionamento degli sfioratori di alimentazione dei bacini stessi, nonché le arginature perimetrali, come previsto nei relativi progetti.

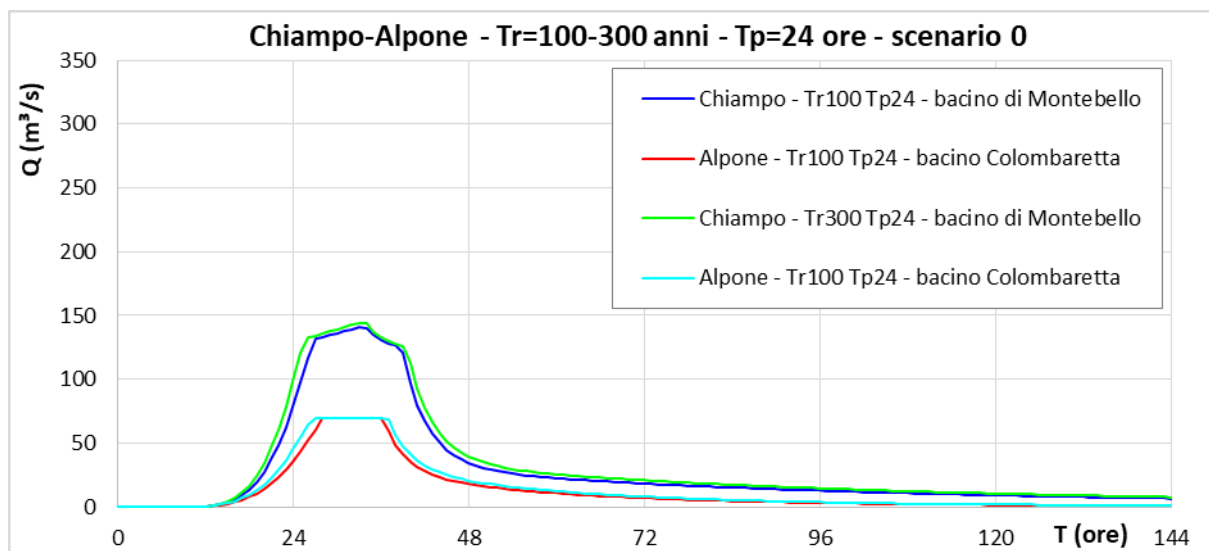


Fig. 7.1 - Eventi di piena con  $Tr=100-300$  anni e  $Tp=24$  ore: idrogrammi di portata considerati per il Chiampo e per l'Alpone per tenere conto degli effetti dei bacini di Montebello, per il Chiampo, e della Colombaretta, per l'Alpone.

## 7.2 L'evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni generato da piogge di durata 24 ore

A completamento dell'indagine condotta con il modello idraulico uni-bidimensionale, si è quindi eseguita una ulteriore serie di simulazioni di calcolo per le situazioni ante-operam e di progetto, considerando l'effetto concomitante dei 4 bacini di laminazione delle piene previsti e realizzati nel sistema Chiampo-Alpone-Tramigna, come illustrato nel precedente paragrafo 7.1.

In tali condizioni, si sono ripetute le simulazione di calcolo, considerando dapprima l'evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni e durata di 24 ore, e si sono valutate le condizioni di deflusso in tutto il dominio e in particolare nel bacino del Chiampo-Alpone.

Le mappe che riportano le massime altezze di allagamento sul territorio (Fig. 7.2), se confrontate con quelle corrispondenti, valutate in assenza dei bacini di laminazione programmati dalla Regione Veneto, consentono di osservare:

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 101 di 134

- l'assenza, ovviamente, di variazioni delle aree allagate nella parte del territorio attraversato dai corsi d'acqua del sistema Fibbio-Illasi, entro il quale il Piano degli Interventi regionale non prevede sostanzialmente la realizzazione di opere per ridurre le portate in arrivo dai tratti montani dei corsi d'acqua;
- una riduzione appena significativa degli allagamenti nella parte del territorio compreso tra l'argine destro dell'Alpone e il canale LEB, nella parte meridionale del territorio indagato, per effetto della riduzione delle portate che esondano dal Tramigna a monte di Soave e all'annullamento delle tracimazioni alla confluenza Alpone-Tramigna, in destra idrografica;
- l'annullamento delle tracimazioni arginali e dei conseguenti allagamenti del territorio adiacente, sia in destra, sia in sinistra idrografica, lungo tutto il percorso indagato del Chiampo e dell'Alpone;
- il persistere di zone di allagamento nel territorio del comune di Soave, per le esondazioni residue del Tramigna, prima di attraversare entro difese murate il centro storico abitato, e nel territorio dei bacini dell'Aldegà, del Degora e dei loro affluenti e di alcuni affluenti dell'Alpone, per l'inadeguatezza della rete di drenaggio di bonifica per eventi con tempo di ritorno di 100 anni.

La realizzazione o, meglio, il completamento degli interventi della Regione Veneto consentiranno, in buona sostanza, di annullare tutte le tracimazioni arginali potenzialmente pericolose per la nuova linea ferroviaria, vale a dire quelle che, come illustrato per la situazione ante-operam, potrebbero verificarsi sull'argine sinistro del Chiampo e sull'argine destro dell'Alpone-Tramigna, in corrispondenza della comune confluenza.

### 7.3 L'evento di piena con tempo di ritorno di 300 anni generato da piogge di durata 24 ore

Le simulazione di calcolo considerando gli interventi della Regione Veneto sono state ripetute anche per l'evento di piena con tempo di ritorno di 300 anni e durata della pioggia di 24 ore.

Le mappe che riportano le altezze massime delle lame d'acqua di allagamento sul territorio (Fig. 7.3), se confrontate con quelle corrispondenti, valutate in assenza dei bacini di laminazione, consentono di formulare e sostanzialmente confermare le osservazioni già esposte nel precedente paragrafo 7.2 per l'evento centenario.

In particolare, si rileva che anche nel caso di piena tricentenaria l'attivazione dei bacini di invaso determinerebbe l'annullamento di tutte le tracimazioni arginali e dei più estesi allagamenti del territorio adiacente che l'indagine condotta nella situazione ante-operam (vedi Fig. 5.3) segnala come possibili sull'argine sinistro del Chiampo e sull'argine destro dell'Alpone-Tramigna, in corrispondenza della comune confluenza, e quindi potenzialmente pericolose per il tracciato della nuova linea ferroviaria.

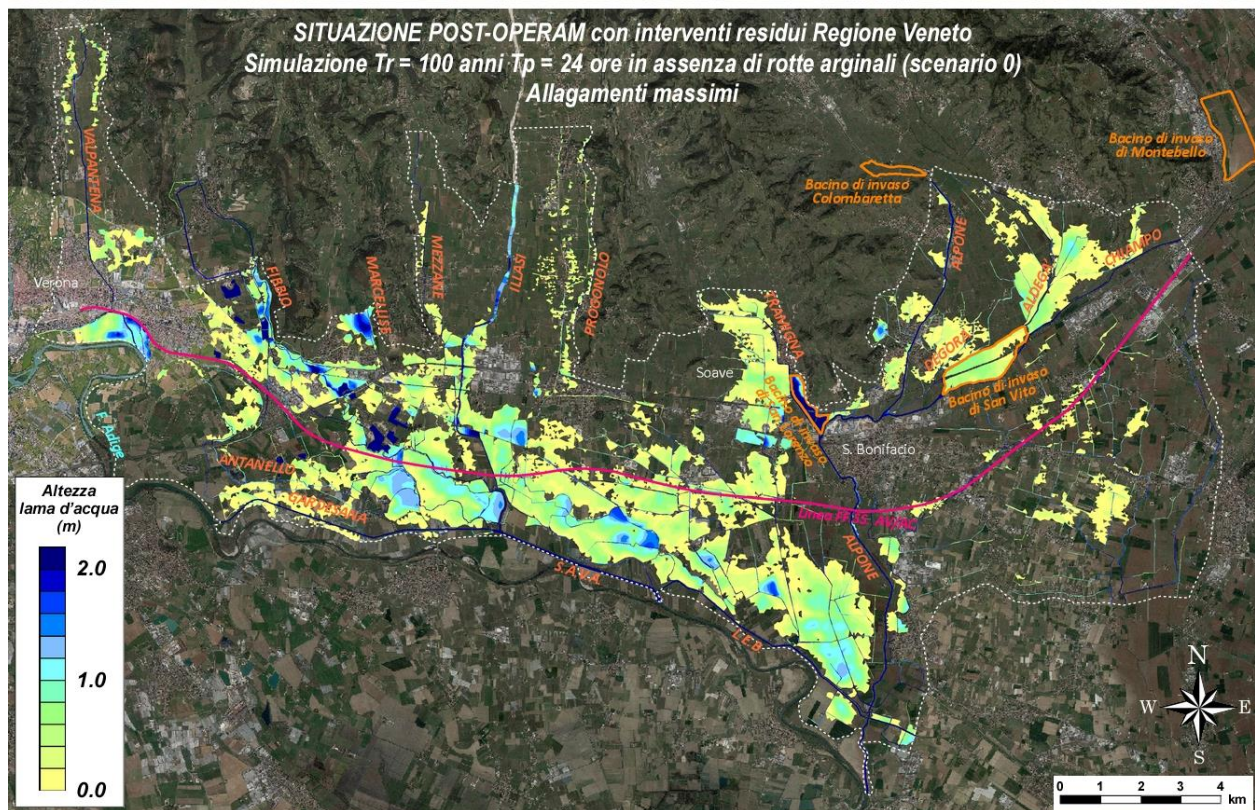
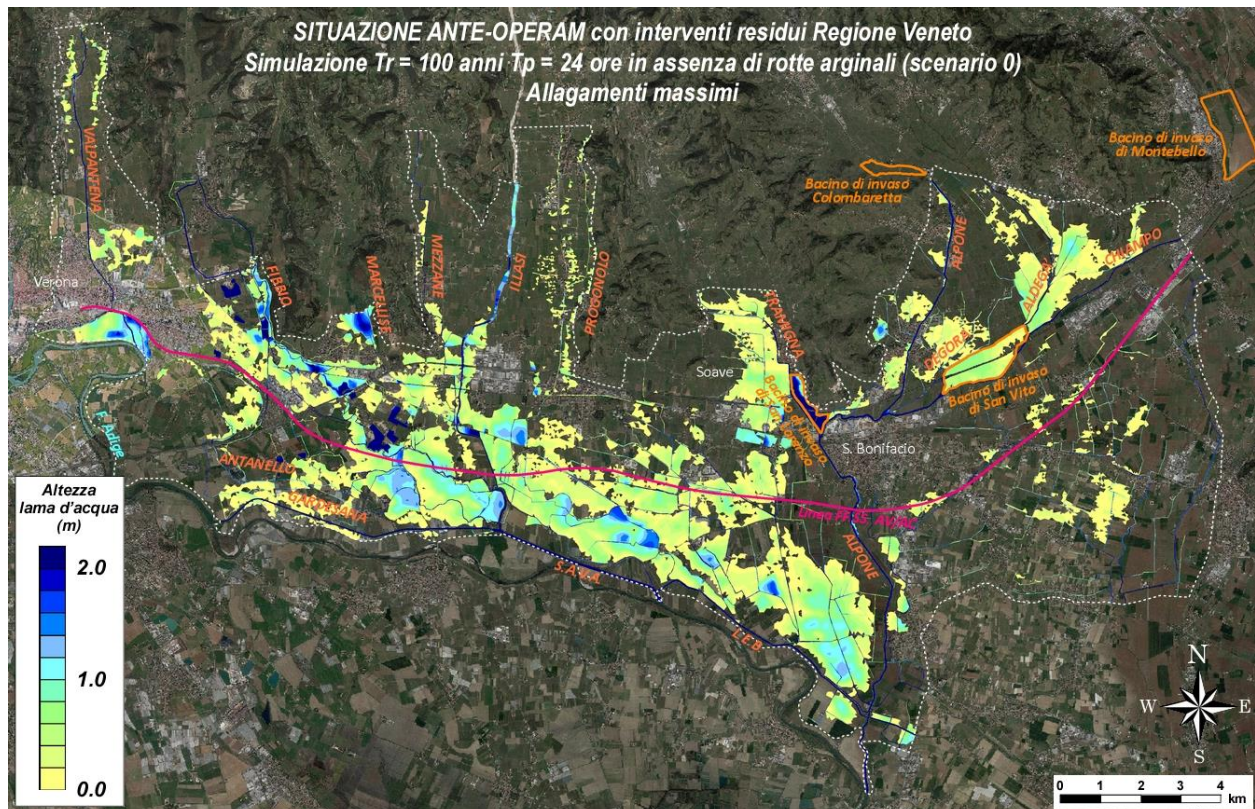


Fig. 7.2 - Evento con  $T_r=100$  anni e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione ante-operam (sopra) e quella post-operam (sotto), nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), con gli interventi previsti dalla Regione Veneto nel bacino del Chiampo-Alpone.

