



CITTA' DI VENEZIA



Via Rovereto, 12 - 30174 VENEZIA - cod. fisc. 94072730271 - tel. 0415459111
web: www.acquerisorgive.it - e-mail: consorzio@acquerisorgive.it

01.02.00 - RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

PIANO DELLE ACQUE DEL COMUNE DI VENEZIA

DATA		ELABORATO					
10 Novembre 2016		01.02.00 - RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA					
SCALA		CODICE ELABORATO					
-		AR032	PA	01	02	00	REII 00
 CITTÀ DI VENEZIA <i>dott. Raffaele Pace</i>		 CONSORZIO DI BONIFICA ACQUE RISORGIVE <i>ing. Carlo Bendoricchio</i>		 VERITAS <i>ing. Umberto Benedetti</i>			
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE			REDIGE	VERIFICA	APPROVA
0	12-08-2016	Prima emissione			F. Domeneghetti	M. Cerni	M. Caffini
1	10-11-2016	Correzione e integrazioni			F. Domeneghetti	M. Cerni	M. Caffini

Sommario

1	Premesse	1
2	Descrizione dei sistemi idraulici principali nel territorio comunale	3
2.1	La rete idrografica	3
2.2	Il reticolo minore.....	9
2.3	La rete di fognatura	9
2.4	Individuazione dei sottobacini idraulici.....	10
3	Definizione degli eventi pluviometrici di progetto	20
3.1	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica	20
3.2	Scelta degli eventi	21
3.3	Ietogrammi di progetto.....	22
4	Definizione dei modelli matematici.....	24
5	Modello della rete fognaria.....	25
5.1	Rete fognaria di Mestre – dati di input	25
5.2	Schema di funzionamento del sistema fognario	25
5.3	La costruzione del modello della rete fognaria	27
5.4	Caratteristiche tecniche del software di simulazione idraulica	28
5.4.1	Modelli Idrologici disponibili	29
5.4.2	Approccio numerico	29
5.5	Dati di partenza e integrazione dei dati geometrici.....	31
5.6	La schematizzazione adottata	31
5.6.1	Impianti di sollevamento.....	32
5.6.1	Punti di modulazione e sfioro.....	34
5.6.2	Impianti idrovori.....	34

5.6.3	Sottobacini	34
5.7	I parametri di simulazione	36
5.8	Portate nere	36
5.9	Acque parassite	36
5.10	Portate meteoriche.....	37
5.11	Tempo di corrivazione.....	37
5.12	Analisi e verifica della geometria del modello - simulazioni	37
5.13	Integrazione con il modello della rete superficiale.....	40
6	Stima della risposta idrologica dei sottobacini di bonifica	42
6.1	Usi e tipologie di suolo	42
6.2	La separazione degli afflussi	43
6.3	Lo ietogramma netto	50
6.4	Stima degli idrogrammi di piena.....	51
7	Modello idraulico dei corpi idrici superficiali	58
7.1	Descrizione del modello di calcolo Mike11.....	58
7.2	La costruzione del modello dei corsi d'acqua superficiali	60
7.3	La schematizzazione adottata	62
7.3.1	Modello Campalto – Tessera	63
7.3.2	Modello Cattal e Sottodese	66
7.3.3	Modello Lusore.....	67
7.4	Taratura.....	68
7.5	Parametri assunti	69
8	Risultati salienti della modellazione idraulica	70
9	Conclusioni.....	73

1 Premesse

Nell'ambito della revisione del Piano delle Acque del Comune di Venezia è stato sviluppato il presente studio idrologico-idraulico del territorio indagato e dei corsi d'acqua che lo attraversano; lo studio ha comportato il rilievo piano altimetrico della rete consortile e delle principali affossature presenti sul territorio comunale valutandone le interferenze e le interconnessioni con le dorsali principali della fognatura pubblica bianca e mista.

Nei successivi paragrafi sono illustrate le caratteristiche e i risultati della modellazione idrologico-idraulica e le indicazioni che da essi scaturiscono in termini di criticità, interventi e opere da pianificare per la messa in sicurezza del territorio.

Per le analisi relative ai corsi d'acqua principali come i fiumi Dese, Marzenego e Lusore si rimanda agli studi e agli esiti della modellazione mono-bidimensionale implementati nell'ambito della redazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) e del Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio (PGBTT).

La presentazione dell'analisi svolta segue pari passo le diverse fasi conoscitive e la sequenza logica che ha portato alla genesi del modello evidenziandone di volta in volta i risultati salienti.

Sono riportate inoltre le indagini preliminari relative al suolo ed in particolare alle sue caratteristiche di permeabilità, le caratteristiche idrologiche del suolo e il regime pluviometrico al fine di individuare alcuni ietogrammi di riferimento i quali, sulla scorta delle precedenti considerazioni, sono stati depurati della frazione che si infiltra nel terreno ottenendo così gli ietogrammi "netti".

A partire dai risultati della separazione degli afflussi (ietogrammi netti), si sono poi ricavate, tramite un opportuno modello di trasformazione afflussi-deflussi, le portate generate dai singoli sottobacini scolanti nei collettori in esame.

Infine, conclusa l'analisi della risposta idrologica dei sottobacini, è stato descritto lo studio più prettamente idraulico andando a simulare con modellazione matematica il propagarsi delle portate di piena e i loro effetti sui livelli idrometrici nelle sezioni dei collettori.

L'analisi è stata effettuata utilizzando specifici e avanzati software per la modellazione idrologica e idraulica. Tali software hanno permesso lo studio del comportamento idraulico in alveo, per le reti superficiali, e la propagazione in condotta per le reti di fognatura. La modellazione è finalizzata infatti alla descrizione del comportamento idraulico degli scoli consortili, dei fossati e dei tratti di rete fognaria principali che attraversano il Comune di Venezia evidenziandone le eventuali insufficienze e le

possibili fonti di rischio per il territorio, generalmente rappresentate da restringimenti, attraversamenti, inadeguatezza della sezione idraulica e/o degli argini.

In questo modo è stato quindi possibile, tra l'altro, individuare le sezioni dei collettori ove maggiore è il rischio di tracimazione, i manufatti che creano maggior rigurgito, i tratti di condotte che risultano in pressione, ma soprattutto comprendere, seppur nei limiti insiti nelle ipotesi e approssimazioni dei modelli, il comportamento idraulico dei differenti sistemi e l'interazione tra gli stessi: conoscenza propedeutica indispensabile per intervenire efficacemente con adeguate e circostanziate soluzioni progettuali.

Laddove la modellazione svolta ha manifestato casi di insufficienza dei collettori e di superamenti arginali è stato quantificato il volume d'acqua tracimabile al fine di individuare, sulla base anche delle evidenze morfologiche, le aree potenzialmente allagabili.

2 Descrizione dei sistemi idraulici principali nel territorio comunale

La terraferma del comune di Venezia è inserita nel complesso sistema di drenaggio sviluppato nei secoli dall'uomo. Il carattere di naturalità della rete idrografica è riscontrabile soltanto nell'andamento planimetrico di alcuni dei corsi d'acqua principali essendo il territorio profondamente influenzato dall'azione antropica che ha saputo governare a proprio vantaggio la presenza delle acque. Le modifiche apportate per gestire le acque sia a scopo irriguo (paratoie e sostegni), sia per ricavarne forza motrice (mulini), sia per allontanarle in modo sicuro durante le precipitazioni (opere di bonifica), hanno reso la rete idrografica profondamente articolata e complessa: sono presenti arginature, manufatti speciali e intersezioni, impianti idrovori, che rendono la terraferma veneziana un insieme di complessi sistemi idraulici tra loro spesso interconnessi.

2.1 La rete idrografica

La rete idrografica della Terraferma Veneziana, così come emerso dalla cartografia esistente, dai numerosi sopralluoghi in campagna e dalle indicazioni di tutti gli enti competenti, è riportata nella tavola *02.02.00 Carta della rete idrografica principale* allegata.

Il territorio, caratterizzato in parte da scolo meccanico e in parte da scolo naturale (nella parte nord-occidentale), è attraversato da una rete, il cui andamento generale di deflusso, va da nord-ovest a sud-est, con recapito finale nella Laguna di Venezia.

Gli impianti idrovori esistenti nel territorio comunale sono otto: Cattal, Tessera, Campalto, S. Giuliano, via Torino, Cimetto, Ca' Emiliani (in gestione mista Veritas-Consortio di bonifica Acque Risorgive) e Malcontenta. A questi si aggiungono ulteriori impianti ubicati in comuni limitrofi che, tuttavia, drenano anche parte del territorio indagato e sono: Altino e Zuccarello. In ultimo è opportuno ricordare l'impianto idrovoro SM23, in gestione a Veritas, che solleva e restituisce nel fiume Marzenego le acque meteoriche in eccesso dei bacini fognari di Zelarino e Gazzera.

Le dorsali principali di deflusso a scolo naturale sono rappresentate dal fiume Dese, che si sviluppa lungo il confine settentrionale del comune di Venezia, dal fiume Marzenego-Osellino, lo scolo Menegon e lo scolo Lusore, anch'essi con verso di deflusso da nord-ovest a sud-est.

Tali scoli risultano però pensili nel tratto in comune di Venezia e non drenano pertanto nella maggior parte dei casi il territorio limitrofo.

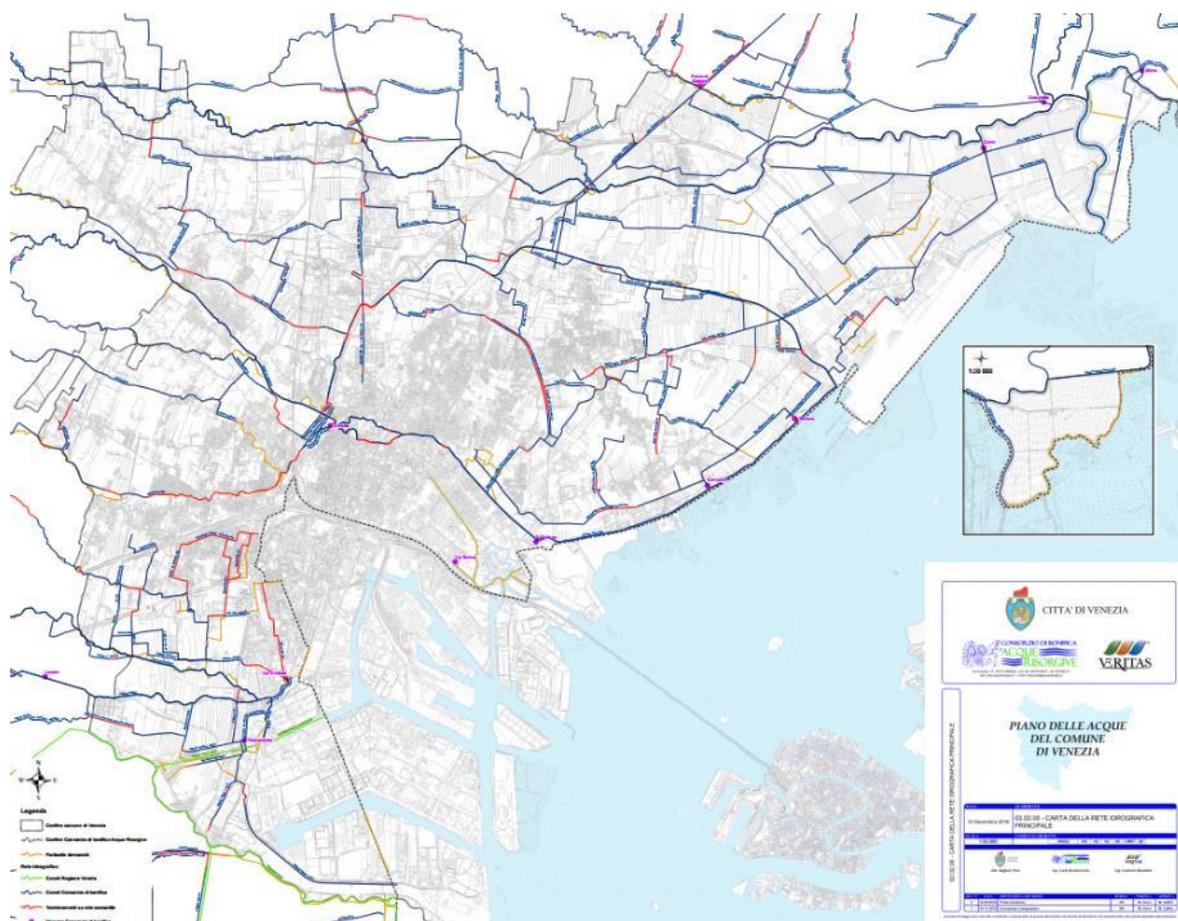


Figura 1. Carta della rete idrografica principale

Il fiume Dese e i suoi principali affluenti

Il Dese nasce tra Castelfranco Veneto e Resana e, dopo un percorso di circa 50 chilometri, attraverso le province di Treviso, Padova e Venezia, sfocia nella Laguna, in località Palude di Cona, nelle vicinanze dell'aeroporto Marco Polo.

Esso è uno dei pochi fiumi che sfocia ancora in Laguna; infatti, tra il 1500 e il 1700 il Senato Veneto, per far fronte ad alcuni problemi idraulici incombenti sulla Laguna, decise di deviare tutti i corsi d'acqua, facendoli sfociare a nord o a sud di essa. Fu questo il destino dei fiumi Brenta, Musone, Sile e Piave. Solo i fiumi Dese, Marzenego e Marzenego-Osellino rimasero in Laguna.

Nel Veneziano, il Dese si sviluppa lungo il confine settentrionale del comune ed è quasi ovunque arginato; tuttavia, sottende un bacino idrografico esteso, ricevendo direttamente le acque di numerosi canali secondari, oltre a quelle sollevate dalle idrovore Cattal e Zuccarello.

Gli affluenti del Dese nel territorio comunale di Venezia sono elencati nella tabella seguente.

Tabella 1. Elenco dei principali affluenti del fiume Dese

AFFLUENTI DEL FIUME DESE (in comune di Venezia)	
Affluenti in sinistra idrografica del f. Dese	Fosso del Tarù
	Scolo Pianton
	Fossa Storta
Affluenti in destra idrografica del f. Dese	Scolo Bazzera Alta
Collettori appartenenti al bacino dell'IDROVORA CATTAL, le cui acque vengono sollevate in Dese	Collettore Ca' Solaro
	Collettori Cucchiarina Vecchia e Nuova
	Collettore Cattal
	Collettore Acque Alte Cattal
	Collettore Acque Medie Cattal
	Collettore Acque Basse Cattal
	Collettore Fornasotti
	Canaletta Irrigua
	Collettore Pagliaghetta
	Collettore Altinate
	Collettore Pagliaga
Collettori appartenenti al bacino dell'IDROVORA ZUCCARELLO, le cui acque vengono sollevate in Dese	Collettore Sottodese
	Collettore Praello
	Fosso di Gaggio

Il fiume Marzenego e Marzenego-Osellino e i suoi principali affluenti

Il Marzenego è un fiume di risorgiva che nasce in territorio asolano e viene poi alimentato dalle acque della Brentella, del Musonello e da altre risorgive provenienti dalla zona di Fratta di Resana.

Poco prima di Mestre riceve le acque del Rio Cimetto, cioè quello che resta dell'antico Musone, e poi si divide in due rami, a nord e a sud di Piazza Ferretto: il ramo a sud, che riprende l'antico alveo del Musone, era detto un tempo Rio delle "Muneghe" ed è stato interrato negli anni '50 tra Via XX Settembre e Via Poerio, per risalire poi in superficie all'altezza di Via Fapanni; il ramo nord costeggia l'area dell'Ospedale, Piazzale Candiani, passa sotto il Ponte delle Erbe e raggiunge la Pescheria Vecchia, dove si ricongiunge con il ramo sud che lì riemerge e prende il nome Marzenego-Osellino, che scorre parallelo alla gronda lagunare fino a sfociare in laguna all'altezza di Tessera.

Nel territorio comunale di Venezia, il fiume Marzenego riceve i seguenti affluenti:

Tabella 2. Elenco dei principali affluenti del fiume Marzenego

AFFLUENTI DEL FIUME MARZENEGO (in comune di Venezia)	
Collettori appartenenti al bacino dell'IDROVORA CAMPALTO, le cui acque vengono sollevate in Marzenego	Collettore Acque Basse Campalto
	Collettore di Levante
	Prolungamento collettore di Levante
	Fossa Pagana
	Collettore Trego
	Collettore di Tessera
Affluenti in destra idrografica del f. Marzenego	Collettori Abbinati
	Collettore Acque Alte Campalto

I canale Scolmatore del fiume Marzenego e i suoi principali affluenti

Il Canale Scolmatore del fiume Marzenego raccoglie le acque degli affluenti riassunti nella tabella seguente e le riversa in Laguna a scolo meccanico alternato, attraverso l'impianto idrovoro di Tessera.

Tabella 3. Elenco dei principali affluenti del canale Scolmatore

AFFLUENTI DEL FIUME MARZENEGO (in comune di Venezia)	
Principali collettori appartenenti al sottobacino del Canale scolmatore del f. Marzenego	Canale Scolmatore
	Rio Cimetto
	Fosso Scatti
	Scolo Dosa
	Collettori Allacciati
	Scolo Roviego
	Rio Storto
	Rio Moro
	Fosso Boscariola (monte e valle)
	Fosso Paccagnella
	Fosso del Terraglio
	Scolo Bazzera Bassa
	Collettore di Favaro

Il fiume Lusore e i suoi principali affluenti

Il Lusore nasce come derivazione del Muson dei Sassi a nord della frazione di Borgoricco “San Michele delle Badesse” e, prima definendo il confine tra Camposampiero e Borgoricco stesso, poi passando per Villanova di Camposampiero, Campodarsego, Santa Maria di Sala e Mirano giunge fino a Mira per poi transitare nel comune di Venezia e sfociare in Laguna presso la zona portuale di Marghera.

Tabella 4. Elenco dei principali affluenti del fiume Lusore

AFFLUENTI DEL FIUME LUSORE (in comune di Venezia)	
Collettori a scolo naturale appartenenti al bacino del fiume Lusore	Scolo Menegon
	Scolo Rietto
	Fosso Foffano
Collettori appartenenti al bacino dell'IDROVORA CA' EMILIANI, le cui acque vengono sollevate in Lusore	Fosso 1
	Fosso 2
	Fosso 3
	Fosso 4
	Fosso 5
	Fosso 6
	Fosso 6 nuovo
	Fosso 7
	Fossa di Chirignago
	Scolo Diversivo
Collettori appartenenti al bacino dell'IDROVORA MALCONTENTA, le cui acque vengono sollevate in Lusore	Fondi a Nord
	Fondi a Sud
	Fondi a Est
	Fosso dell'Osteria
	Scolo Barbariga
	Scolo Colombara
	Scolmatore Cesenego Vecchio - Comuna

2.2 Il reticolo minore

Le attività relative alla revisione del presente Piano hanno comportato numerosi sopralluoghi in situ e rilievi topografici del reticolo minore. Tali indagini hanno portato ad una maggior definizione delle affossature comunali e private che partecipano al drenaggio del territorio in esame.

Il reticolo indagato è stato rappresentato nella tavola *02.04.00 Carta della rete idraulica minore* con l'indicazione delle affossature principali, capofossi, di quelle secondarie, fossi, nonché della rete minore tubata.

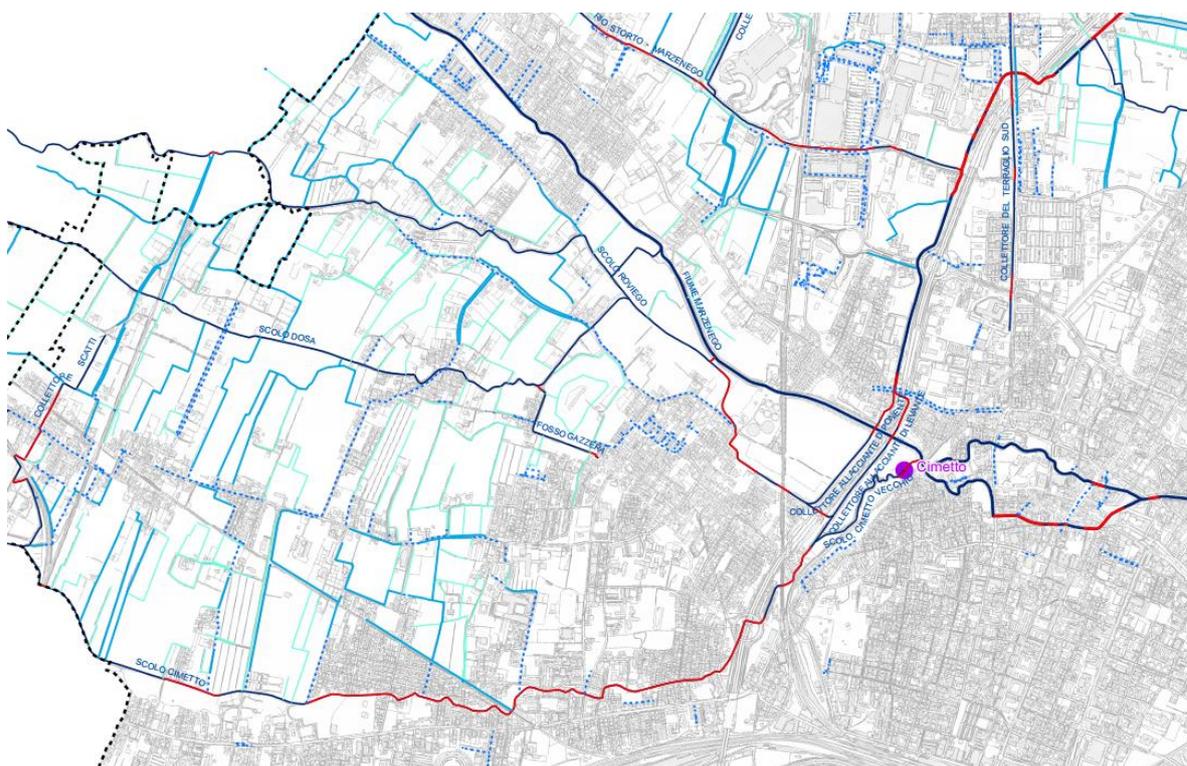


Figura 2. Estratto dalla carta della rete idraulica minore (capofossi in azzurro e fossi in ciano, tratteggiata la rete minore tubata)

2.3 La rete di fognatura

La rete di fognatura della Terraferma Veneziana è stata riportata nel dettaglio nelle tavole *02.03.01* e *02.03.02 Carta della rete urbana*. La descrizione della rete, dei bacini afferenti e degli impianti è riportata al paragrafo 5.2.

