



COMUNE DI MONTEGROTTO TERME
PROVINCIA DI PADOVA

**STUDIO IDRAULICO DEL TERRITORIO DEL COMUNE DI
MONTEGROTTO TERME MEDIANTE UN MODELLO
MATEMATICO IDRODINAMICO
UNI-BIDIMENSIONALE**

**Verifica delle condizioni di sofferenza idraulica
in occasione dei più gravosi eventi
di piena prevedibili**

RELAZIONE

A CURA DI:

PROF. ING. LUIGI D'ALPAOS

Dicembre 2009

RELAZIONE

1. PREMESSE	5
2. CONTENUTI, DATI E RISULTATI TRATTI DAGLI STUDI CONDOTTI PRECEDENTEMENTE SUL BACINO DEI COLLI EUGANEI	7
2.1 Elementi di sintesi dello studio redatto nel 1997.....	7
2.2 Contenuti dello studio redatto nel 2003.....	8
2.3 Alcune informazioni tratte dallo studio redatto nel 2004	9
3. AGGIORNAMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO DEL BACINO DEI COLLI EUGANEI	11
3.1 Il bacino idrografico dei Colli Euganei e la suddivisione in sottobacini del territorio comunale di Montegrotto Terme	11
3.2 Dati di precipitazione utilizzati	12
3.3 Idrogrammi di piena sintetici calcolati con il modello idrologico a partire da precipitazioni con diverso tempo di ritorno	13
4. CONDIZIONI DI MASSIMA PIENA NELLE RETI DELLA FOGNATURA E DEI CORSI D'ACQUA CHE DRENANO IL TERRITORIO COMUNALE DI MONTEGROTTO TERME VALUTATE PER LA SITUAZIONE ATTUALE CON UN MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE	23
4.1 Dati cartografici e rilievi topografici utilizzati per la schematizzazione delle reti idrografica e di fognatura e delle aree ad esse adiacenti nella parte indagata del territorio comunale di Montegrotto Terme.....	23
4.1.1 Dati cartografici	23
4.1.2 Dati topografici	24
4.2 Costruzione del reticolo di calcolo del modello matematico.....	25
4.3 Identificazione dei parametri del modello.....	26
4.4 Condizioni al contorno.....	27
4.5 Individuazione delle condizioni iniziali di moto permanente	29
4.6 Risultati del calcolo	37
4.6.1 Massime altezze d'acqua calcolate per un evento di piena generato dalle precipitazioni con tempo di ritorno di 25 anni.....	38
4.6.2 Massime altezze d'acqua calcolate per eventi di piena generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 50 anni e di 100 anni	40
4.6.3 Idrogrammi di portata calcolati per eventi di piena generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni	40
5. IPOTESI DI PROGETTO SULLA RETE DEI CORSI D'ACQUA CHE DRENA IL BACINO IDROGRAFICO DEI COLLI EUGANEI	49
5.1 Descrizione delle ipotesi di intervento	49
5.2 Simulazioni di eventi di piena generati da precipitazioni di durata pari a 24 ore consecutive e con tempo di ritorno di 50 anni nelle ipotesi di intervento considerate.....	50
6. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE	54

7. APPENDICE – CARATTERISTICHE DEI MODELLI MATEMATICI UTILIZZATI	57
7.1 Caratteristiche generali	57
7.2 Modello idrologico di piena	57
7.2.1 Generalità	57
7.2.2 Caratteristiche principali del modello idrologico di piena	58
7.3 Modello matematico idraulico uni-bidimensionale	62
7.3.1 Caratteristiche generali.....	62
7.3.2 Descrizione dello schema numerico.....	63
7.3.3 Elementi unidimensionali e tronchi speciali.....	64
7.3.4 Considerazioni sulla significatività dei termini che descrivono le accelerazioni convettive e gli sforzi di Reynolds	66

ELABORATI GRAFICI ALLEGATI

- Tavola 1 - Rete idrografica e suddivisione in sottobacini del bacino Colli Euganei (scala 1:20000).
- Tavola 2 - Rete idrografica e di fognatura principale con suddivisione in sottobacini del territorio del Comune di Montegrotto Terme (scala 1:10000).
- Tavola 3 - Schema del dominio di calcolo del modello uni-bidimensionale del sistema idrografico e di fognatura principale e del territorio esterno potenzialmente allagabile nel Comune di Montegrotto Terme (scala 1:10000).
- Tavola 4 - Rappresentazione del franco idraulico e delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno $Tr=25$ anni e durata della pioggia $tp=24$ ore (scala 1:10000).
- Tavola 5 - Rappresentazione del franco idraulico e delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno $Tr=50$ anni e durata della pioggia $tp=24$ ore (scala 1:10000).
- Tavola 6 - Rappresentazione del franco idraulico e delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno $Tr=100$ anni e durata della pioggia $tp=24$ ore (scala 1:10000).
- Tavola 7 - Inviluppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno $Tr=50$ anni e durata della pioggia $tp=24$ ore per le situazioni attuale e di progetto (scala 1:20000).

1. PREMESSE

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Montegrotto Terme, lo scrivente Prof. Ing. Luigi D'Alpaos, Ordinario di Idrodinamica nell'Università di Padova, ha condotto una serie di indagini e di verifiche idrologiche e idrauliche mediante modelli matematici finalizzate all'esame della situazione idraulica della parte di pianura del territorio comunale, ricadente nel comprensorio del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta.

Si tratta, in buona sostanza, del territorio, con estensione pari a poco meno di 12 km², delimitato nella corografia in scala 1:10000 riportata nella Tavola 2 che si accompagna alla presente relazione, facente parte, come quasi tutto il territorio comunale, del più ampio bacino idrografico dei Colli Euganei, rappresentato, a sua volta, nella corografia in scala 1:20000 di Tavola 1.

Lo studio valuta le condizioni di deflusso delle portate di piena nella rete idrografica costituita dallo scolo Rialto e dai suoi affluenti Fossamala, Rio Caldo, Piovego, Rio Spinoso, Paiuzza, Cannella e Menona e dalla rete principale della fognatura comunale, nonché gli eventuali fenomeni di esondazione e di allagamento dei terreni adiacenti sia nella situazione attuale, sia in altre situazioni modificate sulla base di alcune soluzioni di progetto volte a mitigare le insufficienze riscontrate.

Lo studio si può inquadrare come una attività di approfondimento e di completamento di alcune precedenti indagini, svolte rispettivamente nel 1997, nel 2003 e nel 2004, con le quali il Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta aveva inteso valutare le condizioni di deflusso nella rete idrografica complessiva che drena il bacino dei Colli Euganei, di cui fa parte anche l'area in esame.

L'elemento che differenzia principalmente lo studio promosso dall'Amministrazione Comunale rispetto a quelli precedenti, oltre alla scala di maggior dettaglio considerata nell'indagine, risiede nel fatto che si è qui utilizzato un modello idrodinamico uni-bidimensionale, in grado di simulare sia il deflusso delle acque nei corsi d'acqua della rete idrografica e nelle condotte della rete della fognatura, sia i fenomeni di esondazione e di allagamento dei terreni adiacenti, potendo seguire passo passo l'evoluzione e la propagazione dell'onda di sommersione sul territorio.

Un altro elemento di novità caratterizzante il lavoro svolto è riconducibile all'utilizzo dei risultati del rilievo dell'intero territorio comunale, eseguito con tecnica laser scanner (LIDAR), e del rilievo di dettaglio, eseguito a terra con strumentazione GPS, delle condotte principali della rete della fognatura comunale destinata allo scarico nella rete idrografica superficiale delle acque meteoriche raccolte. Entrambi i rilievi sono stati appositamente eseguiti a cura dell'Amministrazione Comunale.

Per le indagini idrologiche, in particolare, si è utilizzato un modello idrologico di piena messo a punto nell'ambito di precedenti studi opportunamente aggiornato ed integrato con i nuovi dati e le nuove informazioni messi a disposizione dal Comune di Montegrotto Terme e dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta. Con tale modello, strutturato in modo da tener conto di eventuali non uniformi distribuzioni delle precipitazioni sul bacino dei Colli Euganei e da differenziare la risposta delle sue diverse parti, con riferimento soprattutto a quelle urbanizzate, si sono ricostruite, partendo dalle precipitazioni, le portate di piena negli scoli e nelle condotte di fognatura che drenano il bacino stesso e il territorio di Montegrotto Terme.

Per le indagini idrauliche, invece, si è implementato un particolare modello idrodinamico uni-bidimensionale ad elementi finiti, che consente di simulare la propagazione

delle piene nel reticolo idrografico e l'espansione dell'onda di sommersione sui terreni adiacenti, in caso di esondazione dai corsi d'acqua o di fuoriuscita d'acqua dalle condotte. Il modello uni-bidimensionale è stato esteso a tutta la parte di pianura del comune di Montegrotto Terme che ricade nel comprensorio del Consorzio Bacchiglione Brenta, utilizzando per la schematizzazione i nuovi rilievi topografici appositamente eseguiti dall'Amministrazione Comunale e quelli resi disponibili dal Consorzio stesso.

Le analisi sono state condotte nella situazione attuale per il territorio indagato, valutando in particolare le modalità di deflusso delle piene nelle reti idrografica e della fognatura. I risultati del calcolo hanno consentito di evidenziare le criticità idrauliche del sistema e quindi alcuni possibili interventi.

Per le stesse condizioni di piena, si sono conseguentemente considerate alcune situazioni di progetto, simulando con il modello uni-bidimensionale gli effetti degli interventi proposti per la messa in sicurezza del territorio comunale rispetto ai possibili fenomeni di esondazione.

2. CONTENUTI, DATI E RISULTATI TRATTI DAGLI STUDI CONDOTTI PRECEDENTEMENTE SUL BACINO DEI COLLI EUGANEI

2.1 Elementi di sintesi dello studio redatto nel 1997

Nel corso del 1997, per incarico del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta di Padova furono condotti dallo scrivente “*Studi e verifiche idrauliche mediante modelli matematici di supporto al progetto per la diversificazione del Rialto nel tronco terminale del Rio Spinoso in comune di Montegrotto Terme (PD)*”.

Nell'ambito di tali indagini sono stati messi a punto due diversi modelli matematici:

- un modello di tipo idrologico, per ricostruire, partendo dalle precipitazioni, la formazione di onde di piena ipotetiche nel bacino dei Colli Euganei;
- un modello matematico unidimensionale di tipo idraulico con lo scopo di seguire lungo la rete dei canali principali che drenano il bacino dei Colli Euganei le modalità con cui si propagano le piene nei tratti di pianura dei canali stessi.

Le analisi e le indagini condotte sono state sostanzialmente finalizzate principalmente:

- alla valutazione del miglioramento della sicurezza idraulica a seguito della entrata in funzione della nuova botte del Pigozzo;
- alla verifica del dimensionamento idraulico delle opere progettate dal Consorzio per migliorare la capacità di portata del sistema idrografico e in particolare quella del Rialto;
- alla valutazione del miglioramento della sicurezza idraulica conseguente alla realizzazione di tali opere, in particolare della diversione del Rialto, nel tronco terminale del Rio Spinoso.

Con riferimento agli elementi di interesse per il presente studio, in allora era stato messo a punto un modello idrologico di piena basato su di una generalizzazione del modello di tipo concettuale proposto da Nash, operando una suddivisione del bacino idrografico complessivo dei Colli Euganei in una serie di sottobacini ai quali applicare i concetti validi per un singolo bacino elementare. Così facendo, il territorio che alimenta lo scolo Rialto a monte della botte del Pigozzo era stato suddiviso in 34 sottobacini elementari, aventi estensione variabile da circa 1.3 km² a circa 9.5 km², per una superficie complessiva di circa 120 km².

Per mettere a punto il modello idrologico si erano inoltre utilizzate le registrazioni pluviometriche e idrometriche rilevate nel corso di alcuni eventi di piena osservati tra i quali quelli dei giorni 9÷11 dicembre 1996, 19÷21 dicembre 1996 e 2÷4 gennaio 1997, che avevano provocato allagamenti nelle zone di Abano Terme e Montegrotto Terme.

La taratura del modello idrologico era stata condotta per via indiretta, accoppiando le simulazioni idrologiche alla messa a punto del modello idraulico di propagazione. Si era, infatti, cercato di riprodurre con il modello propagatorio gli andamenti dei livelli idrometrici registrati durante gli eventi osservati, considerando in ingresso alla rete di canali le portate calcolate con il modello idrologico di piena.

Operando in questo modo si erano anche calcolati gli andamenti degli idrogrammi di piena in corrispondenza di alcune sezioni significative, come, ad esempio quelle corrispondenti alla chiusura del bacino complessivo e alla botte del Pigozzo. Per quest'ultima sezione si erano valutati valori massimi della portata al colmo di circa 22 m³/s, per l'evento del gennaio 1997, e di oltre 40 m³/s, per l'evento della prima decade di dicembre 1996.

Con il modello idrologico messo a punto sugli eventi del dicembre 1996 e del gennaio 1997 si era quindi generata una serie di piene sintetiche, partendo da precipitazioni con diversa durata e con tempo di ritorno variabile da 10 anni fino a 50 anni, da utilizzare quali condizioni al contorno per il modello matematico propagatorio. Da questa analisi è risultato che per una durata di precipitazione di 21 ore, pari alla durata critica per la sezione di chiusura del bacino, le massime portate calcolate con il modello idrologico nel Rialto alla botte del Pigozzo erano state valutate pari a poco meno di 60 m³/s per un tempo di ritorno di 10 anni, di poco inferiori a 70 m³/s per l'evento venticinquennale e di circa 75 m³/s per l'evento originato da una pioggia cinquantenaria.

Operando un confronto tra i risultati forniti dal modello per gli eventi di piena del dicembre 1996 e del gennaio 1997 con quelli generati sinteticamente a partire dalle precipitazioni con assegnato tempo di ritorno probabile, facendo riferimento alla sezione della botte del Pigozzo, si era, infine, valutato che agli eventi reali verificatisi era possibile associare un tempo di ritorno inferiore ai 10 anni. In particolare il tempo di ritorno era stimato pari a 4-5 anni se si considerava, tra quelli esaminati, l'evento dei giorni 9÷11 dicembre 1996, che aveva generato il valore della portata al colmo più elevato, di poco più di 40 m³/s.

Relativamente alle indagini condotte con il modello idraulico di propagazione delle onde di piena calcolate con il modello idrologico emergevano alcuni risultati interessanti. Nelle diverse situazioni esaminate, quella attuale e, soprattutto, quelle con gli interventi alla nuova botte del Pigozzo e con la diversione del Rialto nel tronco terminale del Rio Spinoso, secondo il calcolo risultava che gli eventi generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 25 anni, caratterizzati lungo il canale diversivo, da una portata massima di oltre 40 m³/s, fluivano con franchi idraulici di sicurezza ridotti e pressoché nulli nella parte terminale a monte della confluenza Rialto-Rio Spinoso. Inoltre, nel Rialto, tra la confluenza con il Fossamala ed il Rio Spinoso, le zone di sormonto arginale, che per l'evento decennale sembravano essere solo locali e limitate ai punti più depressi delle arginature, diventavano per l'evento venticinquennale più estese e diffuse e si presentavano con altezze d'acqua più elevate, evidenziando che gli interventi previsti e poi realizzati, pur determinando una notevole riduzione dei livelli idrometrici di piena, soprattutto negli alvei dei corsi d'acqua più vicini alle posizioni degli interventi stessi, non sarebbero stati in grado di salvaguardare completamente da fenomeni di esondazione il territorio attraversato dagli scoli della rete idrografica in esame, in concomitanza degli eventi più importanti.

2.2 Contenuti dello studio redatto nel 2003

Sempre su incarico del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta di Padova, nel corso del 2003, è stato svolto dallo scrivente con il supporto della società Ipros Ingegneria Ambientale S.r.l. di Padova un "Aggiornamento dello studio idrologico-idraulico del bacino Colli Euganei e verifiche idrauliche di supporto al progetto per l'adeguamento dello scolo Menona".

L'aggiornamento del modello matematico idrologico ha riguardato principalmente i bacini dello scolo Menona e del Rialto, quest'ultimo per la parte che comprende la zona collinare a monte di località Treponti. Questi bacini sono stati suddivisi in un numero maggiore di sottobacini, rispetto alla formulazione originale del modello, in modo da valutare al meglio il contributo delle sue singole parti alla formazione della piena.

Sono stati, inoltre, valutati gli effetti degli interventi in progetto sullo scolo Menona, esaminando, in particolare, le condizioni di deflusso delle massime portate nei diversi tratti

del corso d'acqua in situazioni differenti che prevedevano la ricalibratura dell'alveo o la realizzazione, su terreni in adiacenza al tracciato, di bacini per l'invaso temporaneo delle acque, al fine di ridurre i colmi delle piene ed i corrispondenti livelli idrometrici nel Menona stesso. Tali indagini sono state condotte utilizzando sia un modello idraulico unidimensionale, sia un modello idrodinamico bidimensionale, che consente di simulare la propagazione delle piene nel reticolo idrografico ed anche l'espansione dell'onda di sommersione sul territorio adiacente, in caso di esondazione dei corsi d'acqua. Per entrambi i modelli di propagazione delle piene si sono considerati, come condizioni al contorno di monte, gli idrogrammi di portata calcolati con il modello idrologico messo a punto e aggiornato, particolareggiando la suddivisione del territorio in un maggior numero di sottobacini elementari.

Relativamente alle portate massime probabili nel Rialto, nella sezione di chiusura del bacino esaminato, con il modello idrologico si sono determinate portate al colmo di circa 70 m³/s per l'evento di piena generato da precipitazioni con durata di 24 ore e tempo di ritorno di 25 anni, non molto diverse da quelle ottenute nel precedente studio del 1997.

Riguardo ai profili idrometrici di piena calcolati con il modello unidimensionale, rispetto ai profili valutati nell'ambito dello studio del novembre 1997, si evidenziano scostamenti modesti. Resta quindi confermata l'insufficienza degli argini dello scolo Rialto per il contenimento delle piene, anche con tempo di ritorno relativamente ridotto.

Con riferimento all'indagine condotta con il modello bidimensionale sulle condizioni di deflusso delle massime piene lungo il canale Menona, i risultati ottenuti, per eventi generati da piogge con durata di 36 ore e tempo di ritorno di 25 anni, segnalano, da una parte, che esistono porzioni significative del territorio interessate dall'esondazione del canale, dall'altra, che tutto il suo corso sarebbe comunque caratterizzato da quote idrometriche al limite delle sommità delle sponde con evidenti rischi di esondazione.

2.3 Alcune informazioni tratte dallo studio redatto nel 2004

Ancora per incarico del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta di Padova, nel corso del 2004, è stato redatto, a cura della Ipros Ingegneria Ambientale S.r.l. di Padova, lo studio "*Bacino Colli Euganei – Esame degli eventi atmosferici dei mesi di febbraio e marzo 2004*".

Con l'ausilio di alcuni modelli matematici si sono esaminate le conseguenze idrauliche prodotte dagli eventi atmosferici verificatisi nei mesi di febbraio e marzo 2004 nel bacino dei Colli Euganei e nella rete idrografica che lo drena, utilizzando, tra gli altri, i dati registrati nelle stazioni pluviometriche (Abano, Mezzavia, Saccolongo, Torreglia e Treponti) e quelli delle stazioni idrometriche (sullo scolo Rialto a Treponti, a Montegrotto e a monte della botte a sifone del Pigozzo) del Consorzio, che ricadono all'interno del bacino considerato.

Relativamente alle precipitazioni che hanno determinato le situazioni di piena del febbraio-marzo 2004, avvalendosi delle elaborazioni statistiche condotte sulle serie storiche dei dati pluviometrici estremi registrati nella stazione di Padova, si sono valutati per tali eventi tempi di ritorno di 2-3 anni, se si fa riferimento alle massime altezze di precipitazione registrate nelle stazioni del Consorzio con durata da 1 ora fino a 2 giorni consecutivi. Alle piogge con durata di 3, 4 e 5 giorni consecutivi sarebbero invece attribuibili frequenze più ridotte, con tempi di ritorno che arriverebbero a circa 20 anni per l'altezza di pioggia di oltre 140 mm misurata per la durata più lunga, nelle stazioni di Abano, Saccolongo e Treponti.

Con i modelli matematici allestiti sono state quindi condotte alcune simulazioni per esaminare la propagazione, nel sistema costituito dal canale Rialto e dai suoi affluenti, degli

eventi di piena verificatisi e per valutare, con riferimento a eventi sintetici caratterizzati da tempi di ritorno diversi, gli effetti degli interventi previsti, come la diversione del Rialto nel tratto terminale del Rio Spinoso, o di altri interventi proposti per ridurre i livelli idrometrici negli alvei in attraversamento di Montegrotto Terme.

Nelle diverse simulazioni di calcolo eseguite, si sono considerate situazioni che si differenziano tra loro sulla base:

- delle precipitazioni utilizzate, considerando eventi reali ed eventi sintetici con tempi di ritorno di 2, 5, 10 e 25 anni;
- di modifiche introdotte nella distribuzione dei valori dei coefficienti di deflusso, vale a dire dei parametri che nel modello idrologico controllano sostanzialmente la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi;
- di variazioni di livello idrometrico imposte nel nodo terminale dello schema di calcolo, ovvero nel Rialto alla botte del Pigozzo;
- delle ipotesi di progetto, simulando l'intervento del nuovo diversivo del canale Rialto, l'intervento di una idrovora e/o di un invaso per l'accumulo temporaneo delle acque in eccesso, posizionati alla confluenza Rialto-Rio Spinoso, e l'intervento di una nuova idrovora, ubicata alla botte del Pigozzo, dimensionata in modo da permettere di mantenere un livello idrometrico prefissato.

I risultati delle simulazioni condotte hanno consentito di evidenziare che:

- il superamento della quota di 8.50 m s.m. da parte dei livelli di piena nel Rialto, nel tratto in attraversamento all'abitato di Montegrotto Terme, determina situazioni di sofferenza idraulica;
- l'intervento della diversione del Rialto nel tronco terminale del Rio Spinoso comporta una significativa riduzione dei livelli idrometrici nel tratto del Rialto sotteso dalla diversione stessa, anche se i livelli massimi raggiunti in tale situazione, soprattutto per gli eventi con tempo di ritorno più elevato ($T_r=25$ anni), rimangono ancora incompatibili con le condizioni delle zone adiacenti al corso d'acqua;
- l'ipotetico intervento di un impianto idrovoro in prossimità della confluenza Rialto-Rio Spinoso, destinato a sollevare nel tronco terminale del Rialto stesso, a valle della confluenza con il Rio Spinoso, le sole acque provenienti dal ramo interno del canale, comporta livelli idrometrici massimi all'altezza dell'abitato di Montegrotto Terme con quote di circa 8.30 m s.m. per l'evento con tempo di ritorno di 25 anni, poste al di sotto della quota di criticità di 8.50 m s.m.. A valle del manufatto i livelli rimarrebbero invece sostanzialmente inalterati, e quindi elevati, rispetto alla situazione senza il sollevamento ipotizzato. Se si realizzasse, infine, oltre all'impianto di sollevamento, un invaso per l'accumulo temporaneo di parte delle acque provenienti dal ramo interno del Rialto, si otterrebbe una minima riduzione dei livelli idrometrici anche nel tronco terminale del Rialto posto a valle dell'opera;
- l'attivazione di un'idrovora alla botte del Pigozzo determinerebbe, rispetto alla situazione esistente, una riduzione dei livelli idrometrici in corrispondenza di Montegrotto Terme, ma con altezze d'acqua massime che resterebbero comunque superiori al livello di 8.50 m s.m., quota individuata come idraulicamente critica per le zone poste in adiacenza al corso d'acqua.

3. AGGIORNAMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO DEL BACINO DEI COLLI EUGANEI

3.1 Il bacino idrografico dei Colli Euganei e la suddivisione in sottobacini del territorio comunale di Montegrotto Terme

Il modello idrologico illustrato in forma sintetica in Appendice (paragrafo 7.2) è già stato utilizzato, come si è visto, per caratterizzare dal punto di vista idrologico l'area in esame nell'ambito delle attività di studio, i cui risultati sono stati sinteticamente illustrati nei precedenti paragrafi 2.1, 2.2 e 2.3.

Nell'ambito del presente studio, per simulare il comportamento idrologico del territorio interessato dalle verifiche idrauliche eseguite, in concomitanza ad eventi meteorici significativi, generati sinteticamente a partire dalle altezze di precipitazione, si è ritenuto opportuno utilizzare la schematizzazione del territorio adottata nell'ambito degli studi sopra citati, opportunamente modificata ed aggiornata.

In particolare, per il territorio del comune di Montegrotto Terme si è operata, nel calcolo, una estensione della rete idrografica considerando anche le principali condotte della rete di fognatura destinata alla raccolta, al deflusso e allo scarico delle acque meteoriche cadute al suolo sulle aree urbanizzate. L'estensione del reticolo di calcolo è stata accompagnata da una maggior particolarizzazione del territorio, considerando una suddivisione in sottobacini più spinta rispetto a quella iniziale, inserendo nello schema del modello idrologico dieci ulteriori sottobacini appartenenti all'area comunale, in modo da poter valutare al meglio il contributo delle singole zone alla formazione della piena.

Ne è risultata per il bacino complessivo dei Colli Euganei la suddivisione in sottobacini riportata sulla corografia di Tavola 1, nella quale sono tra l'altro evidenziate le reti idrografiche sia dei canali consorziali principali che drenano il bacino stesso, sia della fognatura, per i collettori considerati nel calcolo all'interno del territorio del Comune di Montegrotto Terme.

Nella Tab. 3.1 sono sintetizzati per ciascun sottobacino considerato, 53 in totale, i valori di alcune grandezze morfometriche caratteristiche e quelli dei parametri che nel modello idrologico messo a punto controllano la trasformazione degli afflussi meteorici caduti al suolo in deflussi. Per i valori di tali parametri, si è fatto riferimento a quelli determinati nell'ambito dello studio del 1997 e a quelli successivamente aggiornati e utilizzati negli studi del 2003 e del 2004. In particolare, nell'ambito degli studi citati i parametri del modello idrologico erano stati stimati conducendo una taratura del modello stesso per via indiretta, accoppiando le simulazioni idrologiche alla fase di messa a punto del modello matematico di propagazione unidimensionale. A tali studi si rimanda, pertanto, sia per un eventuale approfondimento sui criteri di messa a punto del modello idrologico, sia per i risultati della taratura stessa.