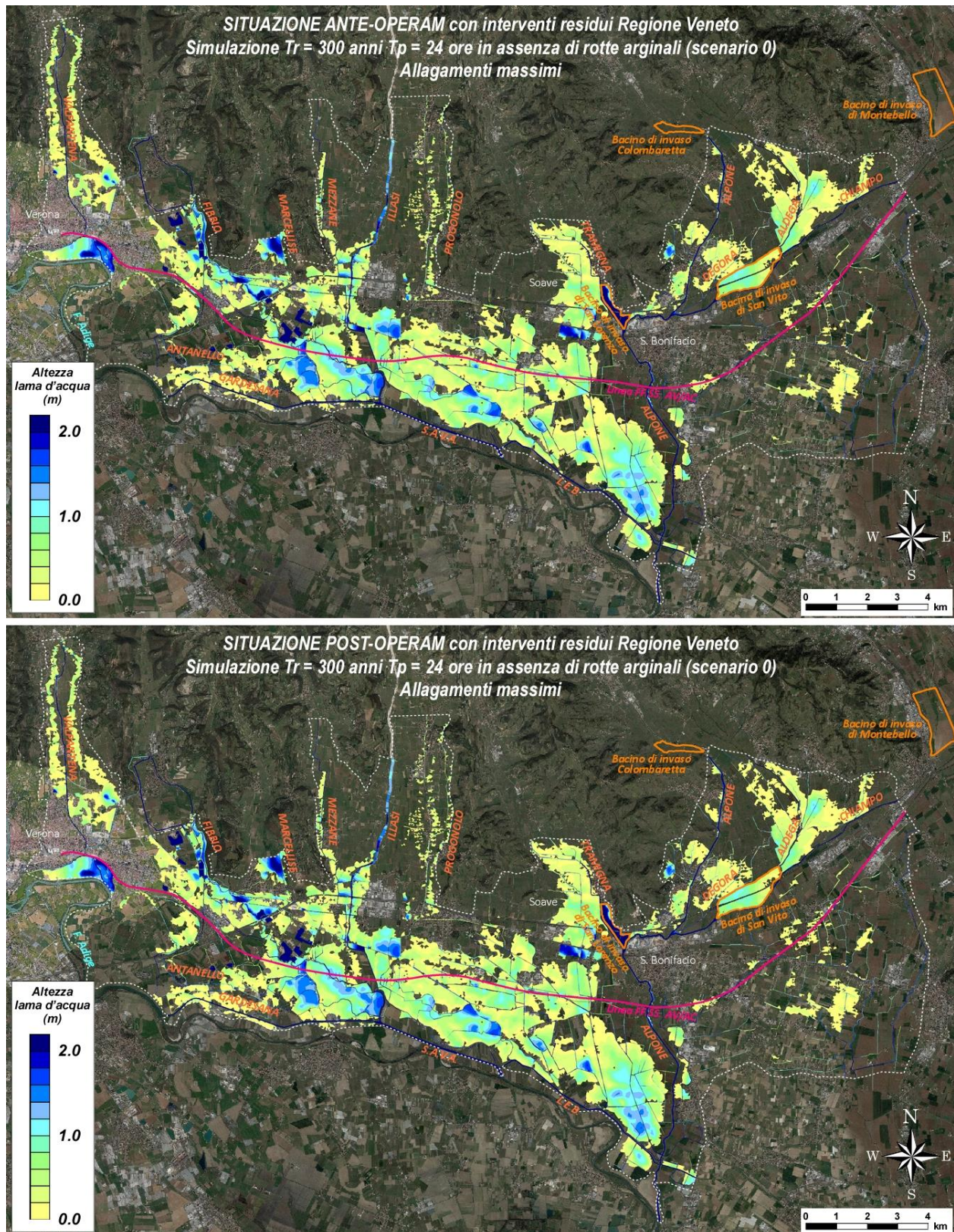


Fig. 7.3 - Evento con  $T_r=300$  anni e  $T_p=24$  ore: rappresentazione, sull'ortofoto 2020, dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua calcolate con il modello uni-bidimensionale per la situazione ante-operam (sopra) e quella post-operam (sotto), nell'ipotesi di assenza di rotte arginali (scenario 0), con gli interventi previsti dalla Regione Veneto nel bacino del Chiampo-Alpone.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 104 di 134	

## 8 CONCLUSIONI

Sulla base delle verifiche e delle analisi di approfondimento effettuate, implementando una specifica modellazione idraulica di dettaglio, si conferma, con il presente studio, che la linea ferroviaria AV/AC (una infrastruttura strategica di interesse pubblico) nel tratto Verona-Montebello Vicentino, qui in esame, non produce peggioramento delle condizioni di sicurezza idraulica sul territorio attraversato, soprattutto per l'evento  $T_r=100$  anni (scenario 0).

Le differenze sui risultati rispetto alla situazione ante-operam consistono in variazioni locali dei livelli idrometrici nelle posizioni in cui l'onda di sommersione incontra l'opera realizzata in rilevato, ma tali variazioni sono di entità generalmente ridotta rispetto ai livelli già presenti nella configurazione ante-operam e già a breve distanza dal tracciato stesso tendono ad annullarsi.

La sostanziale permeabilità dell'opera è garantita, lungo i tratti in rilevato, dalla presenza dei tombini e degli scatolari previsti in corrispondenza delle interferenze con la rete di bonifica, e da quella dei fornicci e degli attraversamenti dei corsi d'acqua principali che, insieme, consentono il deflusso delle acque, anche di quelle di sommersione del territorio, attraverso l'opera stessa.

Nella fase progettuale si sono tenuti in considerazione, in modo ingegneristico e per quanto possibile, tutti gli elementi di rischio e/o pericolosità idraulica evidenziati dagli Enti di gestione territoriale, utilizzando suggerimenti e direttive come linee guida nelle scelte di progetto. Inoltre ci si è posti l'obiettivo, con opere di trasparenza idraulica, con la riprofilatura e risagomatura dei corsi d'acqua intercettati e/o mediante la scelta di un tracciato spesso in viadotto di:

- non interferire con opere di difesa spondali esistenti (opere di sponda e argini);
- evitare una riduzione della capacità di trasporto dell'alveo;
- garantire il deflusso naturale delle acque sul territorio;
- non alterare il profilo di piena dei corsi d'acqua interferiti;
- assicurare il principio dell'invarianza idraulica.

Peraltro nel progetto sono stati presi in considerazione anche interventi mirati alla salvaguardia dell'infrastruttura sia da eventuali eventi meteorici particolarmente critici sia da possibili fenomeni di erosione localizzata che danneggerebbero il rilevato ferroviario e le aree attigue.

Il presente studio contiene oltre che un'indagine sui corsi d'acqua maggiori anche la modellazione della rete minore. Il modello prodotto recepisce anche tutti gli interventi eseguiti dalla Regione Veneto negli ultimi anni garantendo "attualità" e "accuratezza" ai risultati ottenuti.

Tra Verona e Montebello Vicentino possono essere individuate due macro-aree:

- la parte ovest del tracciato, da Verona al t. Alpone, che è oggettivamente posizionata in aree dove per i tempi di ritorno considerati (ma anche per tempi di ritorno decisamente minori visto le ridotte capacità di portata dei tratti terminali) si verificano importanti tracimazioni e, localmente, nel t. Illasi, la possibilità di rotture arginali in posizioni anche prossime a quelle della linea AV/AC;
- la parte est del tracciato, dal t. Alpone a Montebello Vicentino, che si trova oggi in condizioni decisamente migliori rispetto a quelle del 2010-2013 grazie ai lavori sulle difese realizzati dal Genio Civile di Verona. A



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 105 di 134	

maggior ragione lo sarà nel giro di qualche anno, quando la Regione avrà completato i lavori delle 4 casse di espansione delle piene previste nel bacino del Chiampo-Alpone (1 realizzata, 1 in realizzazione, 1 finanziata e 1 naturale). Con l'intervento di queste opere, si potranno ottenere franchi idraulici dell'ordine di 1 m lungo il Chiampo, per portate massime tricenarie di circa 130 m<sup>3</sup>/s, e dell'ordine di 80 cm lungo l'Alpone, tra la confluenza con il Tramigna e fino alla nuova linea AV/AC e via via crescenti procedendo verso valle, verso la confluenza con l'Adige, per portate massime tricenarie di 220-230 m<sup>3</sup>/s.

Con riferimento al tratto Verona-Alpone, le indagini condotte con il modello idraulico hanno permesso di valutare anche i livelli massimi delle piene tricenarie in corrispondenza degli attraversamenti principali della linea AV/AC (Valpantena, Fibbio, Illasi, Prognolo e Alpone), che sono riportati, con i valori dei relativi franchi d'aria, in Tab. 8.1. Si tratta di livelli massimi generali dalle portate residue nel tratto, al netto quindi delle esondazioni naturali e laminazioni (naturali ed artificiali) che avvengono a monte. Si tratta, pertanto, di valori più realistici rispetto a quelli, più cautelativi, ottenibili ipotizzando le portate "idrologiche" tutte contenute in alveo.

Attraversamento AV-AC	argine sx (m s.m.)	argine dx (m s.m.)	Q residua Tr300 (m <sup>3</sup> /s)	livello Tr300 (m s.m.)	estradosso ponte (m s.m.)	franco d'aria (m)	franco idraulico (m)
Valpantena (tombino nuovo)	-	-	37	51.85 51.82	54.65 54.57	2.80 2.75	-
Valpantena (tombino esistente)	-	-	21	51.46 51.14	53.83 53.51	2.37 2.37	-
Fibbio (ponte-viadotto)	30.0	30.2	33	30.07	34.62	4.55	-0.05
Illasi (ponte-viadotto)	33.7	33.7	115	33.23	35.37	2.14	0.45
Prognolo (ponte-viadotto)	28.2	28.2	21	29.12	33.67	4.55	-0.94
Alpone (ponte-viadotto)	31.8	31.3	232	30.70	33.27	2.57	0.57

Nota. Per il Valpantena si è considerato attivo anche il tombino esistente.

Tab. 8.1 –Portate in alveo e livelli idrometrici nei corsi d'acqua principali (Valpantena Fibbio, Illasi, Prognolo e Alpone), valutati con il modello uni-bidimensionale in corrispondenza dell'attraversamento della linea AV-AC, per l'evento con tempo di ritorno di 300 anni e durata di 24 ore (scenario 0).

Come sopra accennato, le portate residue nei tratti terminali di Valpantena, Fibbio e Illasi sono modeste rispetto a quelle idrologiche tricenarie (considerando la somma delle portate dai vari sottobacini): Valpantena, poco meno di 60 m<sup>3</sup>/s contro i 100-110 m<sup>3</sup>/s idrologici; Fibbio, poco più di 30 m<sup>3</sup>/s contro i 190-200 m<sup>3</sup>/s idrologici; Illasi, 115 m<sup>3</sup>/s contro i circa 300 m<sup>3</sup>/s idrologici.

Numerose tracimazioni arginali e conseguenti estese esondazioni si verificano, come evidenziato ad esempio in Fig. 5.3, nei tratti di questi corsi d'acqua a monte dell'intersezione con la linea AV/AC. Quelle del Valpantena si verificano soprattutto nel tratto di monte e le acque esondate allagano il territorio in destra e in sinistra lungo la valle. Quelle nel Fibbio sono diffuse e cominciano a Montorio (frazione di Verona), tant'è che il Fibbio non risulta

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 106 di 134	

sostanzialmente arginato nel tratto esaminato, se non nell'ultimo km dove corre in affiancamento al t. Illasi. Quelle nell'Illasi invece sono concentrate negli ultimi 5-6 km, nei quali il corso d'acqua è arginato e pensile, con pendenze decrescenti dal 1% all'1‰. La capacità di portata del tratto terminale dell'Illasi va pertanto diminuendo procedendo verso valle.

Questo significa che ci sono eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno minori (con portata al colmo relativamente ridotta) in grado di mettere in crisi le sezioni dell'alveo a valle della SP38 Porcilana, dove la portata massima convogliabile è di circa 100 m<sup>3</sup>/s e dove è ubicato l'attraversamento della linea AV/AC, quando al ponte della SP37, a monte della A4, vi è ancora un considerevole franco idraulico, essendo qui la portata massima convogliabile dell'ordine dei 200 m<sup>3</sup>/s.

Negli eventi con Tr maggiori, invece, le criticità cominciano a monte della SP 37 e quindi si estendono verso valle in destra e in sinistra, interessando marginalmente e in modo quantitativamente residuale il tratto vallivo dove è posta la linea AV/AC. Una serie di simulazioni senza rotte (scenario 0) e con rotte (scenario 1, 2 e 3) ha ben evidenziato questi fenomeni, peraltro evidenziati a ben vedere anche nella Carta del Rischio del PGRA (Tr=300 anni e Tr=100 anni) prodotta dal Distretto delle Alpi Orientali, dove il concetto di rischio è una combinazione di velocità e tirante d'acqua sul terreno.

A proposito delle simulazioni con rotte nel torrente Illasi, è necessario evidenziare che nel tratto terminale (6 km, dalla SP37 a monte della A4 all'immissione in SAVA con un salto di fondo di circa 3 m) le sponde sono rivestite in lastre di calcestruzzo, probabilmente dagli anni '90 del secolo scorso, e quindi il rischio di rotte simulate, ad emulazione degli scenari condotti dal Distretto delle Alpi Orientali nell'ambito di redazione del PGRA, è di incerta concretezza. Tenerne conto nel dimensionamento e nelle verifiche della linea AV/AC è pertanto un significativo stress test per l'infrastruttura e per la verifica della sua permeabilità.

I valori dei massimi tiranti d'acqua sul terreno attesi lungo l'asse del tracciato sono differenti rispetto a quelli valutati dal Distretto delle Alpi Orientali. Ciò è dovuto alla scala di dettaglio rappresentata nel modello e alle geometrie aggiornate, in particolare i nodi idraulici, le botti a sifone, le idrovore, la rete secondaria, il canale SAVA, le sezioni successive ai lavori degli ultimi anni, ecc..

Con riferimento ai profili idrometrici valutati in parallelo allo sviluppo della linea AV/AC nella situazione attuale per gli eventi con Tr=300 anni, in assenza di rotte (scenario 0 in allegato IN1710E12FZID0000001A), si rileva, per confronto con le mappe delle aree allagate e dei tiranti idrici del PGRA, per lo stesso tempo di ritorno, che il massimo tirante d'acqua atteso è:

- 0.5 m più basso di quello calcolato dal Distretto nel tratto Verona-Illasi;
- 0.4 m più basso di quello calcolato dal Distretto nel tratto Illasi-Alpone;
- 0.7 m più basso di quello calcolato dal Distretto nel tratto Alpone-Montebello.

Tali differenze possono essere localmente anche superiori, come, ad esempio, nella zona a sud della linea AV/AC compresa tra Fibbio e Antanello, dove le riduzioni di livello ottenute sono dell'ordine di 1 m. Ciò è dovuto, si presume, alle geometrie del sistema di confluenza Illasi-Fibbio-Antanello, non disponibili allora al Distretto se non come DTM mediato su celle 5x5 m.

Per gli eventi con Tr=300 anni (scenario 0) l'effetto dell'infrastruttura lungo il tracciato è globalmente "centimetrico" (Tab. 6.7 e Allegati IN1710E12N3ID0000035A, IN1710E12N3ID0000036A e

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 107 di 134

IN1710EI2N3ID0000037A), con le eccezioni “decimetriche” segnalate nella stessa Tab. 6.7 e descritte nel paragrafo 6.4. Si tratta di peggioramenti locali, in aree agricole e già allagate nella configurazione ante operam. Molto spesso, ai “locali peggioramenti” si affiancano “locali miglioramenti” che di fatto rendono, ancor di più, nel complesso, neutro il confronto ante-operam e post-operam, soprattutto per  $Tr=100$  anni. Ovviamente lo studio dà per scontato che i manufatti di attraversamento siano mantenuti in condizioni di efficienza nel tempo.