2.4 Individuazione dei sottobacini idraulici

Sulla base dei citati sopralluoghi e dei rilievi delle affossature minori e delle reti tubate effettuati nell'ambito del presente studio è stata affinata la suddivisione dei bacini idrografici di tutta la terraferma. I nuovi sottobacini afferenti al reticolo principale sono rappresentati *nella tavola 02.06.00* della quale si riporta di seguito un'anteprima.

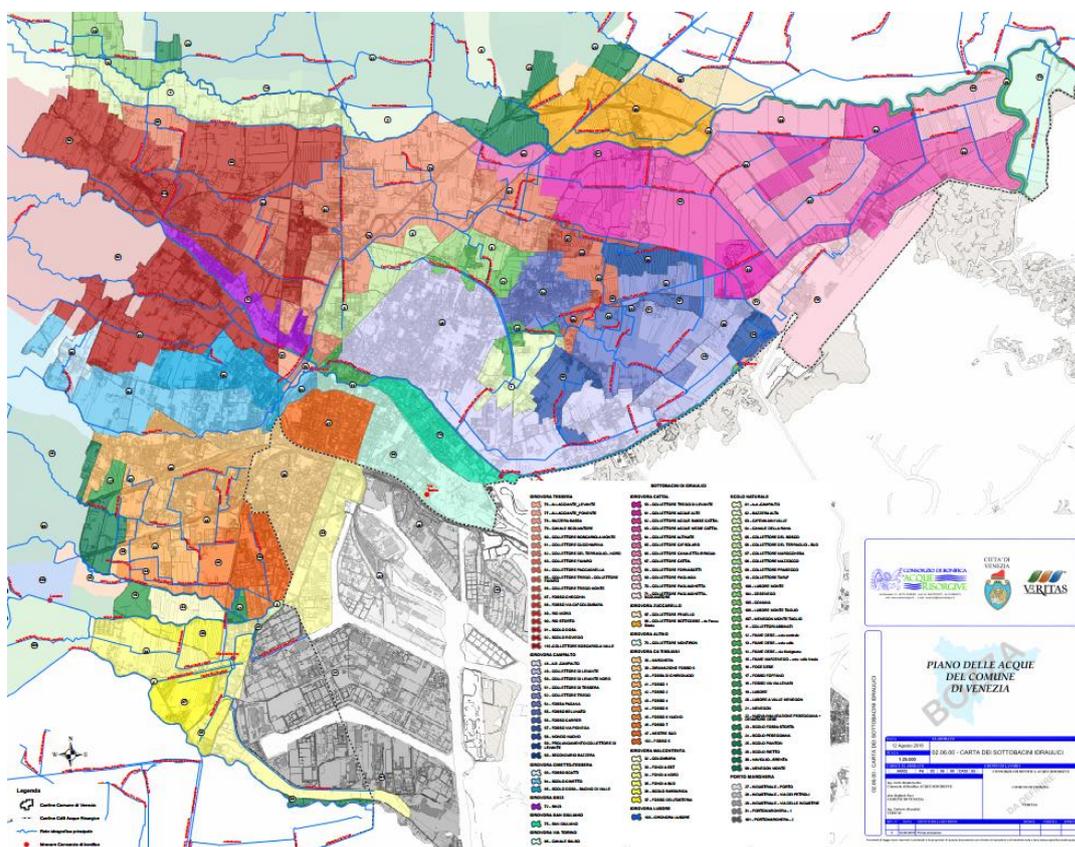


Figura 3. Carta dei sottobacini idraulici

Di seguito si descrivono le principali caratteristiche dei bacini ricadenti nella Terraferma Veneziana e dei loro sottobacini.

Il bacino del fiume Dese

Il fiume Dese sottende un bacino idrografico complessivo di circa 148 km² nei comuni di Resana, Piombino Dese, Trebaseleghe, Zero Branco, Scorzè, Martellago, Mogliano Veneto, Venezia, Marcon e Quarto d'Altino, di cui circa 29 km² ricadono nel comune di Venezia. Essi sono, in parte, a scolo naturale e, in parte, a scolo meccanico: nel primo caso, le portate convogliate confluiscono direttamente nel Dese; nel secondo caso, le portate vengono sollevate nel Dese dagli impianti di sollevamento Cattal e Zuccarello e, successivamente, sfociano in Laguna.

I sottobacini del Dese, ricadenti, almeno in parte, nel territorio del comune di Venezia sono elencati nelle figure seguenti.

Il bacino, da un punto di vista pedologico, è caratterizzato da terreni limosi-argillosi con scarsa capacità di drenaggio. Esso è chiuso in località Palude di Cona, nelle vicinanze dell'aeroporto Marco Polo, dove, la portata collettata dall'intero bacino, sfocia in Laguna.

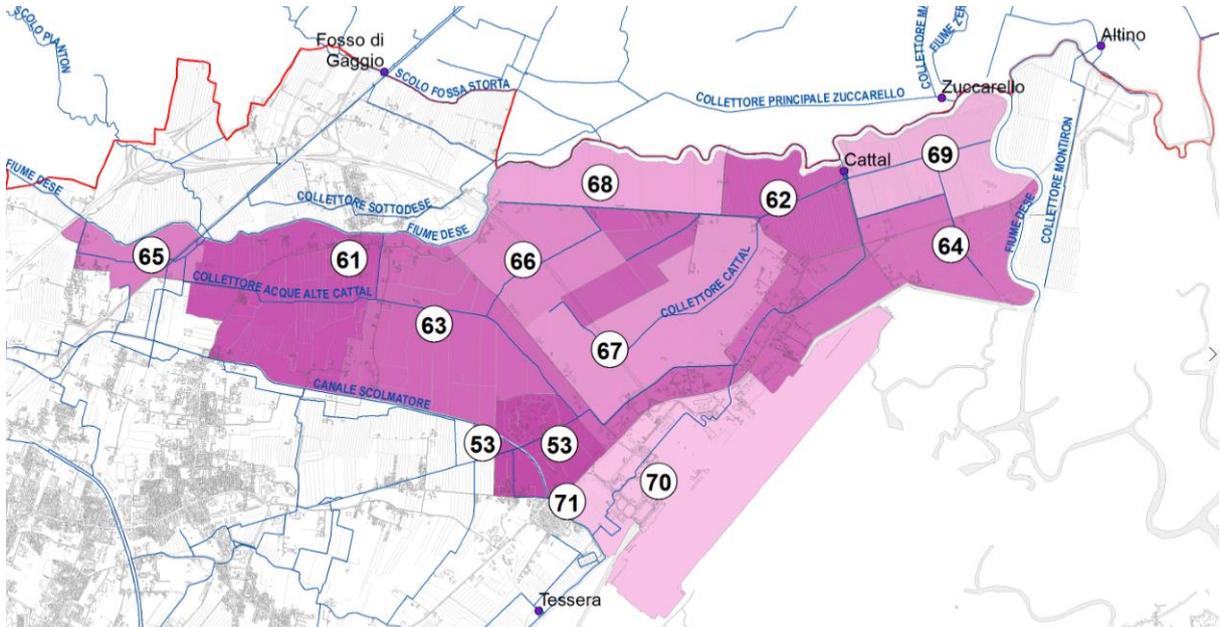


Figura 4 – Bacino idrografico afferente all'impianto idrovoro di Cattal

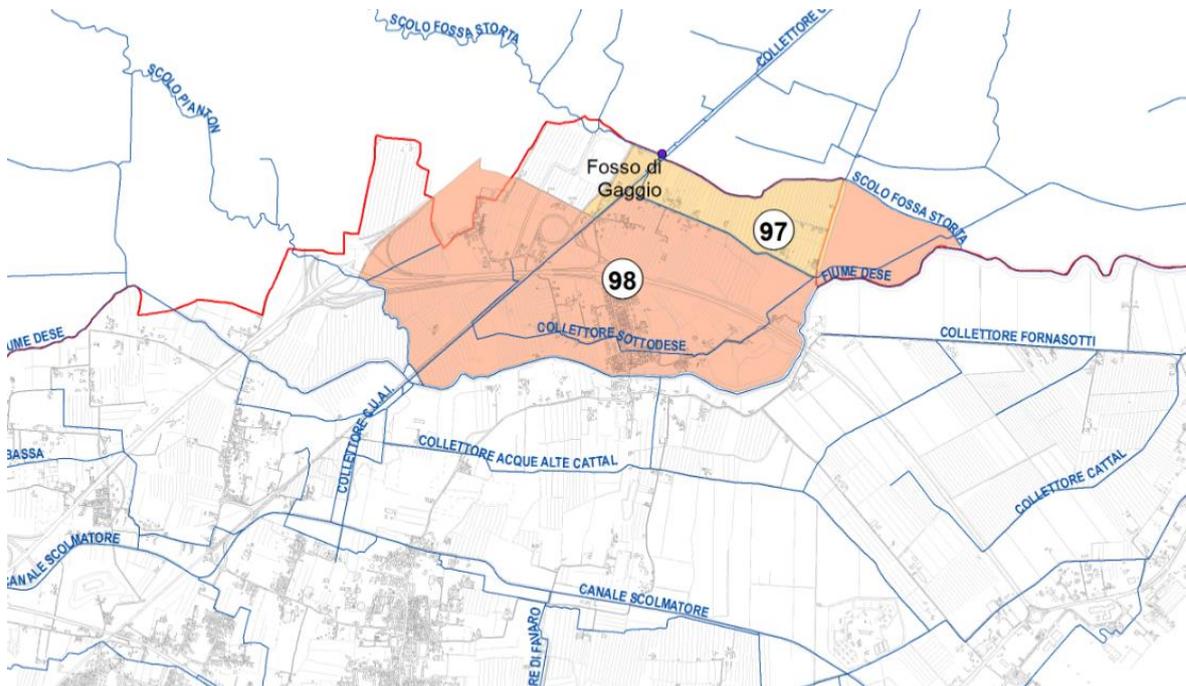


Figura 5 – Bacini idrografici afferenti all'impianto idrovoro di Zuccarello

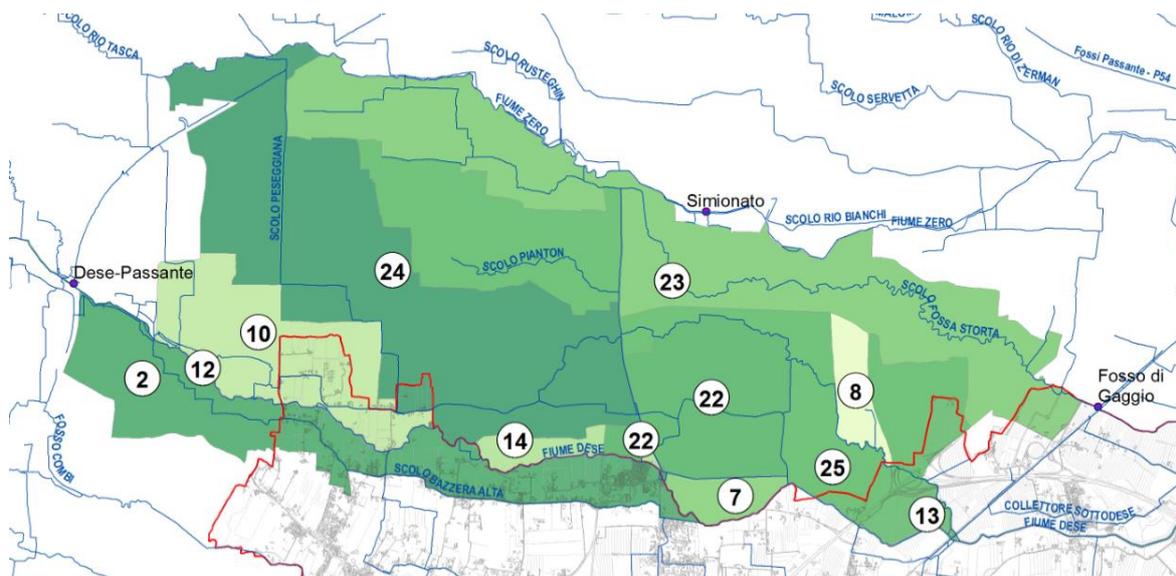


Figura 6 – Bacino idrografico a scolo naturale afferente al fiume Dese

I bacini del fiume Marzenego e del canale Scolmatore del fiume Marzenego

Il fiume Marzenego sottende un bacino idrografico complessivo di circa 139 km² nei comuni di Resana, Piombino Dese, Trebaseleghe, Noale, Scorzè, Salzano, Martellago, Spinea e Venezia: in quest'ultimo ricadono 29 km² dell'intero bacino.

Il terreno è prevalentemente limoso con lingue estese di materiale sabbioso.

Il bacino è chiuso all'altezza di Tessera, dove il Marzenego, divenuto Marzenego-Osellino, dopo essersi ricongiunto in un unico ramo all'altezza di Mestre, sfocia nella Laguna di Venezia.

Il territorio urbano racchiuso tra il Marzenego-Osellino ed il canale scolmatore del Marzenego, è asservito dall'idrovora di Campalto.

Il Canale Scolmatore, che raccoglie le acque degli scoli Dosa, Cimetto, Allacciati, Rio Moro, Rio Storto, Fosso del Terraglio e Bazzera Bassa, si riversa in Laguna a scolo meccanico alternato attraverso l'impianto idrovoro di Tessera.

Parte del territorio inoltre è in grado di sversare le acque a scolo naturale direttamente in Marzenego attraverso il collettore Acque Alte Campalto e gli Abbinati.

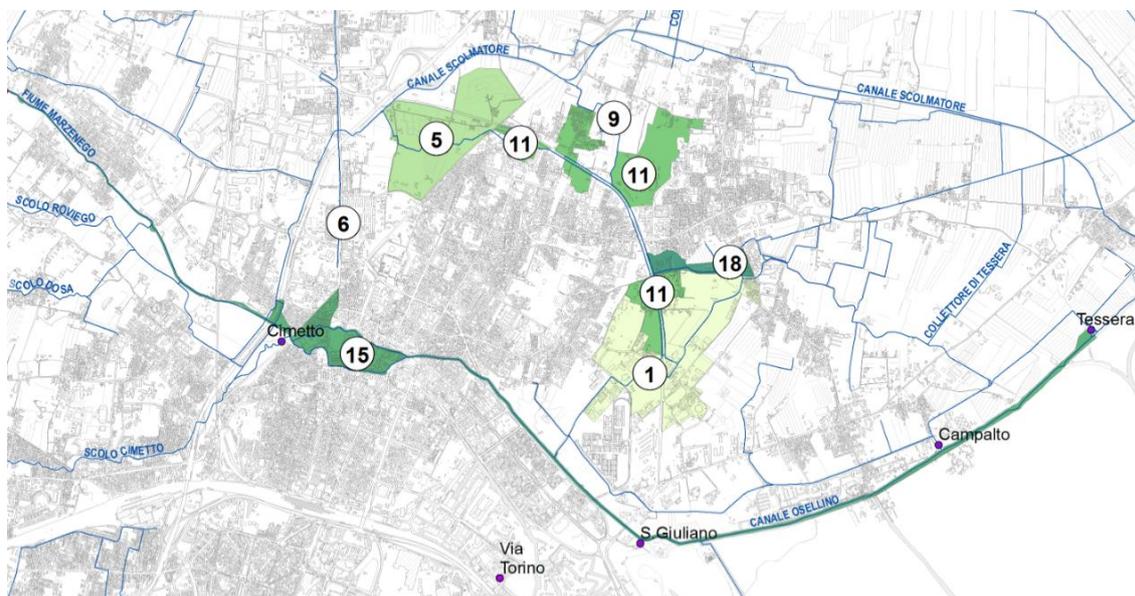


Figura 9 – Bacini idrografici a scolo naturale afferenti al fiume Marzenego

I collettori Rio Cimetto, scolo Dosa e il ramo Dosa Vecchia, sono inoltre connessi al nuovo impianto idrovoro Cimetto, che in caso di eventi particolarmente intensi, sversa le portate fino a $3 \text{ m}^3/\text{s}$ direttamente nel Marzenego.

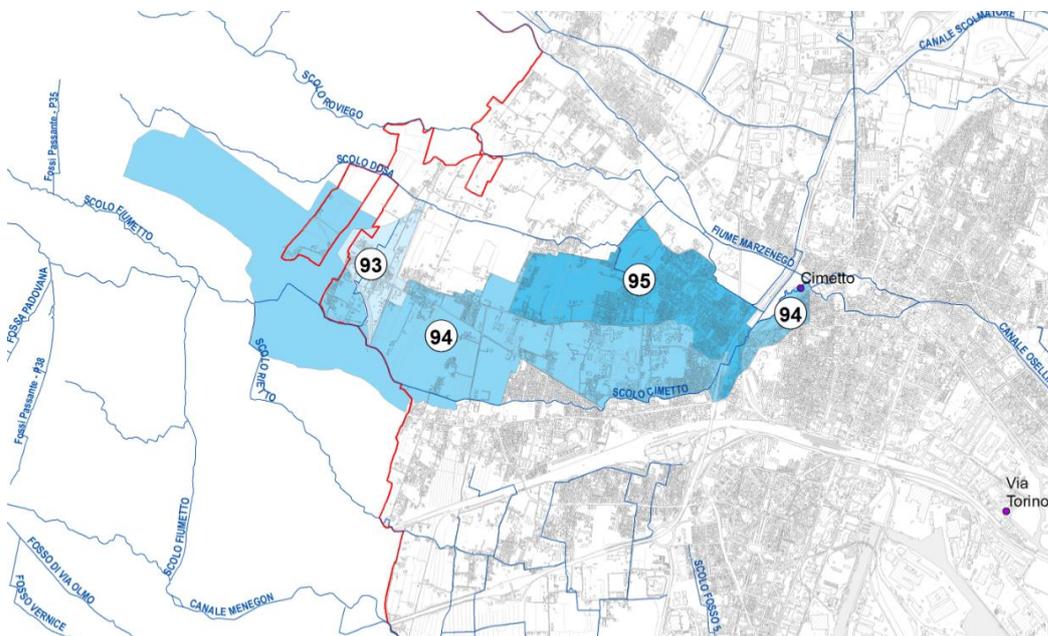


Figura 10 – Bacini idrografici degli affluenti del canale Scolmatore afferenti all'idrovora Cimetto

Un altro impianto d'emergenza per il sollevamento delle acque meteoriche direttamente nel Marzenego è l'impianto SM23, in gestione a Veritas, per lo sfioro delle acque di pioggia che eccedono le massime portate, generate dai bacini di fognatura di Gazzera e Zelarino, convogliabili all'impianto di trattamento di Fusina.

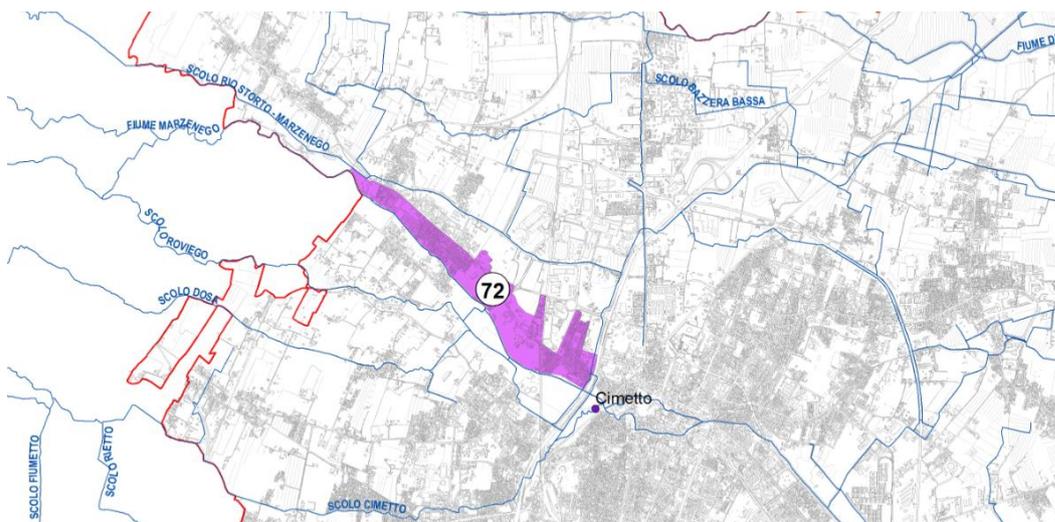


Figura 11 – Bacino servito da fognatura mista direttamente connesso all'impianto SM23

L'immagine precedente non rappresenta tutti i bacini serviti da fognatura comunale afferente all'impianto SM23, ma solamente la frazione di territorio, limitrofa a via Castellana a Zelarino, le cui acque di pioggia, in caso di eventi intensi, sono più probabilmente convogliate all'impianto e sollevate. È infatti ragionevole pensare che, per eventi intensi, nel bacino di Gazzera e nella frazione più lontana del bacino di Zelarino, le acque in eccesso vengano sfiorate nei collettori superficiali più prossimi. Il contributo meteorico di questi bacini, pertanto, è stato considerato in via cautelativa anche nel calcolo della risposta idrologica dei sottobacini afferenti ai corsi d'acqua superficiali.

I bacini scolanti direttamente in Laguna

I bacini direttamente scolanti nella Laguna di Venezia sono l'Altino-Montiron, il canal Salso, lo scolo S. Giuliano e l'area industriale di Porto Marghera.

Il bacino idrografico Altino-Montiron si estende su una superficie complessiva di 7.45 km² nei comuni di Quarto d'Altino e Venezia, di cui 1.85 km² ricadenti nel comune di Venezia. Esso è caratterizzato da terreno limoso con scarsa capacità drenante. Si tratta di un bacino a scolo meccanico, le cui portate sono sollevate direttamente in Laguna dall'idrovora Altino.