In questa sede è sufficiente ricordare che, per quanto riguarda la stima del tempo al colmo dell'idrogramma unitario superficiale (t_s), si è fatto riferimento al tempo di corruzione T calcolato in ore mediante la classica relazione di Giandotti:

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

essendo:

- A l'area del bacino elementare, espressa in [km²];

- L la lunghezza dell'asta del corso d'acqua o quella assunta come caratteristica per ogni sottobacino, espressa in [km];
- \bar{H} la differenza tra l'altitudine media del bacino e la quota della sezione di chiusura del bacino stesso, espressa in [m].

Al parametro t_s del modello idrologico che definisce il tempo al colmo dell'idrogramma superficiale unitario si è quindi attribuito un valore pari al tempo di corrivazione così calcolato, mentre per il tempo al colmo t_p dell'idrogramma unitario che esprime il deflusso profondo si è assunto un valore mediamente pari a 2-3 volte quello del deflusso superficiale.

Per i valori dei parametri n_s ed n_p , dai quali dipende la forma degli idrogrammi calcolati, si sono considerati quelli adottati negli studi precedenti, compresi tra 2.5 e 3.0 per n_s , a seconda della configurazione morfologica del bacino, e pari alla metà di questi, per n_p , valori che sono in questo caso confrontabili con quelli reperibili in letteratura per bacini idrologicamente simili a quelli presi in esame.

Anche per i coefficienti di deflusso, ricorrendo al metodo del coefficiente globale per la separazione delle piogge, si sono mantenuti i valori sostanzialmente inalterati rispetto a quelli adottati negli studi citati. Per ciascun sottobacino i valori assunti per questo parametro sono riportati nella Tab. 3.1. Nella stessa Tab. 3.1 sono evidenziati con una campitura di colore verde i sottobacini che ricadono per intero o in parte nel territorio del Comune di Montegrotto Terme e, tra questi, con caratteri di colore rosso, quelli che scaricano gli apporti meteorici nella rete della fognatura considerata nel calcolo, identificabili sia sulla corografia di Tavola 2, sia in Fig. 3.1. Per tali sottobacini si sono opportunamente differenziati i coefficienti di deflusso adottati per simulare gli eventi di piena, per tenere conto del maggior apporto di origine meteorica che si determina nelle zone urbane, per effetto dell'impermeabilizzazione delle superfici, rispetto a quello delle aree di campagna. Conseguentemente, per i coefficienti di deflusso si sono adottati valori massimi fino a 0.9 per i sottobacini totalmente interessati dalla presenza di aree urbanizzate, aree che sono evidenziate con una campitura di colore giallo sulla corografia di Tavola 2.

In generale, per le aree cittadine si è considerato un coefficiente di deflusso superficiale pari a $0.60 \div 0.70$, mentre per il coefficiente di deflusso profondo si è assunto un valore pari a $0.10 \div 0.20$, con un coefficiente di deflusso totale pari a $0.70 \div 0.90$. Sulle aree di campagna, invece, sono stati adottati coefficienti pari a $0.35 \div 0.40$ per il deflusso superficiale e di $0.20 \div 0.25$ per il deflusso profondo. I valori dei coefficienti di deflusso superficiale e di quello profondo, da utilizzare per ciascun sottobacino, sono stati ricavati come media ponderata di quelli adottati per le aree urbane e per quelle agricole.

3.2 Dati di precipitazione utilizzati

Il modello idrologico utilizzato per la valutazione delle portate di piena di origine meteorica, consente di simulare eventi ipotetici, con diversa criticità in termini statistico-probabilistici, determinando la forma e la portata al colmo degli idrogrammi a partire dalle precipitazioni che li hanno generati.

A tale riguardo, per le piogge si sono utilizzati i risultati delle elaborazioni statistiche secondo Gumbel condotte sui valori di precipitazione massima annuale, con durata variabile da 1 ora a 24 ore consecutive, registrati nelle stazioni dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.) di Padova e di Colle Venda. Per le curve segnalatrici di probabilità pluviometrica, espresse secondo la nota relazione:

$$h = a \times t^n$$

che fornisce l'altezza h delle precipitazioni al variare della durata t delle piogge, si sono adottati i valori dei parametri riportati in Tab. 3.2, per i tempi di ritorno di 25, 50 e 100 anni.

Si osserva che dalle elaborazioni condotte, al variare del tempo di ritorno, si ottengono per il parametro "n" valori leggermente diversi, che porterebbero, nel caso di una estrapolazione dei risultati ottenuti verso durate di precipitazione decisamente superiori a quelli considerati, ad una intersezione delle curve stesse. Ne deriva la necessità di individuare una curva di regolarizzazione diversa rispetto a quella indicata per evitare l'assurdo che, a parità di durata di precipitazione, eventi caratterizzati da minore frequenza probabile risultino meno gravi di eventi con maggiore probabilità di verificarsi, ovvero con tempo di ritorno più bassi.

Nel caso specifico, tuttavia, non si è ritenuto di dover procedere a una tale correzione sia per le modeste differenze che si riscontrano tra i valori del parametro "n", sia per il fatto che le durate di pioggia considerate comprendono ampiamente quelle che sono critiche per la risposta idrologica del bacino idrografico dei Colli Euganei e dell'area urbana di Montegrotto Terme.

Dopo alcune simulazioni preliminari di inquadramento, considerate le modeste variazioni delle portate al colmo che si ottengono quando la durata delle precipitazioni supera le 24 ore, che per il bacino nel suo complesso può essere considerata come durata critica, nel seguito dello studio si è ritenuto di far riferimento per valutare la risposta idrologico-idraulica del bacino stesso a eventi meteorici con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata pari a 24 ore. I valori delle altezze di pioggia, utilizzate nelle indagini condotte con il modello idrologico e con il modello idrodinamico uni-bidimensionale, determinati per le stazioni pluviografiche di Padova e Colle Venda al variare del tempo di ritorno e della durata dell'evento sono riportati nella Tab. 3.3.

Nel calcolo degli idrogrammi di piena, i valori cumulati di precipitazione sono stati suddivisi per ciascuna durata dell'evento meteorico secondo una distribuzione prefissata delle intensità, la distribuzione Beta, caratterizzata dagli andamenti riportati nella Fig. 7.3 dell'Appendice, per piogge con volume unitario e durata variabile da 3 ore a 24 ore. Si tratta di una distribuzione delle intensità che riproduce con buona fedeltà quanto spesso si verifica in termini statistici per le precipitazioni registrate.

3.3 Idrogrammi di piena sintetici calcolati con il modello idrologico a partire da precipitazioni con diverso tempo di ritorno

Il grafo dello schema idrologico che simula il territorio in esame è stato utilizzato per calcolare con il modello afflussi-deflussi la risposta idrologica dei vari sottobacini e quella del sistema complessivo del bacino Colli Euganei, in concomitanza di eventi meteorici generati sinteticamente e caratterizzati da tempi di ritorno di 25, 50 e 100 anni.

Per stabilire la durata dell'evento meteorico alla quale fare riferimento per tutte le successive indagini si sono considerati i risultati delle simulazioni eseguite con il modello idrodinamico unidimensionale, nell'ambito dei precedenti studi illustrati al capitolo 2. Quegli studi avevano portato a individuare le condizioni critiche di deflusso nei corsi d'acqua indagati, e in particolare nel Rialto, esaminando le modalità di propagazione delle piene ricostruite con il modello idrologico.

Ne erano derivate, come si è già ricordato, condizioni generali di criticità per gli eventi di piena generati partendo da precipitazioni di durata pari a 24 ore. Partendo da questo risultato, mediante il modello idrologico si sono generate le piene conseguenti a piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore, adottando, per i diversi sottobacini individuati nel territorio comunale, i valori dei parametri riportati in Tab. 3.1.

Nel calcolo idrologico si è ovviamente considerato l'intero bacino dei Colli Euganei, determinando le portate di piena degli scoli Rialto, Rio Spinoso, Fossamala, Rio Caldo, Piovego e Menona che, pur sviluppando prevalentemente il proprio bacino al di fuori del territorio comunale di Montegrotto, lo attraversano in direzione nord sud, convogliando i rispettivi apporti di origine meteorica nel Rialto stesso e quindi verso la botte a sifone del Pigozzo, sottopassante il canale Battaglia.

Si tratta di sei corsi d'acqua che, nella parte che interessa il territorio comunale, sono stati inseriti, con altri scoli minori e con la rete della fognatura, nella schematizzazione del modello propagatorio uni-bidimensionale per valutare gli stati di piena. Per essi gli apporti, esterni al territorio indagato, sono stati considerati come immissione puntuale di portata nei rispettivi nodi di attraversamento del confine comunale, evidenziati in Fig. 3.1 con simboli di colore verde.

Per tali corsi d'acqua, in Fig. 3.2 sono riportati gli andamenti degli idrogrammi di piena per eventi generati da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore, calcolati in corrispondenza delle sezioni di ingresso nel territorio comunale. I risultati del calcolo evidenziano che le portate che si generano all'esterno del territorio comunale e che vi si immettono defluendo negli alvei dei corsi d'acqua che lo attraversano sono rilevanti. Negli scoli Rialto, Rio Spinoso, Rio Caldo e Menona, i valori massimi delle portate, in assenza di fenomeni di esondazione, possono potenzialmente arrivare rispettivamente a circa 30 m³/s, a poco meno di 8 m³/s, a quasi 12 m³/s ed a circa 16 m³/s (Fig. 3.2) per situazioni non eccezionali come possono essere considerate quelle determinate da precipitazioni con tempo di ritorno di 25 anni.

Per quanto riguarda il territorio di Montegrotto Terme, le precipitazioni meteoriche dirette al suolo nell'ambito del territorio comunale sono drenate in parte, nelle zone collinari e di campagna, direttamente dalla rete idrografica superficiale, in parte, nelle aree urbane, dalla rete di fognatura, le cui principali condotte inserite nello schema di calcolo sono riportate sia in Tavola 2, sia in Fig. 3.1.

I corpi idrici ricettori delle acque raccolte dalle condotte fognarie sono costituiti, peraltro, ancora da corsi d'acqua superficiali che attraversano il territorio comunale. In particolare, proprio per la rete di fognatura evidenziata nella corografia di Fig. 3.1, si sono considerati 16 punti di scarico, concentrati in 12 diversi nodi idraulici, secondo la numerazione riportata nella stessa Fig. 3.1.

Gli idrogrammi della portata di origine meteorica che si genera nei sottobacini urbani, evidenziati con una campitura di colore rosso in Fig. 3.1, e che è drenata dalla rete fognaria sono stati calcolati, come per gli apporti alla rete idrografica superficiale, con il modello idrologico considerando gli eventi generati da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore.

Si tratta nello specifico degli idrogrammi riportati in Fig. 3.3 e in Fig. 3.4 che non rappresentano, peraltro, la portata effettivamente raccolta, convogliata e scaricata dalla rete di fognatura, ma che indicano la portata di piena che dovrebbe essere immessa nelle condotte ed essere quindi scaricata nella rete idrografica superficiale, se la geometria delle reti e le loro condizioni di funzionamento idraulico lo consentissero.

In Tab. 3.4 sono sintetizzati i valori della portata massima e del corrispondente contributo specifico di piena “u”, calcolati per le aree urbane di Montegrotto Terme e drenate dalle condotte principali della fognatura comunale (vedi corografia di Fig. 3.3) in corrispondenza dei 12 nodi di scarico nei corsi d’acqua consorziali.

È da segnalare che non si tratta ovviamente delle portate massime in assoluto per tali sezioni, ma di quelle che si realizzano per condizioni di durata critica (24 ore) per la sezione terminale del bacino complessivo, chiuso alla botte del Pigozzo.

Se si considerano, tuttavia, i valori totali della portata drenata indicati in Tab. 3.4, che si incrementano da circa 6.7 m³/s a circa 8.5 m³/s passando il tempo di ritorno delle precipitazioni da 25 anni a 100 anni, si riscontrano valori del contributo specifico di piena di circa 23 l/(s·hm²) e di quasi 30 l/(s·hm²). Tenuto conto dell’estensione e delle altre caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini sottesi, nonché della frequenza temporale e della durata degli eventi meteorici considerati, si tratta di valori che possono essere considerati in linea con quelli attribuibili a bacini idrologicamente simili, caratterizzati da una significativa urbanizzazione a destinazione residenziale.

Al variare del tempo di ritorno, idrogrammi di piena analoghi a quelli calcolati per gli apporti di origine meteorica con provenienza “esterna” ed “interna” al territorio comunale di Montegrotto Terme, sono riportati in Fig. 3.5 per lo scolo Rialto. Nello specifico sono idrogrammi di piena valutati per la sezione di chiusura del bacino idrografico dei Colli Euganei in corrispondenza della botte a sifone del Pigozzo, sottopassante il canale Battaglia.

Nelle condizioni di calcolo considerate con il modello idrologico, ovvero in assenza di fuoriuscite d’acqua dal sistema per fenomeni di esondazione, si rileva che la portata massima venticinquennale che potrebbe arrivare attraverso il Rialto alla botte a sifone del Pigozzo sarebbe pari a poco più di 70 m³/s. Tale portata si incrementerebbe fino a quasi 90 m³/s considerando un evento centenario. Tenuto conto che la superficie totale del bacino idrografico è pari a poco meno di 120 km² (vedi Tab. 3.1), ne deriva un contributo specifico di piena per il bacino complessivo pari rispettivamente a circa 6 l/(s·hm²) e a circa 7.5 l/(s·hm²) per i due tempi di ritorno considerati e per una durata delle precipitazioni di 24 ore consecutive.

Tab. 3.1 - Caratteristiche morfometriche e parametri idrologici dei sottobacini del bacino Colli Euganei tributari dello scolo Rialto a monte della botte a sifone del Pigozzo.

Sottobacino	A (km ²)	n _s	n _p	t _s (ore)	t _p (ore)	Φ _s	Φ _t
1-Rialto Superiore 1	2.32	2.8	1.5	2.50	7.50	0.35	0.60
2-Degoretta 1	0.94	2.8	1.5	9.00	18.00	0.35	0.60
3-Degoretta 2	0.56	2.8	1.5	9.00	18.00	0.35	0.60
4-Calto Bianco	0.16	2.5	1.2	0.25	0.75	0.35	0.60
5-Calto delle Vecchie	0.33	2.5	1.2	0.50	1.50	0.35	0.60
6-Rialto Superiore 2	2.96	2.8	1.5	8.75	17.50	0.35	0.60
7-Costigliola	1.00	2.5	1.2	1.25	3.75	0.35	0.60
8-Calto Marise	0.90	2.5	1.2	0.50	1.50	0.35	0.60
9-Colognetta	0.31	2.5	1.2	3.00	9.00	0.35	0.60
10-Cologna	0.23	2.5	1.2	3.00	9.00	0.35	0.60
11-Degora	7.84	3.0	1.5	2.25	6.75	0.35	0.60
12-Fossalunga	3.59	2.5	1.2	9.75	19.50	0.35	0.60
13-Comuna	4.21	2.8	1.5	2.75	8.25	0.35	0.60
14-Rialto interbacino 1	0.82	2.5	1.2	7.50	15.00	0.35	0.60
15-Spinosetta	4.36	2.5	1.2	14.25	28.50	0.35	0.60
16-Rialto interbacino 2	3.01	2.5	1.2	4.50	13.50	0.35	0.60
17-Rialtello del Piano 1	3.74	2.6	1.3	9.75	19.50	0.35	0.60
18-Rialtello del Piano 2	2.88	2.6	1.3	11.50	23.00	0.35	0.60
19-Rialto interbacino 3	3.37	2.5	1.2	7.00	14.00	0.35	0.60
20-Rialto interbacino 4	3.62	2.5	1.2	7.50	15.00	0.35	0.60
21-Calcina	6.24	3.0	1.5	2.00	6.00	0.35	0.60
22-Fossamala 1	0.99	2.8	1.5	8.50	17.00	0.70	0.80
23-Fossamala 2	0.30	2.8	1.5	6.00	12.00	0.70	0.80
24-Poggese	7.22	2.8	1.4	11.00	22.00	0.50	0.70
25-Piovega	2.71	2.8	1.4	9.50	19.00	0.70	0.90
26-Rio Caldo 1	2.13	2.8	1.4	3.50	7.00	0.70	0.90
27-Rio Caldo 2	0.59	2.8	1.4	3.50	7.00	0.70	0.90
28-Rio Caldo 3	0.40	3.0	1.5	2.00	4.00	0.70	0.90
29-Piovego 1	1.68	2.8	1.4	7.50	15.00	0.50	0.70
30-Piovego 2	1.04	3.0	1.5	2.00	4.00	0.70	0.90
31-Rio Spinoso 1	6.17	2.8	1.4	4.00	12.00	0.40	0.60
32-Pisciola	1.20	2.8	1.4	5.00	15.00	0.40	0.60
33-San Daniele	0.67	2.8	1.4	2.00	6.00	0.50	0.70
34-Rio Spinoso 2	2.68	2.8	1.4	3.50	10.50	0.40	0.60
35-Rialto interbacino 5	0.38	2.8	1.4	2.50	7.50	0.60	0.70
36-Rialto interbacino 6	2.67	2.8	1.4	6.50	13.00	0.35	0.60
37-Rialto interbacino 7	0.60	3.0	1.5	2.25	4.50	0.70	0.90
38-Paiuzza 1	0.91	3.0	1.5	2.00	4.00	0.70	0.90
39-Paiuzza 2	0.28	2.8	1.4	2.50	5.00	0.60	0.70
40-Cannella 1	0.22	2.8	1.4	1.75	3.50	0.60	0.70
41-Cannella 2	0.32	2.5	1.2	5.50	11.00	0.35	0.60
42-Bolzan 1	2.54	2.5	1.2	9.00	18.00	0.70	0.90
43-Bolzan 2	5.45	2.5	1.2	12.25	24.50	0.60	0.70
44-Bolzan 3	2.53	2.5	1.2	12.00	24.00	0.40	0.65
45-Monferrato	1.37	2.6	1.3	10.00	20.00	0.35	0.60
46-Bolzanello	3.43	2.6	1.3	13.00	26.00	0.35	0.60
47-Menona 1	4.65	2.6	1.3	15.00	30.00	0.35	0.60
48-Menona 2	2.53	2.6	1.3	13.00	26.00	0.35	0.60
49-Menona 3	2.75	2.6	1.3	13.00	26.00	0.35	0.60
50-Menona 4	2.35	2.6	1.3	9.50	19.00	0.35	0.60
51-Mezzavia	0.41	2.8	1.4	1.00	2.00	0.60	0.70
52-Menona 5	1.10	2.6	1.3	12.00	24.00	0.35	0.60
53-Paludi Catajo	2.84	2.5	1.2	4.00	12.00	0.35	0.60
Area complessiva	118.46	km²					

Legenda

 sottobacini che ricadono per intero o in parte nel territorio comunale di Montegrotto Terme

28-Rio Caldo 3 sottobacini che scaricano gli apporti meteorici nella rete di "fognatura bianca" considerata nel modello uni-bidimensionale

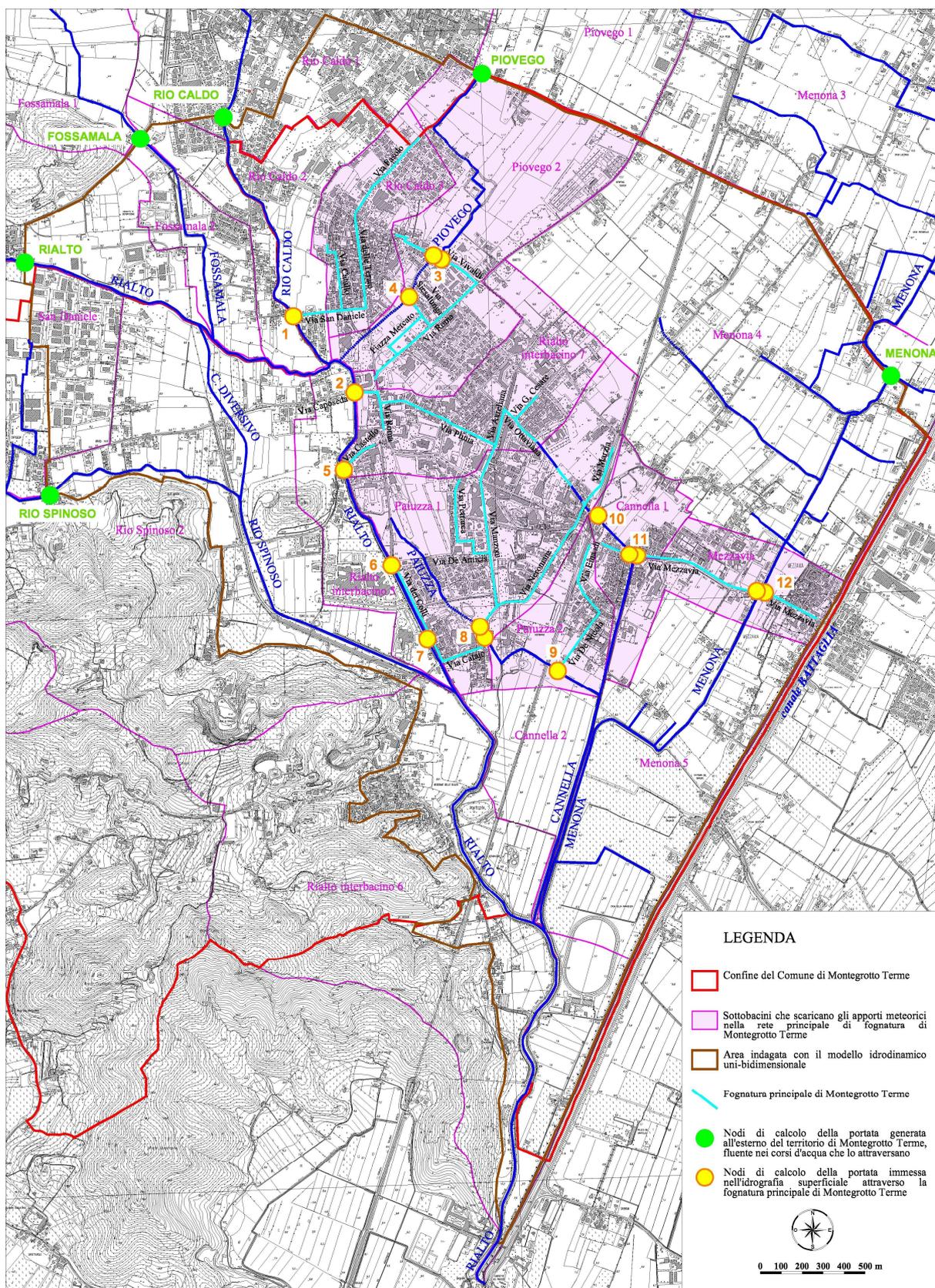


Fig. 3.1 - Idrografia nel territorio di Montegrotto, con i nodi di calcolo delle portate fluenti nei corsi d'acqua provenienti dall'esterno del territorio comunale e di quelle immesse attraverso gli scarichi principali della fognatura delle acque meteoriche.

Tab. 3.2 - Valori dei parametri delle curve di probabilità pluviometrica calcolati per le stazioni di Padova e di Colle Venda al variare del tempo di ritorno, elaborando statisticamente le massime precipitazioni annuali per durate comprese tra 1 ora e 24 ore consecutive.