Come osservato, se si considerano i risultati delle simulazioni di calcolo eseguite per gli eventi esaminati nel presente studio e per lo scenario in assenza di rotte (scenario 0), l’inserimento dell’opera infrastrutturale sul territorio, così come prevista nel progetto non evidenzia significativi peggioramenti della pericolosità idraulica dei territori attraversati.

In presenza di rotte, che sono state simulate secondo la logica rappresentata nel paragrafo 5.2, la situazione sopra descritta cambia in modo non sostanziale, anzi in modo quasi ovunque impercettibile nei pressi del rilevato ferroviario, a causa delle ampie superfici coinvolte dagli allagamenti già nella situazione ante-operam e per effetto di trasparenza garantito dalla presenza dei tombini, degli scatolari e dei fornicci di attraversamento del rilevato stesso.

Sulla base delle simulazioni compiute ed illustrate nei precedenti paragrafi è possibile concludere che l’invarianza idraulica dell’opera risulta sostanzialmente garantita per eventi con tempo di ritorno di 100 e 300 anni, vale a dire per i tempi di ritorno di riferimento degli strumenti di pianificazioni vigenti (PAI) e di prossimo aggiornamento (PGRA) della ‘Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali.

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>		<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</b>			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</b>	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 108 di 134

## ALLEGATI

Si allegano alla presente relazione gli elaborati grafici riportati nel seguente elenco.

Codice tavola	Titolo tavola
IN1710EI2N3ID000001B	CARTA IDROGRAFICA DEL TERRITORIO INDAGATO CON IL MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE
IN1710EI2N3ID000002B	CARTA DEGLI ALLAGAMENTI STORICI
IN1710EI2N3ID000003B	CARTA DELLE AREE POTENZIALMENTE ALLAGABILI SECONDO LA DIRETTIVA ALLUVIONI - SCENARIO DI BASSA PROBABILITÀ (Tr=300 Anni)
IN1710EI2N3ID000004B	CARTA DELLE AREE POTENZIALMENTE ALLAGABILI SECONDO LA DIRETTIVA ALLUVIONI – CLASSI DI RISCHIO – SCENARIO DI BASSA PROBABILITÀ (Tr=300 Anni)
IN1710EI2N3ID000005B	RILIEVI INTEGRATIVI PER LA MODELLAZIONE MATEMATICA DEL RETICOLO IDROGRAFICO E DEL TERRITORIO POTENZIALMENTE ALLAGABILE
IN1710EI2N3ID000006B	MODELLAZIONE MATEMATICA DEL RETICOLO IDROGRAFICO E DEL TERRITORIO POTENZIALMENTE ALLAGABILE
IN1710EI2N3ID000007B	RETICOLO DI CALCOLO DEL MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE NELLA SITUAZIONE ATTUALE
IN1710EI2N3ID000008B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000009B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=12ore)
IN1710EI2N3ID000010B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=6ore)
IN1710EI2N3ID000011B	DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ MASSIME - Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000012B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000013B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=12ore)
IN1710EI2N3ID000014B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=6ore)
IN1710EI2N3ID000015B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000016B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 2, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000017B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 3, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000018B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000019B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 2, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000020B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 3, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000021B	RETICOLO DI CALCOLO DEL MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE NELLA SITUAZIONE DI PROGETTO
IN1710EI2N3ID000022B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000023B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=12ore)
IN1710EI2N3ID000024B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=6ore)
IN1710EI2N3ID000025B	DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ MASSIME - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000026B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore)
IN1710EI2N3ID000027B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=12ore)
IN1710EI2N3ID000028B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=6ore)
IN1710EI2N3ID000029B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000030B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 2, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000031B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 3, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000032B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 1, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000033B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 2, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000034B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARIO 3, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000035B	DIFFERENZE TRA ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO – Tr=300 Anni – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000036B	DIFFERENZE TRA ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO – Tr=300 Anni – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=12ore)
IN1710EI2N3ID000037B	DIFFERENZE TRA ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO – Tr=300 Anni – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=6ore)
IN1710EI2N3ID000038B	DIFFERENZE TRA ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO – Tr=100 Anni – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24ore)
IN1710EI2N3ID000039B	DIFFERENZE TRA ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO – Tr=100 Anni – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=12ore)
IN1710EI2N3ID000040B	DIFFERENZE TRA ALTEZZE MASSIME DI ALLAGAMENTO – Tr=100 Anni – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=6ore)
IN1710EI2FZID000001B	ALLAGAMENTI MASSIMI ESTRATTI LUNGO PROFILI – Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM E POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia 6+24ore).
IN1710EI2FZID000002B	ALLAGAMENTI MASSIMI ESTRATTI LUNGO PROFILI – Tr=300 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM E DI PROGETTO IN PRESENZA DI ROTTE (SCENARI 1, 2 E 3, Tempo di pioggia=24ore).
IN1710EI2N2ID000001B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni – INTERVENTI RESIDUI REGIONE VENETO – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E DI PROGETTO IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di Pioggia=24 ore)
IN1710EI2N2ID000002B	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=300 Anni – INTERVENTI RESIDUI REGIONE VENETO – CONFRONTO TRA SITUAZIONE ANTE-OPERAM E DI PROGETTO IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di Pioggia=24 ore)
IN1710EI2PZID000001C	CARTA DI INQUADRAMENTO PROTEZIONI DEI RILEVATI FERROVIARI E SEZIONI TIPO

<b>GENERAL CONTRACTOR</b>  <b>IRICAV2</b>	<b>ALTA SORVEGLIANZA</b>  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</b>	Progetto <b>IN17</b>	Lotto <b>10</b>	Codifica Documento <b>EI2 RH ID0000 003</b>	Rev. <b>D</b>	Foglio <b>109 di 134</b>

Codice tavola	Titolo tavola
IN1710EI2N6ID0000001A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 03+500 a KM 07+400
IN1710EI2N6ID0000002A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 07+250 a KM 11+150
IN1710EI2N6ID0000003A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 11+000 a KM 15+000
IN1710EI2N6ID0000004A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 15+000 a KM 18+900
IN1710EI2N6ID0000005A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 21+500 a KM 25+100
IN1710EI2N6ID0000006A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 25+000 a KM 28+700
IN1710EI2N6ID0000007A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE ANTE-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 28+000 a KM 31+500
IN1710EI2N6ID0000008A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 03+500 a KM 07+400
IN1710EI2N6ID0000009A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 07+250 a KM 11+150
IN1710EI2N6ID0000010A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 11+000 a KM 15+000
IN1710EI2N6ID0000011A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 15+000 a KM 18+900
IN1710EI2N6ID0000012A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 21+500 a KM 25+100
IN1710EI2N6ID0000013A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 25+000 a KM 28+700
IN1710EI2N6ID0000014A	ALLAGAMENTI MASSIMI - Tr=100 Anni - SITUAZIONE POST-OPERAM IN ASSENZA DI ROTTE (SCENARIO 0, Tempo di pioggia=24 ore) da KM 28+000 a KM 31+500

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 110 di 134

## APPENDICE A – MODELLI MATEMATICI UNI-BIDIMENSIONALI

### A.1 Premessa

Per simulare la propagazione delle onde di piena sono stati utilizzati due modelli matematici bidimensionale compatibili e che descrivono in modo analogo l'evoluzione dello stato idrometrico e del campo di moto sia nell'alveo attivo del fiume, sia nelle zone di golena, sia nelle aree esterne potenzialmente allagabili in occasione degli eventi di piena più gravosi.

### A.2 Il modello 2D-1D della Ipros Ingegneria Ambientale srl

Il modello 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. La particolare formulazione dello schema di calcolo consente l'integrazione di elementi bidimensionali e unidimensionali (modello 2D-1D), utilizzando gli uni nelle zone in cui la direzione della velocità non è individuabile a priori, gli altri per descrivere il funzionamento dei canali e dei corsi d'acqua minori presenti nel dominio di calcolo, che possono tuttavia assumere un ruolo rilevante nella propagazione dell'onda di sommersione sul territorio. È 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 o impianti idrovori, ecc..

Per le indagini è stato impiegato un software di simulazione, denominato "Incidenze" e sviluppato dalla Ipros Ingegneria Ambientale, che incorpora in un'interfaccia grafica interattiva il codice di calcolo 2DEF messo a punto dai proff. A. Defina e L. D'Alpaos dell'Università di Padova. Esso consente di eseguire, nella fase di pre-processo, le azioni necessarie per la predisposizione e la modifica dei files di dati in ingresso utilizzati dal modello e, nella fase successiva, la visualizzazione ed elaborazione dei risultati forniti dal modello stesso.

Si tratta di un modello che è stato impiegato nel recente passato per indagini sulle condizioni idrauliche dei più importanti corsi d'acqua della pianura veneta e delle reti di canali di numerosi bacini della bonifica. Esso 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.

#### A.2.1 Le equazioni del moto

Il modello risolve le equazioni differenziali, mediate sulla verticale, che governano il flusso bidimensionale di una corrente a superficie libera su bassi fondali in moto vario considerando anche la presenza di aree parzialmente asciutte o che possono essere allagate o prosciugate durante l'evoluzione del fenomeno.

Il modulo prevede la discretizzazione del campo di moto sia mediante elementi triangolari (2D) che mediante elementi lineari (1D). Questi ultimi elementi possono convenientemente essere utilizzati per la descrizione dei canali di più piccole dimensioni, all'interno dei quali il moto che si sviluppa è sostanzialmente unidimensionale,

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 111 di 134

sia per schematizzare tratti di condotta di sezione qualsiasi con funzionamento in pressione o a superficie libera, sia per descrivere situazioni geometriche particolari come rilevati arginali, impianti di sollevamento o tratti tombinati.

Le equazioni del moto nelle due direzioni orizzontali x e y mediate sulla verticale e l'equazione di continuità sono le seguenti:

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{d}{dt} \left( \frac{q_x}{Y} \right) + \frac{q_x |\mathbf{q}|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} - \frac{1}{gY} \left( \frac{\partial R_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial R_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{g} \frac{d}{dt} \left( \frac{q_y}{Y} \right) + \frac{q_y |\mathbf{q}|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} - \frac{1}{gY} \left( \frac{\partial R_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial R_{yy}}{\partial y} \right) = 0 \quad (2)$$

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

in cui h indica la quota idrometrica, x, y sono le ascisse spaziali orizzontali correnti, g è l'accelerazione di gravità, K<sub>s</sub> è il coefficiente di scabrezza secondo Strickler, t è il tempo, R<sub>ij</sub> sono gli sforzi turbolenti (o di Reynolds) nel piano orizzontale in cui i, j indicano le direzioni x, y, e q è la velocità integrata sulla verticale con componenti q<sub>x</sub> e q<sub>y</sub> secondo le due direzioni orizzontali x, y.

Nelle equazioni precedenti compaiono i termini η, Y e H i quali, nel tempo generico e per ciascun elemento, indicano, rispettivamente, la frazione locale di dominio allagato, il volume d'acqua per unità di superficie e una profondità d'acqua equivalente introdotta per descrivere l'effetto dei termini dissipativi, quando il tirante si riduce e diventa confrontabile con le dimensioni delle irregolarità del terreno. Tali termini sono dati dalle seguenti espressioni (Defina, 2000, [8]):

$$\eta(h) = \frac{1}{2} [1 - \text{erf}(2Y_a/a_r)] \quad (4)$$

$$Y = \int_{-\infty}^h \eta \cdot dz = a_r \left\{ \eta \frac{Y_a}{a_r} + \frac{1}{4\sqrt{\pi}} e^{-4(Y_a/a_r)^2} \right\} \quad (5)$$

$$H \cong Y + 0.27 \sqrt{Y \cdot a_r} \cdot e^{-2Y/a_r} \quad (6)$$

in cui erf() è la 'funzione errore', Y<sub>a</sub>=h-h<sub>f</sub> è la altezza media locale del fondo e a<sub>r</sub> indica l'altezza massima delle irregolarità locali del terreno.

### A.2.2. Lo schema numerico

Si osserva, nelle equazioni (1) e (2), 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.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 112 di 134

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:

$$\frac{d(q_x/Y)}{dt} \cong \frac{(q_x/Y)' - (q_x/Y)'_0}{\Delta t} \quad (7)$$

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  $P$  (Defina e Bonetto, 1998, [10]).

Senza riportare, per semplicità di esposizione, gli sviluppi matematici del metodo adottato, basti dire che tale metodologia ha dato prova, per confronto con i risultati forniti da altri modelli di caratteristiche analoghe, di notevole robustezza e validità per applicazioni di pratico interesse.

Per quel che concerne la soluzione numerica adottata, ci si limita a ricordare che il sistema delle equazioni (1), (2) e

(3), 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.

### A.2.3 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 addizionali 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.

### A 2.4 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



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 113 di 134

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 (D'Alpaos e Defina, 1995, [11]).

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 nella Figura seguente.

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:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q|Q|}{K_S^2 R_H^{4/3} A^2} = 0 \quad (8)$$

$$\eta(h) \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial s} = 0 \quad (9)$$

nelle quali A è l'area della sezione trasversale, RH 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 (8) alle differenze finite, ottenendo:

$$Q = - \left( \frac{1}{gA\Delta t} + \frac{|Q|}{k_S^2 R_H^{4/3} A^2} \right)^{-1} \left[ \frac{\partial h}{\partial s} - \left( \frac{Q}{gA\Delta t} \right) \right] \quad (10)$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 114 di 134	

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. 0.1), una frazione della portata che fluisce lungo i canali unidimensionali è già considerata nel calcolo attraverso gli elementi bidimensionali.