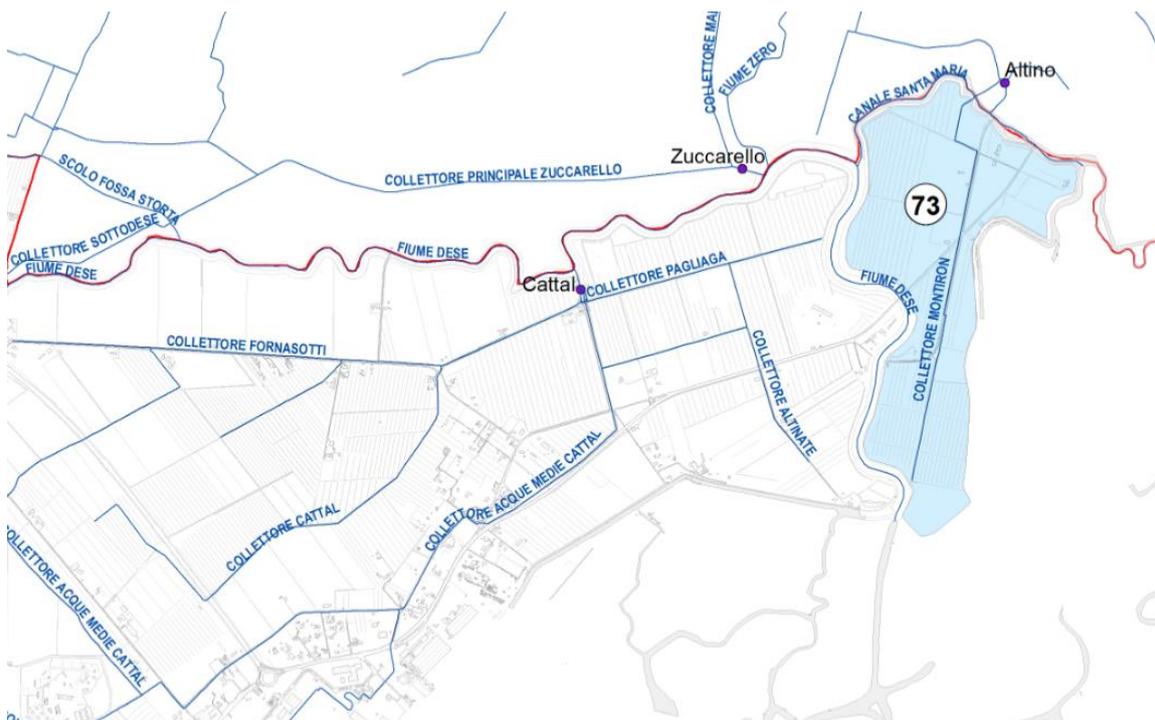


Figura 12 – Bacino Altino-Montiron nel Comune di Venezia

I bacini del canal Salso e dello scolo S. Giuliano sono compresi interamente nel comune di Venezia; essi sono caratterizzati da terreno prevalentemente limoso, ad eccezione di piccole chiazze di terreno sabbioso, a ridosso della Laguna, e di terreno di riporto, in località Aretusa. Entrambi i bacini sono caratterizzati da scolo meccanico, mediante gli impianti idrovori, rispettivamente, di via Torino e San Giuliano, i quali sollevano le portate convogliate e le scaricano direttamente in Laguna.

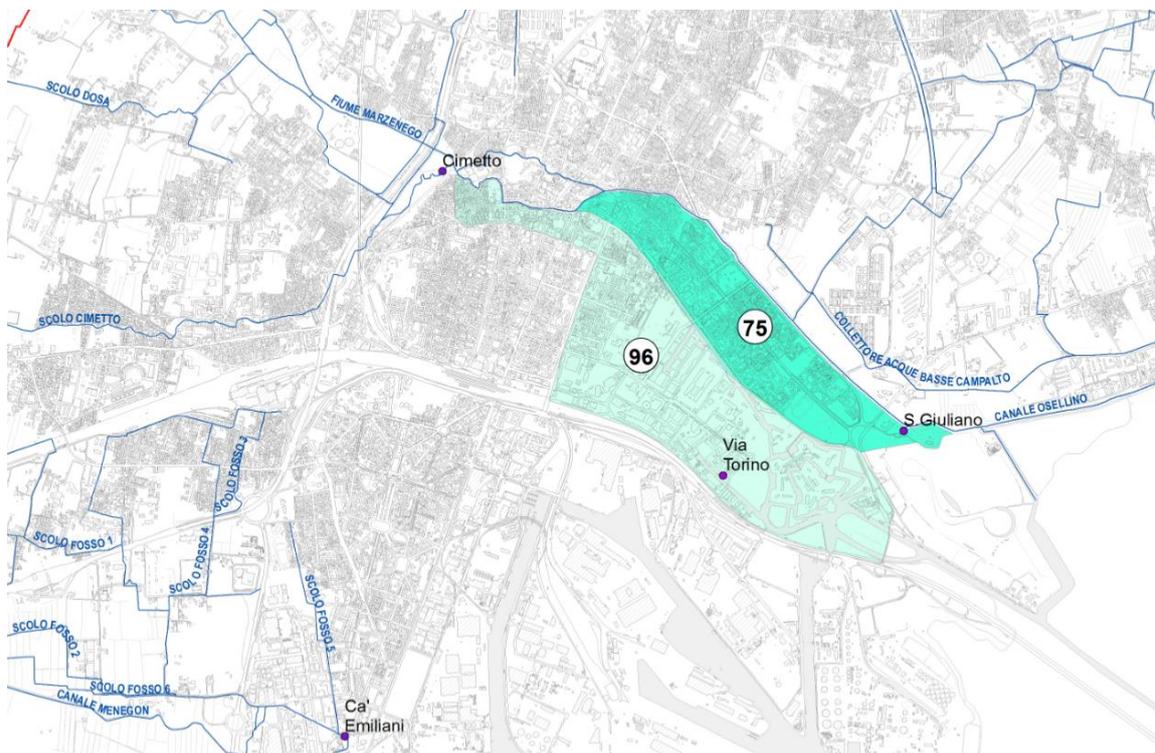


Figura 13 – Bacini afferenti alle idrovore di via Torino (96) e di San Giuliano (75)

Il bacino scolante direttamente nella laguna nell'area sud-est della terraferma, si estende su una superficie di 4,3 km² e rappresenta parte della zona industriale di Porto Marghera. L'area è servita da reti di drenaggio sia pubbliche, in gestione a Veritas e all'Autorità portuale di Venezia e in parte private come, ad esempio, la rete gestita dal Consorzio Servizi Porto Marghera nell'area del nuovo polo petrolchimico.

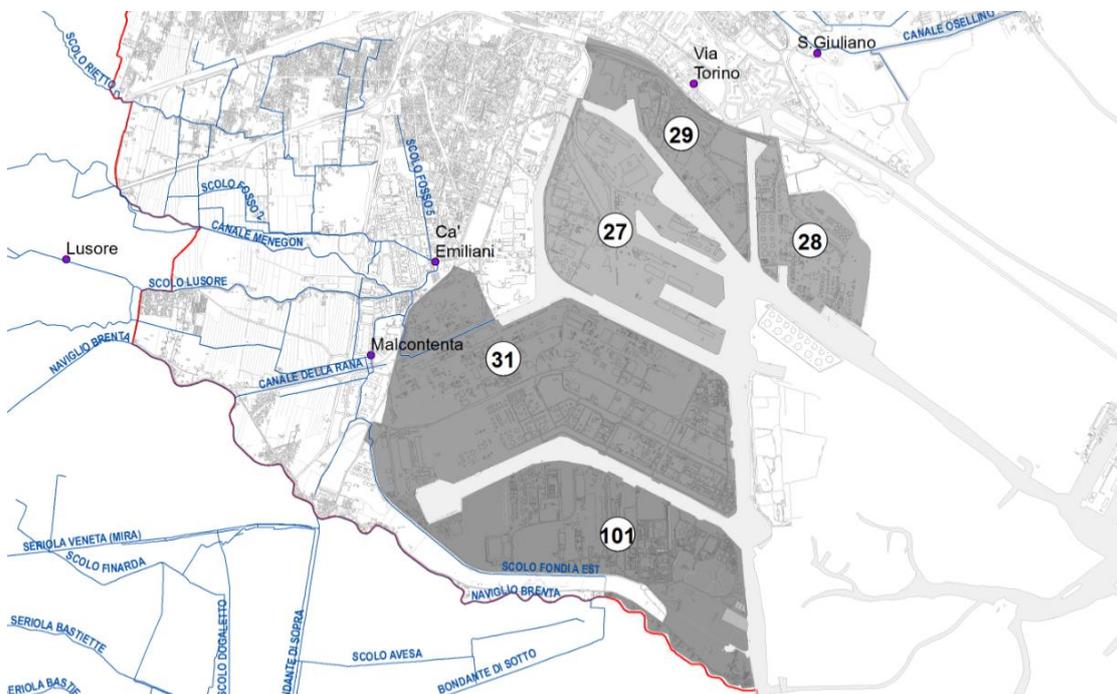


Figura 14 – Bacino scolante direttamente in laguna – Porto Marghera

I bacini del fiume Lusore

Il bacino idrografico del fiume Lusore si estende su una superficie complessiva di circa 158 km² interessando diversi Comuni delle Province di Padova e Venezia, 14,2 km² ricadono nel comune di Venezia. Esso è caratterizzato da terreni limosi-argillosi, con lingue sabbiose, soprattutto lungo il confine comunale di Venezia, e con superfici estese di terreno di riporto, in tutta la zona industriale di Marghera. La porzione nord occidentale del comprensorio nel territorio comunale appartiene al bacino dello scolo Rietto, il quale recapita nel Menegon (noto anche come Fiume Vecchio), affluente in sinistra idraulica del Lusore, che convoglia quindi le acque con deflusso naturale in Laguna.

L'area, di circa 5 km², compresa tra lo scolo Menegon a nord e il canale Naviglio Brenta a sud sversa le proprie acque verso l'impianto idrovoro di Malcontenta attraverso i seguenti collettori principali: Fondi a Est, Fondi a Sud e Fondi a Nord. Quest'ultimo, inoltre funge da scolmatore dello scolo Comuna in caso di alti livelli idrici nel Lusore incompatibili con il deflusso a gravità.

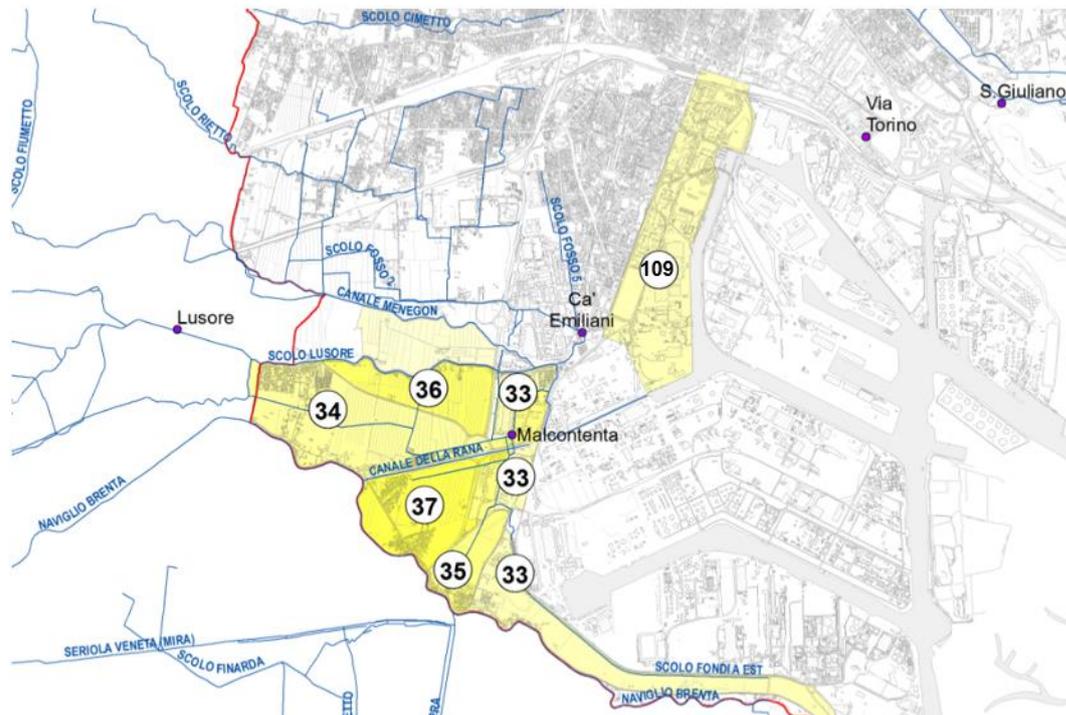


Figura 17 – Bacino afferente all'impianto idrovoro di Malcontenta

3 Definizione degli eventi pluviometrici di progetto

Per l'individuazione delle curve di possibilità pluviometrica più appropriate per l'area in esame si è fatto riferimento al recente studio affidato a Nordest Ingegneria S.r.l. dall'ing. Mariano Carraro, Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio della Regione del Veneto nel giorno 26 settembre 2007. Tale analisi, allegata al presente Piano, aveva lo scopo di individuare delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento per l'area nelle province di Venezia, Padova e Treviso colpita dalle recenti avversità atmosferiche.

3.1 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

Si riportano di seguito le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento per la zona costiera e lagunare, alla quale appartiene il territorio del Comune di Venezia.

Parametri della curva segnalatrice:
$$h = \frac{a \cdot t}{(t + b)^c}$$

Tabella 5. Valori dei parametri da assegnare alla curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno.

TR (anni)	a	b	c
2	20.3	12.0	0.821
5	27.2	13.5	0.820
10	31.4	14.4	0.816
20	35.2	15.3	0.809
30	37.2	15.8	0.805
50	39.7	16.4	0.800
100	42.8	17.3	0.791
200	45.6	18.2	0.783

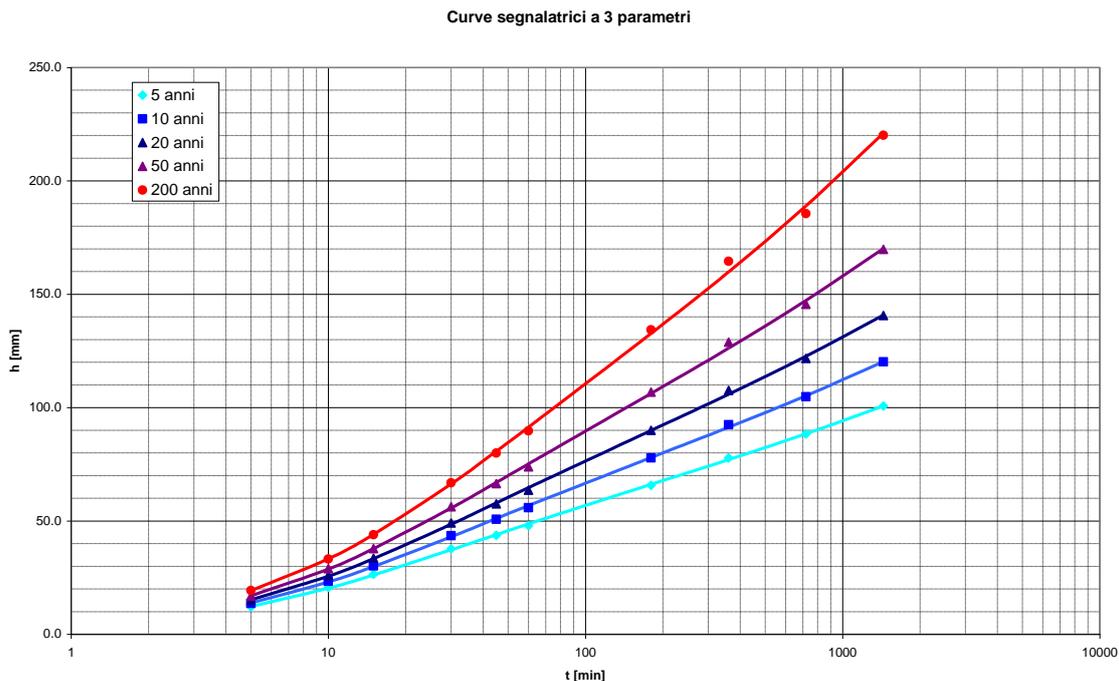


Figura 18. Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per la zona costiera e lagunare.

3.2 Scelta degli eventi

Le simulazioni numeriche sono state effettuate utilizzando eventi di pioggia relativi ai seguenti tempi di ritorno¹ (TR):

- 5 anni: evento che statisticamente ha una probabilità di verificarsi con più frequenza
- 20 anni: evento più gravoso del precedente in termini di pericolosità ma con frequenza minore.

Per ogni modello sviluppato sono stati analizzati in questo modo gli effetti delle precipitazioni andando ad approfondire e rappresentare i risultati di tali eventi critici.

Di seguito invece si riportano le considerazioni alla base della scelta della durata degli eventi da simulare.

In linea di principio le precipitazioni intense ma brevi vanno a sollecitare maggiormente le zone urbane, caratterizzate da tempi di corrivazione brevi (15-30 minuti); diversamente, le precipitazioni prolungate (12-24 ore) di intensità anche non particolarmente elevata generano maggiore carico della rete di bonifica in quanto, superata la fase iniziale di imbibizione dei terreni, una parte rilevante della precipitazione si riversa in rete.

¹ per tempo di ritorno si intende il tempo medio che intercorre tra due eventi calamitosi di pari intensità

Al fine di considerare entrambi i casi si è scelto di simulare eventi con durata di pioggia di 48 ore distribuita con ietogramma² Chicago.

3.3 Ietogrammi di progetto

A partire dai parametri delle curve di possibilità pluviometrica per TR 5 e 20 anni, sono stati definiti gli ietogrammi di progetto. In letteratura sono reperibili numerose metodologie per la costruzione di tali ietogrammi; in questo studio si è utilizzato il cosiddetto **ietogramma Chicago**, costituito da una distribuzione temporale delle altezze di pioggia coincidente con la relazione altezza-durata della curva di possibilità pluviometrica. Infatti per ciascun intervallo temporale considerato (15 min, 1 ora, 6 ore, 12 ore, etc), l'altezza di precipitazione dello ietogramma è pari a quella prevista dalla curva relativa al prefissato tempo di ritorno. Il volume di precipitazione così calcolato risulta pertanto pari a quello di un evento sintetico della stessa durata con intensità costante (ietogramma rettangolare) ma genera un valore di portata al colmo (nella fase di piena) che risulta critico per tutti gli intervalli di tempo considerati.

Nella realtà un evento che è critico per una certa durata non è necessariamente critico anche per le tutte le altre durate, per cui l'altezza di pioggia complessiva dello ietogramma Chicago è superiore a quella di ciascuno degli eventi reali che risultano critici per le diverse durate.

È d'altro canto ragionevole aspettarsi che l'uso dello ietogramma Chicago porti a sovrastimare le portate al colmo. Ciò nonostante, si è optato, coscientemente, per tale assunzione cautelativa anche in ragione dei numerosi fattori di incertezza insiti nell'analisi pluviometrica e più ancora nella simulazione dei processi di trasformazione afflussi–deflussi.

Il passo temporale minimo considerato è di 15 minuti, durata che corrisponde al tempo di corrivazione dei tratti più corti della rete di fognatura principale in area urbana.

La posizione del picco della precipitazione è stata fissata a 12 ore, durata che ben rappresenta il tempo di corrivazione dei sottobacini di bonifica più grandi afferenti alla rete indagata.

Si riportano a titolo di esempio in Figura 19 gli ietogrammi così generati, a partire dalle curve di possibilità pluviometrica relative ai tempi di ritorno di 5 e 20 anni. La Figura 20 riporta invece la precipitazione cumulata piovuta nelle 48 ore.

² Ietogramma: distribuzione temporale della precipitazione

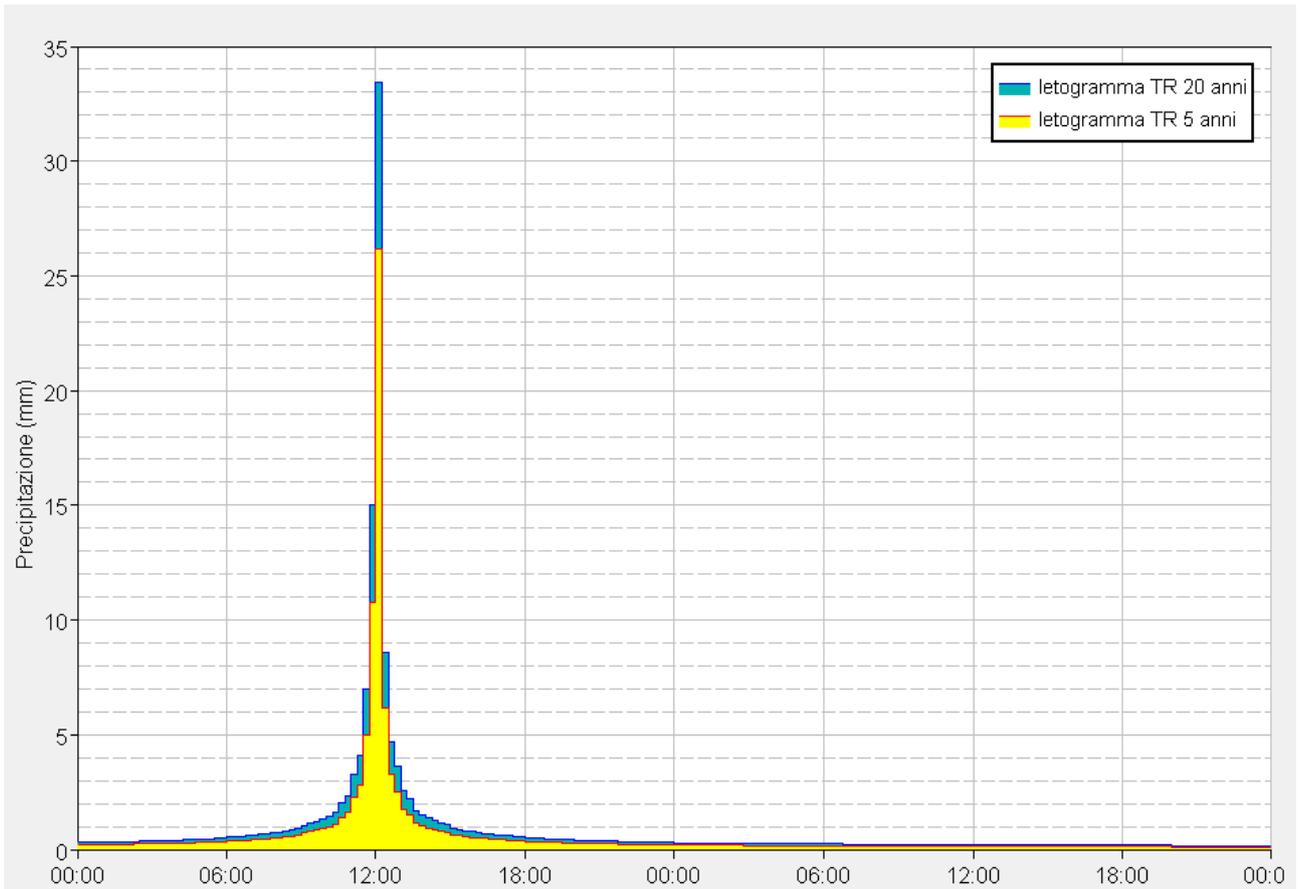


Figura 19. letogrammi sintetici Chicago per TR=5 e TR=20 anni.