Tr (anni)	stazione di PADOVA		stazione di COLLE VENDA	
	1-24 ore		1-24 ore	
	a (mm × ore ⁻ⁿ)	n	a (mm × ore ⁻ⁿ)	n
25	58.11	0.243	48.51	0.206
50	65.68	0.242	54.67	0.197
100	73.19	0.241	60.77	0.190

Tab. 3.3 - Altezze di pioggia calcolate al variare della durata e del tempo di ritorno utilizzando le curve di probabilità pluviometrica delle stazioni di Padova e Colle Venda, ottenute dalla regolarizzazione statistica delle precipitazioni massime annuali orarie.

durata t (ore)	stazione di PADOVA - h (mm)			stazione di COLLE VENDA - h (mm)		
	Tr=25 anni	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=25 anni	Tr=50 anni	Tr=100 anni
1	58.1	65.7	73.2	48.5	54.7	60.8
2	68.8	77.7	86.5	56.0	62.7	69.3
3	75.9	85.7	95.4	60.8	67.9	74.9
4	81.4	91.9	102.2	64.5	71.8	79.1
5	85.9	97.0	107.9	67.6	75.1	82.5
6	89.8	101.3	112.7	70.2	77.8	85.4
7	93.2	105.2	117.0	72.4	80.2	88.0
8	96.3	108.6	120.8	74.5	82.3	90.2
9	99.1	111.8	124.3	76.3	84.3	92.3
10	101.7	114.7	127.5	78.0	86.0	94.1
11	104.1	117.3	130.4	79.5	87.7	95.8
12	106.3	119.8	133.2	80.9	89.2	97.4
13	108.4	122.2	135.8	82.3	90.6	98.9
14	110.4	124.4	138.2	83.6	91.9	100.3
15	112.2	126.5	140.6	84.7	93.2	101.7
16	114.0	128.5	142.8	85.9	94.4	102.9
17	115.7	130.4	144.9	87.0	95.5	104.1
18	117.3	132.2	146.9	88.0	96.6	105.2
19	118.9	133.9	148.8	89.0	97.6	106.3
20	120.3	135.6	150.7	89.9	98.6	107.4
21	121.8	137.2	152.4	90.8	99.6	108.4
22	123.2	138.8	154.2	91.7	100.5	109.3
23	124.5	140.3	155.8	92.5	101.4	110.3
24	125.8	141.7	157.4	93.4	102.2	111.2
25	127.0	143.1	159.0	94.2	103.1	112.0
26	128.3	144.5	160.5	94.9	103.9	112.9
27	129.4	145.8	161.9	95.7	104.6	113.7
28	130.6	147.1	163.4	96.4	105.4	114.5
29	131.7	148.4	164.8	97.1	106.1	115.2
30	132.8	149.6	166.1	97.8	106.8	116.0
31	133.9	150.8	167.4	98.4	107.5	116.7
32	134.9	151.9	168.7	99.1	108.2	117.4
33	135.9	153.1	170.0	99.7	108.9	118.1
34	136.9	154.2	171.2	100.3	109.5	118.8
35	137.9	155.3	172.4	100.9	110.1	119.4
36	138.8	156.3	173.6	101.5	110.7	120.1
37	139.7	157.4	174.7	102.1	111.3	120.7
38	140.7	158.4	175.9	102.6	111.9	121.3
39	141.5	159.4	177.0	103.2	112.5	121.9
40	142.4	160.4	178.0	103.7	113.1	122.5
41	143.3	161.3	179.1	104.3	113.6	123.1
42	144.1	162.3	180.1	104.8	114.2	123.6

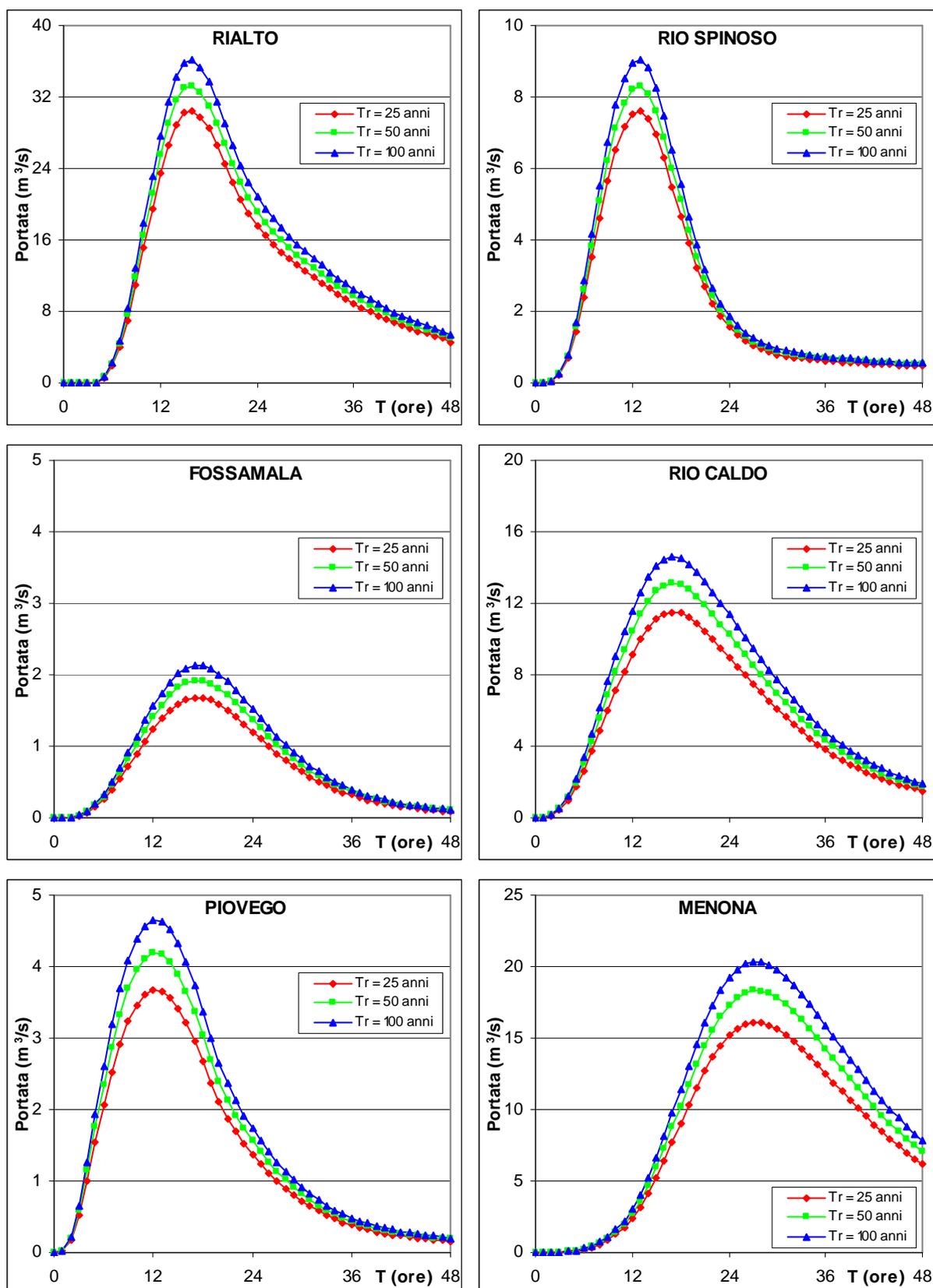


Fig. 3.2 - Portate fluenti nei corsi d'acqua che attraversano Montegrotto Terme, generate all'esterno del territorio comunale, calcolati con il modello idrologico a partire da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore consecutive.

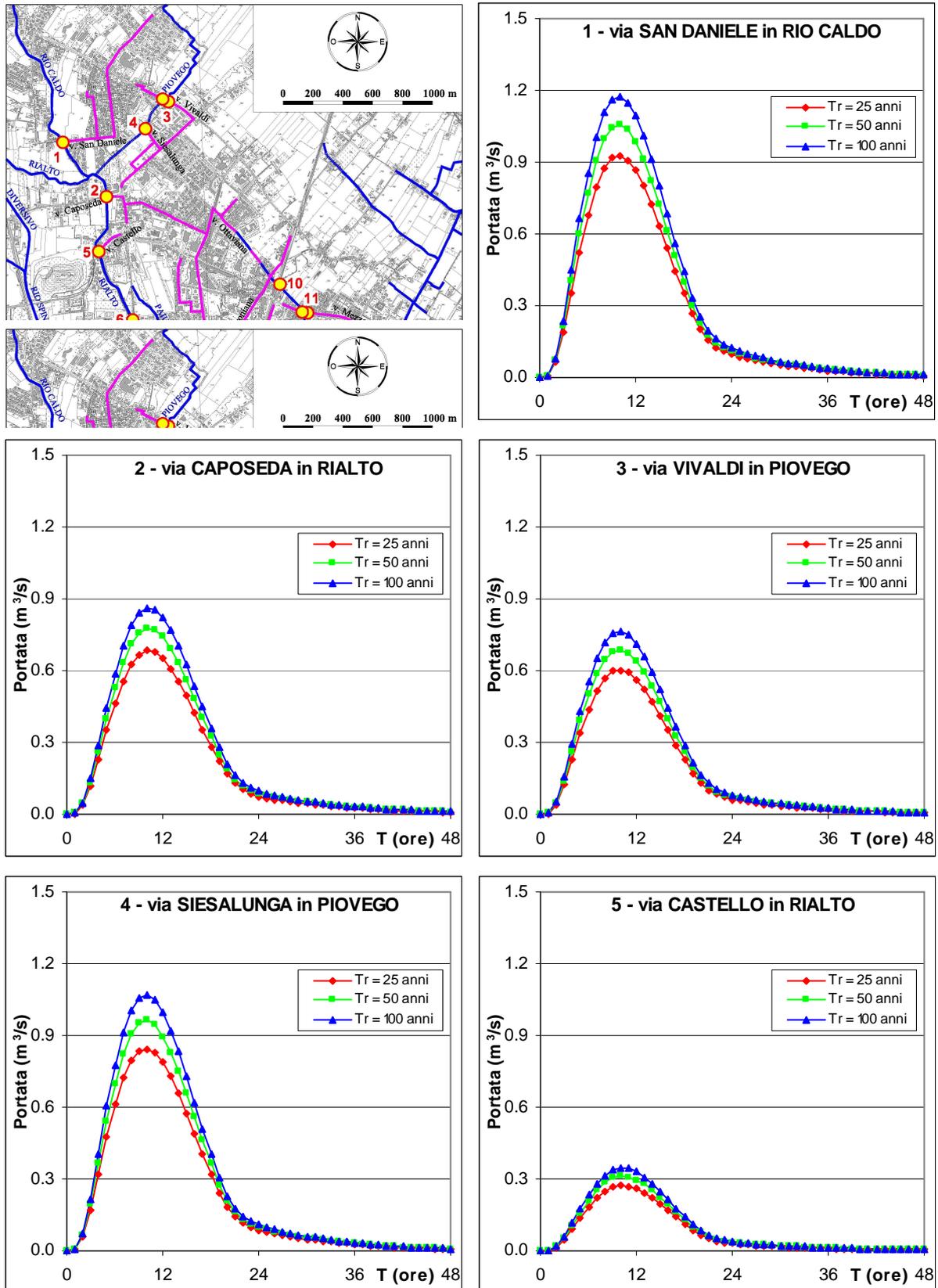


Fig. 3.3 - Portate delle condotte della fognatura principale di Montegrotto Terme, relative agli scarichi 1-2-3-4-5 indicati in corografia, calcolate con il modello idrologico da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore consecutive.

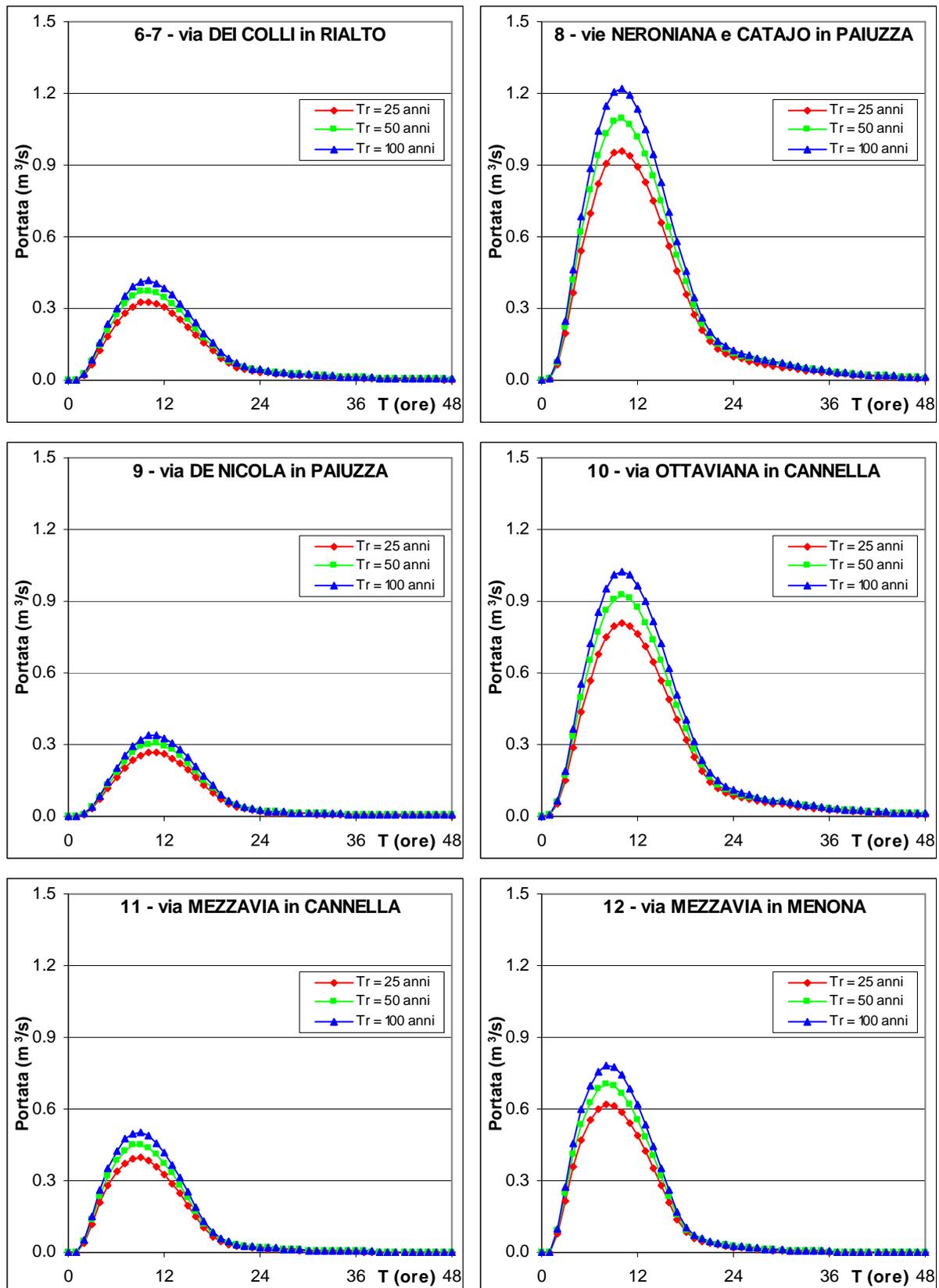


Fig. 3.4 - Portate delle condotte fognarie principali di Montegrotto, relative agli scarichi 6-7-8-9-10-11-12 indicati in corografia di Fig. 3.3, calcolate con il modello idrologico da piogge con T_r di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore consecutive.

Tab. 3.4 - Valori della portata massima e del corrispondente contributo specifico di piena calcolati con il modello idrologico per le aree urbane drenate dalle condotte principali della fognatura di Montegrotto Terme, per eventi generati da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e con durata di 24 ore consecutive.

SCARICO FOGNATURA	Q_{MAX} Tr=25 anni (m ³ /s)	Q_{MAX} Tr=50 anni (m ³ /s)	Q_{MAX} Tr=100 anni (m ³ /s)	SOTTO BACINO	AREA (km ²)	AREA URBANA (%)	AREA URBANA (km ²)	AREA U. TOTALE (hm ²)	U_{MAX} Tr=25 anni (l/s/hm ²)	U_{MAX} Tr=50 anni (l/s/hm ²)	U_{MAX} Tr=100 anni (l/s/hm ²)
1	0.93	1.06	1.18	Rio_Caldo_3	0.40	100.0	0.40	40.00	23.20	26.45	29.38
2	0.68	0.78	0.86	Rialto_int_7	0.60	50.0	0.30	30.00	22.74	25.93	28.80
3	0.60	0.69	0.76	Piovego_2	1.04	25.0	0.26	26.00	23.20	26.45	29.38
4	0.84	0.96	1.07	Piovego_2	1.04	35.0	0.36	36.40	23.20	26.45	29.38
5	0.27	0.31	0.35	Rialto_int_7	0.60	20.0	0.12	12.00	22.74	25.93	28.80
6-7	0.33	0.37	0.41	Paiuzza_01	0.91	15.5	0.14	14.11	23.20	26.45	29.38
8	0.96	1.10	1.22	Paiuzza_01	0.91	45.5	0.41	41.41	23.20	26.45	29.38
9	0.27	0.30	0.34	Paiuzza_02	0.28	50.0	0.14	14.00	19.07	21.74	24.15
10	0.81	0.92	1.03	Rialto_int_7 Paiuzza_01	0.60 0.91	30.0 19.0	0.18 0.17	35.29	22.97	26.18	29.08
11	0.40	0.45	0.50	Cannella_01 Mezzavia	0.22 0.41	30.0 30.0	0.07 0.12	18.90	20.96	23.89	26.54
12	0.62	0.70	0.78	Mezzavia	0.41	70.0	0.29	28.70	21.51	24.53	27.24
TOTALE	6.71	7.65	8.50	-	-	-	-	296.80	22.61	25.77	28.63

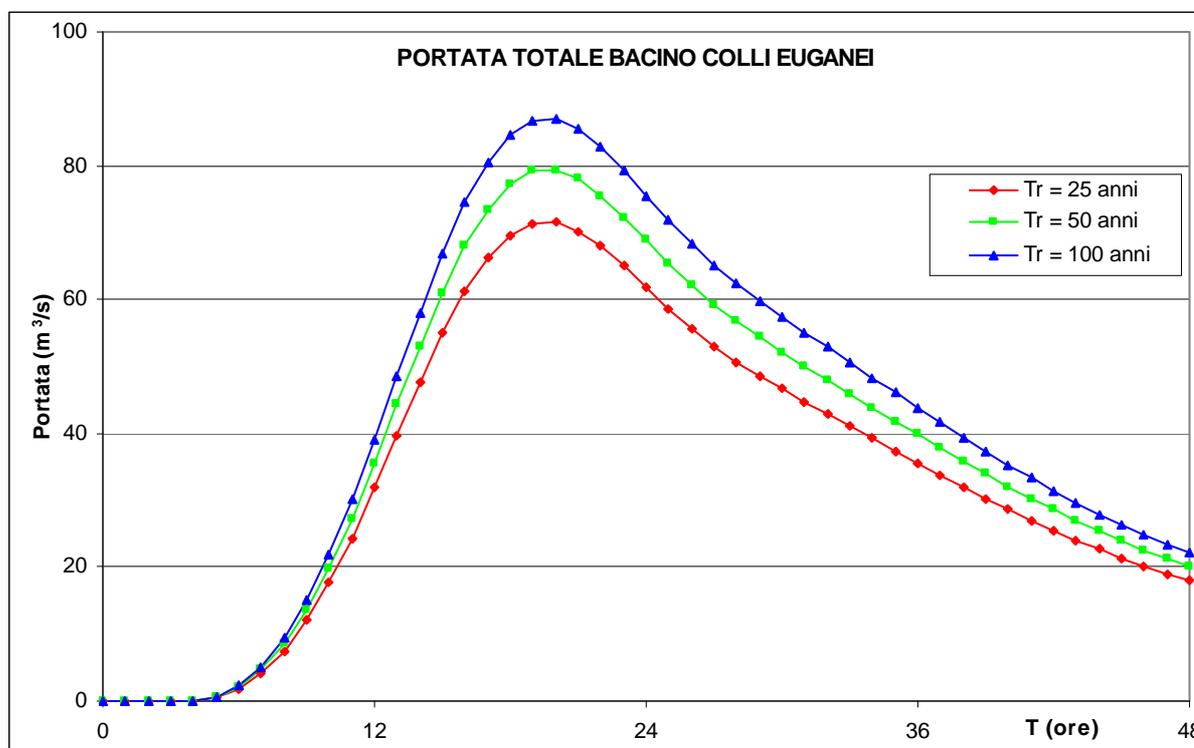


Fig. 3.5 - Portate potenzialmente defluenti nel Rialto alla botte del Pigozzo (sezione di chiusura del bacino idrografico dei Colli Euganei) calcolate con il modello idrologico a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e con durata di 24 ore consecutive.

4. CONDIZIONI DI MASSIMA PIENA NELLE RETI DELLA FOGNATURA E DEI CORSI D'ACQUA CHE DRENANO IL TERRITORIO COMUNALE DI MONTEGROTTO TERME VALUTATE PER LA SITUAZIONE ATTUALE CON UN MODELLO UNI-BIDIMENSIONALE

4.1 Dati cartografici e rilievi topografici utilizzati per la schematizzazione delle reti idrografica e di fognatura e delle aree ad esse adiacenti nella parte indagata del territorio comunale di Montegrotto Terme

Nel capitolo sono sinteticamente descritti gli elementi di carattere cartografico e topografico utilizzati per allestire il modello matematico uni-bidimensionale di propagazione delle piene e di allagamento del territorio.

La possibilità di schematizzare adeguatamente i corsi d'acqua e le condotte di interesse della fognatura, unitamente all'altimetria delle aree circostanti potenzialmente a rischio di esondazione, è legata alla disponibilità di rilievi topografici e di una cartografia aggiornata che descrivano con il necessario dettaglio l'andamento morfologico dei corsi d'acqua, la geometria delle condotte, l'andamento del terreno e la presenza di tutti quegli elementi che controllano la propagazione delle onde di piena nella rete idrografica (paratoie, briglie, salti di fondo, restringimenti di sezione in corrispondenza dei ponti, pozzetti, clapet o porte vinciane di chiusura, ecc).

Nel caso in esame si tratta di elementi raccolti innanzitutto nell'ambito di precedenti indagini condotte sul territorio di Montegrotto, sinteticamente illustrate al capitolo 2. essi riguardano principalmente la documentazione cartografica e topografica reperita presso la Regione Veneto e il Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta.

Tali elementi sono completati dai risultati dei rilievi topografici appositamente eseguiti per le necessità del presente studio a cura del Comune di Montegrotto Terme. In particolare, a supporto delle indagini, la base conoscitiva è stata ampliata con il rilievo dell'intero territorio comunale, eseguito in volo con tecnica laser scanner (LIDAR), e con una campagna di rilievi di dettaglio, eseguiti a terra con strumentazione GPS. Quest'ultima campagna di rilievi ha riguardato le condotte principali della rete della fognatura comunale destinata al deflusso e allo scarico nella rete idrografica superficiale delle acque meteoriche drenate nell'area urbana.

4.1.1 Dati cartografici

L'acquisizione dei supporti cartografici relativi all'area di indagine ha costituito la fase propedeutica per l'allestimento del modello matematico uni-bidimensionale della rete idrografica, della rete della fognatura e del territorio del comune di Montegrotto Terme.

Poiché nella fase di predisposizione del modello matematico si introduce una schematizzazione di dettaglio del territorio indagato con le sue principali caratteristiche morfologiche (alveo dei corsi d'acqua, eventuali zone di golena, rilevati arginali, rilevati ed attraversamenti ferroviari e stradali), per poter modellare al meglio tali caratteristiche si è adottata in generale una scala di restituzione con rapporto minimo di rappresentazione pari a 1:5000, utilizzando in particolare i seguenti documenti:

- alcuni "elementi" della Carta Tecnica Regionale in formato vettoriale della Regione

Veneto (elementi 147023, 147061, 147062, 147063, 147064, 147101, 147104) rappresentati nella scala 1:5000 e georeferenziati secondo le coordinate cartografiche Gauss-Boaga/Roma40 fuso ovest, utilizzati anche come base di supporto per la rappresentazione delle mappe del territorio comunale riportate, ad esempio, in Fig. 3.1, Fig. 3.3, Tavola 2 e Tavola 3;

- alcune “ortofotocarte” del fotopiano IT2003 della Regione Veneto (n. 147020, 147060) rappresentate nella scala 1:10000 e georeferenziate secondo le coordinate cartografiche Gauss-Boaga/Roma40 fuso ovest, rappresentate in Fig. 4.1 con la mappa del territorio del Comune di Montegrotto Terme.

Tutti i documenti cartografici utilizzati sono stati georeferenziati, se non già così rappresentati in origine, secondo le coordinate cartografiche Gauss-Boaga/Roma40 fuso ovest.

4.1.2 Dati topografici

In aggiunta ai dati cartografici descritti, per la preparazione del reticolo di calcolo del modello uni-bidimensionale, si è ritenuto necessario acquisire altri elementi descrittivi dell’area in esame con queste finalità. L’Amministrazione di Montegrotto Terme ha fatto quindi appositamente eseguire dalla Compagnia Generale Ripresaeree S.p.A. di Parma un rilievo in volo dell’intero territorio comunale, con tecnica laser scanner (LIDAR).

In Fig. 4.2 e in Fig. 4.3 è illustrata la mappa del territorio di Montegrotto Terme secondo due diverse rappresentazioni dei dati raccolti con il rilievo LIDAR. In Fig. 4.2, i dati originali rilevati sono rappresentati a luci e ombre e con una scala di colori. Nella rappresentazione a colori della superficie tridimensionale del terreno sono riconoscibili, tra l’altro, le zone collinari, le incisioni sul terreno costituite dagli alvei dei corsi d’acqua e lo sviluppo in elevazione degli edifici e delle alberature. Nella Fig. 4.3 è riportata, invece, la rappresentazione a luci e ombre e a toni di grigio dei dati topografici rilevati 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. Nella Fig. 4.4 è riportato, a titolo esemplificativo, un particolare della mappa a luci e ombre del territorio comunale, secondo le rappresentazioni a scala di colori dei dati originali e a toni di grigio 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 i rilievi collinari, gli edifici, gli alberi, le strade e i corsi d’acqua con i relativi attraversamenti stradali.

Per la schematizzazione dei corsi d’acqua che attraversano il territorio di Montegrotto Terme, si è fatto riferimento ai dati geometrici delle sezioni d’alveo estratte dal rilievo LIDAR in corrispondenza di poco più di 300 posizioni complessive. La traccia di tutte le sezioni utilizzate è riportata, lungo lo sviluppo della rete idrografica, sulla mappa in Fig. 4.5. Poiché la tecnica laser scanner non consente di rilevare le quote in alveo dei canali al di sotto del livello dell’acqua, per definire le quote di fondo degli alvei stessi si è fatto riferimento ai rilievi topografici a suo tempo utilizzati per costruire il reticolo idrografico di calcolo del modello unidimensionale predisposto nell’ambito degli studi condotti, come si è ricordato, nel 1997, nel 2003 e nel 2004. Al riguardo è da evidenziare che il rilievo LIDAR è stato eseguito in concomitanza di un periodo di magra dei deflussi e quindi con tiranti d’acqua ridotti nei canali della rete idrografica. Il confronto tra le quote di fondo fornite dal rilievo LIDAR, che

corrispondono al livello dell'acqua, e quelle di fondo alveo, ricavabili nelle sezioni geometriche sulla base dei rilievi a terra, ha evidenziato scostamenti sostanzialmente modesti. Parimenti modeste sono state conseguentemente le correzioni apportate alle quote del rilievo LIDAR per rappresentare le quote di thalweg del fondo dei canali inseriti nello schema di calcolo. Per tali correzioni sono stati utilizzati sia i rilievi delle sezioni a suo tempo forniti dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta relativamente agli scoli Rialto, Rio Caldo, Rio Spinoso, Canale Diversivo e Menona, sia quelli più recentemente messi a disposizione dal Consorzio stesso per il solo scolo Fossamala.

Con riferimento alla rete della fognatura destinata alla raccolta delle acque meteoriche, l'ente incaricato della gestione, Energia Territorio Risorse Ambientali ETRA S.p.A. di Cittadella, ha fornito il solo tracciato delle condotte. Per questo, il Comune di Montegrotto Terme ha fatto eseguire nel luglio 2008, a cura dell'ing. Filippo Venturini di Venezia, un rilievo integrativo dei dati disponibili.

Nell'ambito di tale attività sono stati ispezionati e rilevati, con strumentazione GPS, oltre 80 pozzetti, disposti lungo il tracciato delle condotte principali considerate nello schema di calcolo, le cui caratteristiche altimetriche e geometriche sono state inserite nel modello uni-bidimensionale per descrivere al meglio il funzionamento della rete di fognatura.

La posizione delle condotte e dei pozzetti ispezionati è riportata nella mappa di Fig. 4.5.

Utilizzando, infine, il rilievo della fognatura appositamente eseguito, la documentazione fotografica ripresa nel corso di alcuni sopralluoghi condotti dallo scrivente e le informazioni raccolte presso i tecnici comunali si è potuto caratterizzare con un accettabile dettaglio la posizione, la geometria e le caratteristiche degli scarichi della fognatura considerata nel calcolo. Si tratta di 16 scarichi ubicati in 12 diversi nodi idraulici posizionati sulla mappa di Fig. 4.5. Per alcuni di essi, in Fig. 4.6 è riportata la documentazione fotografica, che evidenzia le diversità tra gli scarichi stessi, costituiti da tubazioni circolari o scatolari, presidiate o non presidiate da clapet di chiusura per impedire, nel caso di livelli idrometrici elevati nel ricettore, il riflusso delle acque dal corso d'acqua di recapito verso la rete fognaria.