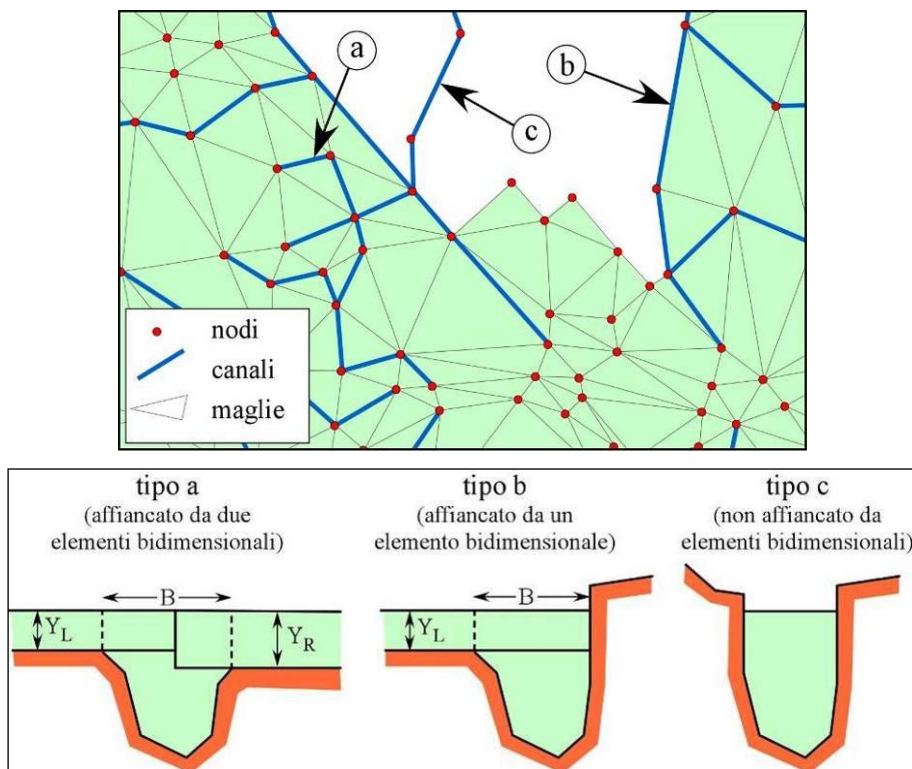


Fig. 0.1 - Esempio schematico di elementi unidimensionali e bidimensionali combinati: pianta (sopra) e sezione (sotto).

### A 2.3 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.

Anche per il caso in esame, per simulare con buona approssimazione la presenza di elementi morfologici particolari (quali argini, rilevati stradali, muretti di confine delle proprietà o altri 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.

Mediante l'inserimento di tali elementi è possibile simulare, in particolare, il funzionamento delle arginature e dei muretti di confine di proprietà disposti lungo i corsi d'acqua e le strade, che non potrebbe essere diversamente descritto correttamente utilizzando soli elementi bidimensionali. I rilevati arginali e i muretti 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

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 115 di 134

rigurgitato. Utilizzando queste strutture è anche possibile simulare gli effetti di un eventuale cedimento, che apra sul corpo arginale o sul rilevato stradale una breccia, che si va progressivamente ampliando per l'azione erosiva della corrente effluente.

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. Sempre mediante questi elementi speciali è possibile, infine, simulare il funzionamento degli impianti idrovori presenti all'interno del dominio di calcolo. Ciò consente di semplificare notevolmente la fase di assegnazione delle condizioni al contorno del problema poiché tali dispositivi, che sono trattati dal modello come condizioni al contorno interne, si attivano automaticamente nel corso della simulazione quando i livelli idrometrici locali superano le quote di attacco previste per le pompe e si disattivano quando gli stessi scendono al di sotto delle quote di stacco.

I valori dei parametri che caratterizzano tutti i dispositivi considerati devono essere inseriti nel file dei dati associato a ciascuna simulazione. Gli stessi parametri possono, peraltro, essere fatti variare durante la sessione di calcolo, in modo tale da rendere possibile la simulazione interattiva di situazioni particolari che possono verificarsi nel corso dell'evento simulato, quali i già menzionati eventuali cedimenti di corpi arginali, l'interruzione del funzionamento di impianti idrovori od altro.

#### Riferimenti bibliografici del modello

- [1] Viero D.P., A. D'Alpaos, L. Carniello, A. Defina, Mathematical modeling of flooding due to river bank failure, *Advances in Water Resources* 59, 82-94, 2013.
- [2] Begnudelli L., B. F. Sanders, S. F. Bradford, Adaptive Godunov-Based Model for Flood Simulation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134 (6), 2008.
- [3] Sanders B. F., Integration of a shallow water model with a local time step, *Journal of Hydraulic Research*, 46 (4), 2008.
- [4] D'Alpaos L., A. Defina, Mathematical modeling of tidal hydrodynamics in shallow lagoons: A review of open issues and applications to the Venice lagoon, *Computers & Geosciences*, 33, 476–496, 2007.
- [5] Begnudelli L., B. F. Sanders, Unstructured Grid Finite-Volume Algorithm for Shallow-Water Flow and Scalar Transport with Wetting and Drying, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132 (4), 2006.
- [6] Defina A., Numerical experiments on bar growth, *Water Resources Research*, vol.39, 4, ESG 2-1-ESG2-12, 2003.
- [7] Stansby P.K., A mixing-length model for shallow turbulent wakes, *J. Fluid Mech.*, Volume 495, pp. 369–384, DOI: 10.1017/S0022112003006384, 2003.
- [8] Defina A., Two-dimensional shallow flow equations for partially dry areas, *Water Resources Research*, vol.36, 11, 3251-3264, 2000.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 116 di 134

- [9] Defina A., Alcune considerazioni sulla modellazione matematica di correnti bidimensionali caratterizzate da piccoli tiranti, Atti del XXVII convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, Volume I, 255-262, 2000.
- [10] Defina A., 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, 1998.
- [11] D'Alpaos L., 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, Volume XII, 353-372, 1995.
- [12] Defina A., L. D'Alpaos, B. Matticchio, A new set of equations for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models, in Proceedings of the Specialty Conference on "Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas", Milan (Italy) 29 June -1 July 1994, edited by P. Molinaro and L. Natale, 72-81, 1994.
- [13] Toro E. F., M. Spruce, W. Speares, Restoration of the contact surface in the HLL-Riemann solver, Shock Waves 4 (25), 1994.

### A.3 Il modello 2D-1D FemTool dell'ing. Martini

La formulazione concettuale di base del modello risale a metà degli anni '90 ed è stata sviluppata all'interno del Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova dai professori D'Alpaos e Defina, nonché dall'ing. Matticchio della Ipros Ingegneria Ambientale.

A partire da questo filone di ricerca l'ing. Martini ha messo a punto e scritto negli anni 2000 un nuovo modello idrodinamico [16] che, da una parte ha preso spunto dalle idee contenute in numerose pubblicazioni esistenti traducendole in linguaggio di programmazione, dall'altra ha presentato nuove peculiarità (accelerazioni convettive, termini di turbolenza e trasporto solido) che hanno di molto potenziato le applicazioni del modello.

Il modello matematico è accoppiato con una potente interfaccia grafica sviluppata anche essa dall'ing. Martini negli stessi anni per lo svolgimento delle attività di pre e post processing di dati e risultati.

Il nuovo modello di calcolo messo a punto è stato con successo impiegato in alcune attività di ricerca svolte presso il Dipartimento IMAGE dell'Università di Padova negli anni 2000-2004. Tra queste si citano più di 10 tesi di laurea e 3 tesi di master incentrate sugli aspetti della sicurezza idraulica del territorio veneto e friulano e sull'idrodinamica e morfodinamica della laguna di Venezia nelle configurazioni attuali e storiche.

Il punto di partenza del modello matematico sono le equazioni di Reynolds 3D nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni. Le equazioni di Reynolds vengono mediate sulla verticale e, nel piano orizzontale, su una porzione rappresentativa del piano orizzontale (Reference Elementary Area, REA) [2] per tenere in conto dell'effetto delle irregolarità morfologiche presenti a scala piccola, scala naturalmente più ridotta di quella a cui è possibile scendere con la discretizzazione del reticolo di calcolo.

Queste integrazioni conducono alle note equazioni di De Saint-Venant, in cui, per bassi tiranti (cioè per tiranti confrontabili con la dimensione caratteristica delle irregolarità morfologiche presenti a livello di REA), vengono

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>IRICAV2</p>		<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>				
<p>RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE</p>	<p>Progetto IN17</p>	<p>Lotto 10</p>	<p>Codifica Documento EI2 RH ID0000 003</p>	<p>Rev. D</p>	<p>Foglio 117 di 134</p>	

introdotte delle grandezze dimensionali equivalenti [1] [2] nei termini delle equazioni in cui compare l'altezza d'acqua. Per tiranti più elevati, le equazioni sono del tutto identiche a quelle tradizionali.

Le equazioni così modificate si caratterizzano per la sostanziale capacità di rappresentare la propagazione di fronti su territori inizialmente asciutti e l'asciugamento di aree precedentemente emerse, senza la necessità di modificare il reticolo di calcolo durante la simulazione.

Per quanto riguarda i termini convettivi e quelli che tengono conto della turbolenza, i primi sono trattati secondo un approccio Lagrangiano [3], i secondi, seguendo una metodologia ormai classica, introducendo una viscosità addizionale secondo lo schema di Smagorinski [4]. I dettagli del metodo numerico utilizzato per la descrizioni degli effetti di questi due termini sono descritti in [16].

Le equazioni da risolvere numericamente hanno quindi la forma:

$$\frac{d(\overline{U_x})}{dt} - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \overline{\tau_{xx}}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\tau_{xy}}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{bx}}{\rho Y} - \frac{\tau_{sx}}{\rho Y} + g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{Y} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_x \Delta U_x} \theta) + \frac{1}{Y} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_x \Delta U_y} \theta) dz = 0 \quad (1a)$$

$$\frac{d(\overline{U_y})}{dt} - \frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \overline{\tau_{yx}}}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\tau_{yy}}}{\partial y} \right) + \frac{\tau_{by}}{\rho Y} - \frac{\tau_{sy}}{\rho Y} + g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{Y} \frac{\partial}{\partial x} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_x \Delta U_y} \theta) + \frac{1}{Y} \frac{\partial}{\partial y} \int_{-\infty}^h (\overline{\Delta U_y \Delta U_y} \theta) dz = 0 \quad (1b)$$

$$\eta \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

dove:

- $(\overline{U_x}, \overline{U_y})$  è la velocità della corrente (mediata sul REA (nella direzione x,y) e sulla verticale (nella direzione z));
- $(\overline{\Delta U_x}(z), \overline{\Delta U_y}(z))$  rappresentano le deviazioni della velocità (mediata sul REA) rispetto al valore mediato sulla verticale  $(\overline{U_x}, \overline{U_y})$ ;
- h è la quota idrometrica;
- η è una funzione di immagazzinamento che, assumendo per le quote del fondo una distribuzione statistica

$$\eta = \frac{1}{2} \cdot \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{2 \cdot (h - h_f)}{Y_{\text{lim}}} \right) \right) \quad (\text{Figura 1});$$

di tipo normale, vale [2]

- Y e H rappresentano un tirante equivalente (che per altezza d'acqua "importante" tende al valore geometrico h-hfondo);
- $(q_x, q_y)$  sono le portate specifiche pari rispettivamente a  $(\overline{U_x} Y, \overline{U_y} Y)$ ;
- $\overline{\tau_{xx}}, \overline{\tau_{yy}}, \overline{\tau_{xy}}$  sono gli sforzi addizionali di origine turbolenta;
- e g sono rispettivamente la densità del fluido e l'accelerazione di gravità;
- $\tau_{bx}, \tau_{by}$  rappresentano lo sforzo tangenziale d'attrito al fondo;

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 118 di 134	

- $\tau_{sx}, \tau_{sy}$  rappresentano lo sforzo tangenziale agente sulla superficie libera;
- i termini integrali invece rappresentano i termini cosiddetti dispersivi dovuti alla possibile non uniforme distribuzione delle velocità sulla verticale (trascurabile nella gran parte dei casi, ma molto importante per esempio per il moto in curva [5],[6]).

Il contributo [2] ha permesso di ricavare in modo esplicito le espressioni  $\eta$ ,  $Y$ ,  $H$  in funzione del tirante idraulico  $h-h_f$  e della dimensione caratteristica delle asperità  $Y_{lim}$ . E' ben diffusa, tuttavia, la tecnica di utilizzare una porosità fittizia con andamento della funzione  $\eta$  piuttosto simile a quello proposto da [7].

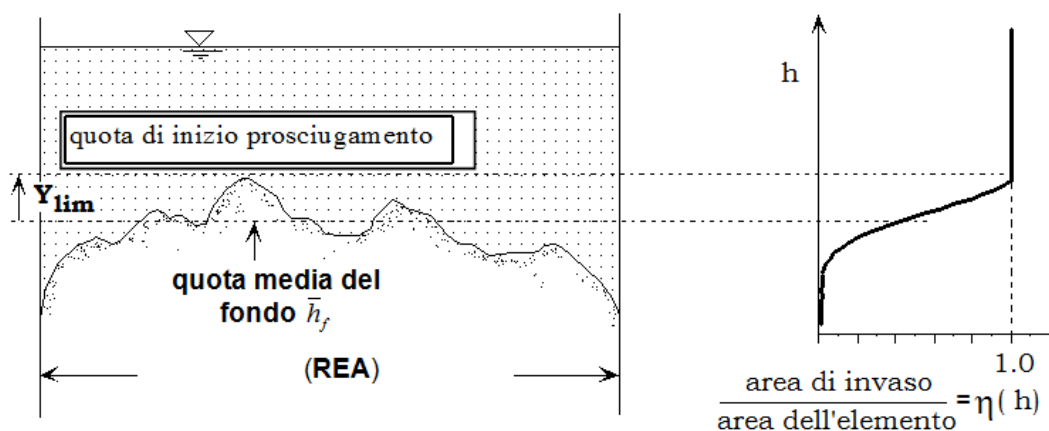


Fig. 0.2 -Rappresentazione schematica delle grandezze caratteristiche che definiscono il comportamento idraulico di un elemento a fondo irregolare.

Le equazioni di cui sopra sono risolte secondo uno schema semi-implicito [3][1]. Una volta discretizzate nel tempo le due equazioni del moto, le espressioni delle due componenti della velocità vengono sostituite all'interno dell'equazione di continuità che risulta quindi funzione solamente della quota idrometrica.