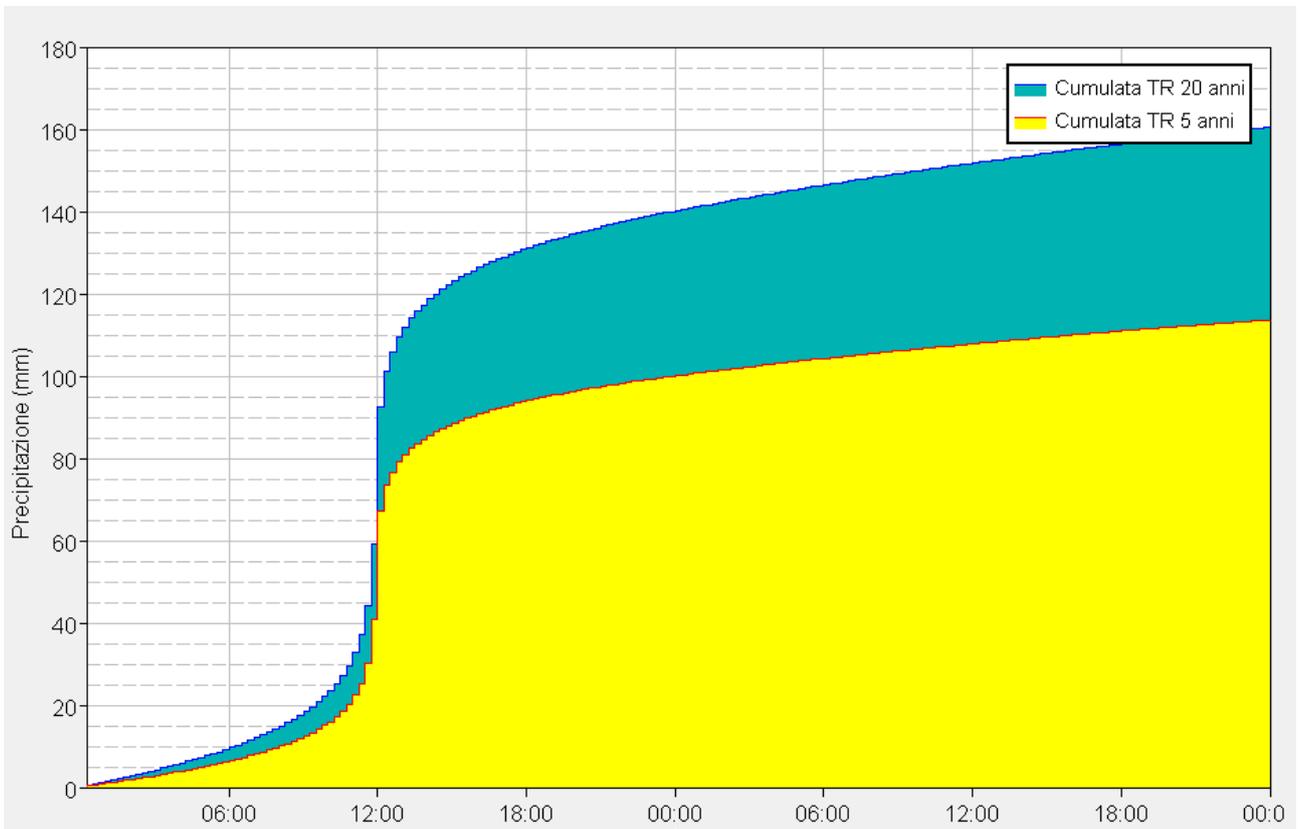


Figura 20. Precipitazione cumulata nelle 48 ore per TR=5 e TR=20 anni.

4 Definizione dei modelli matematici

Per la simulazione numerica della risposta idrologica dei bacini e della propagazione delle piene in rete si sono utilizzati i seguenti modelli:

- modello idraulico mono-dimensionale della **rete di fognatura**, in grado di simulare sia la **trasformazione afflussi/deflussi** sia il **funzionamento idraulico a moto vario** del sistema di drenaggio urbano. Il modello è stata sviluppato nell'ambito di altri studi e indagini sul territorio a cura di Veritas con l'utilizzo del software *InfoWorks CS 15*, sviluppato dalla società inglese *Innovyze*. **(paragrafo 5)**
- modello idrologico per la stima della **risposta idrologica dei sottobacini tributari dei collettori di acque superficiali**. Il modello è stato sviluppato a cura del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive con l'utilizzo del software HEC-HMS rilasciato dall'US Army Corps of Engineers. **(paragrafo 6)**
- modello idraulico mono-dimensionale per la **propagazione delle piene nei corsi d'acqua superficiali**, sviluppato a cura del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive con il software MIKE11 del Danish Hydraulic Institute (DHI). **(paragrafo 0)**

Di seguito si riporta una trattazione sintetica dei tre diversi modelli e della metodologia utilizzata per l'interazione tra gli stessi.

5 Modello della rete fognaria

5.1 Rete fognaria di Mestre – dati di input

VERITAS, per mezzo dell'ufficio sistemi informativi territoriali, gestisce con continuità l'archivio grafico e informativo relativo alle reti gestite. Al fine di impostare la modellazione matematica della rete è stato naturale procedere alla acquisizione dei dati disponibili, alla loro normalizzazione ed analisi critica. Come naturale, sono emerse delle esigenze di approfondimento che sono state soprattutto di carattere altimetrico e di verifica idraulica (misure di portata).

5.2 Schema di funzionamento del sistema fognario

Nell'ambito del progetto sulla diminuzione delle acque parassite nella fognatura di Mestre (nei due lotti relativi al bacino di Campalto e Fusina) VERITAS ha effettuato l'aggiornamento allo schema della rete fognaria e una estesa campagna di misure di portata nella rete. Ciò ha consentito di analizzare idraulicamente l'intero ambito fognario, evidenziando l'interconnessione tra i diversi sottobacini di studio, la presenza delle immissioni esterne di portata, gli sfiori controllati o meno; i principali misuratori fissi di portata con l'integrazione di misuratori mobili, combinata con i dati delle centrali di sollevamento ha permesso di raggiungere un livello decisamente spinto di conoscenza. Come evidenziato nella parte descrittiva della rete fognaria si sono ricavati degli schemi di massima di funzionamento che riportiamo a seguire:

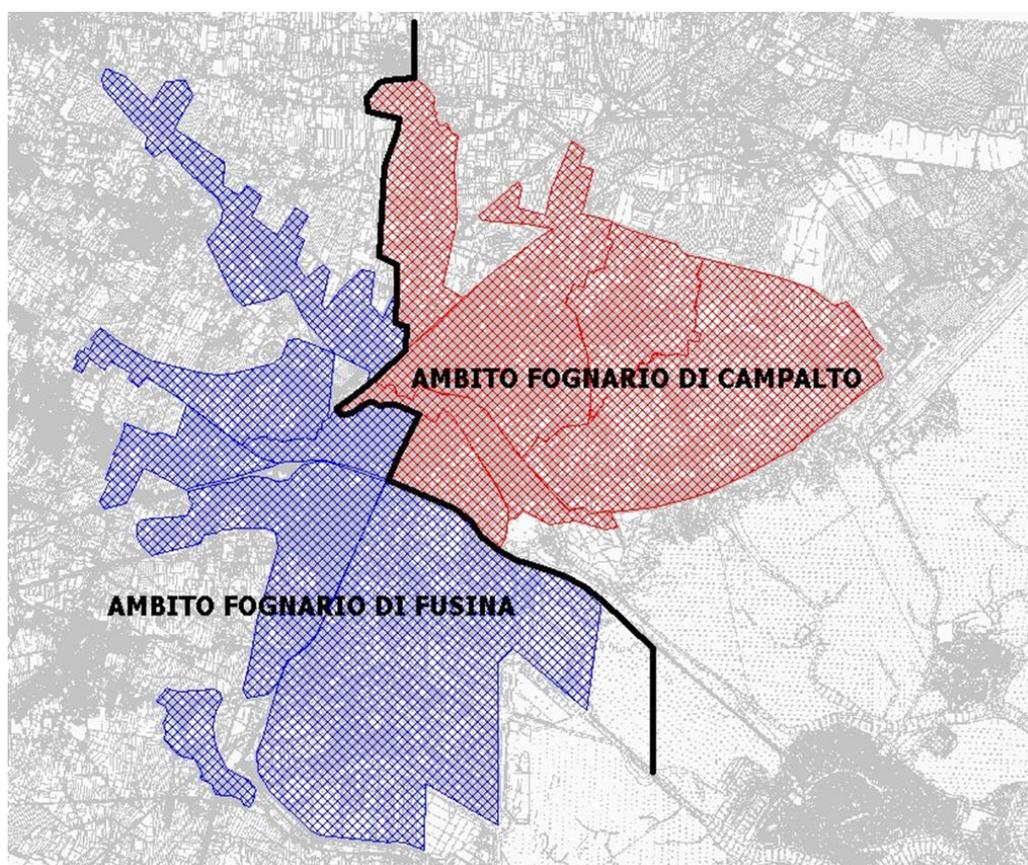


Figura 21. Schema degli ambiti fognari

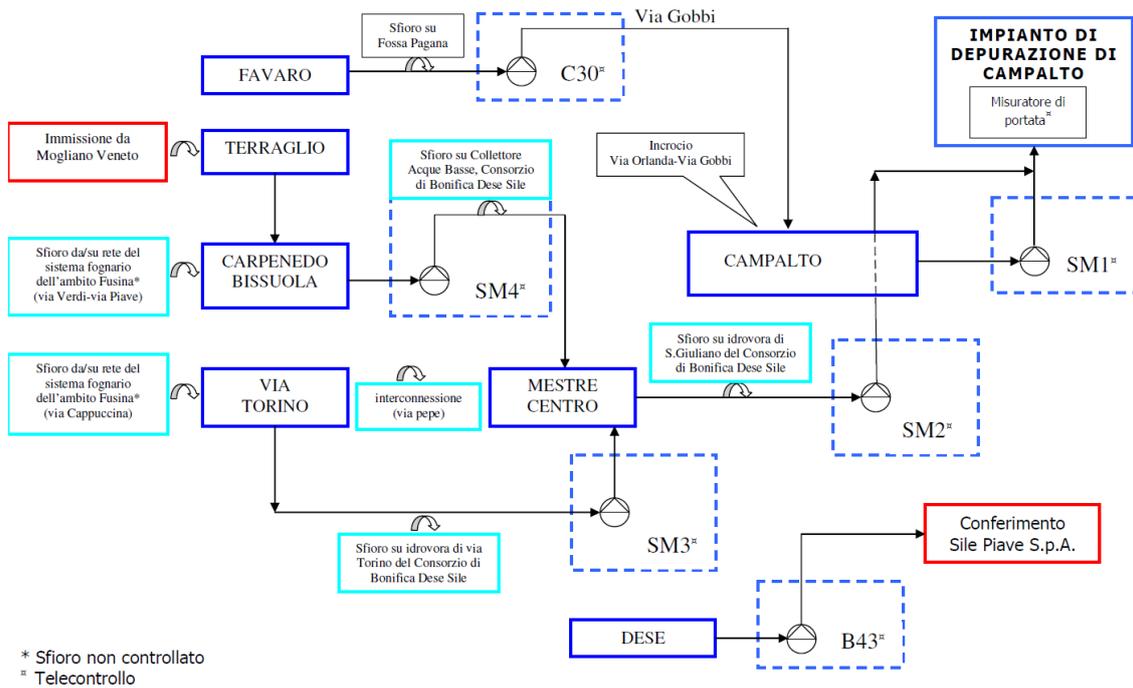


Figura 22. Quadro sinottico del bacino di Campalto

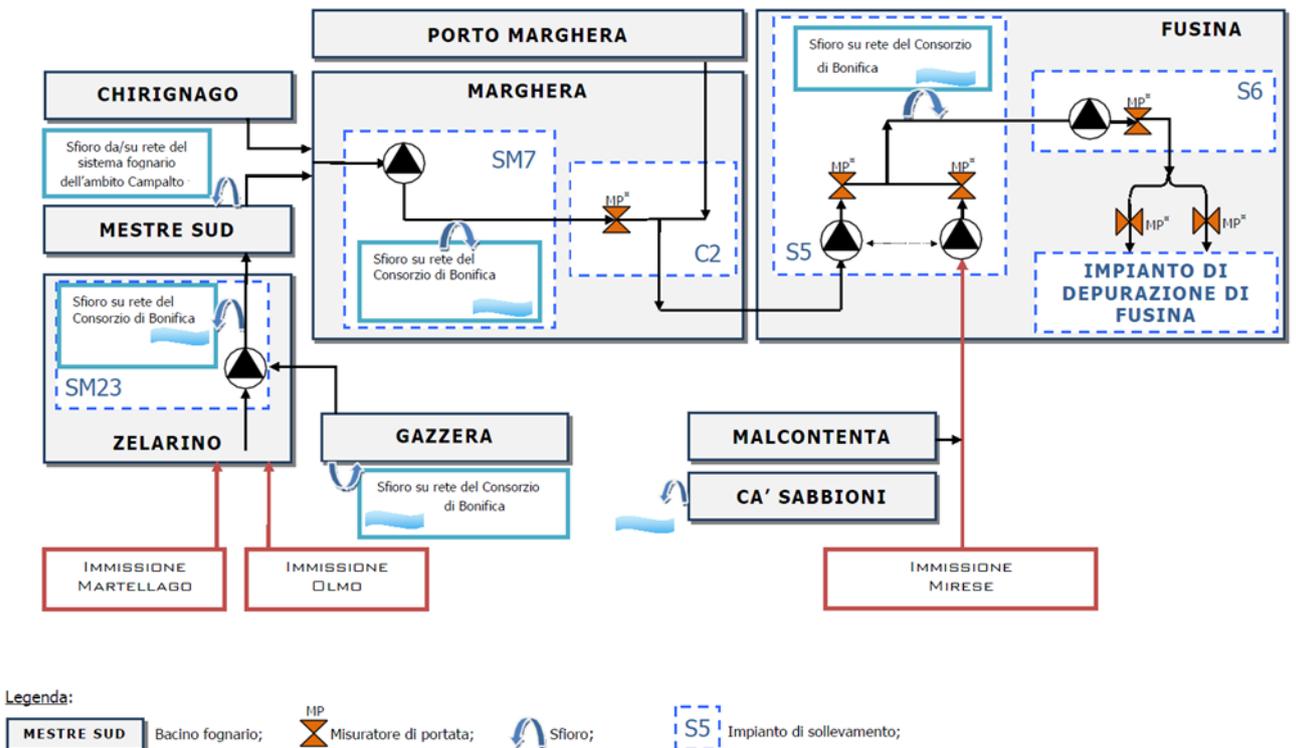


Figura 23. Quadro sinottico del bacino di Fusina

Tali schemi rappresentano il massimo livello di astrazione di una mole di dati che scende al dettaglio del rilievo della singola camera d'ispezione.

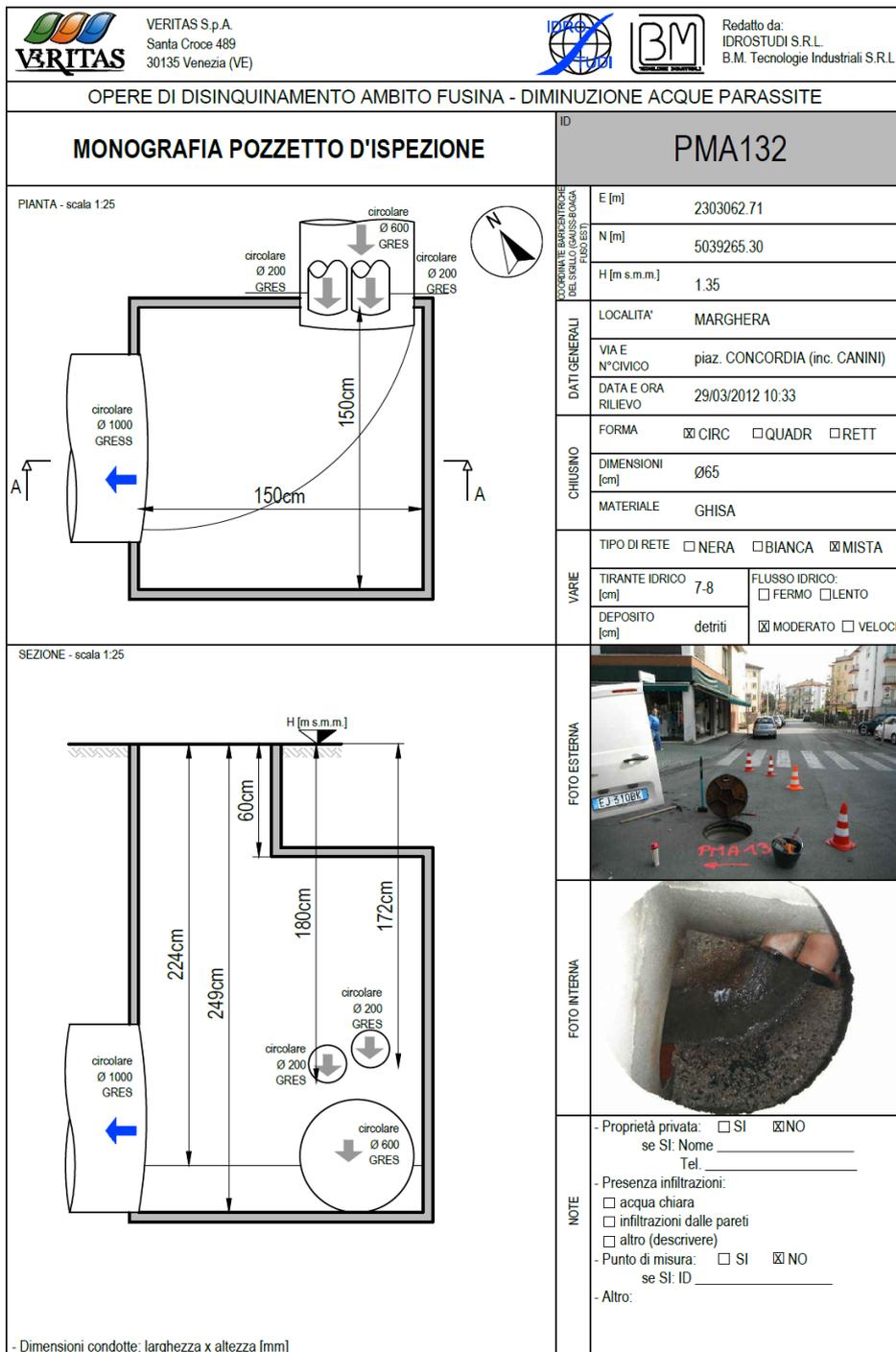


Figura 24. Monografia tipo per pozzetti di ispezione

Risulta evidente che tali dati sono tutt’oggi oggetto di approfondimento e studio e hanno permesso, recentemente, di sviluppare dei modelli idraulici riferiti ai due ambiti, Fusina e Campalto, che hanno dimostrato buona coerenza con il funzionamento reale della rete fognaria.

5.3 La costruzione del modello della rete fognaria

Per lo studio della rete è stato implementato un modello idraulico mono-dimensionale in grado di simulare sia la trasformazione afflussi/deflussi sia il funzionamento idraulico in moto vario del sistema di

drenaggio urbano. Ci si è avvalsi del software *InfoWorks CS 15*, sviluppato dalla società inglese *Innovyze*, e utilizzato in ambito tecnico per la progettazione e verifica di reti fognarie urbane ed idrografiche di qualsiasi tipologia.

Per l'implementazione del modello sono stati utilizzati i seguenti dati di base:

- dal progetto sulla diminuzione delle acque parassite nella fognatura di Mestre: ci si è avvalsi di:
 - database contenente i dati geometrici relativi alla rete principale;
 - elaborati grafici riportanti il tracciato della rete;
 - monografie dei pozzetti principali rilevati;
 - sottobacini afferenti alla rete;
 - portate acque parassite;
 - schema impianti di sollevamento;
 - dati dei pluviometri e dei misuratori di portata installati durante la campagna di misura.
- Dati già consolidati di VERITAS:
 - georeferenziazione delle utenze allacciate per la definizione delle portate relative alle acque nere;
 - censimento sfiori presenti lungo la rete;
 - modalità di funzionamento degli impianti di sollevamento (quote di attacco-stacco pompe);
 - carta dell'uso del suolo per la definizione dei coefficienti di deflusso dei sottobacini.

Tutti i dati di base sono stati poi confrontati e integrati, nell'ambito del presente progetto, con le informazioni fornite dall'Ente gestore della rete.

5.4 Caratteristiche tecniche del software di simulazione idraulica

InfoWorks CS è un applicativo di simulazione idraulica sviluppato dalla software-house internazionale *Innovyze*. Il software nasce per consentire la modellazione numerica integrata di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane. La sua flessibilità di applicazione consente quindi di rappresentare in modo completo e accurato tutte le situazioni reali anche quando siano presenti complesse interferenze con reticoli fognari e/o di bonifica.