4.2 Costruzione del reticolo di calcolo del modello matematico

Sulla base dell'insieme dei dati raccolti e soprattutto di quelli appositamente rilevati, si è proceduto alla schematizzazione dei corsi d'acqua, di alcune delle condotte principali della fognatura nell'area in esame e del relativo territorio, in modo da poterne simulare il comportamento idraulico in caso di piena.

Complessivamente l'estensione del territorio del Comune di Montegrotto Terme considerato nello schema di calcolo ha una superficie pari a poco meno di 12 km². Il territorio modellato è stato schematizzato mediante elementi unidimensionali, per quanto riguarda i corsi d'acqua e le condotte delle reti di fognatura, ed elementi bidimensionali, per tutte le aree adiacenti potenzialmente allagabili.

In particolare, per descrivere la geometria delle sezioni dei corsi d'acqua e delle condotte fognarie sono stati utilizzati, con riferimento alla descrizione del modello riportata in Appendice al paragrafo 7.3, elementi unidimensionali di tipo "canale", per le singole tratte schematizzate con sezioni di forma qualsiasi o trapezoidale, per gli alvei, e sezioni circolari o rettangolari, per le condotte chiuse. Una serie di elementi unidimensionali "speciali" sono stati utilizzati per rappresentare il funzionamento di eventuali punti o tratti singolari (salti di fondo, clapet di chiusura, arginature dei canali in elevazione sui terreni adiacenti, ecc.).

Il territorio esterno potenzialmente esposto a pericolo di inondazione è stato schematizzato con elementi bidimensionali sulla base dell'altimetria del terreno dedotta dal rilievo LIDAR. La schematizzazione di tali aree è stata estesa a un territorio il cui contorno è stato individuato o in corrispondenza di limiti fisici, quali le pendici delle zone collinari del territorio del Comune di Montegrotto Terme ed il rilevato arginale del canale Battaglia, o in corrispondenza del limite amministrativo del Comune (vedi Fig. 4.1).

Come si può osservare nella Tavola 3, in cui è illustrato il reticolo di calcolo risultante dalla modellazione, 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 inseriti nelle zone di territorio aperto, mentre elementi di dimensioni minori sono stati utilizzati per descrivere le zone caratterizzate da maggiori variazioni altimetriche, quali le fasce adiacenti alle sponde dei corsi d'acqua nei tratti in cui questi non sono arginati. Un maggior dettaglio della schematizzazione è riconoscibile anche in corrispondenza delle principali vie e strade che attraversano il territorio modellato e del rilevato della ferrovia Bologna-Venezia. In Fig. 4.7 è rappresentata con una mappa a scala di colori l'altimetria del reticolo di calcolo messo a punto, che permette di cogliere in modo significativo i caratteri generali dell'altimetria stessa.

Complessivamente, lo schema che, come si è detto, copre una superficie di quasi 12 km², è composto da 23841 nodi, 45977 elementi bidimensionali, 1041 elementi unidimensionali di tipo "canale" per i corsi d'acqua, 430 elementi unidimensionali di tipo "canale" per descrivere le condotte della fognatura e 201 tronchi speciali unidimensionali per simulare il funzionamento della rete in alcuni punti singolari in corrispondenza di manufatti particolari. Tali sono il manufatto posto all'incile del Canale Diversivo del Rialto nel Rio Spinoso e gli scarichi della fognatura nella rete idrografica superficiale o gli elementi speciali inseriti per rappresentare eventuali fenomeni di tracimazione delle arginature del Rialto, del Menona, del Cannella e del Paiuzza che, nei rispettivi tratti terminali, sono sopraelevate rispetto al piano di campagna del territorio attraversato.

4.3 Identificazione dei parametri del modello

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

L'identificazione dei valori più opportuni da assumere per il coefficiente di scabrezza a stretto rigore di termini dovrebbe avvenire mediante operazioni di "taratura" del modello, basate sul riscontro, attraverso il calcolo, di situazioni realmente osservate per assegnate portate fluenti.

In mancanza di dati sperimentali specifici si è operato scegliendo per tale parametro i valori adottati nella simulazione di situazioni simili a quella esaminata. Per la parte unidimensionale del reticolo di calcolo, che simula il funzionamento della rete idrografica in attraversamento al territorio di Montegrotto Terme e della fognatura comunale, si è pertanto fatto riferimento agli schemi proposti negli studi precedentemente ricordati, verificando con alcune simulazioni preliminari la corrispondenza dei risultati calcolati con quelli allora ottenuti.

Per effettuare la verifica, sono state riprodotte con lo schema di calcolo uni-bidimensionale le ipotesi entro le quali opera il modello unidimensionale, alzando la quota degli elementi che fiancheggiano i corsi d'acqua, per renderne le sponde non tracimabili, ed operando in modo da non consentire l'eventuale fuoriuscita d'acqua nel caso di funzionamento in pressione della rete fognaria e da intercludere i collegamenti con i canali della rete minore e con le aree esterne potenzialmente allagabili.

Confrontando le quote idrometriche calcolate con i due modelli, per eventi generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 25 anni e durata di 24 ore, lungo il Rialto, il Canale Diversivo ed il Menona si sono riscontrate per le quote idrometriche differenze contenute, al massimo, entro una decina di centimetri.

Sulla base dei riscontri effettuati, per il coefficiente di scabrezza delle varie parti della rete unidimensionale si sono adottati valori secondo Gauckler-Strickler pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli alvei dei corsi d'acqua a sezione aperta, a $20 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per le zone golenali presenti lungo i corsi d'acqua stessi e a $50 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i tratti tombinati degli scoli e per le condotte della rete di fognatura.

Per il territorio adiacente alla rete idrografica naturale e artificiale modellata, potenzialmente allagabile, si sono invece assunti valori dei coefficienti di scabrezza ricavati sulla base di analoghe esperienze, pari a $35 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per gli elementi che comprendono le aree urbanizzate e "asfaltate" del territorio (strade, ferrovie, ecc.) e a $15 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per la restante parte del territorio (zone agricole o non urbanizzate).

Per quanto riguarda il valore del parametro Y_{lim} , che, come illustrato in Appendice al paragrafo 7.3, quantifica, nel modello, il ruolo nel fenomeno di allagamento delle asperità e irregolarità locali, è stato assunto un valore uniforme in tutto il dominio pari a 0.30 m, che corrisponde al valore adottato in precedenti analoghe esperienze. Va comunque osservato che il valore di questo parametro controlla essenzialmente la velocità di propagazione del fronte di allagamento sul terreno inizialmente asciutto. Dati gli scopi dell'indagine che mira ad individuare l'estensione delle aree allagate più che la velocità con cui esse vengono raggiunte dalle acque, non si è ritenuto opportuno condurre alcuna analisi specifica per valutare con maggior accuratezza tale parametro o per analizzare gli effetti di una sua eventuale variazione, che non sono comunque di grande rilievo entro un significativo campo di valori.

4.4 Condizioni al contorno

Per simulare la propagazione delle piene nel reticolo idrografico considerato e sul territorio circostante le condizioni al contorno richieste dal modello uni-bidimensionale consistono nell'andamento delle portate immesse da monte nei corsi d'acqua e nelle condotte della fognatura e nell'andamento dei livelli idrometrici o in una scala dei deflussi nelle sezioni di chiusura, a valle.

Relativamente alle portate si sono considerati gli idrogrammi di piena calcolati con il modello idrologico afflussi-deflussi, i cui risultati sono sinteticamente illustrati nel paragrafo 3.3.

Le indagini condotte con il modello idrodinamico uni-bidimensionale sono state perciò condotte considerando eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni, che appaiono più che appropriati per la situazione in esame, e da precipitazioni di durata pari a 24 ore consecutive. Tali eventi di piena, secondo i risultati delle simulazioni eseguite con il modello idrodinamico unidimensionale nell'ambito degli studi illustrati al capitolo 2, sono quelli che risultano critici per il bacino complessivo dei Colli Euganei.

Le portate in ingresso alla rete dei canali e delle condotte simulate sono state distribuite su di un certo numero di nodi secondo lo schema riportato nella Tavola 3. In pratica, le portate calcolate sono state ripartite tra i nodi del reticolo di calcolo introducendole nei punti in cui, sulla base della cartografia, delle foto aeree e delle ricognizioni eseguite, si localizzano gli innesti degli scoli minori, le immissioni delle portate degli interbacini e le immissioni degli apporti in fognatura. Lo schema così ottenuto comprende 88 nodi con una condizione di portata assegnata, per simulare gli apporti drenati dalle reti nell'ambito del territorio del Comune di Montegrotto Terme, e ulteriori 6 nodi, sul bordo del reticolo di calcolo, in cui sono assegnati gli idrogrammi di piena generati all'esterno del territorio comunale, ma che lo attraversano defluendo lungo i principali corsi d'acqua della rete idrografica, nello specifico gli scoli Rialto, Rio Spinoso, Fossamala, Rio Caldo, Piovego e Menona (vedi Tavola 3 e Fig. 4.5).

Le condizioni al contorno sono completate dai dati sull'andamento del livello nel nodo terminale della rete, posto nello scolo Rialto a monte della botte a sifone del Pigozzo, sottopassante il canale Battaglia (vedi Tavola 3). In mancanza di dati specifici, nel nodo posto a monte del manufatto è stata assegnata una condizione interna, assegnando una scala delle portate che tiene conto dei risultati ottenuti nel corso degli studi condotti nel 1997, nel 2003 e nel 2004, facendo corrispondere alla portata di 60 m³/s una quota idrometrica di 8.00 m s.m. e al valore di portata di 70 m³/s dell'evento generato dalle precipitazioni di durata pari a 24 ore consecutive, caratterizzate da un tempo di ritorno di circa 25 anni (vedi Fig. 3.5), la quota di 8.30 m s.m.. Alcune simulazioni preliminari hanno consentito di valutare l'effetto di eventuali variazioni di livello imposte nel nodo a valle del reticolo di calcolo sulla propagazione della piena e quindi sui risultati ottenuti con il modello nelle diverse zone del territorio indagato. Si tratta di effetti contenuti che si esauriscono per le massime portate nel tratto terminale della rete idrografica simulata.

Relativamente al funzionamento dei clapet di chiusura che controllano, in parte, gli scarichi della fognatura nella rete idrografica superficiale (vedi Fig. 4.5 e Fig. 4.6), tali dispositivi sono a loro volta trattati nello schema di calcolo come condizioni al contorno interne, attivandoli in modo automatico nel corso delle simulazioni condotte con il modello. Appositi tronchi speciali simulano il reale funzionamento dei dispositivi, intercludendo il flusso nel tratto terminale della condotta della fognatura quando i livelli idrometrici nel canale ricevente superano i livelli piezometrici nel collettore e riattivandolo, invece, quando la quota allo scarico è inferiore a quella piezometrica calcolata nella tubazione.

Tutte le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto vario, assumendo come ipotesi che le portate affluenti alle reti idrografica e della fognatura dai rispettivi bacini fossero quelle corrispondenti agli idrogrammi calcolati con il modello idrologico. In questa ipotesi, per gli eventi caratterizzati da diversi tempi di ritorno, 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 nell'alveo dei corsi d'acqua, sia nelle condotte della fognatura, sia nelle aree esterne allagate dalle acque.

I risultati più significativi delle simulazioni modellistiche sono stati sintetizzati in mappe di allagamento del territorio, rappresentandoli a scala di colori per le quote idrometriche massime.

4.5 Individuazione delle condizioni iniziali di moto permanente

La prima simulazione effettuata con il modello uni-bidimensionale ha avuto lo scopo di valutare lo stato del sistema idrografico considerato (scolo Rialto e affluenti e fognatura principale di Montegrotto Terme) in condizioni stazionarie, nell'ipotesi in cui, in corrispondenza delle sezioni di monte, sia immessa una portata costante di modesta entità e, nella sezione di valle, sia prefissato un livello idrometrico di riferimento. In tale modo si possono individuare le condizioni "di regime", che rappresentano lo stato iniziale del sistema per le simulazioni della propagazione a moto vario delle piene.

Relativamente ai valori della portata, si è ipotizzato di immettere nei nodi di monte e intermedi degli scoli e delle condotte considerati portate costanti, ma ovviamente variabili per i diversi corsi d'acqua e per i collettori. Complessivamente alla sezione terminale dello scolo Rialto, a monte della nuova botte a sifone del Pigozzo, le condizioni assunte determinano una portata in condizioni di regime di magra pari a 1.12 m³/s.

Questa simulazione non riveste alcun interesse dal punto di vista della individuazione di eventuali situazioni di criticità per il sistema idrografico poiché non ne individua alcuna. Essa permette tuttavia di verificare le altezze idrometriche che si stabiliscono nei diversi tratti degli scoli e dei collettori al passaggio di portate ridotte, evidenziando i tratti negli alvei dei corsi d'acqua che, invasando parzialmente i volumi delle piene in arrivo da monte, possono comportare una riduzione delle portate massime.

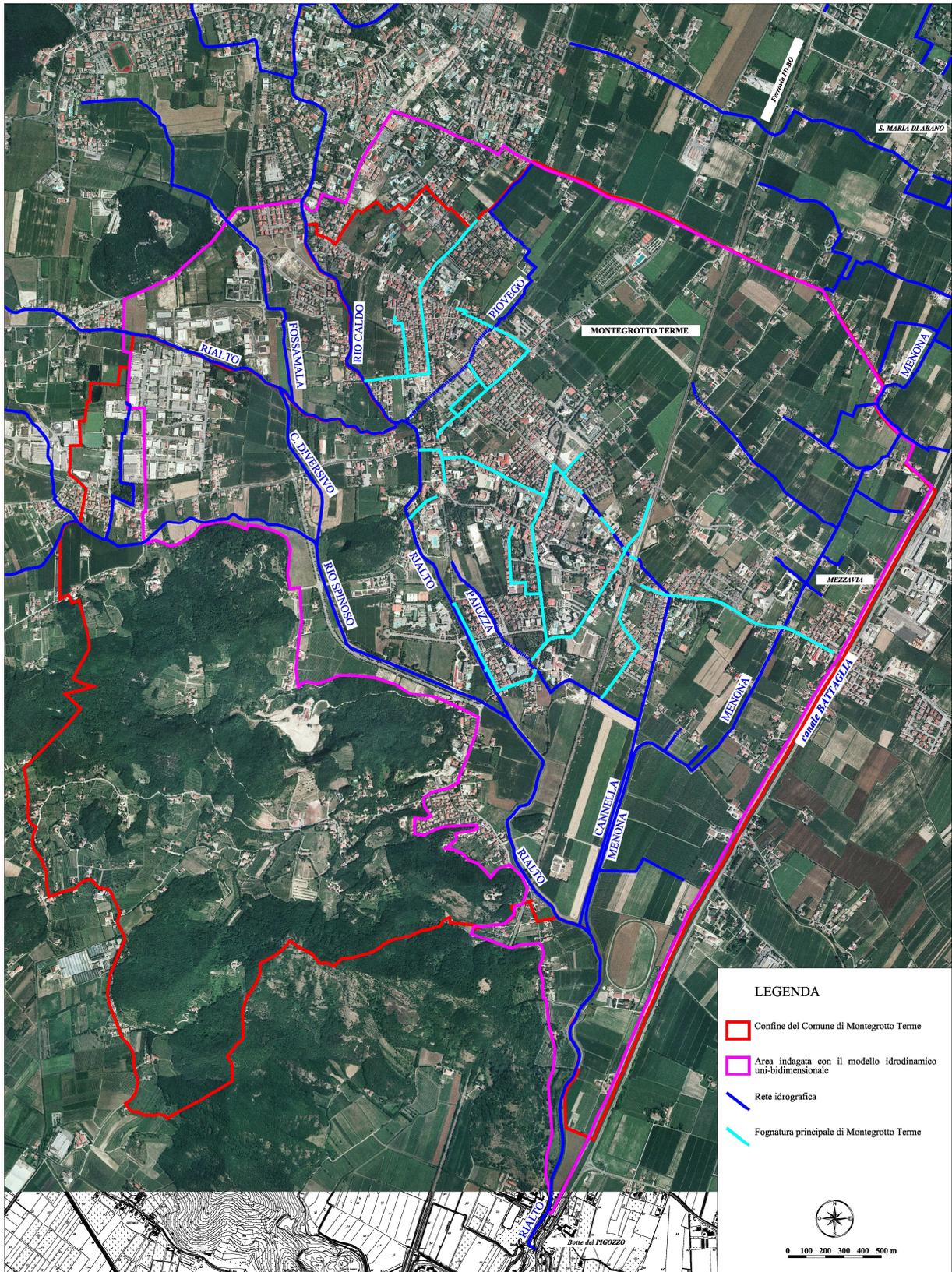


Fig. 4.1 - Mappa del territorio del Comune di Montegrotto Terme nell'ortofoto regionale (ortofoto IT2003), con la traccia delle reti idrografica e della fognatura nell'area indagata con il modello uni-bidimensionale.

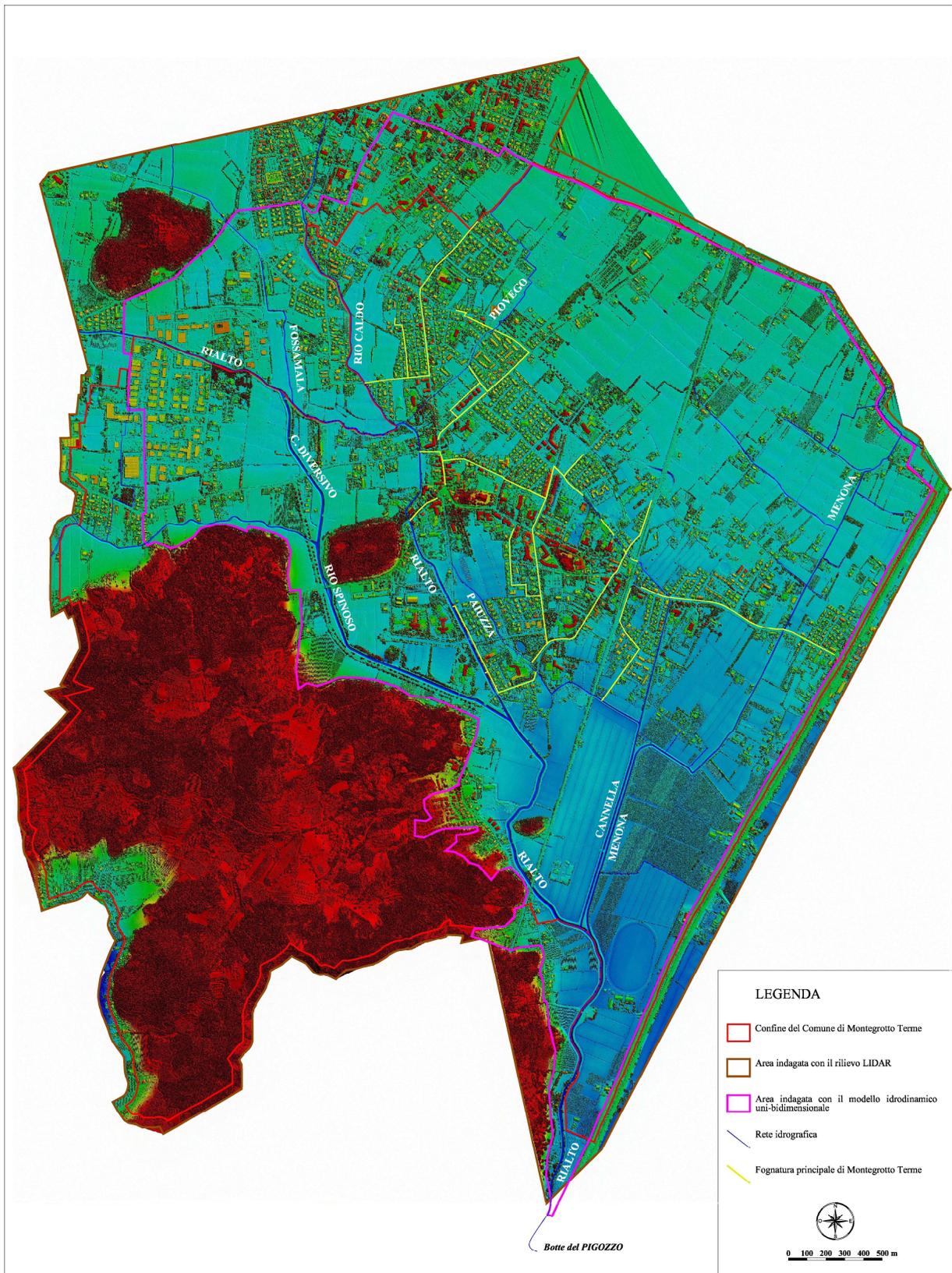


Fig. 4.2 - Mappa del territorio del Comune di Montegrotto Terme nella rappresentazione a luci e ombre e a scala di colori dei dati originali raccolti con il rilievo eseguito con la tecnica LIDAR, con la traccia delle reti idrografica e della fognatura nell'area indagata con il modello uni-bidimensionale.

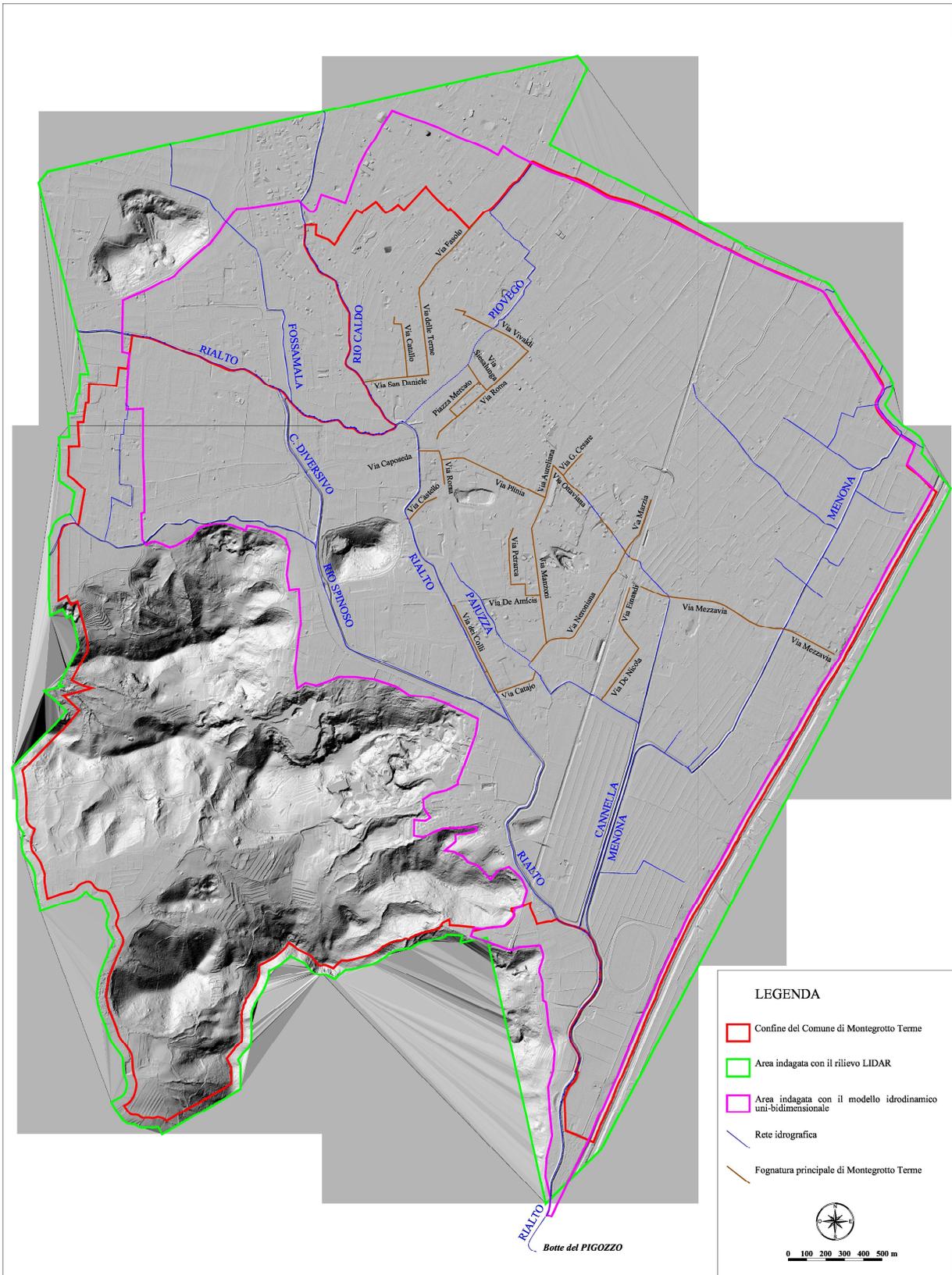


Fig. 4.3 - Mappa del territorio del Comune di Montegrotto Terme nella rappresentazione a luci e ombre e a toni di grigio dei dati raccolti con il rilievo eseguito con la tecnica LIDAR, con la traccia delle reti idrografica e della fognatura nell'area indagata con il modello uni-bidimensionale.