L'equazione così ottenuta viene risolta con un metodo agli elementi finiti associato alla discretizzazione del campo di moto mediante elementi triangolari. La funzione incognita (andamento spaziale delle quote idrometriche) è approssimata mediante polinomi continui a tratti di tipo lineare. In altre parole, l'andamento delle quote idrometriche all'interno del generico elemento triangolare è di tipo lineare, risultando completamente definito dal valore assunto ai nodi di vertice. La dipendenza della funzione lungo il lato del triangolo dal valore assunto dai due vertici contigui assicura la continuità della funzione nel dominio di calcolo costituito da un insieme di triangoli.

Una volta discretizzato il campo di moto con elementi triangolari, si applica il metodo di Galerkin [8] che conduce alla scrittura di  $N$  equazioni nelle  $N$  incognite nodali.

I canali, che compongono l'idrografia minore, sono delle vie preferenziali verso le quali le acque esondate tendono a confluire, aumentando sensibilmente la celerità di avanzamento del fronte stesso. Essi, dunque, vanno descritti in maniera più accurata sulla base di uno schema fisicamente fondato.

L'adozione di elementi bidimensionali troppo piccoli, necessari, per descrivere la rete minore, può causare problemi di stabilità e accuratezza della soluzione numerica, a meno di non adottare passi di integrazione sufficientemente piccoli. In questo caso i tempi di calcolo aumentano considerevolmente, fino a diventare

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 119 di 134

proibitivi. Una possibile soluzione, proposta da D'Alpaos e Defina [11], è quella di accoppiare senza modificare la geometria del reticolo di calcolo, elementi monodimensionali e bidimensionali, con l'unico vincolo di seguire con gli elementi monodimensionali i bordi degli elementi bidimensionali. Questo approccio va bene per descrivere quei canali non arginati, consentendo inoltre di utilizzare, per descrivere il canale, due nodi del reticolo bidimensionale. Naturalmente l'ipotesi che sta alla base di questo accoppiamento è quella dell'uguaglianza della quota idrometrica, come già detto, definita univocamente nel nodo. Il modello descritto è stato ampiamente utilizzato dai citati autori nello studio dell'idrodinamica della Laguna di Venezia e ha condotto ad una accurata rappresentazione della rete dei canali minori che solcano le zone di barena soggette a periodico prosciugamento. In questi casi, l'utilizzo di una rete di canali monodimensionali conduce ad una corretta simulazione del funzionamento della rete minore e quindi ad una corretta simulazione della propagazione dell'onda di marea, senza la necessità di dover utilizzare elementi bidimensionali di dimensioni troppo piccole con il rischio sempre presente di creare pericolose instabilità di tipo numerico.

Molti canali e fiumi sono tuttavia arginati e per simulare correttamente le condizioni di tracimazione delle arginature è quindi necessario introdurre dei particolari elementi 'traversa' in cui il legame portata-livelli idrometrici è specificato a priori, in base alle leggi dell'idraulica tradizionale. L'elemento speciale collega due nodi del reticolo di calcolo e non fa altro che trasferire una portata da un nodo all'altro [13][14].

Nelle reti fluviali sono inoltre presenti molti manufatti con funzione di controllo dello strato idrometrico. Di questi elementi occorre tenere conto in quanto i risultati eventualmente ottenuti senza una loro corretto inserimento possono seriamente compromettere la corrispondenza al caso reale della situazione simulata numericamente. Lo schema utilizzato per la loro rappresentazione è del tutto simile a quello utilizzato per descrivere l'elemento 'traversa'.

### A.3.1 Caratteristiche dello schema numerico bidimensionale

Il dominio viene diviso in elementi triangolari mediante i quali si schematizza l'andamento planimetrico e altimetrico della porzione di territorio sottoposta ad indagine e ad ogni elemento sono quindi associati i valori della quota del fondo, assunta costante sull'intero elemento, e del coefficiente di scabrezza secondo Strickler,  $K_s$ .

La funzione  $h$  sul dominio  $\Omega$  viene quindi approssimata da:

$$h(x, y, t) = \sum_{n=1}^N h_n(t) \cdot \xi_n(x, y) \quad (3)$$

dove la (3) è la funzione di forma lineare del generico nodo  $n$  e  $N$  è il numero totale di nodi: la funzione di forma assume valore unitario per  $x=x_n$ ,  $y=y_n$  e varia linearmente fino a zero in corrispondenza dei nodi adiacenti il nodo  $n$ , mantenendo il valore nullo in tutti gli altri punti del dominio di integrazione. (Figura 2)

Indicando con l'apice le grandezze relative all'istante precedente  $t-\Delta t$ , le equazioni (1a) e (1b) integrate nel tempo possono essere scritte in forma sintetica:

$$q_x = -\psi \cdot \left[ \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{h+h'}{2} \right) + g_x \right] \quad (4a)$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 120 di 134

$$q_y = -\psi \cdot \left[ \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{h+h'}{2} \right) + g_y \right] \quad (4b)$$

dove nei termini  $\theta_x$  e  $\theta_y$  sono descritti i contributi dei seguenti termini: attrito al fondo, effetto del vento, velocità lagrangiana [3], sforzi addizionali di origine turbolenta [4][11].

L'applicazione del metodo di Galerkin all'equazione (2), porta al sistema di N equazioni:

$$\int_{\Omega} \left( \eta \frac{h-h'}{\Delta t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \cdot \xi_m d\Omega = \sum_e \int_{\Omega_e} \left( \eta \frac{h-h'}{\Delta t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \cdot \xi_m^e d\Omega = 0 \quad m=1,2,\dots,N \quad (5)$$

in cui la sommatoria è estesa a tutti gli elementi che hanno un vertice nel nodo m, mentre  $\Omega_e$  rappresenta l'area del generico elemento.

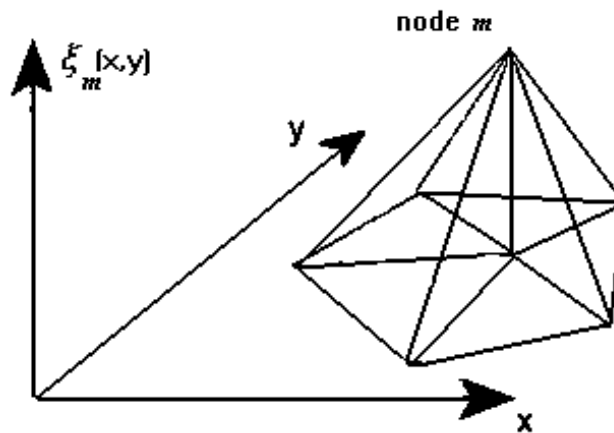


Fig. 0.3 – Rappresentazione della funzione piramidale  $\xi(x_m, y_m)$ .

Applicando al termine di flusso della (3) la prima identità di Green, si ha:

$$\begin{aligned} \sum_e \int_{\Omega_e} \left( \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) \xi_m^e d\Omega &= \sum_e \int_{L_e} (\vec{q} \times \vec{n}) \cdot \xi_m^e dL - \sum_e \int_{\Omega_e} \left( q_x \frac{\partial \xi_m^e}{\partial x} + q_y \frac{\partial \xi_m^e}{\partial y} \right) d\Omega = \\ &= Q_m - \sum_e \int_{\Omega_e} \vec{q} \times \text{grad}(\xi_m^e) d\Omega \end{aligned} \quad (6)$$

La portata  $Q_m$  è:

- zero nei nodi interni in cui concorrono solo elementi bidimensionali e nei nodi del contorno in cui non vi è flusso in entrata o in uscita;
- maggiore di zero se il flusso esce dal nodo (va ad elementi monodimensionali o esce dal dominio);
- minore di zero se il flusso entra nel nodo (proviene da elementi monodimensionali o è imposto dall'esterno come condizione al contorno).

Assunta, come si è detto una variazione lineare dei livelli all'interno di ciascun elemento, per le portate specifiche, espresse dalle equazioni (4a) e (4b), si ottiene per l'elemento e:



GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 121 di 134

$$q_x^e = -\psi^e \cdot \left( \sum_n \frac{h_n + h_n'}{2} \frac{\partial \xi_n^e}{\partial x} + g_x^e \right) \quad (7a)$$

$$q_y^e = -\psi^e \cdot \left( \sum_n \frac{h_n + h_n'}{2} \frac{\partial \xi_n^e}{\partial y} + g_y^e \right) \quad (7b)$$

Sostituendo le (6), (7a) e (7b) nell'equazione (5), risulta:

$$\begin{aligned} & \sum_e \eta^e \cdot \int_{\Omega_e} \frac{\sum_n (h_n - h_n') \cdot \xi_n^e}{\Delta t} \cdot \xi_m^e \cdot d\Omega + Q_m + \\ & + \sum_e \int_{\Omega_e} \psi^e \cdot \left( \sum_n \frac{h_n + h_n'}{2} \cdot \text{grad}(\xi_n^e) + \bar{g}^e \right) \times \text{grad}(\xi_m^e) d\Omega = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Sviluppando i diversi termini che compaiono nella precedente relazione, si ottiene infine:

$$\sum_n h_n \cdot \left( \frac{1}{2} A_{nm} + \frac{1}{\Delta t} F_{nm} \right) = - \sum_n h_n' \cdot \left( \frac{1}{2} A_{nm} - \frac{1}{\Delta t} F_{nm} \right) - Q_m - B_m \quad (9)$$

essendo:

$$A_{nm} = \sum_e \psi^e \int_{\Omega_e} \left( \frac{\partial \xi_n^e}{\partial x} \cdot \frac{\partial \xi_m^e}{\partial x} + \frac{\partial \xi_n^e}{\partial y} \cdot \frac{\partial \xi_m^e}{\partial y} \right) d\Omega$$

$$F_{nm} = \sum_e \eta^e \int_{\Omega_e} \xi_n^e \cdot \xi_m^e d\Omega$$

$$B_m = \sum_e \psi^e \int_{\Omega_e} \left( g_x^e \frac{\partial \xi_m^e}{\partial x} + g_y^e \frac{\partial \xi_m^e}{\partial y} \right) d\Omega$$

Una volta determinati i livelli, le portate specifiche si ottengono dalle equazioni (7a) e (7b).

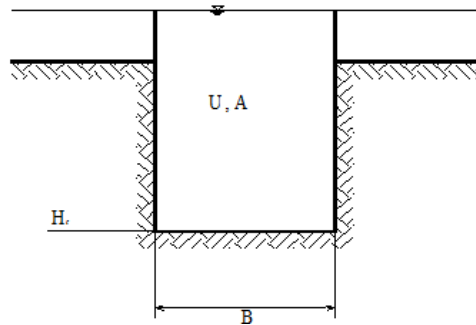
Lo schema è descritto in dettaglio in [9], [10] e [16].

### **Accoppiamento di elementi 1D "canale" al modello 2D**

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.

GENERAL CONTRACTOR  <b>IRICAV2</b>	ALTA SORVEGLIANZA  <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 122 di 134

**Schema reale**



**Schema di calcolo**

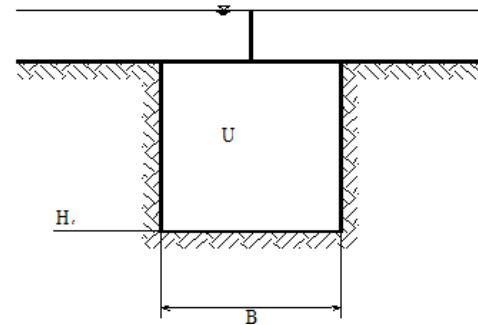


Fig. 0.4 – Schema di calcolo per la rete monodimensionale [15].

Le equazioni della propagazione di un'onda lunga in acque basse (nelle stesse ipotesi che stanno alla base della derivazione delle equazioni del moto bidimensionale) sono:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{gA_a} \frac{\partial Q_a}{\partial t} + \frac{Q_a |Q_a|}{K_s^2 R_H^{4/3} A_a^2} = 0 \quad (10)$$

$$\varepsilon \eta(h) \frac{\partial A_a}{\partial t} + \frac{\partial Q_a}{\partial s} + (1 - \varepsilon) q = 0 \quad (11)$$

dove:

- $R_H$  è il raggio idraulico del canale;
- $Q_a$  è la portata della cosiddetta porzione d'area in pressione;
- $A_a$  è l'area della sezione liquida, eventualmente depurata della frazione già rappresentata dagli elementi bidimensionali che lo fiancheggiano e ricoprono;
- $\varepsilon$  descrive il tipo di funzionamento del canale: per  $\varepsilon = 1$  il funzionamento è a pelo libero mentre per  $\varepsilon = 0$  il canale funziona 'in pressione';
- $q$  è la portata per unità di lunghezza scambiata con gli eventuali elementi bidimensionali adiacenti.

L'area effettiva  $A_a$  del canale è data dalla seguente espressione:

$$A_a = A \cdot \left[ 1 - \frac{YB}{A} \left( \frac{Y}{R_H} \right)^{2/3} \right] \quad (12)$$

in cui  $A$  è l'area della sezione liquida del canale,  $B$  la sua larghezza misurata in corrispondenza della superficie libera e  $Y$  è la profondità media dell'acqua negli eventuali elementi bidimensionali che fiancheggiano il canale stesso.

In analogia a quanto fatto per la parte bidimensionale dello schema, le equazioni (10) e (11) possono essere scritte nella forma seguente:

$$Q_a = -\psi_0 \left( \frac{\partial h}{\partial s} + \varphi_0 \right) \quad (13)$$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 123 di 134

$$\varepsilon\eta(h)B \frac{\partial h}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial s} \left[ \psi_0 \left( \frac{\partial h}{\partial s} + \varphi_0 \right) \right] + (1 - \varepsilon)q = 0 \quad (14)$$

Applicando il metodo di Galerkin all'equazione (14) e ricorrendo alla la identità di Green, si ottiene infine il seguente sistema lineare di M equazioni, che sono assemblate assieme a quelle derivanti dalla parte bidimensionale:

$$\sum_e \eta^e \cdot \int_{L_e} \varepsilon B \frac{h_n - h'_n}{\Delta t} \xi_n^e \xi_m^e dL + Q_m + \sum_e \int_{L_e} \psi_0^e \cdot \left( \frac{h_n + h'_n}{2} \frac{\partial \xi_n^e}{\partial s} + \varphi_0^e \right) \frac{\partial \xi_m^e}{\partial s} dL = 0 \quad m=1, \dots, M \quad (15)$$

Nell'equazione (15)  $Q_m$  rappresenta la portata scambiata tra elementi sia bidimensionali che unidimensionali, ovvero la portata scambiata con l'esterno.  $M$  è il numero di nodi del reticolo di calcolo monodimensionale.