All'interno di un'unica interfaccia utente si possono quindi rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

5.4.1 Modelli Idrologici disponibili

In InfoWorks sono disponibili una serie di modelli di trasformazione afflusso-deflussi. È quindi possibile sollecitare il modello geometrico con diverse condizioni al contorno tra cui anche degli opportuni ietogrammi di pioggia incidenti in diversi sottobacini.

L'utente può scegliere tra questi modelli idrologici:

- Formula Razionale
- Modello CN (SCS)
- Modello Green-Ampt
- Modello Horton
- Modello New UK
- Modello dell'Infiltrazione costante
- Modello di Horner

5.4.2 Approccio numerico

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione del momento e della massa).

Le equazioni sono le seguenti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2)$$

ove:

- A area bagnata del condotto;
- Q portata;
- x distanza lungo l'asse del condotto;
- t tempo;
- g costante gravitazionale;
- H carico idraulico totale dato da $z+h$;
- z quota dello scorrimento;

- h livello idrico;
- S_f cadente piezometrica.

In particolare, la (1) è l'equazione di continuità in moto vario in assenza di afflussi e deflussi laterali, la (2) è l'equazione del momento della quantità di moto; quest'ultima può essere scritta in più forme, in funzione della scelta delle variabili dipendenti. La cadente piezometrica viene computata con varie possibili metodologie (a scelta dell'utente): in InfoWorks sono infatti disponibili le equazioni di Colebrook-White, Manning e Strickler.

Per poter essere integrate queste equazioni devono essere opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks è quello dei 4 punti di Priessmann mentre il risolutore adottato è quello di Newton-Rapson.

Le equazioni di cui sopra sono valide fino a quando il condotto non entra in pressione; per permettere a InfoWorks di simulare anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) il motore di calcolo adotta la tecnica dello slot per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. Così facendo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto da gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandate presenti nel modello, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artificio dello slot).

L'applicabilità di questo metodo di soluzione è stato testato in centinaia di studi e applicazioni anche con riscontri di misure idrometriche ottenuti su dei bacini sperimentali.

Ci sono alcune limitazioni sull'utilizzo di questo approccio e sono:

- i risultati sono semplificati per elementi molto pendenti e per i quali comunque InfoWorks produce dei risultati comunque vicini alla realtà;
- il risalto idraulico (ovvero quella discontinuità che si nota nei profili di rigurgito dove un tubo molto pendente incontra un tubo a bassa pendenza per cui l'acqua forma un vero e proprio sovrizzo improvviso) non viene rappresentato in modo preciso, ma il passaggio da corrente veloce a lenta viene computato su una certa distanza (qualche metro a seconda della geometria della situazione reale).

Si noti che la metodologia di calcolo a moto vario è in grado di tener conto anche dei volumi in gioco e quindi di tener conto delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello.

5.5 Dati di partenza e integrazione dei dati geometrici

Come dato di base per l'implementazione del modello è stato considerato il database cartografico semplificato implementato nel corso del progetto sulla diminuzione delle acque parassite nella fognatura di Mestre.

Nella fase di sviluppo del modello è stato necessario aggiungere a tali dati di base ulteriori informazioni ricavate in parte dagli elaborati del progetto sulla diminuzione delle acque parassite e in parte fornite o rilevate sul posto.

In particolare le informazioni contenute nel database sono state integrate con le seguenti informazioni contenute nel progetto sulla diminuzione delle acque parassite:

- le monografie dei pozzetti (dalle quali sono state ricavate le quote di scorrimento delle tubazioni);
- le caratteristiche degli impianti di sollevamento presenti lungo la rete (curve caratteristiche dei singoli impianti);
- la localizzazione degli sfiori;
- la definizione dei sottobacini afferenti;
- le portate parassite.

Cui si sono aggiunti:

- la definizione delle portate nere legate ai consumi delle utenze afferenti alla rete modellata;
- la cartografia delle reti secondarie non ricomprese nel file shape di partenza.

In una fase successiva, a seguito di verifiche di incongruità dei dati di partenza disponibili, sono stati dettagliati:

- le modalità di funzionamento degli impianti (quote di attacco-stacco delle pompe);
- censimento sfiori presenti lungo la rete.

Tali dati sono stati tutti inseriti nel modello implementato

5.6 La schematizzazione adottata

La rete modellata copre l'intero Bacino di Fusina e Campalto. A fini di gestione, data la vastità dell'area coperta, il modello è stato mantenuto suddiviso in due Ambiti, al fine di consentire dei "run" più veloci e comunque snellire la gestione dei database.



Figura 25. Schema della rete modellata

Nel modello è stata inserita la rete principale e parte della rete secondaria. Per ogni tratto di tubazione sono state inserite le quote di scorrimento, lunghezza e diametro della condotta.

5.6.1 Impianti di sollevamento

Nel modello idraulico sviluppato sono stati inseriti tutti gli impianti di sollevamento presenti nella rete. A titolo d'esempio, a seguire, è riportato il diagramma di flusso degli impianti di sollevamento nell'ambito fognario di Campalto.

**CENTRALI DI SOLLEVAMENTO FOGNATURE
ZONA B BACINO DI CAMPALTO**

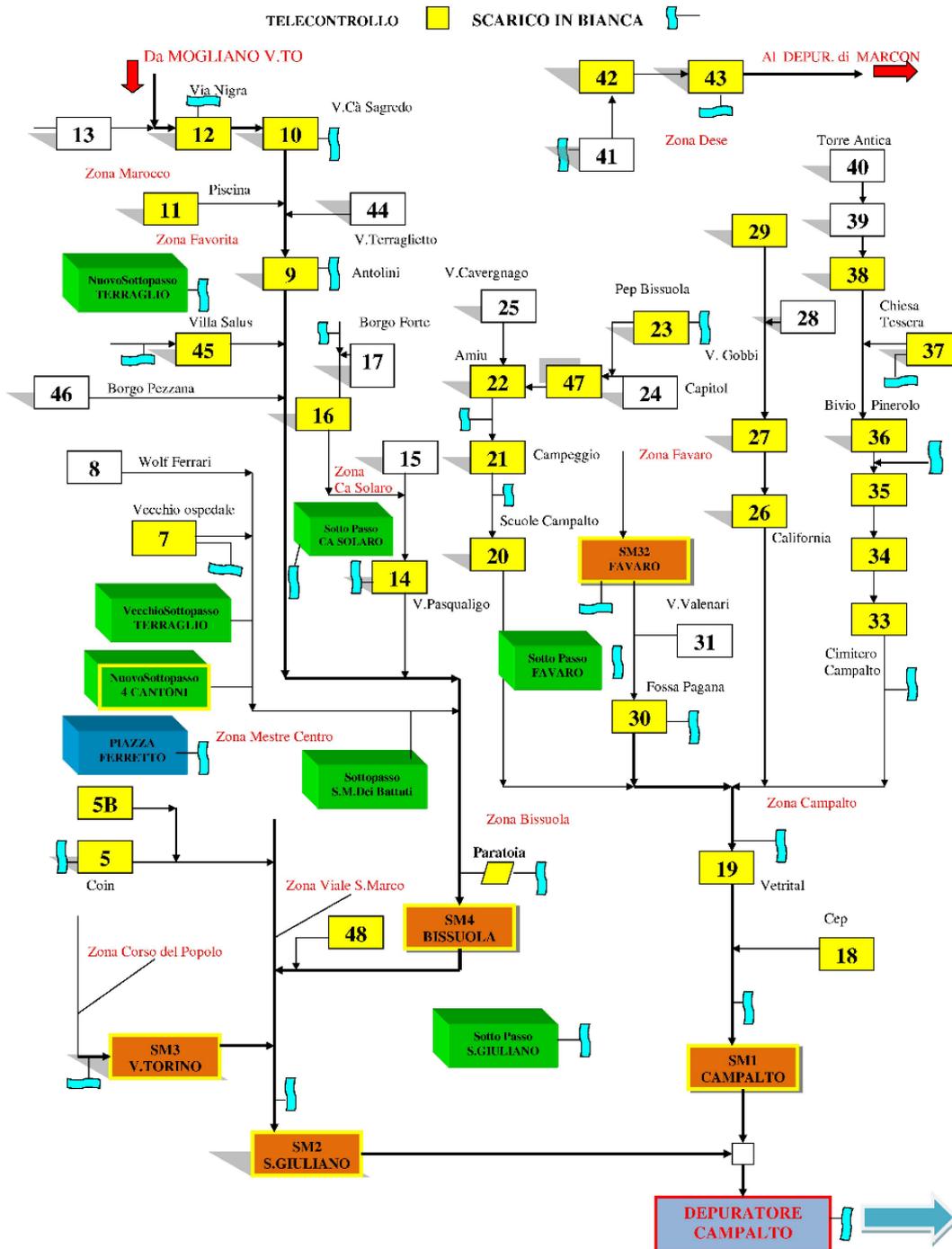


Figura 26. Quadro sinottico delle principali centraline di sollevamento del bacino di Campalto

All'interno del progetto sulla diminuzione delle acque parassite nella fognatura di Mestre, sono stati censiti tutti gli impianti di sollevamento presenti lungo la rete.

Per determinare la modalità di funzionamento degli impianti, si è utilizzato le quote di attacco e stacco e la curva caratteristica di ogni singola pompa che sono state poi inserite nel modello matematico.

5.6.1 Punti di modulazione e sfioro

Analizzando la rete fognaria si è riscontrata la presenza di numerosi sfiori verso i collettori di acque superficiali che possono essere ubicati o lungo la rete o in corrispondenza degli impianti di sollevamento.

La tipologia e le quote di sfioro sono state desunte dallo studio sulla diminuzione delle acque parassite, all'interno del quale erano state redatte le monografie dei manufatti e da ulteriori indagini e approfondimenti.

Tutti questi sfiori significativi sono stati inseriti nel modello idraulico sviluppato.

5.6.2 Impianti idrovori

Nella fase di implementazione del modello si è indagato anche sulla interconnessione tra il sistema fognario e la rete di bonifica inserendo nella rete oltre agli sfiori descritti nel paragrafo precedente, anche gli impianti idrovori e le vasche presenti nella rete.

5.6.3 Sottobacini

Nel modello si sono utilizzati i sottobacini desumibili dalle planimetrie di rete fognaria, riperimetrati ove necessario con considerazioni di carattere eminentemente matematico e idraulico.

In fase di modellazione i bacini sono stati ulteriormente suddivisi in sottobacini afferenti ai singoli nodi della rete, come riportato nella figura seguente:



Figura 27. Suddivisione in bacini della rete

Per l'attribuzione dei coefficienti di deflusso dell'area scolante si è utilizzata la carta relativa alla copertura suolo, nella quale è indicata la tipologia di area per ogni zona individuata.

Riportiamo le diverse tipologie di superfici presenti nel territorio analizzato. In particolare sono state individuate sei tipologie di superfici alle quali sono stati applicati degli specifici coefficienti di deflusso superficiale elencati nella seguente tabella.

Tabella 6. Tipologie di superfici e relativo coefficiente di deflusso

TIPOLOGIA DI SUPERFICIE	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO
Edifici	0.85
Baracche	0.85
Viabilità	0.8
Viabilità secondaria	0.8
Marciapiedi	0.8
Piste ciclabili	0.8
Spazi verdi	0.2
Non classificate	x

In prima approssimazione il coefficiente di deflusso delle superfici non classificate è stato posto pari a 0.15. Nella fase di esercizio del modello, il coefficiente di deflusso della superficie rimanente viene utilizzato per ricalibrare limitate variazioni locali.

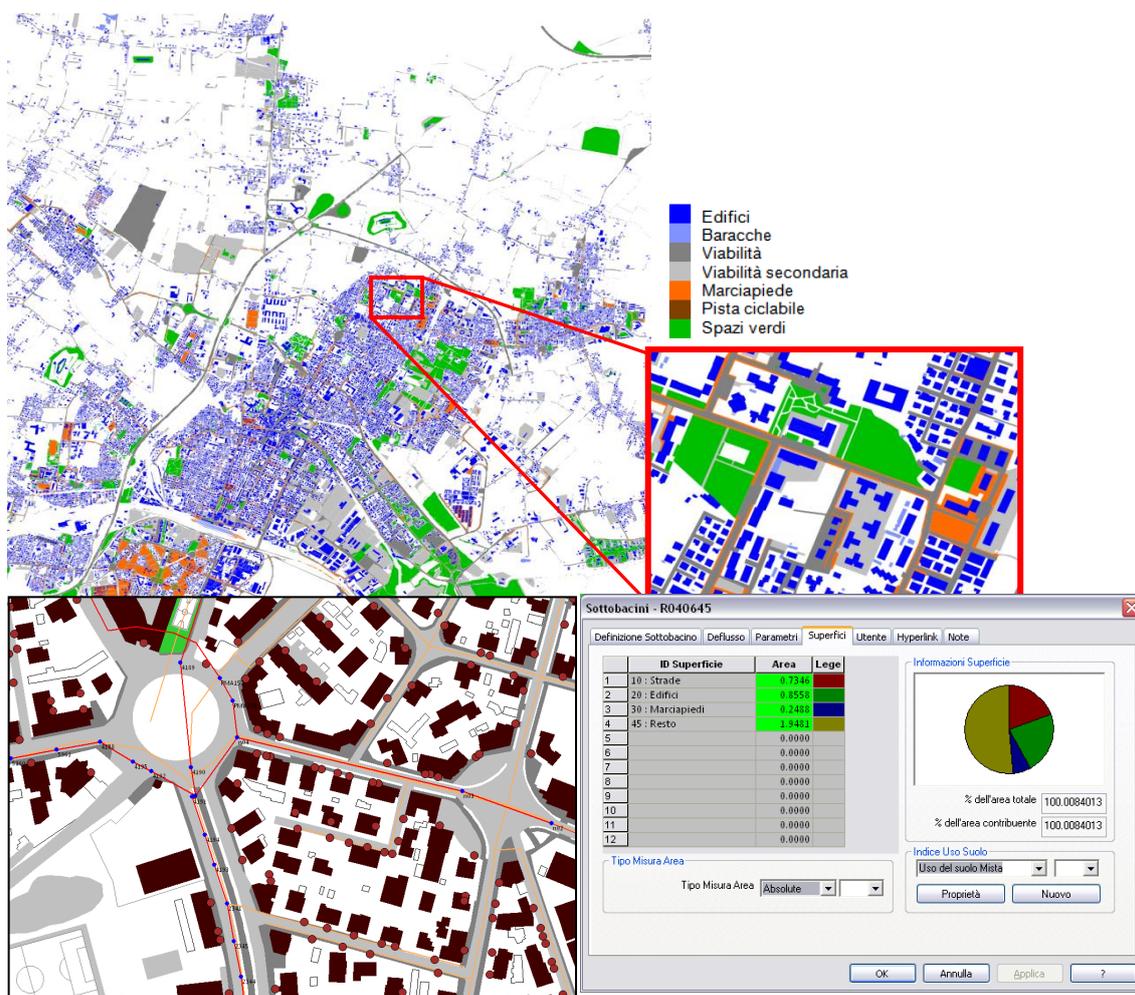


Figura 28. Suddivisione in tipologie di superfici

5.7 I parametri di simulazione

Ultimata l'implementazione della geometria del modello idraulico, si procede con la definizione delle portate che sollecitano la rete suddivise in:

- portate nere;
- portate derivanti dalle acque parassite presenti nella rete;
- portate meteoriche.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte nel dettaglio le portate considerate.

5.8 Portate nere

Per la definizione delle portate nere da inserire nel modello sono stati utilizzati, come dati di input, i dati relativi ai consumi acquedottistici georeferenziati di ogni utenza espressi in portata media mensile (dati relativi a dicembre 2002).

Si è calcolata la somma delle utenze che ricadono all'interno di ciascun sottobacino; la portata nera risultante, espressa in m^3/s , è stata inserita come dato del singolo sottobacino che afferisce ad uno specifico nodo della rete.

5.9 Acque parassite

Nell'ambito del progetto "Diminuzione acque parassite nella fognatura" è stata avviata una campagna di misura con lo scopo di determinare le portate parassite all'interno della rete.

La struttura fognaria infatti soffre di alcuni problemi e carenze anche strutturali derivanti da immissioni e/o infiltrazioni d'acqua non controllate nella rete fognaria, che oltre ad abbassare le efficienze degli impianti di disinquinamento, che si trovano a funzionare con diluizioni di reflui in ingresso non previste in sede di progetto, mettono in crisi i sistemi di sollevamento ed adduzione, con gli evidenti sprechi energetici e soprattutto con la vanificazione dell'efficacia scolante della rete.

Nello studio sviluppato, la rete fognaria è stata suddivisa in distretti e per ogni distretto è stato definito un punto di chiusura nel quale è stato installato un misuratore di portata.

Per la determinazione della portata parassita è stato considerato il minimo notturno in tempo secco misurato durante il periodo di registrazione.

Nel modello idraulico sviluppato, le portate parassite sono state quindi inserite come portata di base all'interno di ogni sottobacino. La portata di base rappresenta nel modello matematico la portata che si infiltra nel sistema ed è implementata come una immissione di portata costante durante tutta la durata della simulazione. Vale la pena sottolineare che pur non trascurabile, tale portata non è critica ai fini del presente lavoro.

5.10 Portate meteoriche

Nell'ambito della presente indagine si è considerato un tempo di ritorno di 5 anni, con passo 15 minuti e si è utilizzato uno ietogramma di tipo Chicago come descritto al paragrafo 3.

5.11 Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione viene assunto come durata critica dell'evento in modo da massimizzare le portate generate nel sistema.

Una minore durata dell'evento porta ad una intensità dell'evento maggiore. Considerando un tempo di corrivazione basso (dell'ordine dei minuti) le simulazioni evidenzieranno criticità sui singoli tratti della rete, mettendo in risalto le insufficienze locali. Considerando invece tempi di corrivazione più elevati (dell'ordine delle ore), e quindi sollecitando il sistema con eventi di pioggia di durate maggiori, le simulazioni evidenzieranno le criticità di funzionamento del sistema nel suo complesso.

5.12 Analisi e verifica della geometria del modello - simulazioni

. Si riporta nelle tavole un estratto sintetico dei nodi e tratti con evidenziati nodi sofferenti e tratte critiche.

Per la verifica con eventi più reali si è comunque ritenuto opportuno implementare alcune simulazioni atte a verificare lo schema della rete nel suo complesso ed individuare i punti nei quali sono necessari eventuali approfondimenti nello schema.

A seguire si riporta la verifica svolta considerando la rete sollecitata con un evento di precipitazione con tempo di ritorno pari a 20 anni e durata di 30 minuti, considerata come durata critica per i sottobacini di modo da evidenziare eventuali anomalie geometriche localizzate.

Inoltre stante l'evento del 21/6/2016 che ha evidenziato fenomeni di allagamento nella zona a Sud di via Trieste, si è eseguito un run su caso reale.

I risultati hanno manifestato buona corrispondenza con quanto accaduto, mostrando la dorsale di via Trieste in sofferenza, ma non in esondazione (avvenuta nelle zone a sud, altimetricamente svantaggiate).



Figura 29. Schema della rete modellata con indicate le entità dei volumi esondati ai nodi per una evento con TR 20 anni e durata precipitazione pari a 30 minuti.