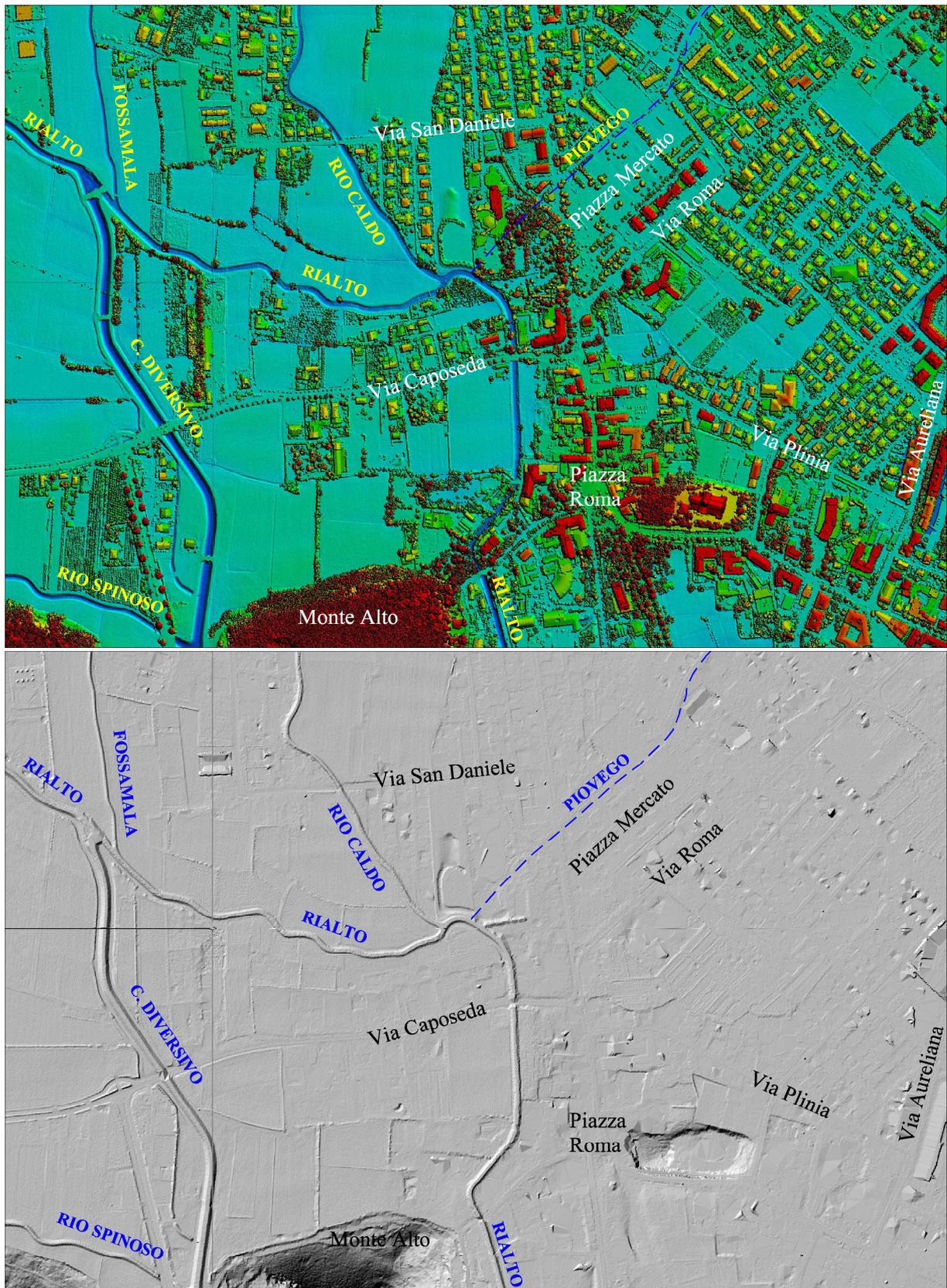


Fig. 4.4 - Particolare delle restituzioni a luci e ombre del rilievo eseguito con la tecnica LIDAR, secondo le rappresentazioni a scala di colori dei dati originali (in alto) e a toni di grigio dei dati elaborati (in basso).

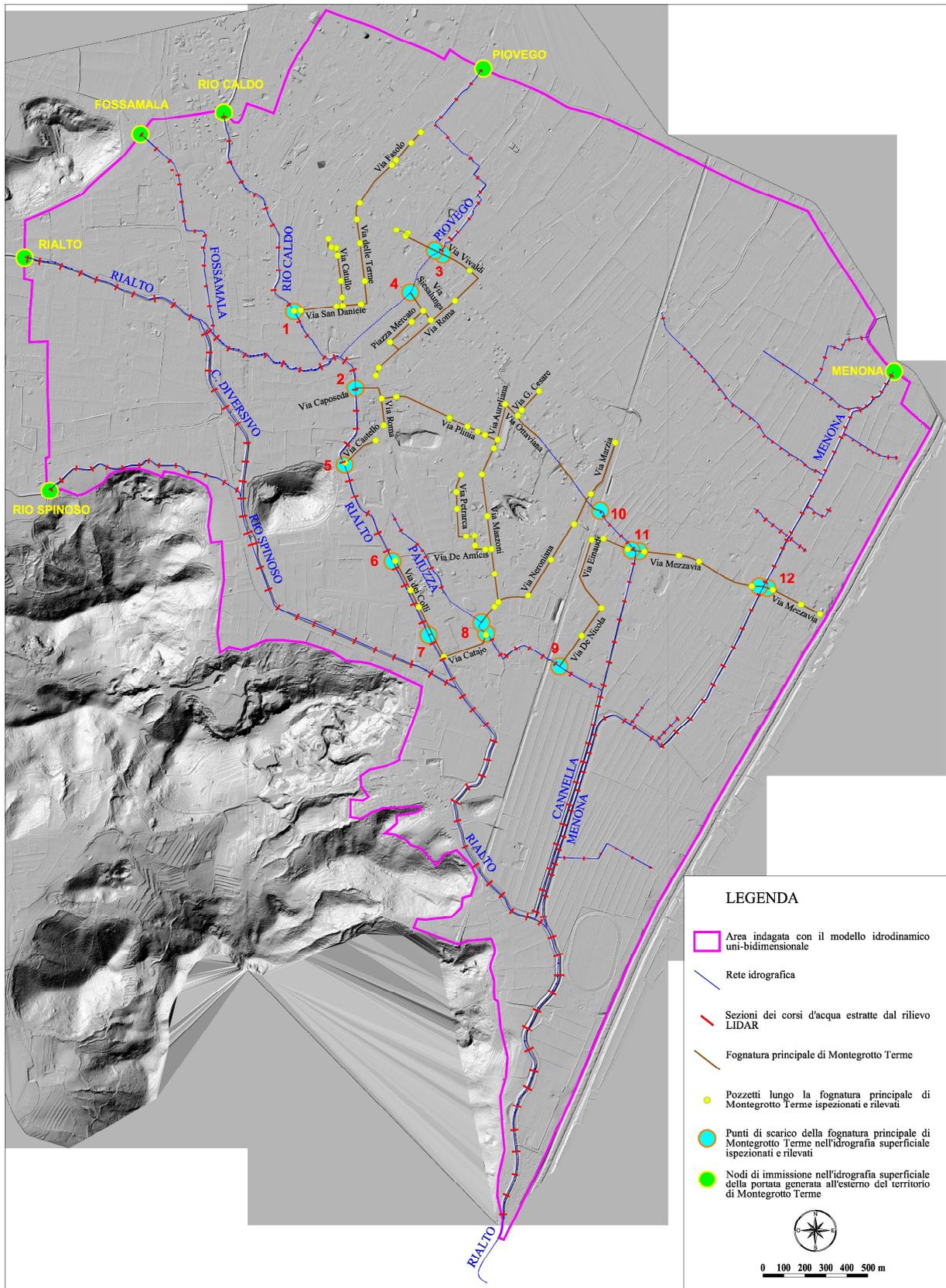


Fig. 4.5 - Area indagata con il modello uni-bidimensionale con la posizione delle sezioni dei corsi d'acqua estratte dal rilievo eseguito con la tecnica LIDAR, dei pozzetti e degli scarichi della fognatura ispezionati e rilevati con GPS.



Fig. 4.6 - Fotografie di alcuni scarichi della rete fognaria principale di Montegrotto Terme, la cui posizione (n. 1, 5, 6, 9, 11, 12) è evidenziata in giallo sulla corografia.

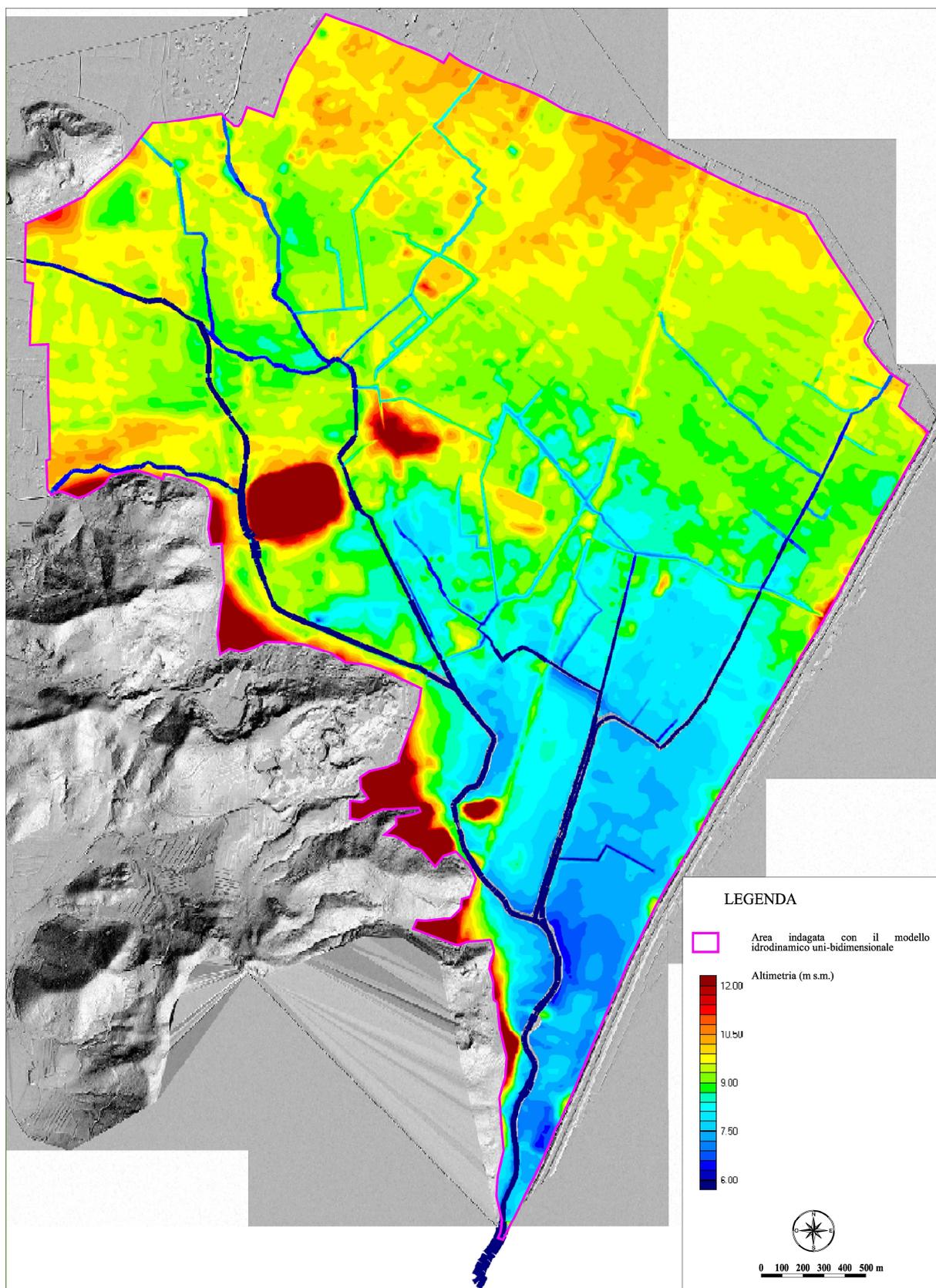


Fig. 4.7 - Schematizzazione del territorio indagato con il modello uni-bidimensionale: altimetria realizzata con i dati cartografici e topografici (rilievo LIDAR) disponibili.

4.6 Risultati del calcolo

Per valutare le condizioni idrauliche più gravose per il territorio modellato si è fatto riferimento agli eventi di piena generati da precipitazioni caratterizzate da tempi di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni. Il tempo di ritorno di 25 anni era stato assunto anche nei precedenti studi realizzati per conto del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta. Accanto a tale evento, tenuto conto degli scopi delle indagini, si è ritenuto di esaminare condizioni di piena più gravose come sono quelle con probabilità di accadimento pari a una volta ogni 50 anni o con tempo di ritorno di 100 anni.

Nel passato, le opere della bonifica erano dimensionate adottando per gli eventi critici valori alquanto più ridotti del tempo di ritorno, pari a 5, 10 anni. Prova ne sia che nel bacino dei Colli Euganei situazioni di crisi idraulica, con allagamento di aree più o meno estese nei territori di Abano Terme e Montegrotto Terme, si sono più volte verificate, prima dell'intervento della diversione dello scolo Rialto nel Rio Spinoso, per eventi di piena con tempi di ritorno ridotti. Ad esempio, all'evento dei giorni 9-11 dicembre 1996, con un valore della portata al colmo pari a poco più di 40 m³/s, sarebbe attribuibile un tempo di ritorno pari a 4-5 anni, mentre gli eventi meteorici del febbraio-marzo 2004 sarebbero stati caratterizzati da tempi di ritorno di 2-3 anni, per le piogge con durata da 1 ora fino a 2 giorni consecutivi, e di circa 20 anni, per le durate più prolungate di 3, 4 e 5 giorni consecutivi.

Considerare da parte del Consorzio di Bonifica valori del tempo di ritorno di 25 anni per il dimensionamento delle opere recentemente eseguite, come il citato by-pass dello scolo Rialto, rappresenta una importante quanto obbligata assunzione di consapevolezza, che dovrebbe peraltro costituire solo un passaggio verso un ulteriore auspicabile adeguamento delle opere idrauliche, finalizzato a fronteggiare eventi di piena con tempi di ritorno ancor più elevati. Tanto più in un territorio densamente abitato come quello in esame, per il quale eventi eccezionali potrebbero comunque verificarsi nel futuro colpendo un'area esposta potenzialmente a gravi danni. Il problema è da porsi se si considera l'attuale apparente evoluzione degli eventi meteorici verso frequenze di accadimento più rare e con caratteristiche di intensità sempre più in aumento.

Sono queste le ragioni per cui con il modello idraulico uni-bidimensionale si sono condotte simulazioni facendo riferimento anche ad eventi di piena originati da precipitazioni della durata di 24 ore con tempo di ritorno di 50 e 100 anni, assumendo come condizioni al contorno gli idrogrammi calcolati con il modello idrologico. Le simulazioni sono state estese per un periodo di tempo di 48 ore, considerando un intervallo temporale di calcolo pari a 1 s che garantisce al calcolo stesso la dovuta accuratezza.

Riguardo alle caratteristiche geometriche degli alvei dei corsi d'acqua e delle condotte della fognatura, si è esaminata innanzitutto la situazione attuale, considerando attiva la diversione del Rialto nel tratto terminale del Rio Spinoso. Per evidenziare gli effetti di questo intervento si è però condotta anche una simulazione considerando la situazione preesistente alla realizzazione del nuovo canale, per valutare, soprattutto, le conseguenze idrauliche dovute alla costruzione dell'opera sul territorio di Montegrotto Terme.

Per tutte le simulazioni condotte in condizioni di moto vario, si sono valutati gli andamenti del livello idrometrico in tutti i nodi del reticolo di calcolo e della portata fluente in tutti gli elementi unidimensionali e bidimensionali del reticolo stesso, seguendo quindi l'evoluzione dello stato idrometrico e degli altri parametri del campo di moto sia nell'alveo dei corsi d'acqua, sia nei collettori fognari, sia nelle aree esterne allagate dalle acque. Per fornire una visione complessiva dei risultati ottenuti, infine, si sono rappresentati in mappe di allagamento opportune, a scala di colori, l'inviluppo dei tiranti d'acqua massimi sul terreno.

Per completezza descrittiva, oltre alle mappe di allagamento, si è scelto di rappresentare in una serie di figure l'andamento delle portate fluenti in alcune sezioni significative dei principali scoli indagati, quali il Rialto, il canale Diversivo, il Rio Caldo, il Rio Spinoso, il canale Cannella ed il canale Menona.

Nelle mappe delle aree allagate (Tavola 4, Tavola 5 e Tavola 6 rispettivamente per gli eventi con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni) sono rappresentati anche i valori del franco idraulico valutati, per ciascun tratto degli scoli della rete idrografica superficiale, come differenza tra la quota delle sommità arginali sinistra e destra e il massimo livello idrometrico risultante dalle simulazioni condotte.

4.6.1 Massime altezze d'acqua calcolate per un evento di piena generato dalle precipitazioni con tempo di ritorno di 25 anni

Con riferimento all'evento generato dalle precipitazioni con minore tempo di ritorno tra quelle considerate ($T_r=25$ anni), i relativi risultati, sintetizzati nella Tavola 4 e in Fig. 4.8, evidenziano che anche in tali condizioni si verificherebbero secondo il calcolo esondazioni in numerosi punti della rete idrografica, con allagamenti di aree estese del territorio comunale. In linea di massima sono interessate dal fenomeno le superfici più depresse tra quelle attraversate dai corsi d'acqua.

In generale, i fenomeni di esondazione sono determinati dal sormonto delle sommità delle sponde o delle arginature dei corsi d'acqua da parte delle acque che, provenendo da monte, fluiscono negli alvei degli scoli per portarsi verso la sezione terminale del Rialto, alla botte del Pigozzo.

Nella parte settentrionale del territorio comunale si segnalano allagamenti con tiranti d'acqua di 40-50 cm in corrispondenza della confluenza degli scoli Fossamala e Rio Caldo con il Rialto per tracimazione delle acque dove le sponde dei corsi d'acqua sono più basse. Le altezze di sormonto sono in alcuni punti superiori a 30 cm, come risulta dalla rappresentazione del franco idraulico riportata, a scala di colori, in Tavola 4.

Nelle ipotesi assunte le superfici allagate sono meno estese di quelle che potrebbero nella realtà verificarsi per un evento di piena di gravità confrontabile con quella della piena considerata. È probabile, infatti, che i tratti d'argine sormontati possano essere interessati dall'apertura di falle per cedimento delle arginature non dimensionate in genere per far fronte a fenomeni di sormonto da parte delle acque.

Nell'area cittadina drenata dai collettori della fognatura inseriti nel reticolo di calcolo sono evidenziate fuoriuscite d'acqua dalla rete, in genere puntuali e localizzate, dovute in parte a dimensioni non adeguate delle condotte e in parte al funzionamento dei clapet di chiusura degli scarichi, che intercludono il deflusso delle acque drenate al passaggio del colmo della piena nel ricettore.

Zone di allagamento significative sono segnalate anche nella parte mediana del Rialto, in sinistra, ma soprattutto in destra, nel tratto a monte della confluenza con il Rio Spinoso. Si tratta di fenomeni dovuti al ricordato sormonto delle arginature (con altezze massime inferiori a 30 cm) in corrispondenza di alcune posizioni in cui le quote in sommità dei rilevati sembrano essere più ribassate. Nella stessa zona, un'area estesa di allagamento è segnalata dal calcolo anche lungo il tratto iniziale dello scolo Paiuzza, dove il tirante d'acqua che tracima sulle sponde arriva a 50-60 cm.

Più verso sud estese aree di allagamento si riscontrano nel territorio compreso tra lo scolo Rialto e la linea ferroviaria Padova-Bologna e tra questa e gli alvei degli scoli Paiuzza e Cannella. Tali allagamenti, peraltro, sono determinati, non tanto dalle acque proprie dei due scoli, quanto, piuttosto, dalle acque del Rialto che, per effetto di rigurgito, risalgono lungo l'alveo del Cannella. Il fenomeno determina tracimazioni, a monte, in corrispondenza dei tratti dove le sponde e le arginature dei due affluenti sono più depresse. Questi tratti sono posizionati, per entrambi, a monte della comune confluenza. È interessato in particolare, il tratto terminale dello scolo Paiuzza, a cavallo della ferrovia, dove l'altezza d'acqua di sormonto arriva localmente anche a 1 m.

Nella situazione esaminata, ampie zone di allagamento si rilevano anche in adiacenza allo scolo Menona, nella parte orientale del territorio comunale. Si tratta di allagamenti che, all'ingresso del canale nel territorio comunale e nel suo tratto mediano, fino a località Mezzavia, sono dovuti a fuoriuscite d'acqua dallo scolo stesso e dai suoi affluenti minori per fenomeni di esondazione laterale al di sopra delle sponde, con altezze massime di sormonto che arrivano fino a circa 50 cm. Più a valle, gli allagamenti sono determinati dal riflusso delle acque che fluiscono nel tratto terminale arginato del Menona, espandendosi sui terreni adiacenti, caratterizzati da quote altimetriche soggiacenti alle quote di piena del corso d'acqua, attraverso alcuni scoli (due in destra e uno in sinistra tra quelli rappresentati nello schema di calcolo) la cui immissione con tubazioni di vario diametro non è presidiata da organi di intercettazione per impedire il fenomeno.

Secondo i risultati del calcolo (Tavola 4) il tratto terminale del Rialto, a monte della botte a sifone del Pigozzo, sarebbe caratterizzato da sormonti arginali e delle sponde in destra idrografica con tiranti superiori a 30 cm. Si tratta, tuttavia, di fenomeni che interessano una fascia di terreno relativamente ristretta lungo il percorso del canale, da considerare come area golenale, essendo compresa tra l'alveo vero e proprio e le pendici dei Colli Euganei, alle quali il corso del Rialto sostanzialmente si addossa.

A completamento dell'indagine condotta con il modello idrodinamico per l'evento di piena generato da precipitazioni con tempo di ritorno di 25 anni si è considerata, infine, la situazione preesistente alla recente realizzazione del canale diversivo del Rialto nel tratto terminale del Rio Spinoso. In tale situazione, a differenza di quanto accade attualmente, tutta la portata in arrivo dal bacino del Rialto fluisce attraverso l'abitato di Montegrotto Terme lungo il vecchio alveo del corso d'acqua.

I risultati ottenuti per le due situazioni, con e senza il canale diversivo, sono riportati, a confronto, in Fig. 4.9.

Per l'evento di piena considerato, le aree allagate nella parte nord del territorio comunale, in adiacenza al Rialto, al Fossamala, al Rio Caldo e al Piovego, e nella zona drenata dalla fognatura sono ovviamente molto più estese nella situazione senza il canale diversivo, interessando in buona parte le aree urbanizzate del Comune.

L'intervento del canale di by-pass del Rialto determina una significativa riduzione dei livelli idrometrici nel tratto del Rialto sotteso dalla diversione e riduce conseguentemente le condizioni di pericolosità idraulica nelle aree settentrionali del Comune, le più densamente abitate, anche se non le elimina del tutto. Nel contempo si aggravano le condizioni della zona meridionale del territorio comunale, formata peraltro da aree ancora a destinazione prevalentemente agricola, sulle quali le acque in eccesso rispetto alla capacità di portata dei corsi d'acqua esondano e si invasano temporaneamente, per poi defluire ad evento di piena esaurito.

4.6.2 Massime altezze d'acqua calcolate per eventi di piena generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 50 anni e di 100 anni

Se si considerano eventi di piena generati da precipitazioni meno probabili come sono quelle con tempo di ritorno di 50 anni e di 100 anni, i risultati delle simulazioni evidenziano un notevole incremento in estensione e in altezza dei fenomeni di allagamento (Tavola 5 e Fig. 4.10, Tavola 6 e Fig. 4.11).

Rispetto all'evento conseguente a piogge con tempo di ritorno di 25 anni, aumentano inoltre i tratti interessati dal sormonto e dalla tracimazione.

Nella parte settentrionale del territorio comunale, una tra le più densamente abitate di Montegrotto Terme, le aree di allagamento più importanti sono ancora quelle poste in adiacenza agli scoli Rialto, Fossamala, Rio Caldo e Piovego e lungo le condotte di fognatura che scaricano i propri apporti negli stessi scoli. Rispetto alle condizioni idrometriche critiche evidenziate in Fig. 4.8 per l'evento di piena venticinquennale, una nuova area di inondazione molto estesa, che nel caso precedente era invece molto ridotta, è segnalata per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni (Fig. 4.11) nel territorio compreso tra il Rialto, il canale Diversivo e il Rio Spinoso. Si tratta di allagamenti, che interessano in gran parte terreni di campagna, ma anche terreni già edificati, causati da tracimazioni della sponda destra del Rialto a monte della sezione da cui si origina il nuovo canale Diversivo. Le altezze d'acqua di sormonto sulla sponda destra sono di un qualche rilievo e arrivano localmente a valori di poco inferiori a 30 cm.

Nella parte centrale del territorio comunale aumentano ovviamente gli effetti delle tracimazioni delle arginature del Rialto e delle sponde del tratto iniziale del Paiuzza. In questo caso, peraltro, la conseguenza principale risulta essere, piuttosto che l'incremento, pure significativo, dell'estensione delle aree già segnalate come soggette ad allagamento anche per l'evento di piena di più frequente accadimento tra quelli esaminati, l'incremento delle altezze d'acqua sulle aree stesse. In particolare, per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni sono piuttosto ampie le aree inondate con tiranti superiori al metro.

Sempre con riferimento ai risultati della simulazione per un evento di piena generato da precipitazioni con tempo di ritorno di 100 anni, si evidenzia (Fig. 4.11) che quasi tutto il territorio comunale in sinistra dello scolo Rialto, posto ad est della linea ferroviaria e fino al canale Battaglia, risulta essere inondato in tali condizioni estreme. Rispetto alla mappatura delle aree di allagamento determinata per l'evento venticinquennale, si incrementano notevolmente le aree allagate con altezze massime di sommersione superiori al metro, per effetto soprattutto dei maggiori volumi d'acqua in gioco.

4.6.3 Idrogrammi di portata calcolati per eventi di piena generati da precipitazioni con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni

Le situazioni di allagamento descritte nei precedenti paragrafi 4.6.1 e 4.6.2 per gli eventi di piena con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni trovano ovviamente riscontro negli andamenti delle portate calcolate in corrispondenza di alcune sezioni significative degli scoli della rete idrografica, come il Rio Caldo, il canale Diversivo, il Rio Spinoso, lo scolo Cannella, lo scolo Menona ed il Rialto. Per le sezioni la cui posizione è indicata in Fig. 4.12, tali andamenti sono riportati in Fig. 4.13 e in Fig. 4.14.

Se, ad esempio, si esaminano gli idrogrammi delle portate calcolate con il modello idrodinamico per la sezione del Rio Caldo posta alla confluenza con il vecchio ramo del Rialto, si rilevano andamenti sul colmo piuttosto schiacciati per i maggiori tra i tempi di ritorno considerati (Fig. 4.13), con portate massime che variano tra 10 m³/s e 11.5 m³/s. Si tratta di valori inferiori rispetto a quelli massimi degli idrogrammi immessi nel nodo di monte dello stesso corso d'acqua (11.5 m³/s e 15 m³/s in Fig. 3.2), che danno conto delle fuoriuscite d'acqua che si verificano lungo il suo percorso.

Analogamente, gli andamenti delle portate calcolate nella sezione terminale del canale Diversivo (Fig. 4.13), se confrontati con quelli immessi nella sezione di monte dello scolo Rialto (Fig. 3.2), documentano, attraverso l'appiattimento e la riduzione dei valori massimi delle portate al colmo (da circa 36 m³/s in Fig. 3.2 a circa 32 m³/s in Fig. 4.13), la presenza dei fenomeni di esondazione segnalati in destra idrografica, in particolare per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni, a monte della sezione iniziale del Diversivo stesso.