Una volta determinati i livelli nei nodi, tenendo conto del contributo fornito dagli elementi unidimensionali, le portate fluenti nei canali possono essere valutate attraverso un semplice procedimento di sostituzione a ritroso utilizzando l'equazione (13).

Per quanto detto, la soluzione ottenuta presenta il notevole vantaggio di accoppiare lo schema bidimensionale e quello unidimensionale senza alterare le caratteristiche del sistema risolutivo, consentendo di aggiungere o di togliere elementi unidimensionali senza che vi sia contemporaneamente la necessità di modificare lo schema bidimensionale del campo di moto.

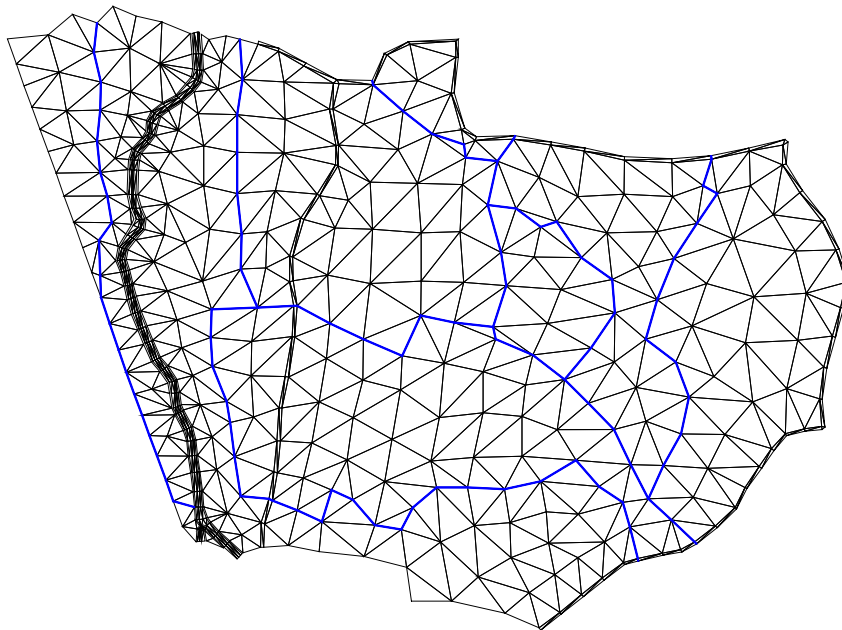


Fig. 0.5 – Schema di calcolo per la rete monodimensionale [15] appoggiata ad elementi bidimensionali.

In modo del tutto simile a quanto svolto per la sezione del canale di forma rettangolare, il modello consente l'inserimento di sezioni trapezoidali, circolari e composte secondo gli schemi riportati nella figura successiva. Per alcune di queste (sezioni 2, 4 e 5) è ammesso il funzionamento sia a pelo libero sia in pressione.

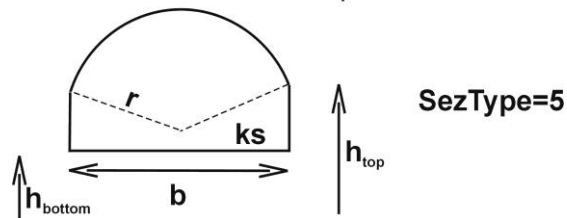
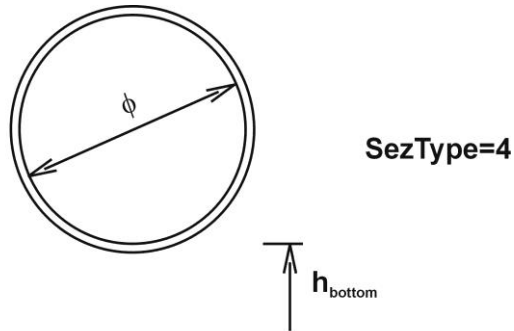
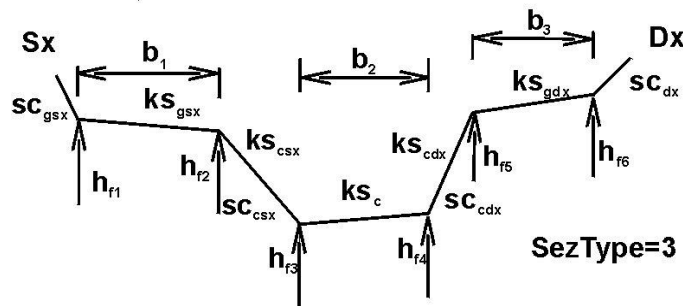
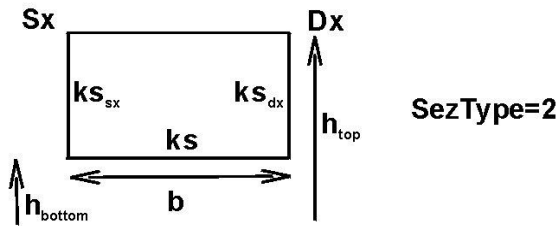
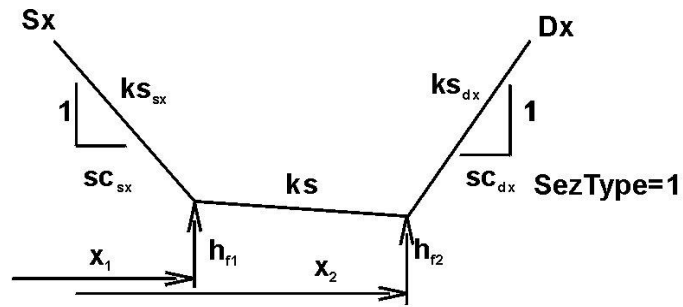


Fig. 0.6 – Sezioni tipiche del modello monodimensionale.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 125 di 134

### Accoppiamento di elementi 1D “speciali” al modello bidimensionale

Per rappresentare correttamente l’efflusso libero o rigurgitato al di sopra di una soglia e quindi, ad esempio, il sormonto di un argine è stato introdotto l’elemento monodimensionale ‘traversa’.

### SCHEMA DI CALCOLO

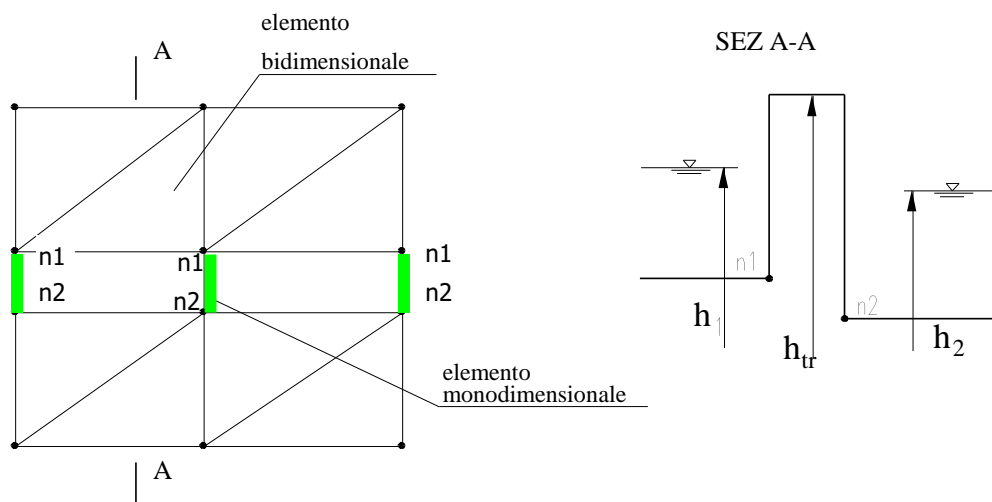


Fig. 0.7 – Schema di calcolo elemento monodimensionale ‘traversa’.

L’idea che sta alla base di questo elemento [13][14] è quella di sottrarre una portata dal nodo n1 e addurla al nodo n2 . L’espressione della portata scambiata tra i due nodi è una relazione lineare del tipo:

$$Q = a_1 \cdot h_1 + a_2 \cdot h_2 + a_3$$

La matrice elementare da assemblare nella matrice del sistema complessivo presenta quindi la seguente struttura:

$$\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} +a_1 & +a_2 \\ -a_1 & -a_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} +a_3 \\ -a_3 \end{pmatrix} \quad (16)$$

Si osserva che questo tronco speciale considera una traversa alta (in cui si trascurano, cioè, i carichi cinetici in arrivo a monte o a valle della stessa) di larghezza B e coefficiente di portata Cq. L’energia specifica della corrente, a monte e a valle della traversa, può essere calcolata considerando il solo termine gravitazionale h.

In generale, il principio di funzionamento è regolato dal confronto tra le energie della corrente a monte e a valle della traversa. Se l’energia di valle più le eventuali dissipazioni prodotte nel superamento della traversa è superiore all’energia posseduta dalla corrente di monte, allora l’efflusso sarà rigurgitato.

Vi è passaggio di portata sulla traversa quando si presenta una delle condizioni:

- 1)  $h_1 > h_{tr}$      $h_2 < h_{tr}$
- 2)  $h_2 > h_{tr}$      $h_1 < h_{tr}$
- 3)  $h_1 > h_{tr}$      $h_2 > h_{tr}$

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 126 di 134

Nei primi 2 casi l'efflusso è libero. Nel terzo caso, invece, il moto può essere libero o rigurgitato.

Si suppone che  $h_1 > h_2 > h_{tr}$ , l'efflusso è libero se l'energia posseduta dalla corrente di monte è sufficiente a far transitare sopra la soglia una portata pari a quella valutata in base alla formula d'efflusso:

$$Q = C_q \cdot B \cdot \sqrt{2g(h_1 - h_{tr})} \cdot (h_1 - h_{tr}) \quad (17)$$

Con considerazioni energetiche, si ottiene in particolare che l'efflusso è libero quando è verificata la condizione:

$$h_1 \geq h_2 + \frac{Q^2}{2g(h_1 - h_{tr})^2} = h_2 + Cq^2 \cdot (h_1 - h_{tr}) \quad (18)$$

Se la disuguaglianza non risulta verificata, l'efflusso è rigurgitato e la portata è valutata attraverso un semplice bilancio energetico:

$$Q = B \cdot (h_1 - h_{tr}) \cdot \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (19)$$

In modo del tutto analogo sono stati accoppiati al modello uni-bidimensionale altri elementi speciali per i quali è noto il legame portata-livelli. Tra questi, sono stati implementati:

- elemento speciale "idrovara";
- elemento speciale "paratoia";
- elemento speciale "clapet";
- elemento speciale "paratoia livellatrice";
- elemento speciale "sifone";
- elemento speciale "tombotto";
- elemento speciale "ponte"
- elemento speciale "restringimento"
- etc....

L'inserimento, tra gli elementi mono e bidimensionali del reticolo di calcolo, dei sopracitati elementi speciali costituisce una delle caratteristiche principali del modello matematico e ne favoriscono il pratico utilizzo anche a sistemi idraulici particolarmente complessi quali le reti di bonifica e in generale a sistemi complessi di canalizzazioni quali i sistemi fognari dei centri abitati

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 127 di 134

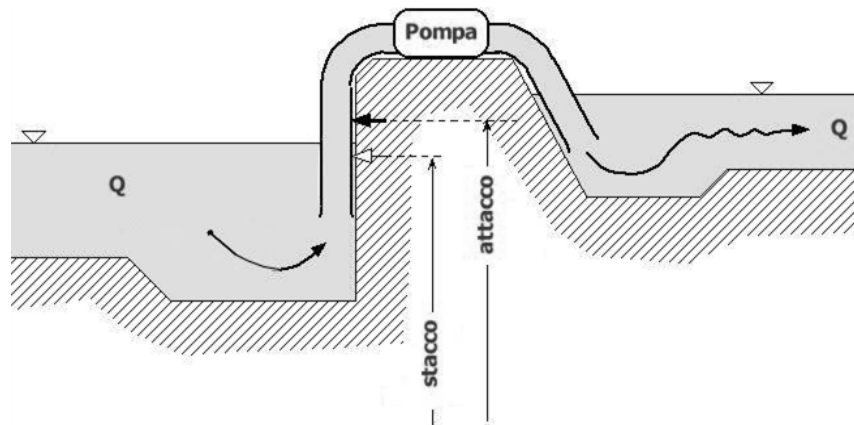


Fig. 0.8 - Elemento speciale 'idrovora'.

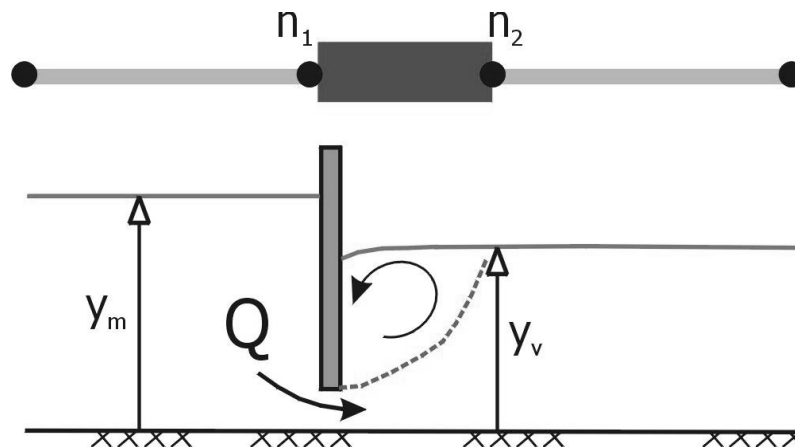


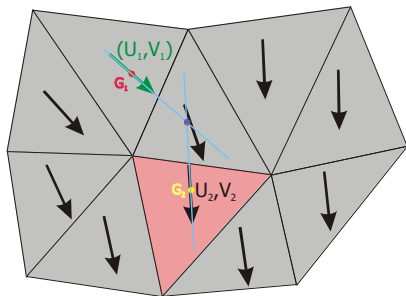
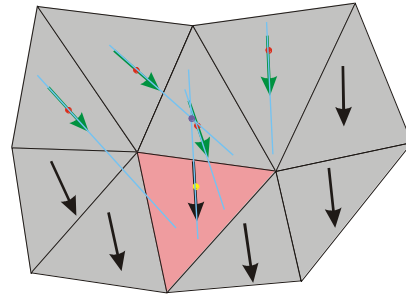
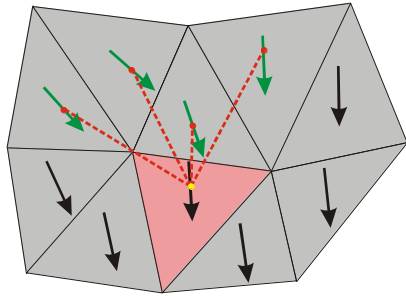
Fig. 0.9 - Elemento speciale 'paratoia'.