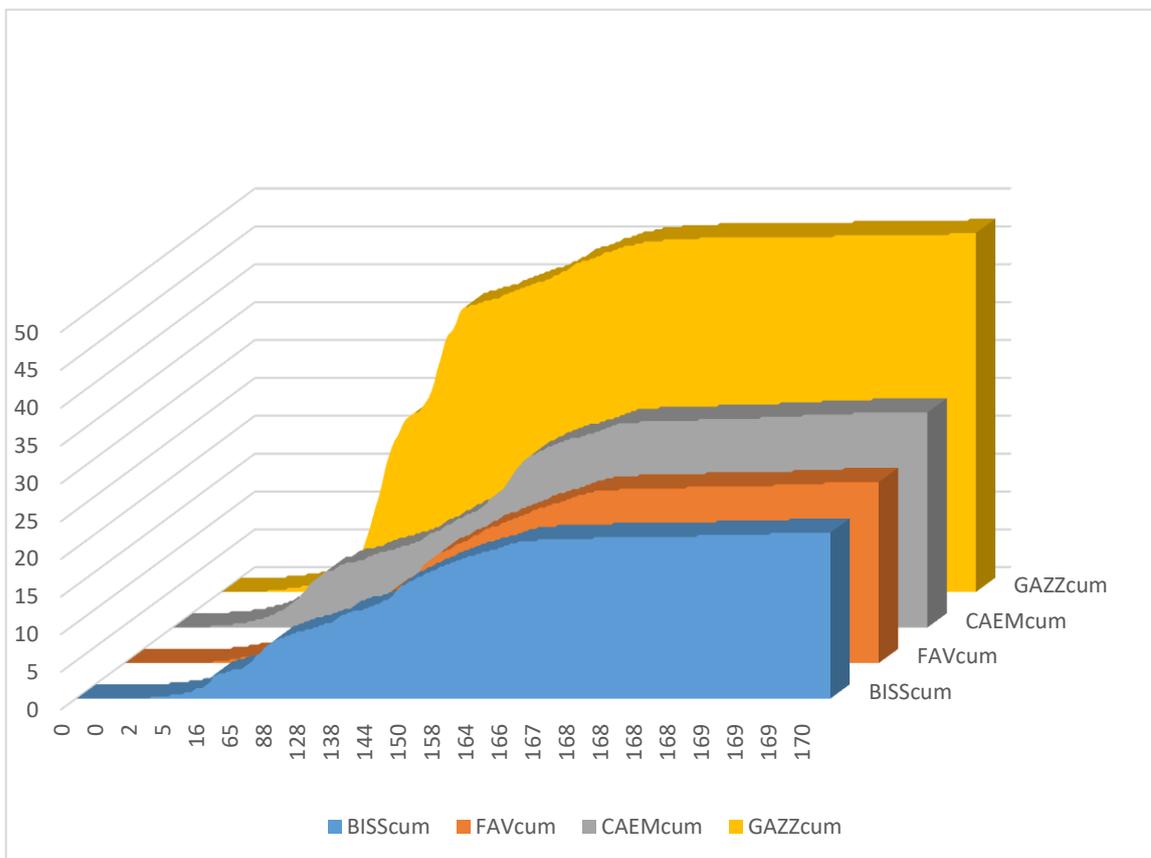


Figura 30. Piogge cumulate del 14/5/2016, pluviografi di Gazzera, Ca'Emiliani, Favaro, Bissuola

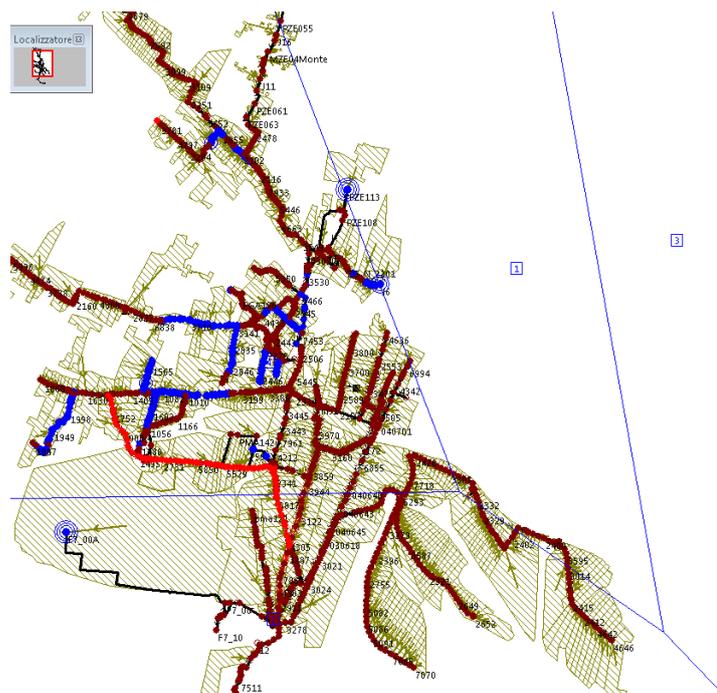


Figura 31. Assegnazione delle aree di influenza dei pluviografi con i poligoni di Thiessen

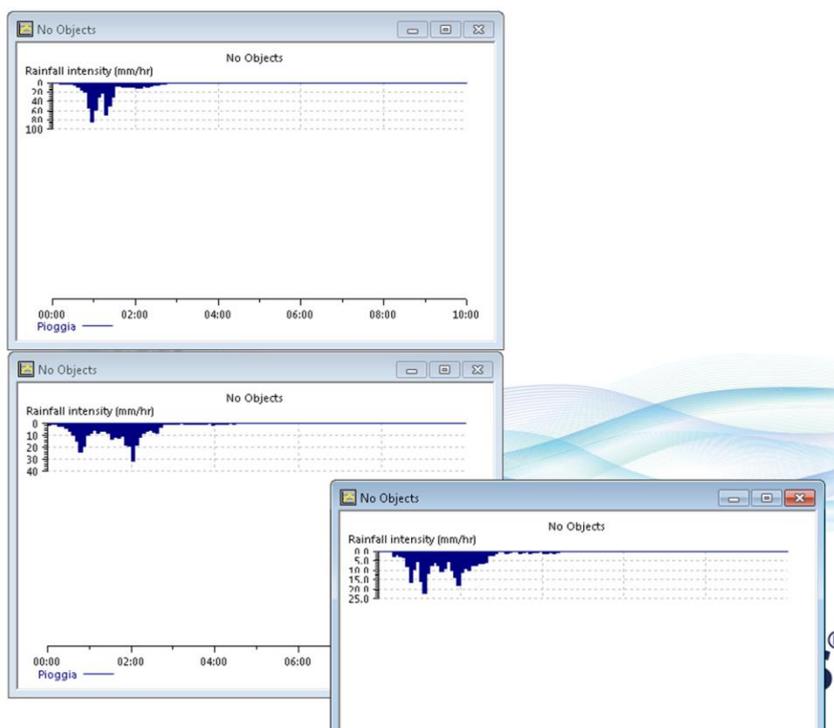


Figura 32. letogrammi del 14/5/2016 in Infoworks

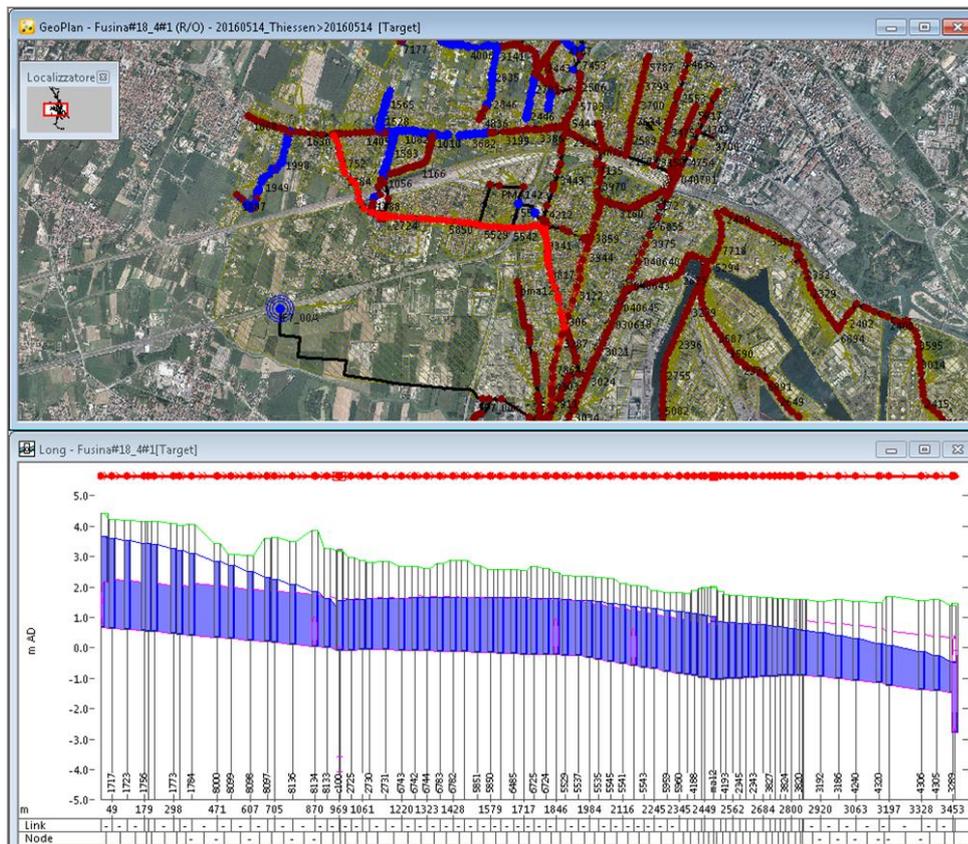


Figura 33. Dorsale maggiormente colpita dall'evento del del 14/5/2016, planimetria e sezione.

5.13 Integrazione con il modello della rete superficiale

I risultati delle simulazioni sono stati adottati come input del modello della rete superficiale (di cui al paragrafo successivo). Va sottolineato che, come noto, stanti i differenti tempi di corrivazione, vi è un approccio differente tra simulazioni di reti urbane e simulazioni di reti di bonifica. Mentre le prime manifestano tempi ridottissimi, dell'ordine dei minuti, le seconde esibiscono tempi di corrivazione dell'ordine delle ore o dei giorni. Gli idrogrammi risultanti sono inoltre sensibilmente più acuti nelle reti fognarie rispetto alle reti di bonifica. A titolo di esempio si riporta un estratto dell'idrogramma di sfioro.

6 Stima della risposta idrologica dei sottobacini di bonifica

Di seguito è descritta la metodologia per l'individuazione della risposta idrologica dei sottobacini tributari dei collettori di acque superficiali. L'analisi è stata condotta implementando gli eventi sintetici di progetto e la geometria e le caratteristiche dei bacini in un modello idrologico tramite l'utilizzo del software HEC-HMS.

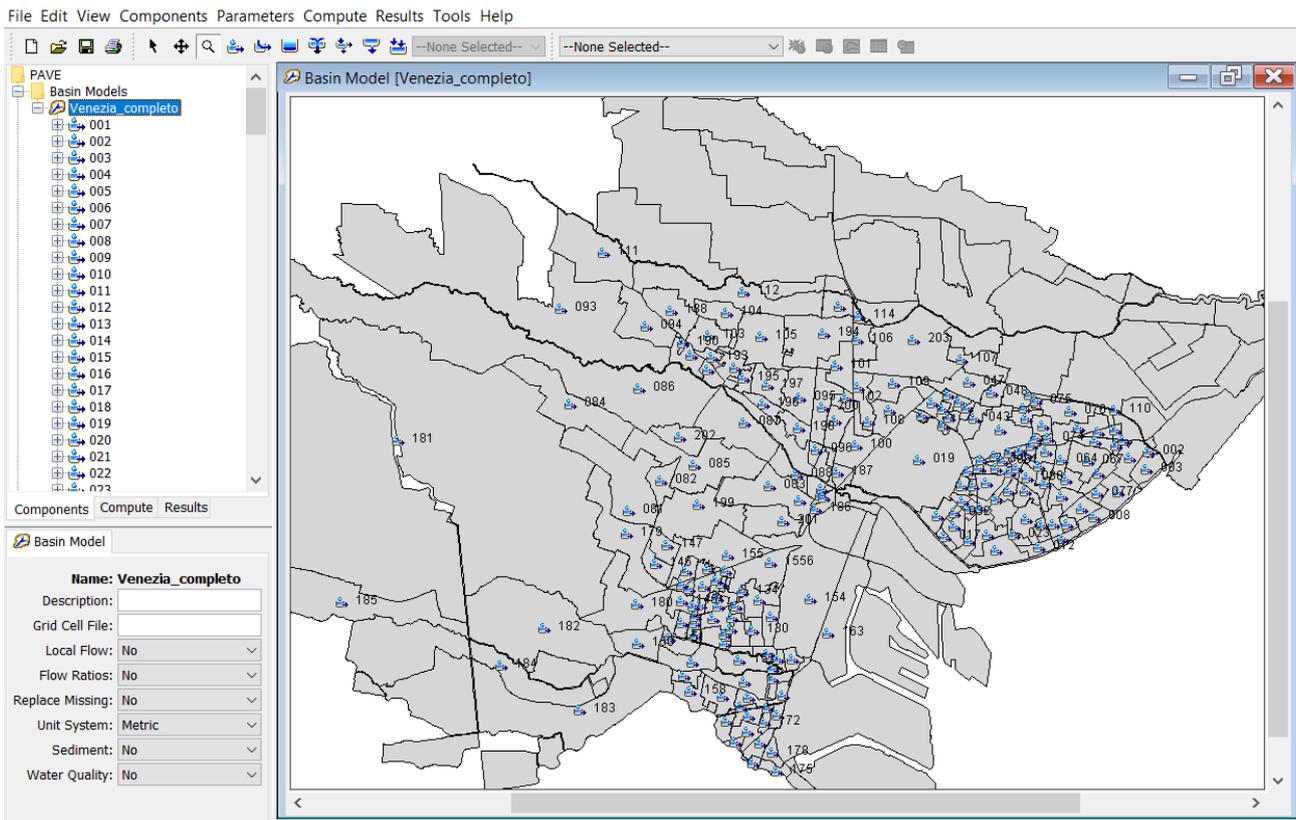


Figura 35. Immagine estratta dal modello idrologico implementato in HEC-HMS

6.1 Usi e tipologie di suolo

Il territorio comunale di Venezia è stato analizzato dal punto di vista dell'uso del suolo. Lo studio è stato effettuato considerando le diverse tipologie di uso del suolo previste nella legenda del progetto europeo CORINE Land Cover. L'indagine è stata svolta con il supporto della Carta della Copertura del Suolo del Veneto in scala 1:10.000 (Regione Veneto ed. 2015 su base ortofoto del 2012) Si veda la tavola 02.07.00 *Carta dell'uso del suolo*.

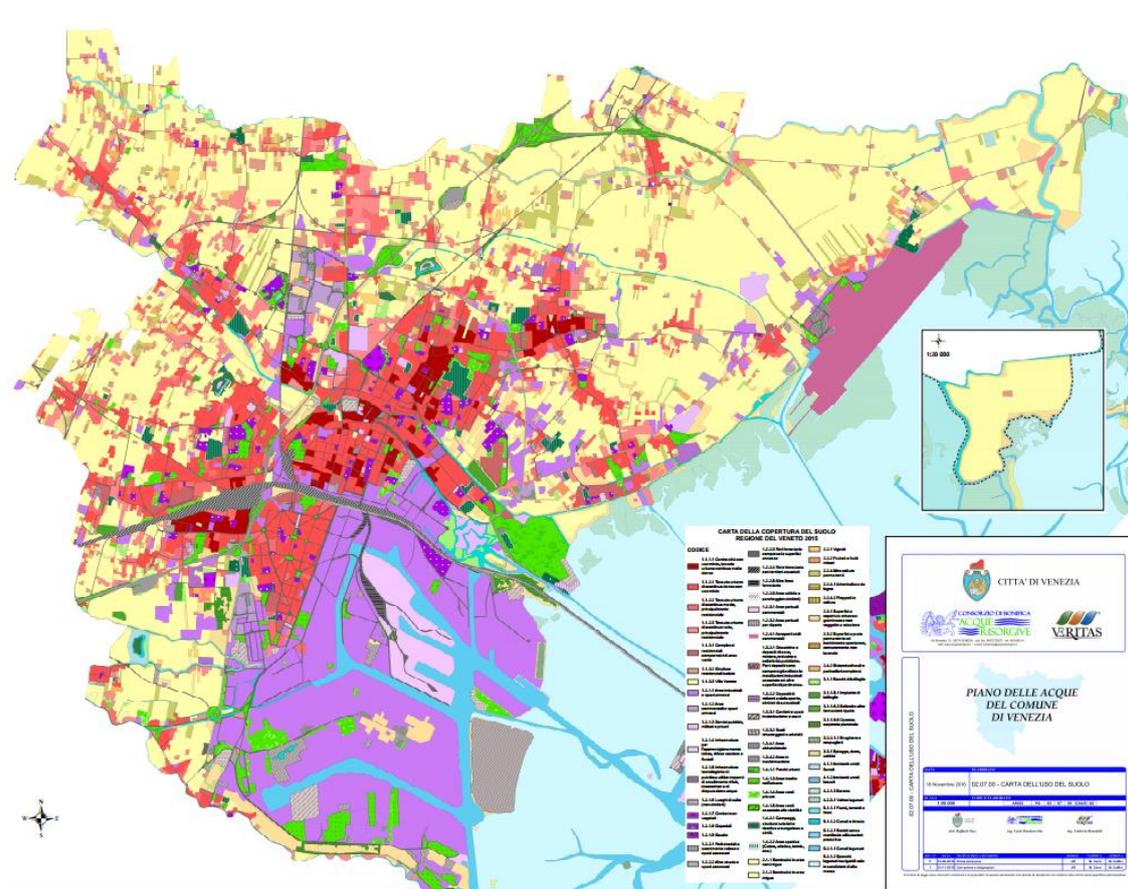


Figura 36. Carta dell'uso del suolo

6.2 La separazione degli afflussi

I meccanismi di scorrimento ed infiltrazione dell'acqua nel terreno, la cui conoscenza risulta indispensabile per la comprensione della risposta idrologica di un bacino agli eventi di precipitazione, sono descritti da equazioni di bilancio del contenuto medio dell'acqua nel suolo. Le ipotesi alla base della risoluzione di tali equazioni ed i metodi di calcolo caratterizzano i numerosi modelli di infiltrazione noti in letteratura idrologica. È di estrema utilità per la descrizione dei meccanismi di scorrimento ed infiltrazione dell'acqua nel terreno.

È noto infatti che non tutto il volume piovuto su di un bacino si trasforma in deflusso superficiale: una parte è persa per evapotraspirazione, una parte è intercettata dalle piante, dagli avvallamenti del terreno e dalle pozze, una parte infine si infiltra nel suolo. Riguardo alla frazione infiltrata, che tra i termini di "perdita" è certamente il più importante durante un evento di pioggia, la letteratura idrologica propone due meccanismi con i quali questo processo può essere interpretato.

Un primo meccanismo, proposto da Horton ('40), ha come cardine la capacità di infiltrazione (ad esempio espressa in mm/ora) o meglio il suo eccedimento. In altri termini partecipa al deflusso superficiale solo la quota di pioggia che non riesce ad infiltrarsi nel terreno perché l'intensità di precipitazione è maggiore delle capacità

di infiltrazione. Horton propose per la capacità di infiltrazione un andamento esponenziale nel tempo per tener conto della riduzione della capacità di “assorbimento” della pioggia con il progredire dell’evento; sono però possibili anche altre espressioni, come ad esempio quella proposta nel metodo dell’indice F che considera la capacità di infiltrazione costante.

Un secondo meccanismo per la descrizione e modellazione dei processi di separazione della pioggia tra frazione che si infiltra nel terreno e frazione che invece defluisce superficialmente è quello proposto da Dunne ('60). Cardine del modello questa volta è il concetto di eccedimento delle capacità d’invaso del terreno; in sostanza si afferma che la pioggia si infiltra finché lo strato superficiale di terreno (in genere dell’ordine del metro) non si satura.

Nella realtà questi due meccanismi coesistono, prevalendo ora l’uno ora l’altro a seconda del tipo di terreno (ad esempio in un terreno ghiaioso prevarrà il meccanismo di Dunne, viceversa in un terreno argilloso), del tipo di lavorazione, dell’eventuale bioturbazione (radici, talpe) dell’intensità di pioggia.

Nel presente studio, si è utilizzato per la separazione degli afflussi il metodo proposto dal Soil Conservation Center statunitense noto in letteratura come metodo Curve Number o SCS-CN.

Il modello SCS-CN è un modello di genesi empirica che considera entrambi i meccanismi di infiltrazione descritti in precedenza. Tale metodo individua il volume di precipitazione efficace Q a partire dall’altezza di precipitazione totale P, in funzione del volume complessivo immagazzinabile nel terreno.

Come anticipato, i due meccanismi di separazione degli afflussi, hortoniano e dunniano, sono considerati nelle ipotesi del metodo, infatti il deflusso è inizialmente nullo, fino a che l’afflusso meteorico P non raggiunge un valore di soglia pari al 20% del volume immagazzinabile nel terreno S. Dopo tale fase, una parte dell’apporto meteorico si trasforma in pioggia efficace, in proporzione sempre crescente, man mano che l’evento procede.

Il parametro S è sostituito nella pratica corrente da un indice adimensionale, chiamato Curve Number, che varia tra 0 e 100. Per CN=0 il bacino non produce alcun deflusso ($S=\infty$), mentre per CN=100 risulta del tutto impermeabile ($S=0$), per cui P e Q si equivalgono identicamente.

Le equazioni del metodo SCS da applicare sono le seguenti:

$$Q = \begin{cases} 0 & P \leq 0.20 S \\ \frac{(P - 0.20 S)^2}{P + 0.80 S} & P > 0.20 S \end{cases} \quad S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Dove:

Q è il deflusso in mm

P è la precipitazione in mm

S è il volume immagazzinabile nel terreno in mm

CN è il Curve Number caratteristico del terreno considerato.

Il parametro CN definisce quindi la quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno responsabile della relazione tra afflussi e deflussi in bacino idrografico; tale parametro contiene sinteticamente le informazioni relative alla capacità di infiltrazione del terreno (che dipende dalle caratteristiche fisico-pedologiche del suolo, dal tipo di copertura, dal suo stato e dalla tipologia di lavorazione della sua superficie) e le informazioni relative allo stato di imbibizione del terreno (classi di umidità iniziale del terreno Antecedent Moisture Condition, AMC).

Secondo lo schema del metodo infatti i suoli sono suddivisi in tre gruppi per quanto riguarda l'insieme delle condizioni del suolo (uso, trattamento della superficie e condizioni di drenaggio) e in quattro classi (A,B,C,D) per quanto riguarda la capacità di infiltrazione del terreno. Alla classe A appartengono i suoli con elevata capacità di infiltrazione anche in condizione di notevole imbibizione (p.e. strati di sabbie e ghiaie di notevole spessore). La classe B è caratterizzata da una tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana, con drenaggio da moderatamente buono a buono. I terreni poco permeabili appartengono invece alle classi C e D. Alla classe C appartengono suoli con tessitura da moderatamente fine a fine e con basso tasso di infiltrazione; i terreni della classe D hanno tasso di infiltrazione molto basso e comprendono principalmente suoli argillosi ad alto potenziale di rigonfiamento oppure strati poco spessi di terreno poggianti su orizzonti impermeabili.