Lungo la direttrice costituita dal canale Diversivo, dal Rio Spinoso e dallo scolo Rialto l'incremento dei valori massimi della portata a partire dalla sezione terminale del Diversivo stesso fino alla sezione di confluenza del Rialto con il Menona (Fig. 4.13) è dovuto agli apporti provenienti, prima, dal Rio Spinoso e, più a valle, dal vecchio ramo del Rialto, che raccoglie le portate del Fossamala, del Rio Caldo, del Piovego e di buona parte dell'abitato di Montegrotto attraverso gli scarichi della fognatura. Le portate al colmo aumentano, procedendo lungo il percorso verso le sezioni di valle, da circa 32 m³/s a circa 50 m³/s. È rilevabile anche una tendenza degli idrogrammi di piena ad appiattirsi soprattutto nella fase di passaggio del colmo.

Nel nodo idraulico di confluenza del Rialto con gli scoli Cannella e Menona, le acque in arrivo dal Rialto defluiscono, nella prima fase dell'evento, oltre che verso valle nel tratto terminale del canale, anche lungo il corso del Cannella stesso, con valori della portata che arrivano a circa 8 m³/s (Fig. 4.13), aggravando i fenomeni di esondazione e di allagamento segnalati lungo lo scolo ed il suo affluente Paiuzza.

È da evidenziare poi che gli andamenti delle portate calcolate nella sezione terminale dello scolo Menona (Fig. 4.13) danno conto, chiaramente, dell'importante effetto di rigurgito che i livelli idrometrici di piena nel Rialto determinano sugli affluenti nella parte meridionale del bacino. Gli idrogrammi della portata in arrivo lungo il Menona, modificati per effetto della propagazione, sono caratterizzati, infatti, da valori massimi di circa 13 m³/s, alquanto inferiori a quelli immessi nel nodo di monte dello scolo, pari a 16÷20 m³/s (Fig. 3.2), se si fa riferimento agli eventi di piena con tempo di ritorno variabile tra 25 anni e 100 anni.

Nella sezione terminale dello scolo Rialto, a monte della botte a sifone del Pigozzo, infine, la portata massima calcolata per gli eventi di piena considerati arriva a poco più di 50 m³/s (Fig. 4.14) in tutti i casi esaminati. Si tratta di valori decisamente inferiori rispetto a quelli attesi sulla base del calcolo condotto con il modello idrologico in assenza di esondazioni e di allagamenti, pari a poco più di 70 m³/s per l'evento venticinquennale e a poco meno di 90 m³/s per quello centenario (Fig. 3.5).

Gli idrogrammi calcolati per questa sezione con il modello idrodinamico risentono ovviamente in modo decisivo degli effetti della propagazione e soprattutto dei consistenti fenomeni di esondazione dai corsi d'acqua, documentati dalle mappe degli allagamenti relative alle diverse situazioni di piena esaminate.

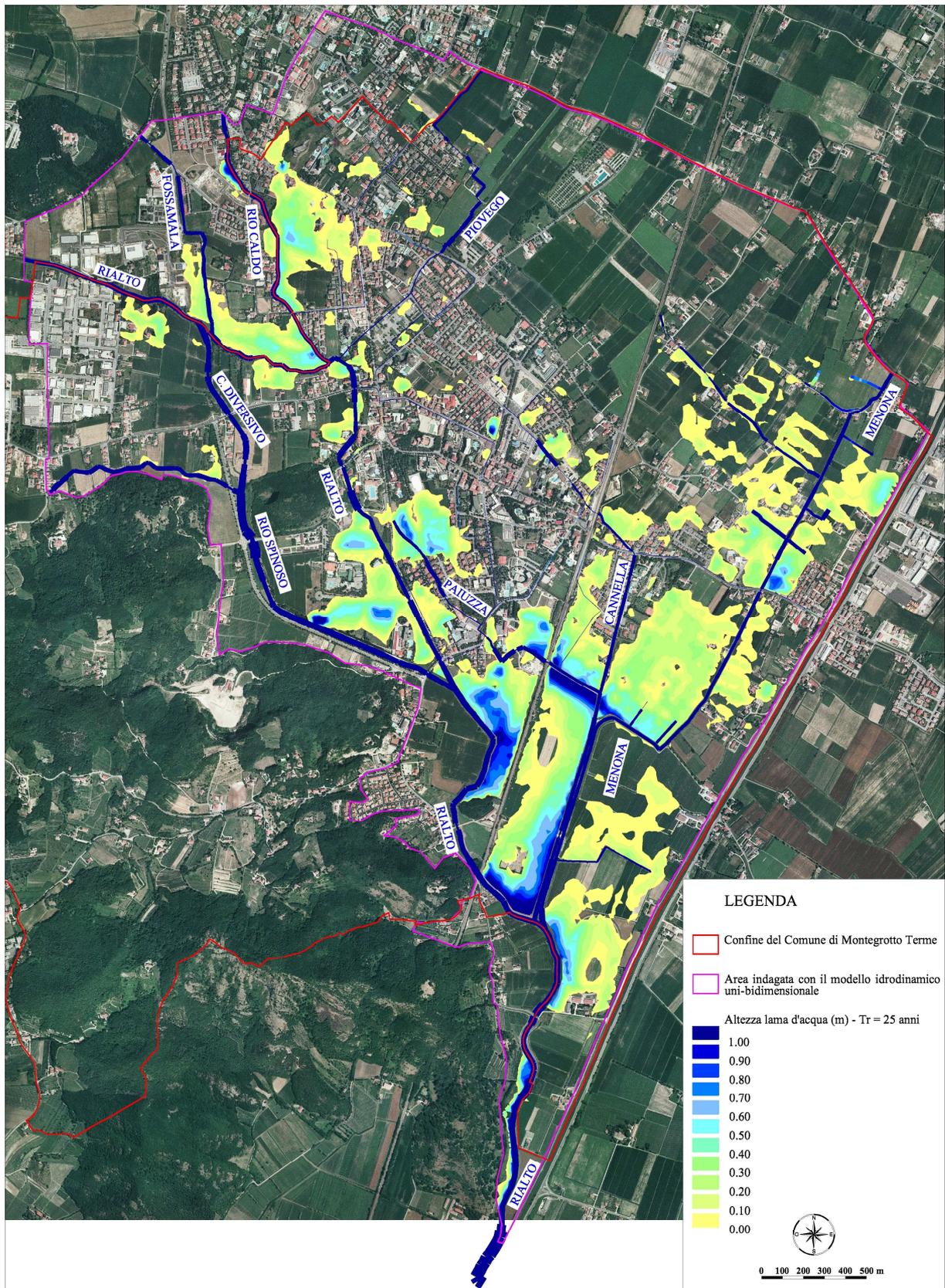


Fig. 4.8 - Rappresentazione, sull'ortofoto regionale (ortofoto IT2003), dell'inviluppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno di 25 anni e durata della pioggia di 24 ore consecutive.

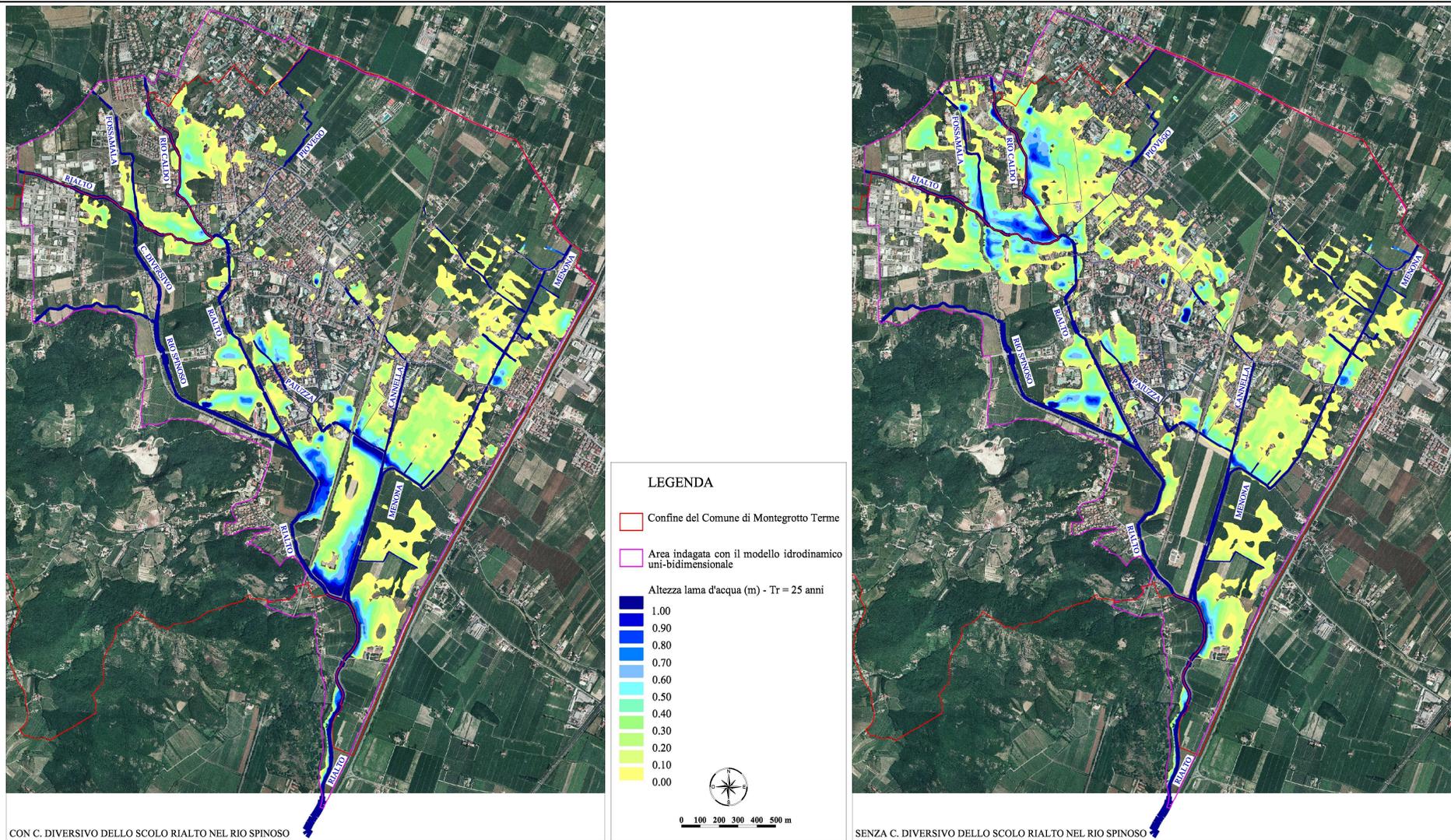


Fig. 4.9 - Rappresentazione, sull'ortofoto regionale (ortofoto IT2003), dell'involuppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno di 25 anni e durata della pioggia di 24 ore consecutive, nelle situazioni con e senza il canale Diversivo dello scolo Rialto nel tratto terminale del Rio Spinoso.

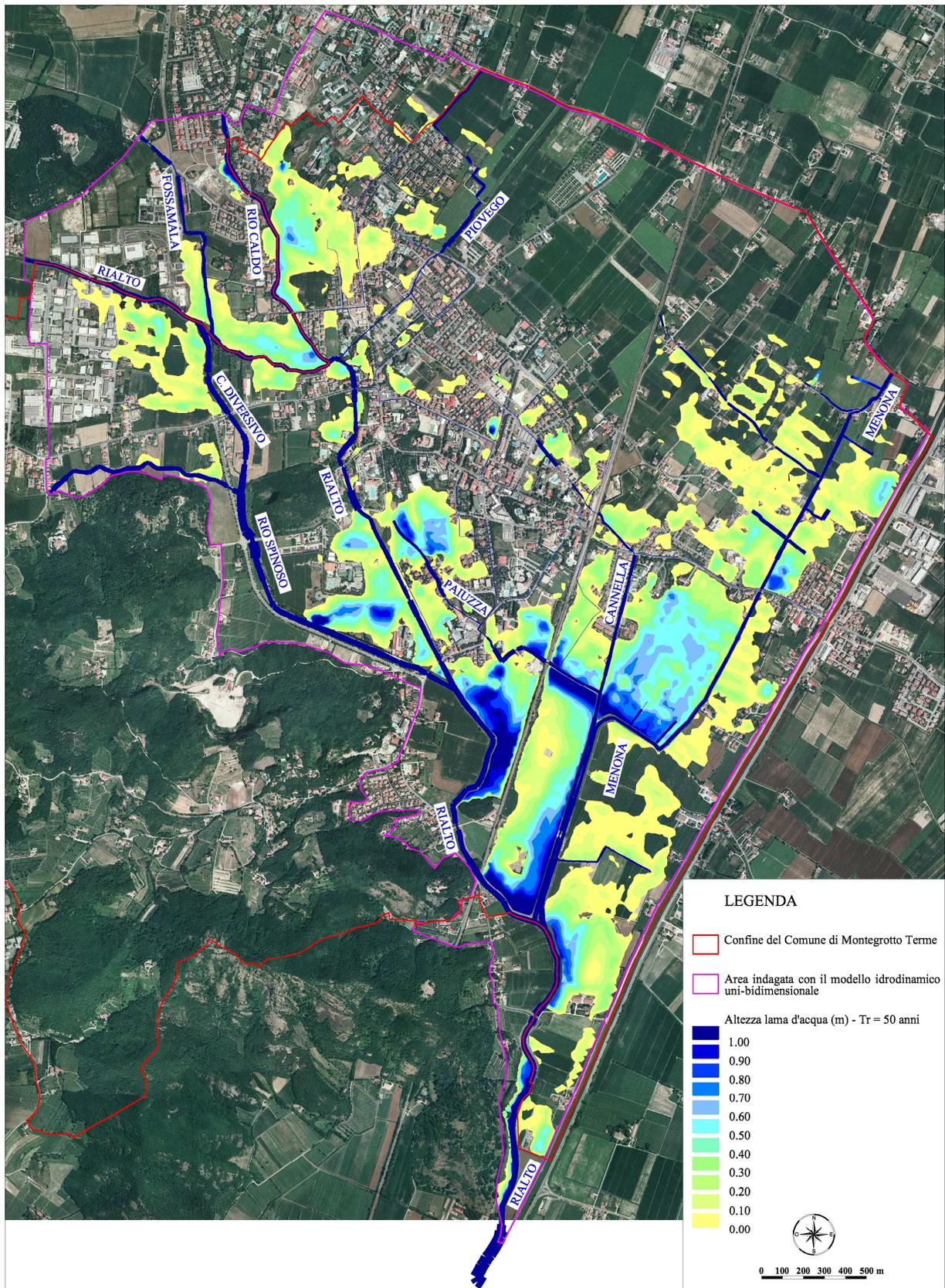


Fig. 4.10 - Rappresentazione, sull'ortofoto regionale (ortofoto IT2003), dell'inviluppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni e durata della pioggia di 24 ore consecutive.

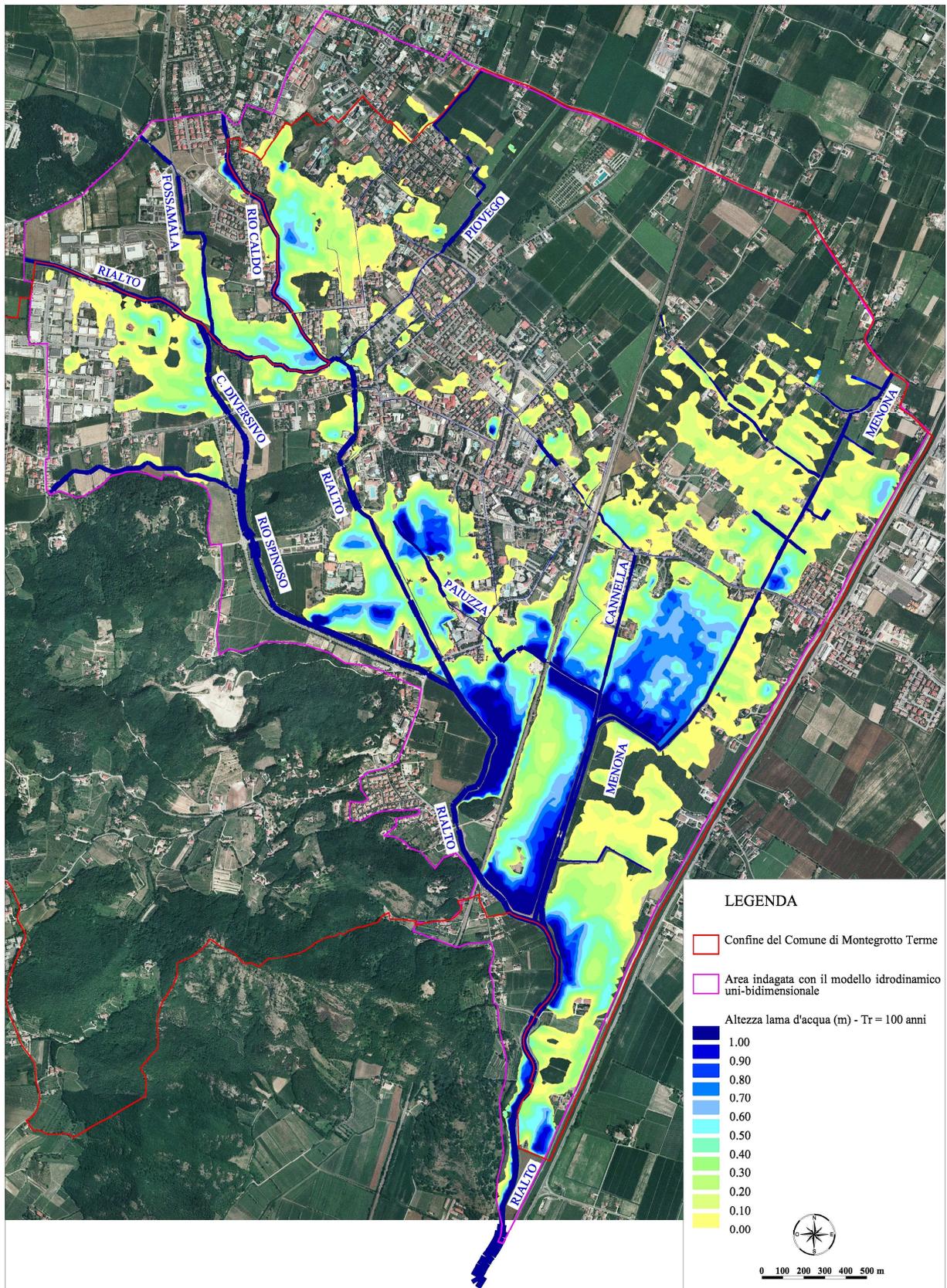


Fig. 4.11 - Rappresentazione, sull'ortofoto regionale (ortofoto IT2003), dell'inviluppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con tempo di ritorno di 100 anni e durata della pioggia di 24 ore consecutive.

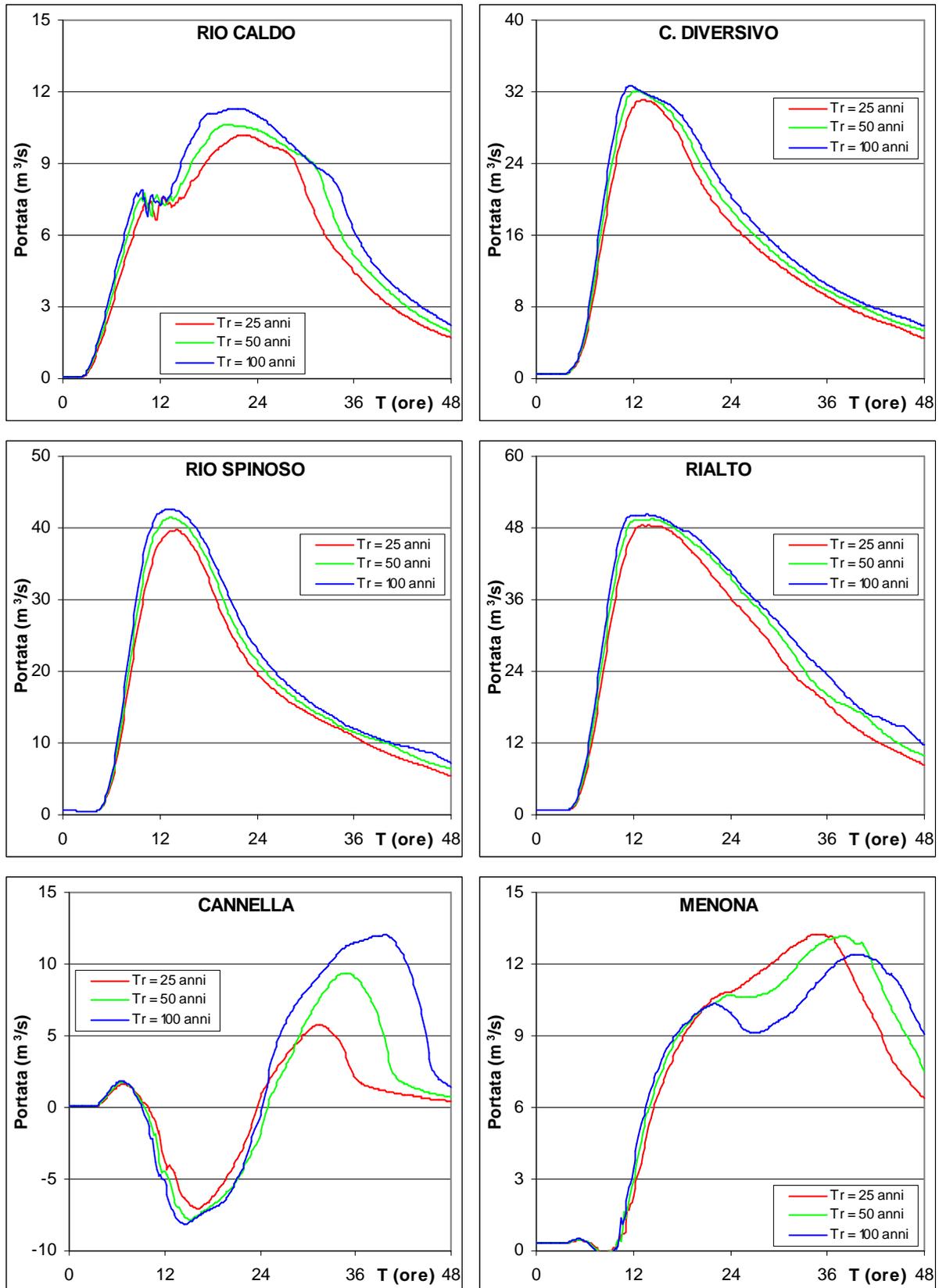


Fig. 4.13 - Portate calcolate con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nelle sezioni dei corsi d'acqua indicate nella mappa di Fig. 4.12, per eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore consecutive.

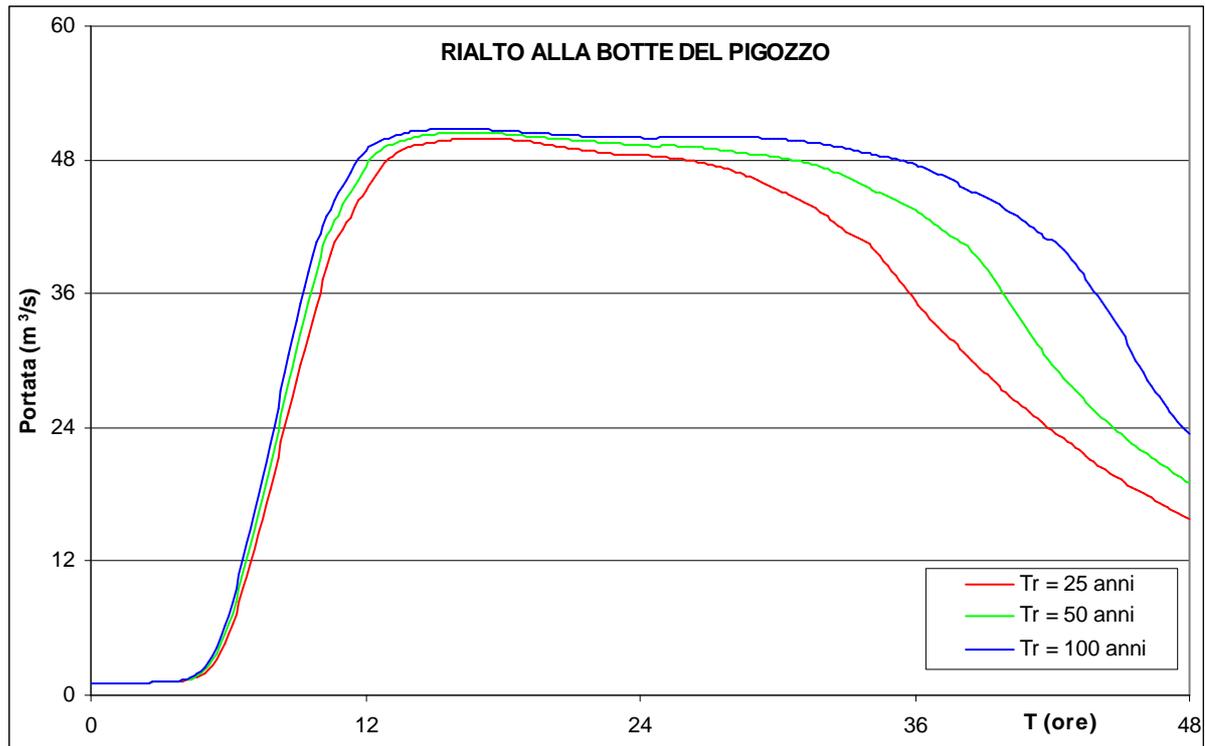


Fig. 4.14 - Portate calcolate con il modello idrodinamico uni-bidimensionale nel Rialto a monte della botte a sifone del Pigozzo (vedi Fig. 4.12), per eventi di piena generati da piogge con tempo di ritorno di 25, 50 e 100 anni e durata di 24 ore consecutive.

5. IPOTESI DI PROGETTO SULLA RETE DEI CORSI D'ACQUA CHE DRENA IL BACINO IDROGRAFICO DEI COLLI EUGANEI

5.1 Descrizione delle ipotesi di intervento

I risultati del calcolo condotto con un modello idrodinamico uni-bidimensionale sul territorio del Comune di Montegrotto Terme hanno evidenziato per lo stato attuale della rete idrografica che lo attraversa e per la rete fognaria che lo drena presentano nello stato attuale problemi idraulici riconducibili sostanzialmente all'insufficienza delle sezioni di deflusso dei canali principali e al rigurgito lungo gli affluenti e gli scarichi della fognatura da parte dei livelli idrometrici massimi che si stabiliscono nella rete stessa in occasione degli eventi di piena con più ridotta frequenza di accadimento.