### Ulteriori caratteristiche del modello bidimensionale

Nelle equazioni (4a) e (4b) sono riportate le espressioni delle portate specifiche in forma schematica in cui non compaiono esplicitamente né la velocità lagrangiana né i termini di Reynolds.

Come già detto, i primi sono calcolati mediante uno schema alla Casulli in cui la scelta degli elementi di calcolo coi quali interpolare il campo delle velocità è effettuata secondo una metodologia basata sull'allineamento, metodologia simile a quella proposta in [12], ma con alcune modifiche che ne hanno in parte ridotto l'efficacia computazionale a tutto vantaggio, però, dell'accuratezza, soprattutto in presenza di forti curvature delle linee di corrente. I dettagli di questi aspetti sono riportati in [16].

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 128 di 134



**Allineamento basato sul confronto tra le congiungenti i baricentri degli elementi e la velocità di partenza**

$$U_{disp} = 0.5 \cdot (U_1 + U_2) \quad V_{disp} = 0.5 \cdot (V_1 + V_2)$$

$$dx = -U_{disp} \cdot dt \quad dy = -V_{disp} \cdot dt$$

$$disp = \sqrt{dx^2 + dy^2}$$

$$U_{1,L} = U_1 + (U_2 - U_1) \cdot disp / distG$$

$$V_{1,L} = V_1 + (V_2 - V_1) \cdot disp / distG$$

I termini di Reynolds, che rappresentano il contributo della turbolenza a scala di sottogriglia, sono trattati mediante lo schema tradizionale di Smagorinski [4] secondo il quale lo sforzo addizionale di origine turbolenta può essere espresso, nel caso bidimensionale, da:

$$\tau_{xy} = \rho \nu_T \left( \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial y} + \frac{\partial \bar{U}_y}{\partial x} \right) \quad \tau_{xx} = 2\rho \nu_T \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial x} \quad \tau_{yy} = 2\rho \nu_T \frac{\partial \bar{U}_y}{\partial y} \quad (20)$$

$$\nu_T = l_s^2 \cdot \left( 2 \left( \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial x} \right)^2 + 2 \left( \frac{\partial \bar{U}_y}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial y} + \frac{\partial \bar{U}_y}{\partial x} \right)^2 \right) \quad \text{in cui } l_s = c_s \cdot \sqrt{A}$$

dove

$c_s$  (costante di Smagorinski) è una costante che in letteratura assume valori compresi tra 0.095 e 0.2

$A$  è l'area in cui si assume prendere sede il fenomeno di turbolenza assunta pari all'area dell'elemento triangolare.

Il contributo dei termini di Reynolds nelle equazioni del moto si riduce a:

$$\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) \approx \nu_T \left( \frac{\partial^2 \bar{U}_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{U}_x}{\partial y^2} \right) = \nu_T \int_{\partial A^+} \frac{\partial \bar{U}_x}{\partial n} ds$$

$$\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \right) \approx \nu_T \left( \frac{\partial^2 \bar{U}_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{U}_y}{\partial y^2} \right) = \nu_T \int_{\partial A^+} \frac{\partial \bar{U}_y}{\partial n} ds$$

dove l'ultima uguaglianza è ricavata in base alla la identità di Green.



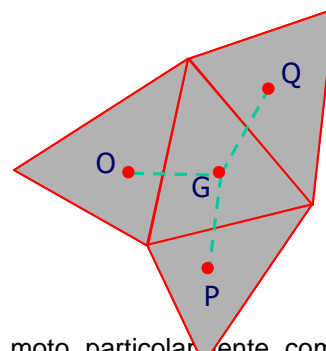
GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE			
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 129 di 134

Lo schema utilizzato per calcolare gli integrali sul contorno dell'elemento triangolare è quello proposto da Jasak [11] che è caratterizzato da una notevole accuratezza numerica, in quanto riduce a valori modesti la dispersione numerica legata alla suddivisione del dominio di calcolo in elementi triangolari non necessariamente regolari.

$$\left(\frac{\partial \bar{U}}{\partial n}\right)_{OG} L_1 = \underbrace{|\Delta| \frac{\bar{U}_O - \bar{U}_G}{|GO|}}_{\text{contributo ortogonale}} + \underbrace{\bar{k} \cdot (\nabla \bar{U})_{L_1}}_{\text{contributo non-ortogonale}}$$

$$\vec{\Delta} // GO$$

$$\vec{n}L_1 = \vec{\Delta} + \vec{k}$$



Lo schema può essere applicato con successo anche a campi di moto particolarmente complessi, non necessariamente solo in campo fluviale. E' stato infatti applicato anche ad un'analisi del comportamento idrodinamico delle bocche di porto della laguna di Venezia.

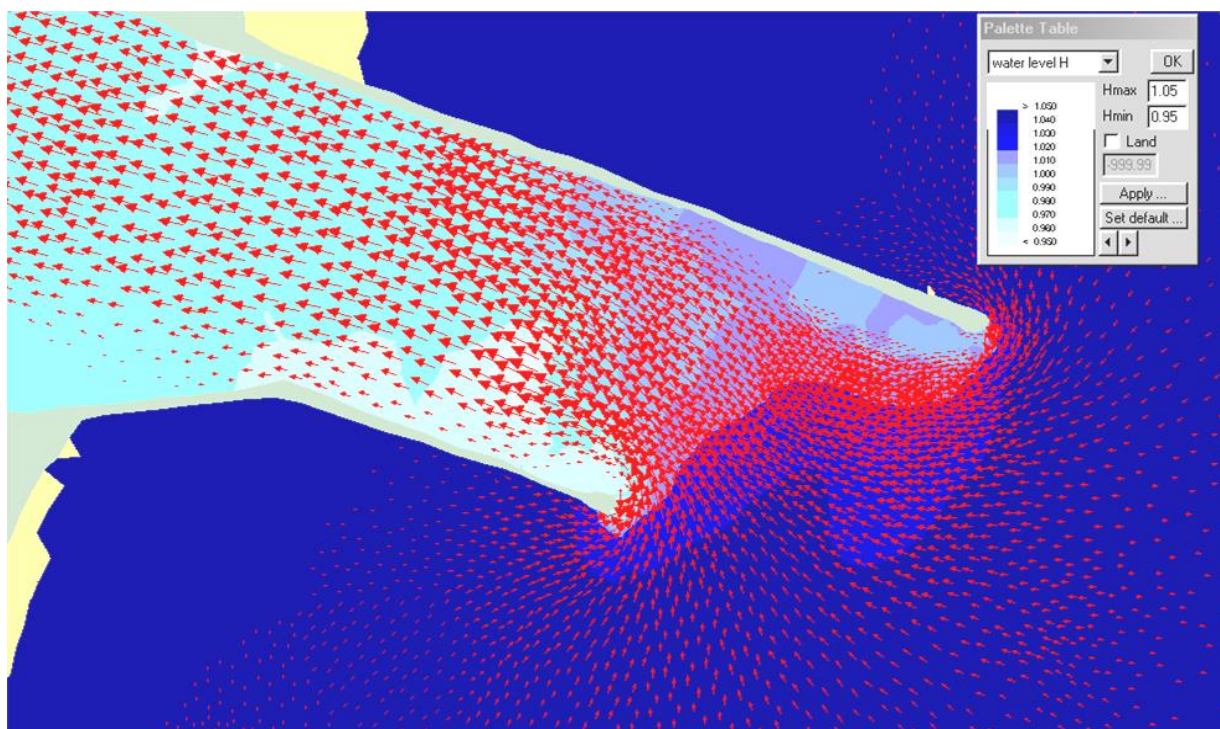


Fig. 0.10 - Campo delle velocità in fase di flusso alla bocca di Malamocco (Venezia)

Un'ultima annotazione riguarda il suo accoppiamento con i risultati forniti da un qualsiasi modello idrologico. Infatti, in modo molto semplice è possibile assegnare ai nodi del reticolo idrografico (sia interni che sul contorno) un andamento delle portate attraverso i termini  $Q_m$  presenti nelle equazioni (9) e (15).

La risposta fornita dal modello idrologico, applicato a sottobacini elementari, viene quindi imposta come condizione al contorno realizzando di fatto un modello a risposta distribuita.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 130 di 134	

Significativo ricordare l'accoppiamento idrologico-idraulico nel modello idraulico 2d1d del Bacchiglione messo a punto con l'ing. Ferri dell'Autorità di Bacino Alto Adriatico, ampiamente utilizzato in questi anni nell'ambito di incarichi svolti per l'Autorità di Bacino e il Genio Civile di Vicenza.

### **Costruzione del reticolo di calcolo e visualizzazione dei risultati**

Le attività di pre-processing (del reticolo di calcolo) e di post-processing (estrazione dei risultati) vengono effettuate con l'ausilio di una interfaccia grafica realizzata negli anni 1998+2005 dall'ing. Martini. Il linguaggio di programmazione utilizzato è il Visual C++ in ambiente Microsoft Foundation Classes (MFC). All'applicazione è stato posto nome di FEMTOOL. All'interfaccia sono collegate librerie grafiche commerciali per il plottaggio di grafici e per l'importazione/esportazione di dati in formato xls, dxf e bmp/jpg.

Come tutte le applicazioni Windows FEMTOOL è dotata di barra dei menu, barra degli strumenti, barre di scorrimento, finestra di visualizzazione e varie finestre di dialogo.

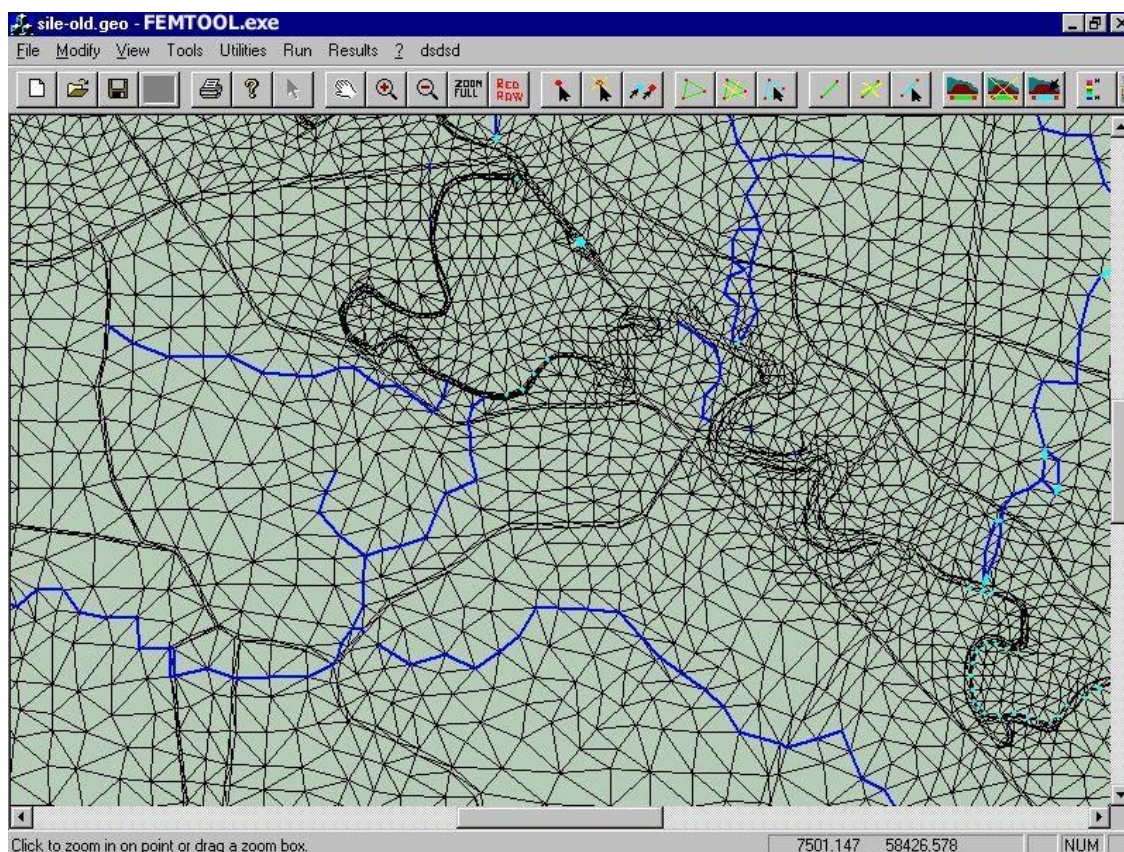


Fig. 0.11 - Modello FEMTOOL. Costruzione e visualizzazione del reticolo di calcolo del fiume Sile.