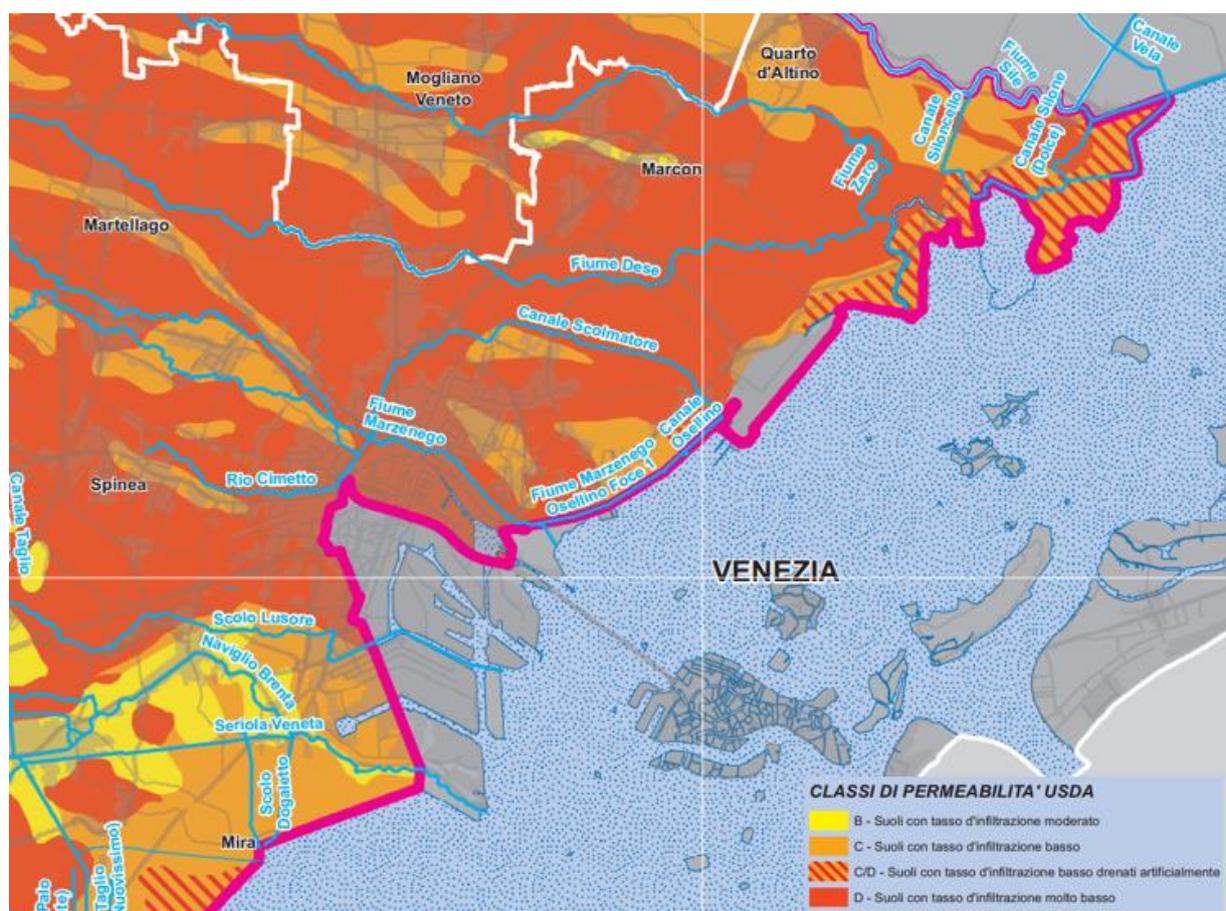


Figura 37. Classi di permeabilità nel territorio del Comune di Venezia, secondo la classificazione del Soil Conservation Service -USDA (da PGBTT Acque Risorgive)

Le condizioni di umidità del terreno sono definite convenzionalmente in base alla precipitazione totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento pioggia (AMC Antecedent Moisture Condition) e in base alla stagione (vegetativa o di riposo colturale). Il modello CN-SCS identifica tre categorie per il parametro AMC: la categoria AMC-I individua suoli sufficientemente asciutti (limiti $h < 35.6$ mm crescita, $h < 12.7$ mm riposo), la categoria AMC-II rappresenta la condizione media di umidità iniziale (limiti, rispettivamente per le fasi di crescita e riposo $35.6 < h < 53.3$ mm e $12.7 < h < 28.0$ mm), infine la classe AMC-III comprende i terreni caratterizzati da condizioni di saturazione assai elevate per i quali il potenziale di scorrimento risulta massimo (limiti $h > 53.3$ mm crescita, $h > 28.0$ mm riposo).

In letteratura sono presenti numerose banche dati contenenti i valori del CN tabulati in funzione delle diverse tipologie di copertura del suolo e della classe di permeabilità; in genere i valori del CN sono riferiti alla condizione di umidità media (AMC-II) essendo per altro automatico il passaggio alle condizioni AMC-I e AMC-III per mezzo delle seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Nei calcoli che seguono si è utilizzato il valore del CN relativo alla condizione media AMC-II mentre i valori in funzione delle diverse tipologie di coperture, estratte dalla legenda CORINE, sono quelli riportati nella seguente

Tabella 7.

Tabella 7. Valori di Curve Number in funzione della destinazione d'uso, delle caratteristiche pedologiche e della condizione di umidità del terreno (AMC-II).

DESTINAZIONE D'USO - LEGENDA CORINE			CURVE NUMBER - AMC II			
LIVELLO 1	LIVELLO 2	LIVELLO 3	A	B	C	D
Territori modellati artificialmente	Zone urbanizzate	Tessuto urbano continuo	81	88	91	93
		Tessuto urbano discontinuo	61	75	83	87
		Tessuto urbano particolare (prevalentemente diffuso)	61	75	83	87
	Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione	Aree industriali o commerciali	85	90	92	94
		Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
		Aree portuali	85	90	92	94
		Aeroporti	85	90	92	94
	Zone estrattive, discariche e cantieri	Aree estrattive	98	98	98	98
		Discariche	98	98	98	98
		Cantieri	98	98	98	98
	Zone verdi artificiali non agricole	Aree in attesa di una destinazione d'uso	61	75	83	87
		Aree verdi urbane	39	61	74	80
		Aree sportive e ricreative	49	69	79	84
	Territori agricoli	Seminativi	Seminativi in aree non irrigue	63	75	83
Seminativi in aree irrigue			63	75	83	87
Risaie			63	75	83	87
Colture permanenti		Uliveti	70	80	85	90
		Vigneti	70	80	85	90
		Frutteti e frutti minori	70	80	85	90
		Colture annuali associate e colture permanenti	63	75	83	87
Prati stabili		(Prati stabili) Superfici a copertura erbacea: graminacee non soggette a rotazione	30	58	71	78
		(Prati stabili) Superfici a prato permanente ad inerbimento spontaneo, comunemente non lavorata	30	58	71	78
Zone agricole eterogenee		Colture annuali associate a colture permanenti	63	75	83	87
	Sistemi colturali e particellari complessi	63	63	83	87	
Territori boscati e ambienti semi-naturali	Zone boscate	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
		Boschi di conifere	36	60	73	79
		Boschi misti	36	60	73	79
	Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
		Brughiere e cespuglieti	42	64	76	81
		Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	45	66	77	83
	Zone aperte con vegetazione rada o assente	Spiagge, dune, sabbie	77	86	91	94
		Rocce nude	98	98	98	98
		Aree a vegetazione rada	49	69	79	84
		Aree percorsi da incendi	61	75	83	87
	Ghiacciai e nevi perenni	98	98	98	98	
Zone umide	Zone umide interne	Ambienti umidi fluviali	98	98	98	98
		Ambienti umidi lacuali	98	98	98	98
	Zone umide marittime	Paludi salmastre	98	98	98	98
		Zone intertidali marine	98	98	98	98
Corpi idrici	Acque continentali	Corsi d'acqua, canali e idrovie	98	98	98	98
		Bacini acquei	98	98	98	98
	Acque marittime	Lagune	98	98	98	98
		Mari	98	98	98	98

Sulla scorta delle precedenti considerazioni e della tabella 1, per ciascuna unità cartografica ottenuta dall'intersezione della Carta dei Suoli e della Carta della Copertura del Suolo del Veneto si è assegnato l'appropriato valore del Curve Number.

Infine essendo il valore del parametro CN dipendente dalla pendenza media del suolo, si è corretto il valore prima ottenuto utilizzando la seguente relazione:

$$CN(II)_{\alpha} = (1/3)(CN(III) - CN(II)) [1 - 2\exp(-13.86 \alpha)] + CN(II)$$

Dove α è la pendenza percentuale espressa in numero decimale.

Come si osserva dalla Figura 38 il valore del CN aumenta con la pendenza. Il termine correttivo risulta trascurabile per valori di CN riferiti a pendenze del terreno dell'ordine del 5% (valore standard della pendenza dei terreni per i quali il metodo è stato tarato negli Stati Uniti); tali valori di pendenza però non possono esser attribuiti ai territori di bonifica del Veneto i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0.1 %.

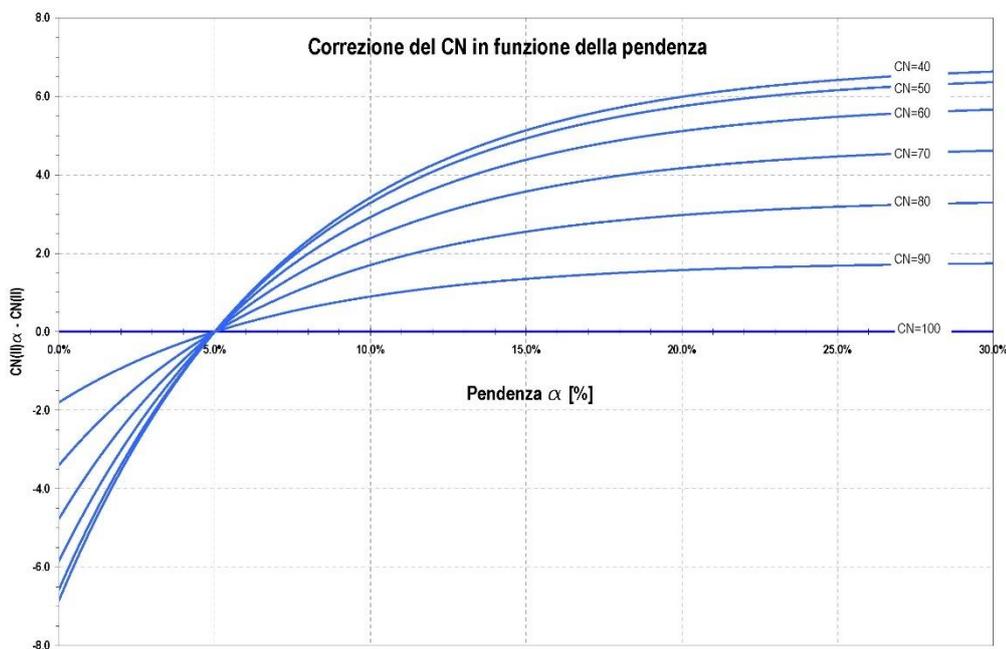


Figura 38. Variazione del parametro CN calcolato in condizioni medie di saturazione del terreno in funzione della pendenza del suolo.

Per il territorio in esame si è considerato, a favore di sicurezza, una pendenza media dello 0.25% (si veda la successiva Carta delle pendenze) con la quale sono stati corretti i valori del CN.

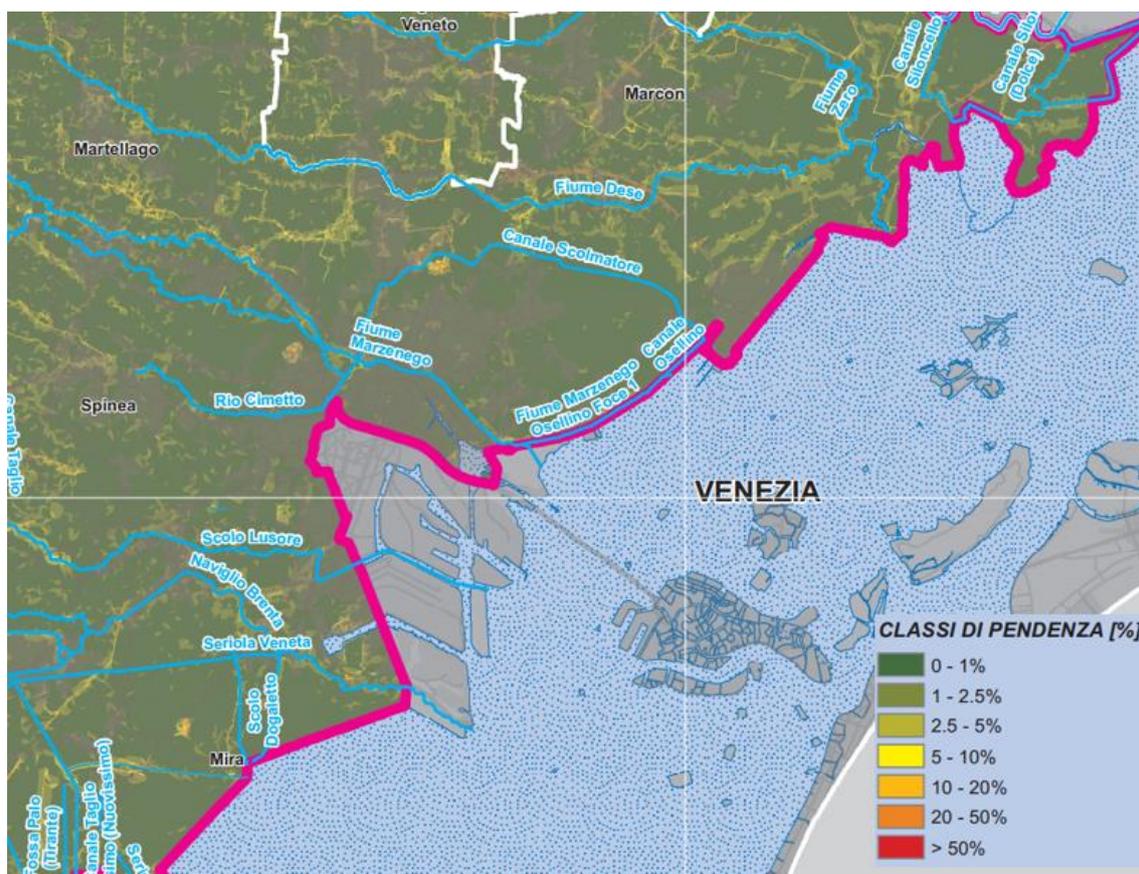


Figura 39. Rappresentazione delle classi di pendenza (da PGBTT Acque Risorgive)

6.3 Lo ietogramma netto

Lo ietogramma netto costituisce la pioggia realmente efficace in termini di deflusso superficiale: rappresenta cioè il volume idrico complessivo che, con tempi imposti dalle caratteristiche proprie dei terreni e dei fenomeni di trasporto all'interno dei collettori, alla fine transiterà per la sezione di chiusura del bacino considerato.

Come anticipato per la trasformazione dell'ietogramma di progetto o anche misurato nello ietogramma netto, operazione che in gergo tecnico è chiamata separazione degli afflussi (e a volte anche separazione dei deflussi) si è utilizzato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Center (SCS-CN).

Nell'immagine che segue si riporta a titolo di esempio lo ietogramma totale ("lordo") e quello netto, relativi ad una pioggia con tempo di ritorno di 5 anni, ottenuto ipotizzando un valore del CN pari a circa 85 (CN medio del sottobacino afferente al collettore di Tessera).

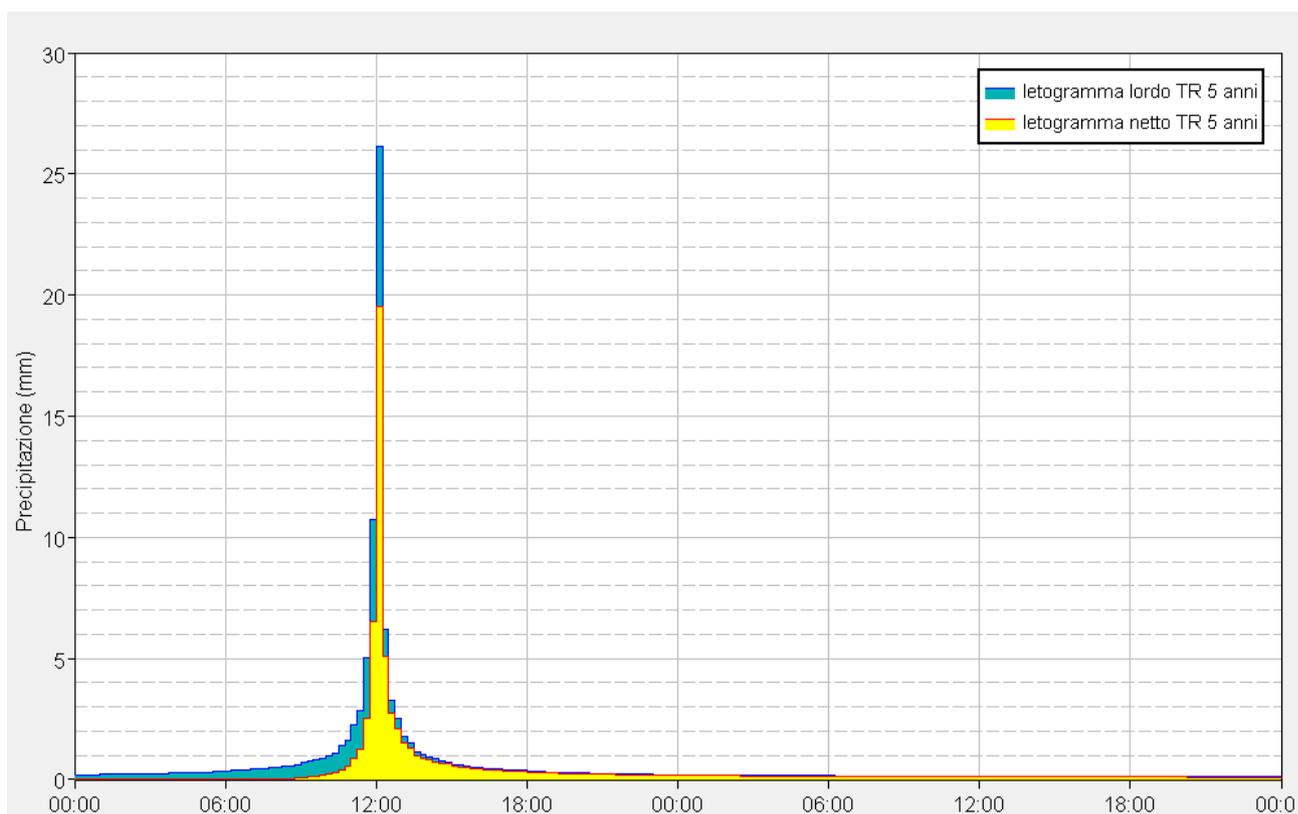


Figura 40. Ietogrammi con TR=5 anni per un bacino con CN=85 (collettore di Tessera)

6.4 Stima degli idrogrammi di piena

La stima delle portate di piena generate dai sottobacini tributari dei collettori è stato svolto tramite il software HEC-HMS.

Preliminarmente sono state condotte delle elaborazioni, in ambiente GIS, al fine di perimetrare i diversi sottobacini afferenti ai collettori. Una volta individuati i sottobacini (oltre 250 nel solo territorio della terraferma veneziana) con l'ausilio combinato di: sopralluoghi in situ, rilievi e analisi delle ortofoto, per ognuno se ne sono estratte le principali caratteristiche di interesse idrologico come: la superficie, il perimetro, il fattore di forma del bacino, il Curve Number medio (media pesata sulla superficie), il tempo di corrivazione.

Nella tabella

Tabella 8 sono state riassunte alcune delle predette caratteristiche idrologiche dei sottobacini, raggruppati e mediati per corso d'acqua. Il codice bacino indicato in tabella fa riferimento al codice dei sottobacini riportati nella tavola 02.06.00. Per ciascun tratto di collettore si sono successivamente individuate le modalità con le quali i singoli idrogrammi generati sono immessi in rete: ossia se l'immissione è puntuale in una determinata sezione oppure se distribuita uniformemente lungo un tratto compreso tra due stabilite sezioni.

Tabella 8. Sottobacini idraulici individuati per la modellazione idraulica e stima dei loro principali parametri idrologici.

CODICE BACINO	SOTTOBACINI	AREA (km ²)	CN MEDIO
CA' EMILIANI			
38	MARGHERA	10.422	86.62
39	DIRAMAZIONE FOSSO 6	0.201	83.44
40	FOSSA DI CHIRIGNAGO	10.737	83.36
41	FOSSO 1	0.402	80.83
42	FOSSO 2	1.102	84.42
43	FOSSO 4	1.610	80.00
44	FOSSO 6	0.677	83.38
45	FOSSO 6 NUOVO	0.496	80.48
46	FOSSO 7	1.684	81.86
102	FOSSO 5	3.474	86.62
CAMPALTO			
48	A.B .CAMPALTO	18.074	80.69
49	COLLETTORE DI LEVANTE	4.257	78.86
50	COLLETTORE DI LEVANTE NORD	3.248	85.00
51	COLLETTORE DI TESSERA	1.021	84.91
52	COLLETTORE TREGO	6.408	83.91
54	FOSSA PAGANA	1.792	80.19
55	FOSSO BELLINATO	0.231	83.17
56	FOSSO CARRER	0.197	83.81
57	FOSSO VIA PIOVEGA	1.395	83.99
58	MONDO NUOVO	3.306	79.46

59	PROLUNGAMENTO COLLETTORE DI LEVANTE	1.138	83.37
60	SECONDARIO BAZZERA	4.029	83.00
CATTAL			
61	ACQUE ALTE CATTAL	2.478	76.70
62	ACQUE BASSE CATTAL	1.738	77.90
63	ACQUE MEDIE CATTAL	4.646	76.35
64	ALTINATE	1.247	75.10
65	CA' SOLARO	0.586	75.60
66	CANALETTA IRRIGUA	1.209	77.60
67	CATTAL	2.272	77.30
68	FORNASOTTI	1.107	77.50
69	PAGLIAGA	1.335	76.40
70	PAGLIAGHETTA	2.324	77.93
MALCONTENTA			
32	COLOMBARA	0.576	79.59
33	FONDI A EST	5.253	80.40
34	FONDI A NORD	1.433	81.46
35	FONDI A SUD	0.610	83.50
37	FOSSO DELL'OSTERIA	1.083	81.72
36	SCOLO BARBARIGA	0.580	78.54
SCOLO NATURALE			
1	A.A .CAMPALTO	2.812	81.16
2	BAZZERA ALTA	13.562	78.07
5	COLLETTORE DEL BOSCO	0.770	75.40
6	COLLETTORE DEL TERRAGLIO - SUD	2.825	79.61
9	COLLETTORE PRASECCO	1.203	77.67
11	COLLETTORI ABBINATI	1.028	80.35
17	FOSSO FOFFANO	0.274	80.26

18	FOSSO VIA VALLENARI	0.278	80.34
19	LUSORE	0.671	84.80
21	MENEGON	2.151	83.84
26	SCOLO RIETTO	3.424	84.08
99	MENEGON monte	60.822	80.72
100	LUSORE monte	5.044	79.08
104	CESENEGO	10.388	74.05
105	COMUNA	80.185	79.33
106	LUSORE MONTE TAGLIO	486.784	76.12
107	MENEGON MONTE TAGLIO	113.606	76.47
TESSERA			
76	ALLACCIANTE_ LEVANTE	0.080	74.95
77	ALLACCIANTE_ PONENTE	0.344	75.10
78	BAZZERA BASSA	20.154	79.30
79	CANALE SCOLMATORE	8.436	81.31
80	COLLETTORE BOSCARIOLA MONTE	1.238	77.34
81	COLLETTORE CUCCHIARINA	2.636	81.90
82	COLLETTORE DEL TERRAGLIO - NORD	2.066	80.63
83	COLLETTORE FAVARO	1.787	83.20
84	COLLETTORE PACCAGNELLA	1.731	77.90
85	COLLETTORE TREGO - COLLETTORE FAVARO	0.153	82.45
86	COLLETTORE TREGO MONTE	0.149	83.61
87	FOSSO CHECCHIN	2.075	79.88
88	FOSSO VIA CA' COLOMBARA	0.046	76.81
89	RIO MORO	10.247	77.77
90	RIO STORTO	60.935	78.69
91	SCOLO DOSA	19.512	76.82
92	SCOLO ROVIEGO	41.492	74.09

110	BOSCARIOLA VALLE	0.748	75.82
CIMETTO			
93	FOSSO SCATTI	1.448	82.04
94	SCOLO CIMETTO	39.735	82.56
95	SCOLO DOSA - BACINO DI VALLE	9.953	82.67
ZUCCARELLO			
97	PRAELLO	0.680	75.00
98	SOTTODESE	3.807	78.33

Le portate di piena generate dai singoli sottobacini in risposta agli ietogrammi netti, calcolati come sopra, sono state ricavate per semplicità utilizzando il modello di Nash. Il modello di Nash è in modello concettuale, invariante e lineare che permette di rappresentare l'onda di piena mediante due soli parametri.