I fenomeni di allagamento che interessano la zona settentrionale del territorio comunale sono dovuti principalmente alle sezioni insufficienti dei corsi d'acqua, per valori delle portate in arrivo da monte come quelle valutate nel presente studio (tempo di ritorno variabile tra 25 e 100 anni per le precipitazioni). Nella parte meridionale del territorio, lungo i tratti terminali degli scoli Cannella, Paiuzza e Menona, gli allagamenti sono invece provocati, nelle condizioni di piena considerate, soprattutto dal rigurgito dei livelli idrometrici che si stabiliscono nel Rialto, che risultano alquanto superiori alle quote dei terreni posti in adiacenza alla rete idrografica.

Per valutare la possibilità di ridurre, se non di annullare, le situazioni di criticità idraulica, evidenziate nel paragrafo 4.6 e sintetizzate nella Tavola 4, nella Tavola 5 e nella Tavola 6, si sono esaminati gli effetti di alcuni possibili interventi.

Le verifiche degli effetti dei provvedimenti esaminati sul regime dei deflussi sono stati valutati con simulazioni condotte con lo stesso modello matematico idrodinamico uni-bidimensionale utilizzato per le indagini sullo stato attuale, modificandone in modo opportuno il reticolo di calcolo.

Le tipologie degli interventi hanno riguardato il rialzo delle quote delle sponde e degli argini dei corsi d'acqua in alcuni tratti e la realizzazione di invasi entro cui immagazzinare temporaneamente le portate di origine meteorica in eccesso provenienti dall'esterno del territorio comunale che, fluendo lungo i corsi d'acqua consorziali, sono in molti casi la causa delle criticità evidenziate.

In particolare, si sono considerate le seguenti ipotesi di intervento:

- P1 realizzare una sopraelevazione delle quote arginali e delle sponde dei corsi d'acqua consorziali nei tratti che, secondo i calcoli, sono soggetti a tracimazione nella situazione attuale. Si tratta di rialzi generalmente variabili da 40 cm a 100 cm, con valori massimi di circa 150 cm, limitatamente al tratto terminale dello scolo Paiuzza;
- P2 presidiare, in aggiunta agli interventi di riposizionamento in quota di argini e di sponde, le sezioni di sbocco nello scolo Menona di alcuni affluenti minori e di alcuni scarichi della fognatura con opere di intercettazione tipo clapet, per impedire che le acque fluenti nel tratto terminale arginato del canale possano rifluire verso i terreni adiacenti soggiacenti alle quote di piena del Menona stesso;
- LAM realizzare a monte delle sezioni di superamento del confine comunale alcuni bacini di invaso per trattenere temporaneamente i colmi delle piene in arrivo dall'esterno del territorio di Montegrotto Terme attraverso i corsi d'acqua consorziali, prevedendo una loro regolazione a portata costante in modo da ottenere, a parità di volume invasato, la

massima laminazione possibile.

Per i quattro corsi d'acqua inseriti nello schema del modello idrodinamico caratterizzati dai maggiori apporti, vale a dire il Rialto, il Rio Caldo, il Rio Spinoso e lo scolo Menona, nelle simulazioni si è fatto riferimento agli idrogrammi di piena calcolati con il modello idrologico a partire da precipitazioni con tempo di ritorno di 50 anni e durata di 24 ore consecutive (Fig. 5.1). Ipotizzando di far defluire verso valle una portata massima pari a circa i 2/3 del valore al colmo dell'idrogramma di piena in arrivo da ciascun corso d'acqua, si è calcolato il volume di invaso necessario per conseguire questo obiettivo. Ne deriva che per il Rialto sarebbe necessario disporre all'esterno del territorio comunale di un invaso utile minimo pari a circa 315000 m³, capace di ridurre la portata massima nel canale da poco più di 35 m³/s a circa 23 m³/s (vedi Fig. 5.1). Lungo il tratto iniziale del Rio Caldo si dovrebbe poter invasare un volume d'acqua di almeno 170000 m³, per ridurre la portata massima fluente da 13 m³/s a circa 8.5 m³/s (Fig. 5.1). Per il Rio Spinoso sarebbe, invece, sufficiente ricavare un invaso di circa 65000 m³, per ridurre la portata massima residua in alveo da circa 8.5 m³/s a circa 5.5 m³/s (Fig. 5.1). Infine, lungo lo scolo Menona, all'esterno del territorio comunale, si dovrebbe ricercare un'area per invasare un volume d'acqua pari ad almeno 275000 m³ per ottenere una riduzione della portata massima in ingresso al confine comunale dagli attuali 17.5 m³/s a 11.5 m³/s (Fig. 5.1).

In definitiva per l'evento di piena considerato con tempo di ritorno di 50 anni, il volume di invaso complessivo stimato per i quattro corsi d'acqua dovrebbe essere almeno pari a circa 850000 m³ (Fig. 5.1).

5.2 Simulazioni di eventi di piena generati da precipitazioni di durata pari a 24 ore consecutive e con tempo di ritorno di 50 anni nelle ipotesi di intervento considerate

Per valutare gli effetti degli interventi proposti si sono eseguite con il modello idrodinamico uni-bidimensionale, una serie di simulazioni modificando di volta in volta il reticolo di calcolo, in modo da inserire le opere previste da ciascun provvedimento.

L'efficacia degli interventi suggeriti è significativamente illustrata dal confronto comparativo delle mappe che illustrano l'involuppo delle aree allagate nel territorio comunale in base al calcolo. Al riguardo, con riferimento alle massime altezze d'acqua che si stabiliscono nelle aree adiacenti alla rete idrografica principale, le condizioni derivanti dalle simulazioni numeriche per lo stato attuale (Fig. 5.2 a - Tavola 7) risultano apprezzabilmente migliorate dall'insieme degli interventi proposti (Fig. 5.2 b, c, d - Tavola 7), i quali producono però singolarmente benefici che non possono essere considerati risolutivi.

In particolare è ben evidenziato dal calcolo che il riposizionamento in quota di alcuni tratti degli argini di confinamento e delle sponde dei canali consortili (intervento P1), finalizzato ad eliminare i tratti individuati come critici, non è da solo in grado di risolvere tutte le insufficienze idrauliche risultanti dalle indagini, pur essendo necessario e auspicabile.

In alcune parti del territorio comunale sono eliminati dal provvedimento gli allagamenti o sono ridotte le altezze d'acqua che le esondazioni determinano, soprattutto in adiacenza ai canali della rete consortile (Fig. 5.2 b - Tavola 7). Permangono, tuttavia, significative sofferenze in ampie zone anche urbanizzate del territorio comunale.

Una significativa mitigazione dei problemi si consegue se il riposizionamento in quota di argini e sponde, laddove necessario, è associato a provvedimenti rivolti a laminare i colmi

di piena dei corsi d'acqua che drenano le ampie superfici del bacino esterne al territorio comunale di Montegrotto Terme.

Sono queste aree che contribuiscono in modo fondamentale alla formazione della portate massime che impegnano la rete idrografica. Gli idrogrammi di piena che ne conseguono, eccessivi rispetto alle caratteristiche geometriche e idrauliche della rete di canali che attraversa il territorio di Montegrotto Terme, sono una concausa importante dei problemi segnalati, che non può essere ignorata.

Nello specifico, gli interventi di laminazione ipotizzati, da collocare in parte all'esterno del territorio comunale di Montegrotto Terme, comportano l'inserimento nel sistema di invasi per un volume complessivo di almeno 850000 m³, interessando il Rialto, il Rio Caldo, il Rio Spinoso e lo scolo Menona. Essi sono in grado di migliorare significativamente lo stato idraulico generale su tutto il bacino esaminato con il modello uni-bidimensionale. Restano ancora alcune aree esposte al pericolo di allagamento (Fig. 5.2 c - Tavola 7), che si incentrano soprattutto lungo lo scolo Menona e nella parte prossima alla sezione terminale del bacino, verso la botte del Pigozzo.

Si tratta di superfici che in molti casi sono allagate da scoli minori rigurgitati dai livelli idrometrici eccessivi dello scolo Menona, i cui effetti possono essere in parte neutralizzati adottando dispositivi di controllo del fenomeno, come quelli sinteticamente illustrati nelle ipotesi di intervento P2.

Riposizionamento in quota di argini e sponde dei canali nei tratti esposti a pericolo di sormonto, inserimento di opportuni volumi di invaso per la laminazione dei colmi di piena in arrivo al territorio comunale di Montegrotto e controllo del comportamento degli scoli minori con dispositivi che impediscono allagamenti per eccesso di rigurgito dai recipienti principali portano insieme ad un apprezzabile miglioramento delle condizioni della sicurezza idraulica (Fig. 5.2 d - Tavola 7). Essi sembrano in grado, se adottati, di evitare che, come è ripetutamente accaduto in questi anni, il territorio del comune sia in alcune sue parti esposto con tanta frequenza al pericolo di allagamenti più o meno diffusi.

È, peraltro, evidente che i provvedimenti suggeriti non devono essere disgiunti da una politica nell'uso del territorio e nella programmazione dello sviluppo urbanistico più consapevole dei problemi idraulici che il sistema idrografico che fa capo alla botte del Pigozzo presenta per sua natura o come conseguenza di interventi attuati nel passato ad opera dell'uomo.

Sarebbe pertanto auspicabile, per quanto è di competenza comunale, che nelle realizzazioni future si partisse innanzitutto dalla condizione idraulica delle aree che si intendono utilizzare, introducendo per esse criteri costruttivi adeguati per proteggere in senso passivo le nuove opere dai fenomeni di allagamento e/o per riportare ai valori attuali i contributi delle portate specifiche derivanti dai cambiamenti che si intendono apportare all'uso del territorio.

Criteri non diversi dovrebbero essere seguiti e/o imposti ai Comuni limitrofi, idraulicamente tributari degli scoli che attraversano il territorio del Comune di Montegrotto, che con i loro contributi idrologici concorrono a determinare la precaria condizione evidenziata dal punto di vista della sicurezza idraulica e quindi anche il rischio elevato di allagamento, al quale sono attualmente esposte ampie superfici del Comune stesso.

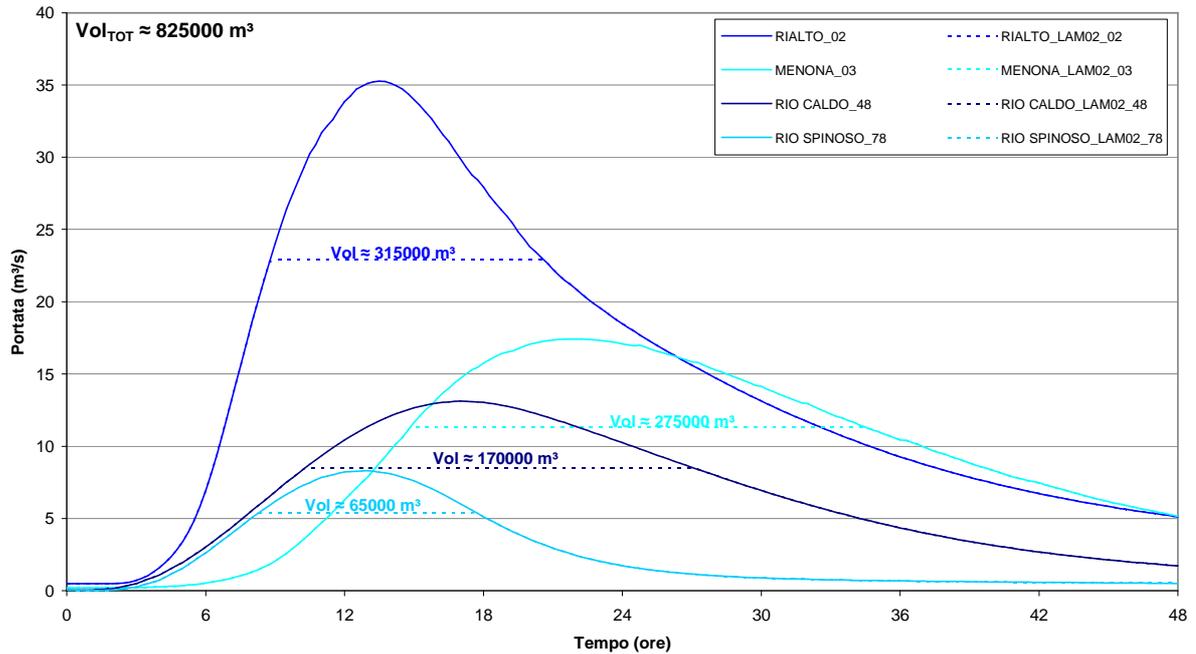


Fig. 5.1 - Andamenti delle portate dei corsi d'acqua principali che attraversano Montegrotto Terme, generate all'esterno del territorio comunale. Le portate sono calcolate a partire da piogge con tempo di ritorno di 50 anni e durata di 24 ore consecutive nella situazione attuale, introducendo l'ipotesi di laminare i colmi dei rispettivi idrogrammi, mediante i volumi evidenziati per ciascun corso d'acqua (volume totale da invasare per i quattro corsi d'acqua $\approx 825000 \text{ m}^3$).

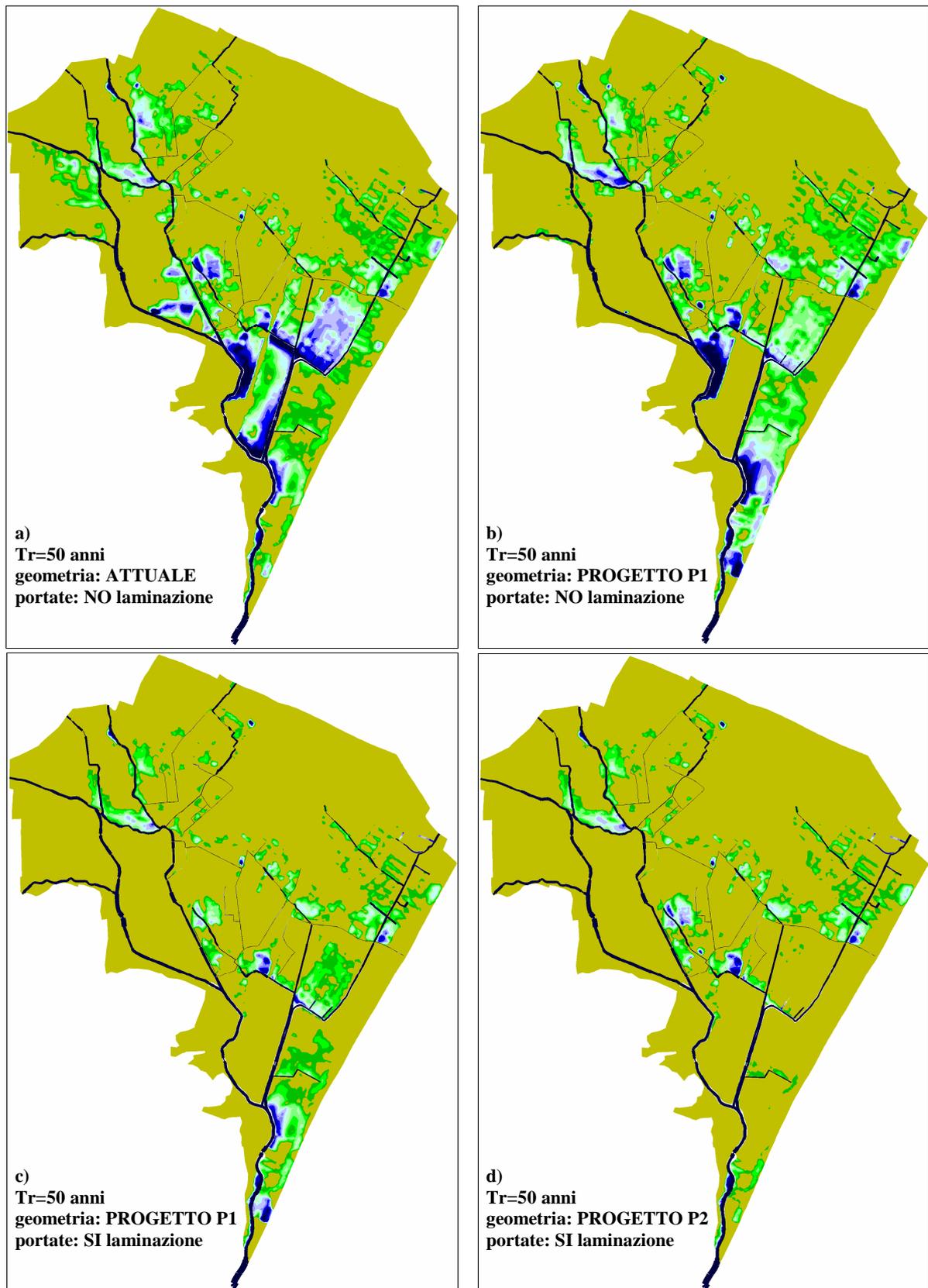


Fig. 5.2 - Inviluppo delle massime altezze raggiunte dalla lama d'acqua per l'evento di piena con Tr=50 anni e durata della pioggia di 24 ore per le situazioni attuale, di progetto P1 e P2, senza/con laminazione sul colmo degli idrogrammi di portata.

6. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

Le indagini condotte con l'ausilio di un modello matematico idrologico e con un particolare modello matematico uni-bidimensionale di allagamento sulla formazione e sulla propagazione delle piene nel territorio del Comune di Montegrotto Terme evidenziano importanti insufficienze idrauliche per ampie superfici, urbanizzate e non, a fronte anche ad eventi di piena di relativa gravità.

Pièe sintetiche generate partendo da precipitazioni con tempo di ritorno di appena 25 anni e durata pari a quella critica (24 ore) per la sezione di chiusura del bacino a monte della botte del Pigozzo interessano già significative porzioni del territorio comunale (Tavola 4).

La situazione si va progressivamente aggravando se si esaminano eventi più gravi, quali possono essere considerati quelli generati da precipitazioni della stessa durata ma con più elevati tempi di ritorno ($T_r=50$ anni e $T_r=100$ anni), per i quali le aree allagate sono illustrate nella Tavola 5 e nella Tavola 6.

È bene evidenziare che si tratta in questi ultimi casi di eventi di piena la cui frequenza probabile dovrebbe essere considerata quando, come è il caso di Montegrotto Terme, ampie porzioni del territorio sono urbanizzate e su di esse insistono beni della collettività per i quali i danni eventualmente patiti in caso di insufficienza della rete di scolo delle acque si traducono in importi di assoluto valore.

Le cause delle insufficienze evidenziate dalle indagini sono molteplici, ma possono essere sostanzialmente ricondotte ai seguenti punti:

- insufficienze diffuse della rete di scolo che presenta in più tratti quote delle sommità arginali o delle sponde dei canali inadeguate rispetto alle quote idrometriche delle massime piene probabili;
- urbanizzazione di aree estese esposte al pericolo di allagamento. Si tratta in qualche caso di aree scelte prescindendo da qualsiasi riflessione sui problemi idraulici che per esse si determinano in occasione degli eventi meteorici che generano risposte idrologiche del terreno di un qualche rilievo;
- dimensionamento inadeguato della rete di fognatura, formata da collettori principali che in alcuni casi recapitano le loro acque in canali che possono essere interessati da livelli idrometrici dominanti rispetto a quelle dei terreni drenati. Gli sbocchi di tali collettori sono in alcuni casi protetti con dispositivi (clapet) del tutto inadeguati rispetto alle funzioni per essi previste. Si tratta di dispositivi che dovrebbero essere tutti sostituiti, essendo concreto per le aree sottese il pericolo di allagamento per rigurgito dei livelli a causa del mancato corretto funzionamento dei dispositivi stessi. Tenuto conto del valore dei beni insediati sul territorio, una rivisitazione attenta dei criteri che sono stati posti alla base delle verifiche condotte sulla rete fognaria sarebbe quanto mai auspicabile, esaminando l'eventuale possibilità, per le situazioni più critiche, di garantire il corretto funzionamento della rete stessa anche quando il sistema dei canali consortili è maggiormente cementato;
- immissione nella rete dei canali consortili di portate, provenienti dall'esterno del territorio comunale, eccessive rispetto a quelle che i canali stessi sono in grado di convogliare senza causare esondazioni.

A fronte delle insufficienze idrauliche evidenziate per la condizione attuale in occasione degli stati di piena più gravi, sembra necessario intervenire sul sistema con una serie di interventi finalizzati:

- al riposizionamento in quota dei tratti d'argine e/o di sponda che risultano insufficienti rispetto alle massime quote idrometriche determinate con il calcolo per le condizioni critiche. Per il dimensionamento di tali interventi, finalizzati a proteggere aree fortemente urbanizzate, si ritiene ragionevole far riferimento all'evento di piena critico generato da precipitazioni con durata pari a 24 ore consecutive e con tempo di ritorno pari almeno a 50 anni, garantendo ovunque un franco idraulico non inferiore a 50 cm, meglio se non inferiore al m;
- all'inserimento nel sistema idrografico (naturale e/o artificiale) di invasi destinati alla laminazione dei colmi di piena provenienti dall'esterno del territorio comunale attraverso i quattro principali scoli che lo attraversano (canale Rialto, Rio Caldo, Rio Spinoso e scolo Menona). I volumi di invaso resi in tal modo disponibili dovrebbero essere dell'ordine di $1 \times 10^6 \text{ m}^3$, tenuto conto degli effetti risultanti dalle simulazioni condotte ipotizzando un volume complessivo di invaso di $850 \times 10^3 \text{ m}^3$ ripartito in: $315 \times 10^3 \text{ m}^3$ sul canale Rialto, $65 \times 10^3 \text{ m}^3$ sul Rio Spinoso, $170 \times 10^3 \text{ m}^3$ nel tratto iniziale del Rio Caldo e $275 \times 10^3 \text{ m}^3$ lungo lo scolo Menona;
- al controllo, mediante opportuni dispositivi di intercettazione, dei fenomeni di riflusso con conseguenti allagamenti, causati negli scoli minori dalle quote idrometriche che si stabiliscono nello scolo Menona in piena.

I provvedimenti indicati, nel loro insieme, sono in grado di fornire un significativo miglioramento della condizione idraulica del territorio esaminato, quanto meno con riferimento ad eventi di piena confrontabili per caratteristiche idrologiche con quelle dell'evento critico assunto nell'analisi (tempo di ritorno delle precipitazioni 50 anni e durata pari a 24 ore consecutive).

Volendo fronteggiare eventi di maggiore gravità i tipi di provvedimenti suggeriti mantengono la loro validità, ma vanno opportunamente ricalibrati nelle loro dimensioni. In particolare devono essere incrementati i volumi di invaso, che dovrebbero essere inseriti in rete per mitigare i colmi di piena provenienti dall'esterno del territorio comunale.

Gli interventi individuati, che richiedono di essere inquadrati in un programma ben definito di riassetto idraulico di tutto il bacino dei Colli Euganei tributario della botte del Pigozzo, a meno di non vedere i loro effetti vanificati nel medio e lungo periodo, devono essere accompagnati da criteri più rigorosi nell'uso del territorio, maggiormente attenti alla sua problematica idraulica e rispettosi della realtà della rete idrografica.

La loro efficacia potrà essere incrementata dall'adozione di criteri che, nella scelta delle aree da destinare all'urbanizzazione, considerino innanzitutto i risultati delle indagini condotte, evitando di occupare aree che risultano gravemente esposte al pericolo di allagamento. È indispensabile, inoltre, che nel regolamentare l'edificabile, si impedisca la realizzazione di volumi sotterranei e si suggeriscano per i volumi in elevazione quote adeguate rispetto alle potenziali altezze d'acqua che si possono determinare, nell'eventualità di accadimento degli eventi di piena più gravosi.

Comunque si proceda dovrà essere garantita una condizione di invarianza idraulica nella risposta del territorio agli afflussi meteorici, accumulando temporaneamente in loco i colmi di piena conseguenti a una mutata destinazione d'uso delle aree a qualsiasi titolo occupate.

Sarebbe opportuno, infine, che gli enti preposti al controllo esercitassero la loro vigilanza entrando anche nel merito della validità di soluzioni e calcoli a tal fine proposti.

Va da sé che la maggiore attenzione richiesta dovrebbe essere estesa a tutto il territorio idraulicamente afferente alla botte del Pigozzo, obbligando a verifiche idrauliche rigorose

condotte su tutto il sistema anche gli enti competenti sulle superfici esterne a quelle amministrativamente soggette al Comune di Montegrotto Terme.

7. APPENDICE – CARATTERISTICHE DEI MODELLI MATEMATICI UTILIZZATI

7.1 Caratteristiche generali

Per le indagini si sono utilizzati due diversi modelli matematici in grado di simulare la formazione delle piene nel bacino idrografico che fa capo allo scolo Rialto e la loro propagazione nel reticolo idrografico naturale e artificiale che lo drena.

Il modello idrodinamico messo a punto consente di esaminare le condizioni idrauliche che si stabiliscono in tutto il territorio in esame, seguendo l'evoluzione nel tempo dello stato idrometrico e delle portate sia nell'alveo dei corsi d'acqua (il Rialto ed i suoi affluenti), sia nelle condotte della fognatura destinate alla raccolta delle acque meteoriche, sia, infine, nelle aree esterne che possono essere allagate in occasione degli eventi di piena più gravosi.

Al modulo di calcolo idrodinamico si è collegato un modello matematico di tipo idrologico, che consente di calcolare, partendo dalle precipitazioni, i corrispondenti idrogrammi di piena, che costituiscono le condizioni al contorno per i nodi del modello idrodinamico interessati dall'introduzione delle portate.

I due modelli insieme costituiscono un sistema completo per l'analisi del funzionamento di reti idrografiche naturali ed artificiali di qualsiasi tipo, funzionanti sia a superficie libera sia, eventualmente, in pressione. È inoltre possibile esaminare il comportamento idraulico delle parti di territorio sulle quali, per effetto di sormonti arginali o per fuoriuscite d'acqua dalle condotte, si verificano fenomeni di allagamento. I modelli in questione possono pertanto essere convenientemente utilizzati sia per verificare il comportamento di reti esistenti, sia come strumento di supporto alla loro progettazione, sia, infine, come supporto alle scelte per una corretta pianificazione nell'uso del territorio.

7.2 Modello idrologico di piena

7.2.1 Generalità

La progettazione delle opere idrauliche in genere richiede, come è noto, la conoscenza di grandezze idrologiche che possono andare dal semplice valore della portata massima, che si presenta con una assegnata frequenza probabile, a quelle necessarie per seguire l'evoluzione dettagliata degli eventi di piena, quali sono la forma dell'idrogramma, il volume e i tempi caratteristici delle varie fasi secondo le quali si sviluppa il fenomeno.