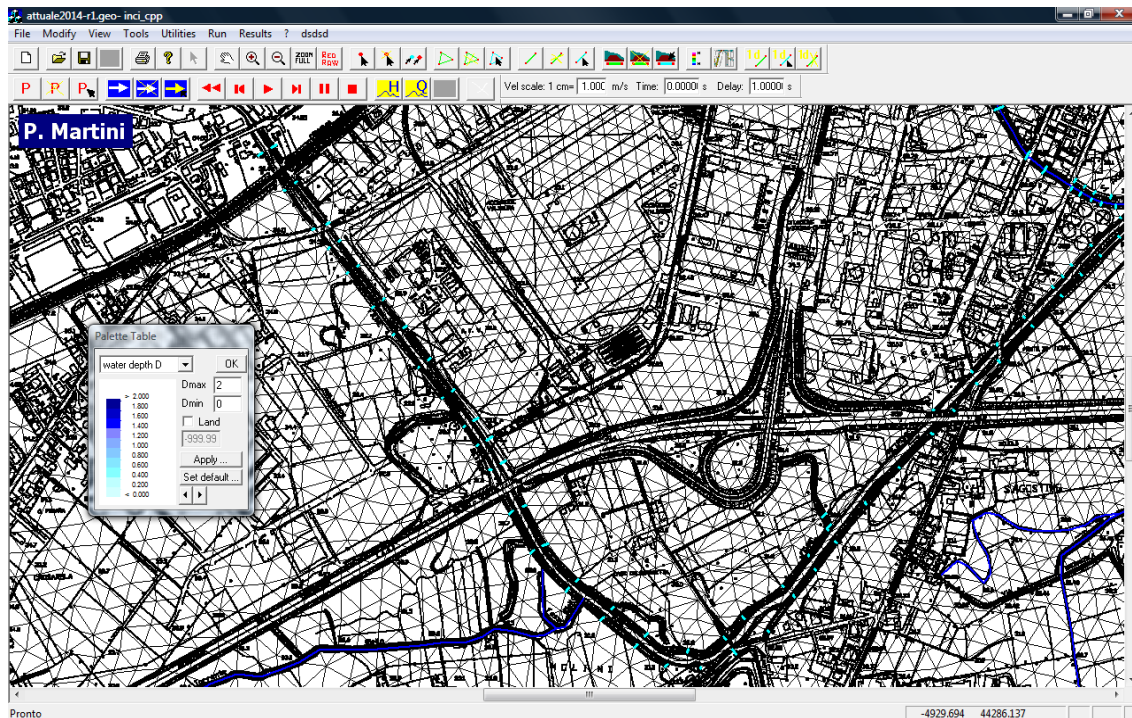


Fig. 0.12 - Modello FEMTOOL. Costruzione e visualizzazione del reticolo di calcolo del fiume Retrone.

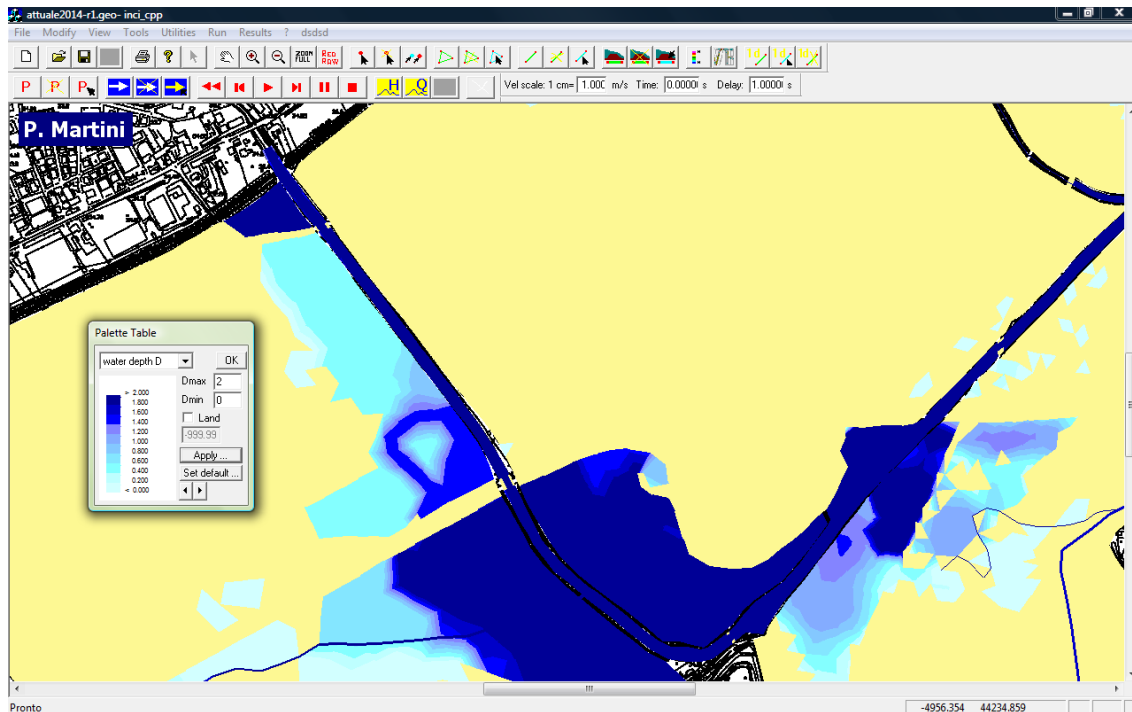


Fig. 0.13 - Modello FEMTOOL. Visualizzazione delle aree esondate sovrapposte al reticolo di calcolo, con una scala cromatica in funzione dell'altezza d'acqua.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento E12 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 132 di 134	

## Riferimenti bibliografici del modello

- [1] D'Alpaos L., Defina A. and Matticchio B., A new set of equations for very shallow water and partially dry areas suitable to 2D numerical models. Proceeding of Modelling of Flood Propagation Over Initially Dry Areas, Milano, 1994.
- [2] Defina A., Two-dimensional shallow flow equations for partially dry areas, Water Resources Research, Vol. 36, No. 11, 2000.
- [3] Casulli V., Numerical Simulation of Shallow Water Flow, Computational Methods in Surface Hydrology, Ed. G. Gambolati, A. Rinaldo, C.A. Brebbia, W.G. Gray and G.F. Pinter, Springer, 1990.
- [4] Thomas T.G. and Williams J.J.R., Large Eddy Simulation of a symmetric trapezoidal channel, Journal of Hydraulic Research, Vol. 33, No. 6, 1995.
- [5] Kalkwijk J.P.Th and Booy R., Adaption of Secondary Flow in nearly horizontal flow, Journal of Hydraulic Research, Vol. 24, No. 1, 1986.
- [6] Duc B.M., Wenka Th. and Rodi W., Depth-average numerical modeling of flow in curved open channels, Proceedings of Computational Methods in Water Resources XI, Ed. Aldama A., Aparicio J., Brebbia C.B., Gray W.G., Herrera I. and Pinder G.F., 1996.
- [7] Roig L.C., Mathematical Theory and Numerical Methods for the Modeling of Wetland Hydraulics in Water Resources Engineering, Proceedings of the 1995 First International Conference, American Society of Civil Engineers, 1995.
- [8] Gambolati G., Lezioni di Metodi Numerici, Ed. Cortina, Padova, pp. 479-571, 1994.
- [9] Martini P., Modello matematico bidimensionale per lo studio delle esondazioni dei corsi d'acqua, Istituto di Idraulica G. Poleni, Padova, Tesi di laurea, 1996.
- [10] D'Alpaos L. and Defina A., Modellazione Matematica del comportamento idrodinamico di zone di barena solcate da una rete di canali minori, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, 1995.
- [11] Jasak H., Error Analysis and estimation for the Finite Volume Method with applications to fluid Flow, PhD Thesis, Imperial College, London, 1996.
- [12] Defina A. and Bonetto I., 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 Costruzione Idrauliche, vol. I, pp. 53-64, Catania, Italy.
- [13] Donnell B., Letter J., McAnally W. and others, User's Guide for RMA2 Version 4.5, US Army, Engineer Research and Development Center, Waterways Experiment Station Coastal and Hydraulics Laboratory, 2001. (<http://chl.wes.army.mil/software/tabs>)
- [14] Defina A., La presenza di traverse e di rilevati sormontabili negli schemi di calcolo bidimensionali, Seminario su: Nuovi sviluppi applicativi dell'idraulica dei corsi d'acqua, Bressanone, 1997.
- [15] D'Alpaos L. and Defina A., Modellazione matematica del comportamento idrodinamico di zone di barena solcate da una rete di canali minori, Istituto Veneto di Scienze, Lettere ed Arti, Commissione di studio dei provvedimenti per la conservazione e difesa della laguna e della città di Venezia, Rapporti e Studi, vol. XII, 1995.
- [16] Martini P., D'Alpaos L. and Carniello L., Un modello matematico bidimensionale per lo studio dell'idrodinamica e del trasporto di sedimenti nella laguna di Venezia. Scientific Research and Safeguarding of Venice, Corila Reserach, Corila and Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti. Program 2002 results, Venezia, 2003.
- [17] Martini P., Carniello L. and Avanzi C., Two dimensional modelling of flood flows and suspended sediment transport: the case of Brenta river, Veneto (ITALY) , Presented at EGS-AGU-EUG 2003 Joint Assembly, Nice, April 2003. Accepted for publication in Natural Hazards and Earth System Sciences, EGU Journal, 2004.
- [18] Carniello L., D'Alpaos L., Defina A. and Martini P., A new method for coupling one and two dimensional elements in a finite element model describing hydrodynamics in a tidal basins. Scientific Research and Safeguarding of Venice, Corila Reserach, Corila and Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti. Program 2002 results, Venezia, 2003.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2		ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 133 di 134	

## BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. Piano stralcio per la tutela del rischio idrogeologico. Bacino dell'Adige – Regione Veneto. Individuazione delle aree a rischio idraulico, da frana e da colata detritica. Relazione tecnica e quadro giuridico. Adottato con delibera del Comitato Istituzionale n. 1 del 15-02-2015 e con DPCM 27-04-2006.
- Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico e Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige, CONVENZIONE tra Regione del Veneto e Autorità Alto Adriatico per l'affiancamento dei soggetti attuatori nell'ambito della progettazione delle opere previste dal “Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico” di cui all'ordinanza n. 3906 del 13 novembre 2010. Reazione tecnica, gennaio 2013.
- Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico, Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino idrografico del bacino idrografico del fiume Brenta-Bacchiglione, Carte della pericolosità idraulica. Ed. 2012÷2015.
- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. 2^ Variante al Piano Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico del fiume Adige approvato con DPCM 27 aprile 2006. Misure di salvaguardia e prescrizioni a regime. Adottata dal Comitato Istituzionale con delibera n. 1/2014 del 22 dicembre 2014.
- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. Varianti di aggiornamento del Piano Stralcio ai sensi dell'art. 6 delle Norme di Attuazione del Piano. Decreti Segretariali tra ottobre 2014 e aprile 2015.
- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. Studio dell'evento di piena di fine aprile 2009 sul t. Illasi. In AdigeEtsch, dicembre 2009.
- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. Individuazione e perimetrazione delle aree allagate nel corso degli eventi dal 31 ottobre 2010 al 2 novembre 2010.
- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. Eventi alluvionali del 16 e 17 Maggio 2013. A cura degli ingg. L. Guarino, G. Fragola e R. Veltri. Confronti tra eventi 2013, 2010 e 1992.
- Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige. Delimitazione delle zone di attenzione a seguito degli eventi alluvionali del 16 e 17 Maggio 2013. Giugno 2013.
- Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, Piano di gestione del Rischio di alluvioni 2015-2021. Aree allagabili. Classi di rischio. Scenario di media (Tr=100 anni) e bassa probabilità (Tr=300 anni).
- Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, Piano di gestione del Rischio di alluvioni 2015-2021. Aree allagabili. Altezze Idriche. Scenario di media (Tr=100 anni) e bassa probabilità (Tr=300 anni).
- DGRV 1010 del 23-03-2010. Parere di Compatibilità Ambientale del progetto della sistemazione idraulica del torrente Illasi dalla confluenza dei t. Covolo e Frighi in loc Sant'Andrea fino alla sua immissione nel fiume Adige.
- DGRV 257 del 03-03-2015. Finanza di progetto. Interventi da realizzare nel settore della difesa del suolo. Attribuzione delle attività connesse al prosieguo dell'iter istruttorio delle proposte pervenute e delle funzioni di RUP alle Sezioni Bacino Idrografico competenti per territorio.
- Attilio Scolari e Mauro Gaspari, “16 Maggio 2013 – il fiume Fibbio esonda”.
- Technital, Progetto di un impianto idroelettrico sul t. Fibbio. Rilievi. Settembre 2013.

GENERAL CONTRACTOR  IRICAV2	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE				
RELAZIONE IDROLOGICA IDRAULICA – RISULTATI STUDIO CON MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	Progetto IN17	Lotto 10	Codifica Documento EI2 RH ID0000 003	Rev. D	Foglio 134 di 134

- Campedelli O., Progetto di un impianto idroelettrico sul t. Fibbio in Comune di San Martino Buon Albergo. Rilievi. Febbraio 2013.
- En.In.Esco srl, Progetto di un impianto idroelettrico sul t. Fibbio in loc. Montorio, Rilievi. Settembre 2009.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta, Progetto dei Lavori di adeguamento dell'alveo e regimazione delle piene del fiume Fibbio. Comuni di Verona, San martino Buon Albergo, Zevio e Caldiero, 2012.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta, Piano Generale di Bonifica e di Tutela del Territorio Rurale. Service tecnico a cura di Beta Studio srl, Luglio 2011. Carta delle criticità idrauliche, carta dei bacini di bonifica, Carta delle permeabilità, Carta dei bacini idrografici.
- Consorzio di Bonifica Alta Pianura Veneta, Rilevamento della rete idraulica consorziale lungo il tracciato della TAV. Osservazioni ed interferenze. Febbraio 2015.
- Regione del Veneto. Convenzione tra Regione del Veneto e Autorità di bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione (Autorità Alto Adriatico) per l'affiancamento dei soggetti attuatori nell'ambito della progettazione delle opere previste dal Piano delle azioni e degli interventi di mitigazione del rischio idraulico e geologico di cui all'ordinanza n. 3906 del 13 novembre 2010. Relazione tecnica. A cura dell'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico e dell'Autorità di Bacino del fiume Adige. Gennaio 2013.
- Regione del Veneto. Progetto definitivo del bacino di San Lorenzo sul t. Tramigna, nei comuni di Soave e San Bonifacio. Service tecnico a cura di Ipros Ingegneria Ambientale srl, Maggio 2013.
- Regione del Veneto. Progetto definitivo dell'estensione dell'opera di invaso di Montebello a servizio del torrente Chiampo. Progetto di ampliamento del bacino esistente nei comuni di Montorso Vicentino, Zermeghedo e Montebello Vicentino. Service tecnico a cura di Beta Studio, Settembre 2013.
- Regione del Veneto. Progetto definitivo del bacino della Colombaretta sul t. Alpone, in comune di Montecchia di Crosara. Service tecnico a cura di Ing. Umberto Anti, Giugno 2013.
- Comune di San Martino Buon Albergo, Studio geologico del PAT. A cura di P. Zangheri, 2010.
- Unione Veneta Bonifiche e Regione del Veneto. Mappa della pericolosità idraulica. Aree a rischio e ad alto rischio di allagamento nel territorio di bonifica della Provincia di Verona. 2000
- Progetto preliminare del Sistema delle Tangenziali Venete. Relazione idrologica e idraulica di proposta. A cura di Studio Alteri, 2007