Anche nel caso in cui sia sufficiente conoscere il solo valore della portata massima, molto spesso risultano mancanti le osservazioni dirette di portata che consentono elaborazioni statistiche significative delle serie storiche registrate. È giocoforza pertanto in idrologia determinare in molte situazioni le probabili portate di piena di un corso d'acqua partendo dalle precipitazioni.

Numerosi sono i criteri proposti al riguardo nella letteratura tecnica, particolarmente in questi ultimi decenni, nei quali sono stati introdotti e sviluppati avanzati metodi matematici per la simulazione dei fenomeni idrologici.

Tra i metodi più diffusi, anche per le applicazioni ingegneristiche, alcuni si rifanno ai concetti dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH), originariamente introdotti da Sherman, o

ai modelli che da questo derivano, i quali consentono di valutare sia i valori al colmo sia l'andamento nel tempo delle portate delle fasi di piena.

Nel caso di un bacino idrografico complesso, inoltre, potendosi suddividere il bacino in una serie di sottobacini elementari a ciascuno dei quali applicare i concetti dell'IUH, è possibile determinare i relativi idrogrammi di piena, tenendo conto, sia delle eventuali diverse caratteristiche geomorfologiche dei vari sottobacini che lo compongono, sia del differente regime pluviometrico che caratterizza le diverse parti, soprattutto quando il bacino idrografico è piuttosto esteso.

Una stima delle probabili portate di piena mediante l'applicazione di un modello matematico di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi può spesso consentire di descrivere i fenomeni idrologici che ne caratterizzano il comportamento molto meglio di quanto non sia possibile ottenere attraverso l'applicazione di criteri diversi, quali ad esempio sono quelli su cui si basano i cosiddetti metodi razionali, che più semplicemente forniscono le portate massime in corrispondenza di una sezione assegnata attraverso l'introduzione di opportuni parametri concentrati.

Qualora siano anche disponibili dati pluviometrici ed idrologici, di livello o di portata, per la sua taratura, l'applicazione di un modello idrologico nella determinazione delle probabili portate di massima piena può risultare particolarmente significativa.

Questa procedura è stata adottata negli studi sul bacino dei Colli Euganei del 1997, del 2003 e del 2004, i cui risultati sono stati sinteticamente richiamati nei paragrafi 2.1, 2.2 e 2.3. Ad essi fa riferimento la modellazione idrologica sviluppata nell'ambito del presente studio, che considera però un maggior dettaglio per alcune parti del bacino complessivo indagato rispetto a quella originale. Le variazioni introdotte riguardano in particolare la zona che comprende il territorio comunale di Montegrotto Terme, per la quale si sono adottati i valori dei parametri allora determinati, aggiornandoli opportunamente.

7.2.2 Caratteristiche principali del modello idrologico di piena

Il modello idrologico di piena si basa essenzialmente su di una generalizzazione del modello di Nash proposta dallo scrivente negli anni immediatamente successivi alla grande piena del 1966 ed applicata successivamente nello studio del comportamento idrologico di numerosi bacini. Il modello consente di tenere conto degli aspetti fondamentali che caratterizzano la formazione delle piene in un bacino idrografico anche di grande estensione. In particolare, attraverso la suddivisione del bacino in una serie di sottobacini elementari, il modello consente di considerare gli effetti dovuti ad una distribuzione delle precipitazioni variabile non solo nel tempo ma anche nello spazio. È inoltre possibile evidenziare il contributo alla formazione della piena degli apporti che arrivano alle aste della rete idrografica con ritardi accentuati rispetto ai più rapidi deflussi superficiali. Tali effetti, sostenendo la coda della piena, contribuiscono a modificare la forma dell'idrogramma, soprattutto in presenza di piogge persistenti o di picchi successivi di portata.

Un bacino idrografico complesso può essere quindi simulato con il modello proposto suddividendo il bacino stesso in una serie di sottobacini elementari, ciascuno dei quali è simulato attraverso un doppio sistema di invasi disposti in parallelo, in grado di rappresentare da una parte la risposta rapida dei deflussi superficiali, dall'altra quella più lenta dei deflussi profondi (Fig. 7.1). Poiché, di fatto, non vi è limite alcuno alla suddivisione del bacino in sottobacini, il modello, che di per se stesso è un modello a parametri concentrati, si può trasformare di fatto in un modello a parametri distribuiti.

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

La prima di tali opzioni consiste nel valutare le precipitazioni efficaci mediante il cosiddetto "metodo dell'indice Φ ", un semplice schema di calcolo a 2 parametri basato sulla definizione di due indici invarianti nel tempo Φ_s e Φ_p , (espressi in mm), che rappresentano la quantità minima di pioggia che deve cadere nel tempo Δt affinché l'impulso generico di precipitazione $p(i)$ possa dare un contributo alla formazione, rispettivamente, del deflusso superficiale e di quello profondo (Fig. 7.2 a).

La seconda opzione è quella rappresentata dal cosiddetto metodo percentuale, secondo il quale ogni impulso di precipitazione $p(i)$ avente durata definita Δt contribuisce al deflusso in base a due coefficienti Φ_s e Φ_p , (espressi in %), che forniscono le frazioni alimentanti, rispettivamente, il deflusso superficiale e quello profondo (Fig. 7.2 b).

Infine, con la terza opzione, noti i coefficienti di deflusso totale C_D e superficiale C_S , è possibile trasformare il volume totale di pioggia P_T , caduto nel tempo t_p , nella quota parte P_s che sostiene il deflusso superficiale e nella frazione P_p che alimenta il deflusso profondo (Fig. 7.2 c). Resta inoltre individuata anche la frazione di precipitazione P_i che non contribuisce in alcun modo alla formazione della piena.

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

Il modello può utilizzare sia pluviogrammi forniti con passo temporale costante qualsiasi (generalmente orario o pluriorario), sia valori cumulati di precipitazione, quali possono essere ad esempio quelli determinati attraverso le usuali elaborazioni statistiche dei valori massimi di precipitazione.

In quest'ultimo caso il modello opera automaticamente la distribuzione temporale del valore di pioggia totale in un determinato periodo di tempo secondo una distribuzione prefissata delle intensità (costante o secondo la distribuzione Beta illustrata in Fig. 7.3).

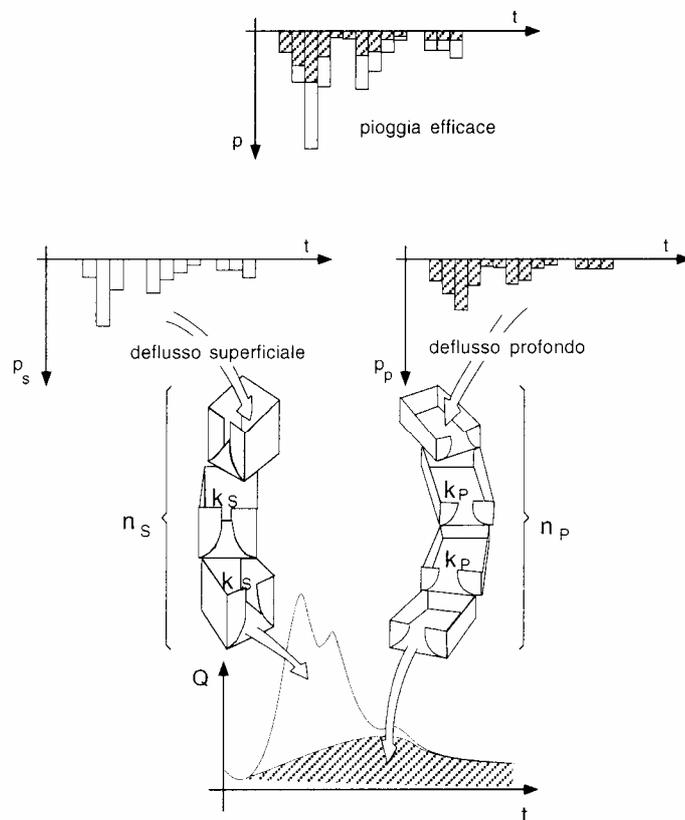


Fig. 7.1 - Schematizzazione della risposta complessiva di un bacino elementare.

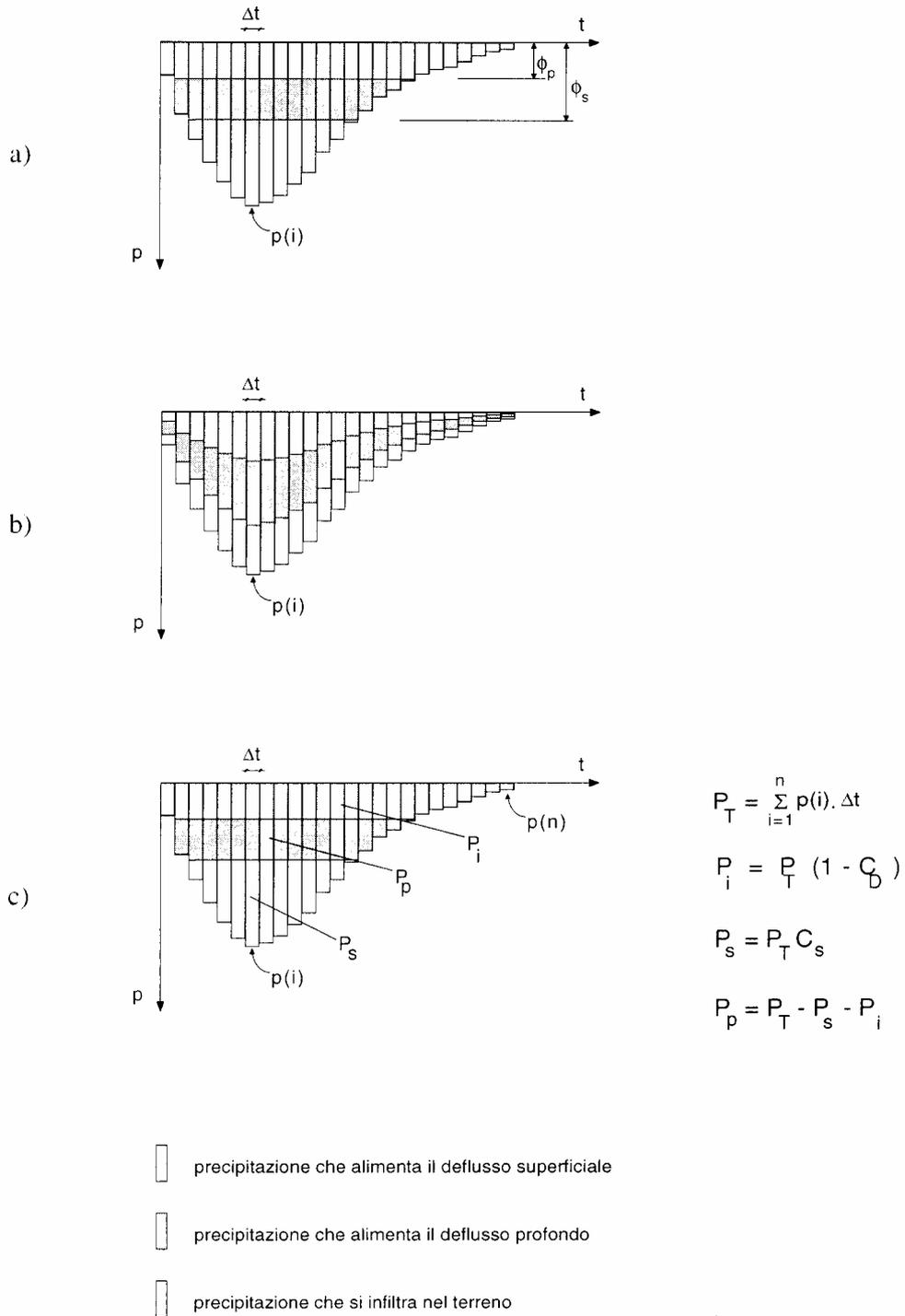


Fig. 7.2 - Trasformazione delle precipitazioni in piogge efficaci: a) metodo dell'indice Φ ; b) metodo percentuale; c) metodo del coefficiente di deflusso.

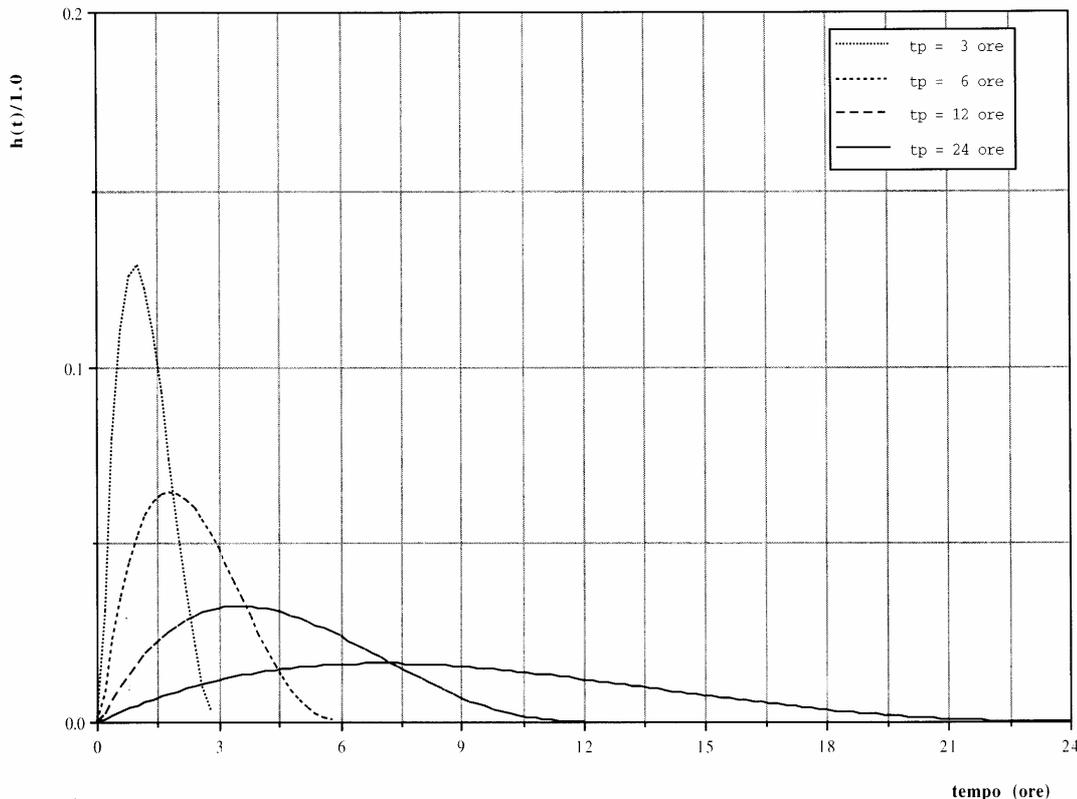


Fig. 7.3 - Andamento nel tempo di piogge con volume unitario e con durata variabile da 3 ore a 24 ore con una distribuzione secondo la funzione Beta.

7.3 Modello matematico idraulico uni-bidimensionale

7.3.1 Caratteristiche generali

Per simulare la propagazione delle onde di piena nel reticolo idrografico costituito dagli scoli e dalle condotte di fognatura che drenano il territorio del Comune di Montegrotto Terme e la diffusione sul territorio stesso di eventuali onde di sommersione è stato messo a punto un modello matematico uni-bidimensionale di particolari caratteristiche.

Dal punto di vista numerico, il modello è basato su di uno schema agli 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'accoppiamento 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 corsi d'acqua, dei canali e delle condotte presenti nel dominio di calcolo. È possibile, inoltre, inserire nella schematizzazione anche una serie di 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..

Il modello è uno schema molto collaudato ed è stato impiegato per indagini su alcuni dei più importanti corsi d'acqua della pianura veneta e su numerose reti di bonifica.

7.3.2 Descrizione dello schema numerico

Il modello matematico utilizzato nell'indagine 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.

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

$$\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{gY} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{q_x |\mathbf{q}|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial y} + \frac{1}{gY} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{q_y |\mathbf{q}|}{K_s^2 \cdot H^{10/3}} = 0 \quad (2)$$

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

in cui h indica la quota idrometrica, x , y sono le ascisse spaziali orizzontali correnti, g è l'accelerazione di gravità, K_s è il coefficiente di scabrezza secondo Strickler, t è il tempo, \mathbf{q} è la velocità integrata sulla verticale con componenti q_x e q_y secondo le due direzioni orizzontali x e y e w è un termine sorgente.

Nelle equazioni (1), (2), (3) compaiono inoltre i termini η , Y e H i quali, nel tempo generico, 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 correttamente l'effetto dei termini dissipativi. Tali termini sono dati dalle espressioni:

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

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

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

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

Nella soluzione delle equazioni (1) e (2) si è assunto che i termini di accelerazione convettiva possano essere trascurati, poiché i termini di accelerazione locale e quelli dissipativi risultano generalmente ampiamente predominanti nella propagazione di un'onda

lunga in acque basse con caratteristiche simili a quelle di un'onda di piena. Nel successivo paragrafo 7.3.4 sono esposte alcune considerazioni che giustificano l'approccio seguito.

Le (1) e (2) sono state discretizzate nel tempo utilizzando un'approssimazione alle differenze finite.

Il sistema risultante è stato quindi risolto numericamente con uno schema agli elementi finiti, semi-implicito, basato sulla discretizzazione spaziale del campo di moto mediante elementi di forma triangolare. In particolare, 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.

Ad ogni istante di calcolo, lo schema porta alla soluzione di un sistema lineare che fornisce la quota idrometrica su ciascuno dei nodi del reticolo. Note le quote idrometriche, si calcolano le velocità integrate sulla verticale per ciascuno degli elementi triangolari.

Lo schema bidimensionale ad elementi finiti è in grado di descrivere con sufficiente accuratezza il moto di un'onda lunga su bassi fondali, anche nelle situazioni in cui l'evoluzione del fenomeno porta ripetutamente al prosciugamento e all'allagamento di ampie porzioni del dominio di calcolo. La possibilità di rappresentare correttamente la dinamica di un grande sistema idrografico naturale è però legata anche alla corretta simulazione del funzionamento della rete minore, costituita da canali di modeste dimensioni trasversali, che in genere solca le aree soggette a periodico asciugamento.

7.3.3 Elementi unidimensionali e tronchi speciali

La schematizzazione con elementi bidimensionali della rete idrografica minore presenterebbe non poche difficoltà, poiché da una parte essa porterebbe all'utilizzo di elementi di dimensioni così piccole da rendere assai onerosa la fase di costruzione del reticolo, dall'altra potrebbe generare l'insorgere di problemi di stabilità ed accuratezza della soluzione numerica, a meno di non adottare passi di integrazione temporale particolarmente ridotti. Per questa ragione anche nel caso in esame è stato utilizzato un modello ampiamente collaudato in altre situazioni che consente l'impiego accoppiato di elementi bidimensionali ed unidimensionali (modello 2D-1D), utilizzando questi ultimi per descrivere il funzionamento dei canali della rete minore e delle condotte della fognatura che drenano porzioni di territorio soggette a prosciugamento.

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 superficie libera quando il livello scende sotto la 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, in modo che essi siano inseriti o disinseriti dal reticolo di calcolo senza dover modificare la struttura del reticolo formato dagli elementi bidimensionali.

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

fiancheggiato siano prosciugati. In queste condizioni, come si è detto, il canale funziona a superficie libera.

Le equazioni che descrivono il funzionamento dei canali unidimensionali, la cui derivazione è qui omessa per semplicità di esposizione, e per la quale si rimanda alle memorie scientifiche pubblicate sull'argomento, sono:

$$\frac{\partial h}{\partial s} + \frac{1}{gA_a} \frac{\partial Q_a}{\partial t} + \frac{Q_a |Q_a|}{K_s^2 \cdot R_H^{4/3} A_a^2} = 0 \quad (7)$$

$$\varepsilon \cdot \eta(h) \frac{\partial A_a}{\partial t} + \frac{\partial Q_a}{\partial s} + (1 - \varepsilon) \cdot q = 0 \quad (8)$$

nelle quali R_H è il raggio idraulico relativo alla sezione del canale, Q_a è il suo contributo addizionale in termini di portata, A_a è l'area effettiva del canale, ovvero l'area della sezione liquida eventualmente depurata della frazione già rappresentata dagli elementi bidimensionali che lo fiancheggiano e ricoprono, ε è un parametro che descrive il tipo di funzionamento del canale: per $\varepsilon = 1$, gli eventuali elementi bidimensionali che lo fiancheggiano risultano asciutti mentre per $\varepsilon = 0$ gli elementi bidimensionali adiacenti sono sommersi e parte del flusso lungo il canale è già considerato dallo schema bidimensionale; infine q rappresenta la portata per unità di lunghezza scambiata con gli eventuali elementi bidimensionali adiacenti. L'area effettiva A_e del canale è data dalla seguente espressione:

$$A_e = A \cdot \left[1 - \frac{YB}{A} \left(\frac{Y}{R_H} \right)^{2/3} \right] \quad (9)$$

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, applicando il metodo di Galerkin e ricorrendo alla prima identità di Green, si ottiene un sistema lineare di M equazioni, che sono assemblate assieme a quelle derivanti dalla parte bidimensionale.

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.

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.

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 quelle delle sommità arginali.

Anche per il caso in esame, per simulare con buona approssimazione la presenza di elementi morfologici particolari (quali argini, rilevati stradali o manufatti che possono modificare apprezzabilmente l'evoluzione del fenomeno), il modello uni-bidimensionale descritto precedentemente descritto è stato modificato prevedendo l'inserimento di elementi unidimensionali (tronchi) speciali.

Mediante l'inserimento di tali elementi è stato possibile simulare il funzionamento delle arginature, o dei rilevati stradali che, in alcuni tratti, fiancheggiano i canali. Tali rilevati sono perciò schematizzati come soglie sfioranti, per le quali è sufficiente assegnare la quota della soglia sfiorante e il valore del coefficiente di portata, perché il modello determini, al variare delle quote idrometriche, l'andamento della portata che eventualmente tracima la soglia, considerando sia condizioni di efflusso libero che di efflusso rigurgitato. 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 che la attraversa.

Altri tronchi speciali inseriti nello schema di calcolo consentono di simulare il funzionamento di briglie o salti di fondo che controllano il deflusso delle acque.

In generale vale la pena di ricordare che il modello è in grado di simulare anche il funzionamento di brevi tratti di canale in pressione, come sottopassi o botti a sifone; o di paratoie, che possono operare automaticamente comandate dai livelli o dalla direzione del flusso (porte vinciane o clapet). Sempre mediante questi elementi speciali è possibile, infine, simulare il funzionamento degli impianti idrovori eventualmente 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 livelli scendono al di sotto delle quote di stacco.

I valori dei parametri che caratterizzano tutti questi dispositivi 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 ricordati eventuali cedimenti di corpi arginali, l'interruzione del funzionamento di impianti idrovori od altro.

7.3.4 Considerazioni sulla significatività dei termini che descrivono le accelerazioni convettive e gli sforzi di Reynolds

Nella soluzione di problemi di propagazione delle piene in alvei naturali o nello studio dei fenomeni di esondazione e di allagamento di aree inizialmente asciutte il campo di moto presenta una geometria articolata e molto irregolare con tiranti d'acqua modesti, generalmente confrontabili con la dimensione verticale caratteristica delle irregolarità del fondo, e la diffusa presenza di zone emerse.

In queste situazioni, le accelerazioni convettive promuovono instabilità numeriche difficili da controllare e, spesso, ciò induce a trascurare questi termini nelle equazioni dinamiche. Questa semplificazione si giustifica usualmente sulla base della modesta entità dei termini convettivi a fronte di quelli che esprimono le dissipazioni di energia.

Questo modo di procedere, d'altra parte, è giustificabile anche per il fatto che le dimensioni della griglia di calcolo, in questi problemi, sono generalmente molto maggiori della scala delle disomogeneità del campo cinematico reale, al punto che diventa effettivamente impossibile rappresentare correttamente le accelerazioni spaziali. Da questa circostanza, cioè, deriva il fatto che nei modelli che comunque mantengono i termini convettivi, questi siano rappresentati in modo filtrato essendo trascurati gli effetti di piccola scala non risolti dal modello stesso. Non infrequentemente, e soprattutto quando la geometria del campo di moto è complessa, l'introduzione dei termini che descrivono le accelerazioni convettive, non potendo essere stimati correttamente a causa delle dimensioni eccessive degli elementi che compongono la griglia di calcolo, producono errori superiori a quelli che si introducono trascurando i termini stessi. Tale problema è aggravato dal fatto che, in queste situazioni, è sostanzialmente impossibile giudicare a posteriori la correttezza degli effetti innescati dalle accelerazioni convettive. In altre parole, il risultato che si ottiene è inaffidabile.

Per quanto riguarda gli sforzi turbolenti di Reynolds nel piano orizzontale, due sono le considerazioni da fare. La prima riguarda la difficoltà di descrivere questi termini, i quali dipendono dalle derivate spaziali del secondo ordine delle velocità. Pertanto laddove non può essere accurata la rappresentazione delle derivate prime delle velocità, cioè delle accelerazioni convettive, a maggior ragione non può essere accurata la descrizione dei termini di Reynolds. In secondo luogo questi termini sono importanti essenzialmente perché controllano gli effetti delle accelerazioni convettive. In assenza di queste ultime, i termini di Reynolds perdono, in pratica, di significato.

In sintesi, si può ritenere che, per domini irregolari e in condizioni di corrente lenta, l'introduzione dei termini che descrivono le accelerazioni convettive abbia senso quando le dimensioni delle maglie siano confrontabili con la profondità del campo di moto.

D'altra parte non si può trascurare che gli effetti prodotti dalle accelerazioni convettive, nel loro complesso, sono rilevanti e, in qualche modo, devono essere considerati nel modello. A tale proposito si deve ricordare che l'inerzia tende ad innescare processi di scambio di quantità di moto, nel piano orizzontale, controllati a loro volta anche dai termini dissipativi, tra i quali, come si è detto, gli sforzi turbolenti di Reynolds nel piano orizzontale. Le variazioni nell'assetto del campo cinematico, determinate dall'inerzia, producono quindi, come conseguenza, un incremento delle dissipazioni.

Questa circostanza rende ragione del fatto, frequentemente riscontrato nella pratica applicativa, che, qualora si trascurino le accelerazioni convettive nelle equazioni del moto risolte, si renda necessario assumere, nelle formule di Chézy o di Strickler, coefficienti di scabrezza più bassi (e quindi resistenze più elevate) di quelli reali.

Operando in tal modo, in questi schemi gli effetti delle accelerazioni convettive e dei termini di Reynolds, pur non descritti esplicitamente, sono implicitamente considerati concettualizzando il significato dei coefficienti di scabrezza.