Il modello di Nash assume come idrogramma unitario istantaneo (ossia l'idrogramma generato in risposta ad un'immissione impulsiva di volume unitario) quello prodotto da un sistema di n serbatoi lineari posti in serie, ciascuno caratterizzato da identica relazione di proporzionalità tra volume invasato e portata scaricata, del tipo:

$$V = kQ$$

Dove V è il volume invasato nel serbatoio, Q è la portata caricata dal serbatoio e k la costante che ha le dimensioni di un tempo.

L'espressione del valore della portata nel tempo proposta da Nash è la seguente:

$$Q(t) = \frac{S}{k \Gamma(n)} \int_0^t e^{-\frac{t}{k}} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} j(t-\tau) d\tau$$

Dove S è la superficie del bacino, j è la pioggia efficace, n e k sono i parametri del modello mentre $\Gamma(n)$ è la funzione statistica *gamma*³.

³ L'espressione della funzione *gamma* è la seguente:

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$$

I parametri k e n del modello di Nash sono generalmente determinati per taratura su uno o più casi noti, per i quali si disponga dello ietogramma di pioggia e del corrispondente idrogramma di piena alla sezione di chiusura del bacino. In questa analisi non essendo disponibili dati di simile dettaglio è stato necessario ricorrere ad assunzioni di carattere empirico, all'esperienza e alle conoscenze del personale tecnico del Consorzio di bonifica Acque Risorgive.

Infatti i due parametri n e k del modello governano la forma (parametro n) e tempo di picco dell'idrogramma, ossia il ritardo con il quale si presenta il massimo valore della portata. Il picco dell'idrogramma unitario di piena è dato dalla relazione $t_p = k(n-1)$ ed è pari al cosiddetto tempo di ritardo t_{lag} , cioè alla distanza temporale tra il baricentro del bacino e la sezione di chiusura.

In questo studio si è assunto, confortati dall'esperienza e dalle numerose fonti di letteratura, che il tempo di lag sia pari al 60% del tempo di corrvazione di ogni singolo sottobacino, ovvero $t_{lag} = 0.6 \cdot t_{corr}$.

Infine il parametro n , responsabile forma dell'idrogramma, misura il grado di impulsività del bacino: per n prossimo a 1, il bacino ha un comportamento simile al modello dell'invaso lineare, mentre per n grande, il bacino tende a trasferire gli input meteorici con un semplice ritardo, senza alcun effetto di laminazione o diffusione.

Nella presente analisi si è scelto di porre $n=1.10$ per i bacini prevalentemente agricoli o comunque dove è predominante la presenza di suolo permeabile, al fine di meglio rappresentare l'effetto di laminazione e ritardo offerto dalle scoline e dai fossi minori. Per bacini maggiormente urbanizzati e impermeabilizzati si è posto invece $n=1.20$, consapevoli che la risposta di tali bacini, pur potendosi a rigore considerare maggiormente impulsiva (per cui i valori di n potrebbero esser maggiori e prossimi a 1.4-1.5), risulta fortemente influenzata da fenomeni di rigurgito e governata da pendenze e dislivelli che rendono poco appropriata, se non perfino sconsigliabile, l'adozione di modelli che riproducano prevalentemente la componente cinematica della risposta idrologica.

Nelle pagine che seguono si riportano alcuni risultati della modellazione idrologica effettuata tramite HEC-HMS.

Nelle figure seguenti sono rappresentati gli idrogrammi di progetto generati da alcuni sottobacini afferenti ai collettori indagati. Gli idrogrammi derivano, come già ricordato, dall'applicazione del modello di Nash avendo posto come dato input lo ietogramma Chicago relativo alla curva di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno 5 e 20 anni.

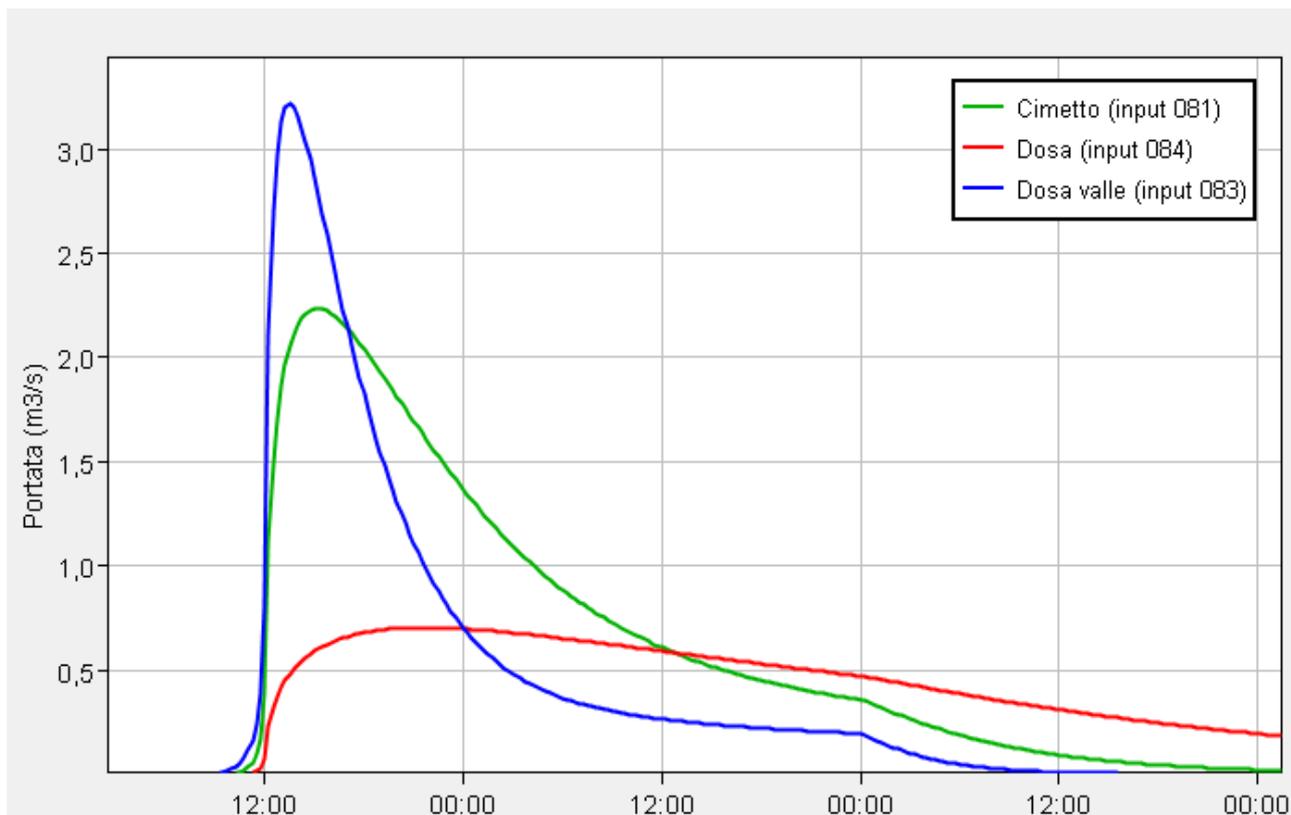


Figura 41. Pletogrammi generati da alcuni bacini afferenti all'idrovora Cimetto in risposta ad una pioggia con tempo di ritorno di 5 anni.

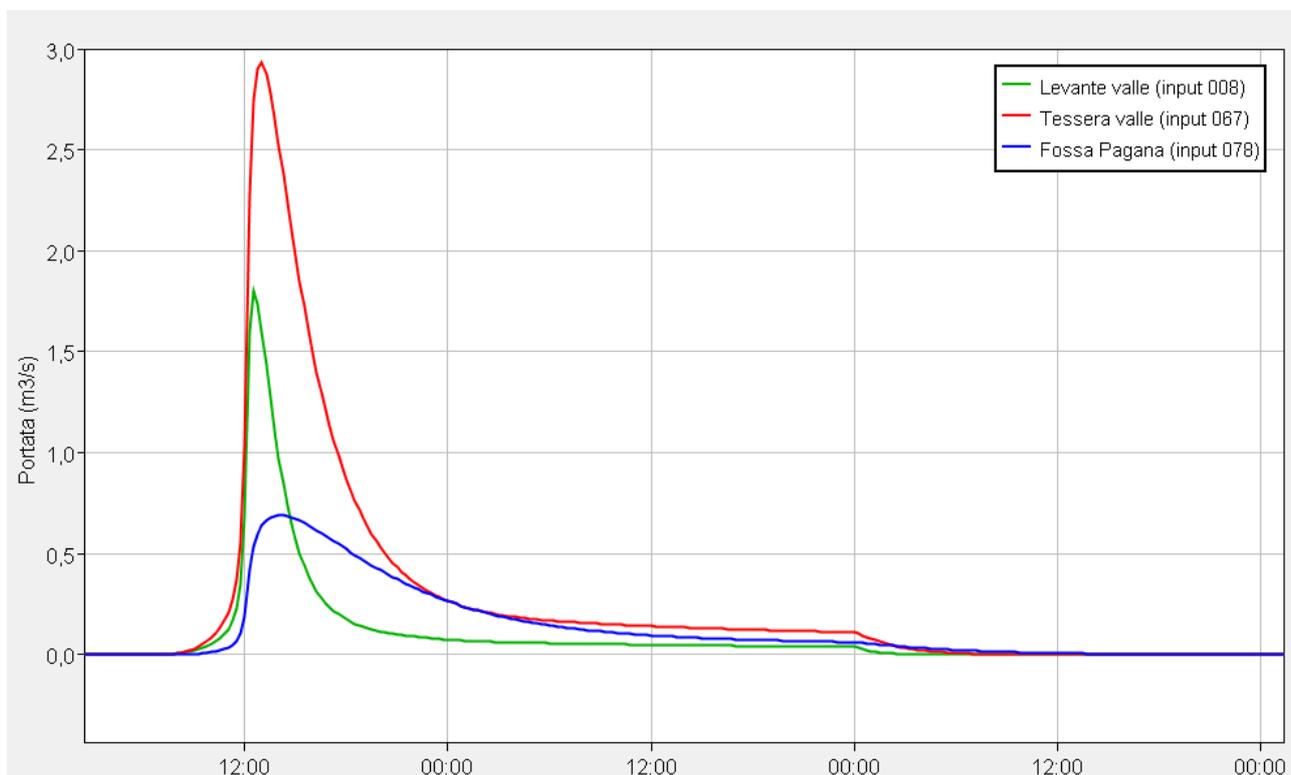


Figura 42. Pletogrammi generati da alcuni bacini afferenti all'idrovora Campalto in risposta ad una pioggia con tempo di ritorno di 5 anni.

7 Modello idraulico dei corpi idrici superficiali

Tutti i risultati del modello idrologico HEC-HMS e gli output del modello idraulico della rete di fognatura sono stati forniti come dati in ingresso al modello propagatorio mono-dimensionale della rete superficiale implementato in MIKE11, con il quale sono state sviluppate le simulazioni a moto vario che hanno permesso di evidenziare e confermare le maggiori criticità idrauliche indotte dalla rete superficiale. Di seguito viene descritta la metodologia utilizzata per l'implementazione del modello idraulico.

7.1 Descrizione del modello di calcolo Mike11

Il modulo idrodinamico MIKE 11 (HD) utilizza uno schema implicito alle differenze finite per il calcolo dei flussi a moto vario nei corsi d'acqua superficiali. Il modulo può descrivere correnti subcritiche e supercritiche attraverso un sistema numerico che si adatta in funzione alle condizioni di flusso locali (nel tempo e nello spazio).

Il modulo consente il calcolo idraulico monodimensionale di canali naturali ed artificiali, sia in condizioni di moto permanente che di moto vario, tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo (ponti, tombini, briglie, sfioratori, paratoie, ecc...) eventualmente presenti nel sistema. Sia canali singoli che reti di canali naturali od artificiali, chiuse od aperte, possono essere modellati. Profili di corrente lenta, veloce e di tipo "misto" possono essere integrati dal modello. Sono inoltre inclusi moduli computazionali avanzati per la descrizione del flusso su opere idrauliche regolabili.

Il modello idrodinamico simula il flusso descrivibile attraverso i diversi approcci dell'"onda cinematica", dell'"onda diffusiva" e dell'"onda dinamica", considerando i seguenti fenomeni: portate laterali, flusso libero o rigurgitato, differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi, resistenze localizzate e perdite di carico concentrate, aree d'espansione, nodi idraulici (biforcazioni e convergenze).

A seconda del tipo di problema da descrivere, l'utente può scegliere l'approccio più appropriato. In questo caso si è scelto di utilizzare l'approccio dell'"onda dinamica", che utilizza l'equazione completa del moto, comprese le forze di accelerazione, consentendo la simulazione di transitori veloci, flussi di marea, profili di rigurgito, etc. Il modulo risolve le equazioni della quantità di moto e di continuità (De Saint Venant) sulla base delle seguenti ipotesi:

- fluido incomprimibile ed omogeneo, con variazione trascurabile di densità
- pendenza del fondo ridotta
- onde lunghe in acque basse (questo assicura che il flusso ovunque può essere considerato come con direzione parallela al fondo, cioè vengono trascurate le accelerazioni verticali e si assume una variazione idrostatica della pressione sulla verticale)
- il flusso subcritico (corrente lenta)

Le equazioni risolte dal modello sono quelle di De Saint Venant:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_f = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA\left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f\right) = 0$$

dove: A è l'area liquida [m²]

S è il volume liquido [m³]

t è il tempo [s]

Q è la portata [m³/s]

x è la distanza progressiva lungo il canale [m]

q_f è la portata lateralmente affluente per unità di lunghezza [m²/s]

V è la velocità [m/s]

g è l'accelerazione di gravità [m²/s]

z è l'elevazione del fondo del canale rispetto ad un prefissato riferimento [m]

S_f è la pendenza della linea dell'energia [-].

L'effetto di eventuali strutture (ponti, ecc...) sul profilo di moto è descritto introducendo in corrispondenza da esse una perdita di carico localizzata S_n dipendente dalle caratteristiche geometriche del manufatto e dalle grandezze del moto (tirante e velocità) in corrispondenza ad esso.

La soluzione delle equazioni di continuità e della quantità di moto è utilizzata su una griglia computazionale che alterna punti Q (di portata) e punti h (di livello), illustrata nella figura seguente.

La griglia computazionale è generata automaticamente generata sulla base della geometria implementata. I punti Q punti sono posizionati a metà dei tratti tra due punti h e sulle strutture. I punti si trovano sulle sezioni. Il flusso, per convenzione, è definito positivo lungo la direzione x positiva.

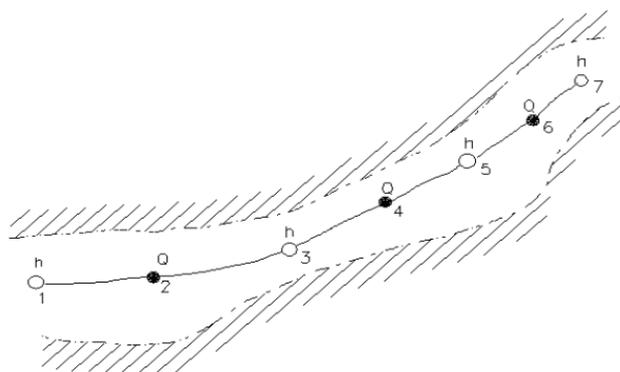


Figura 43. Tratto di canale modellato con ubicazione della griglia computazionale

7.2 La costruzione del modello dei corsi d'acqua superficiali

La geometria dei modelli è stata ricostruita sulla base di dati già a disposizione del Consorzio di bonifica Acque Risorgive e con l'integrazione di nuovi rilievi topografici.

In alcuni casi si è fatto inoltre riferimento al microrilievo LiDAR (Light Detection And Ranging): moderna tecnologia laser scanner montata a bordo di piattaforme aeree o elicotteri. Il microrilievo LiDAR utilizzato è quello fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, corretto e integrato in alcuni casi con i rilievi classici. Tali rilievi si sono resi necessari sia per l'esatta descrizione e per l'inserimento plano-altimetrico dei molteplici manufatti presenti lungo i corsi d'acqua modellati, sia per la correzione delle quote di fondo degli stessi: il microrilievo LiDAR non riesce infatti, per sua natura, a rilevare le quote al di sotto della superficie liquida.

È stato implementato un sistema fisico composto da:

- reticolo idrografico georeferenziato (network), estratto dal database dei canali disponibile nel sistema informativo territoriale del Consorzio e integrato con rilievi eseguiti sulla rete minore;
- sezioni trasversali dei corsi d'acqua (cross section) e manufatti (structures), rilevati con topografica classica o estratte dal microrilievo, o in alcuni casi reperite da altri progetti redatti per conto del Consorzio. Sono così stati riprodotti e schematizzati salti di fondo, ponti, tombinamenti, sfioratori laterali, molini e loro by-pass, impianti idrovori, paratoie, etc. I manufatti che non interferiscono con la corrente (ad esempio i ponti "a luce netta") non sono stati inseriti nella schematizzazione della rete perché ininfluenti ai fini del calcolo.

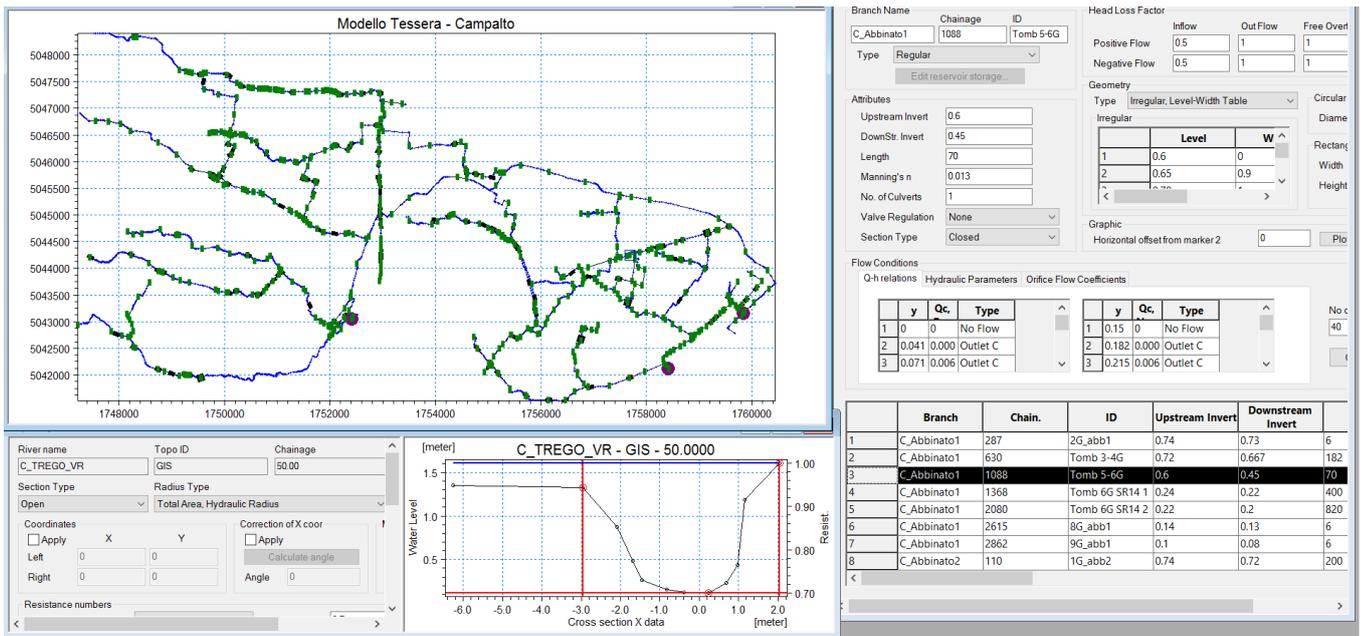


Figura 44. Interfaccia Mike 11 per la definizione dei parametri relativi a tratti, sezioni e manufatti del modello realizzato per la rete afferente alle idrovore di Tessera, Campalto e Cimetto.

Un parametro fondamentale definito su ciascuna sezione è la posizione del ciglio destro, del ciglio sinistro e del fondo, punti che definiscono l'estensione della sezione che sarà poi utilizzata per le operazioni di calcolo. In alcuni casi è stato anche possibile assegnare ulteriori due punti (M4 e M5 nella figura seguente) che individuano le golene laterali, qualora fosse necessario indicare differenti scabrezze nella stessa sezione per effetto della vegetazione sulle sponde.

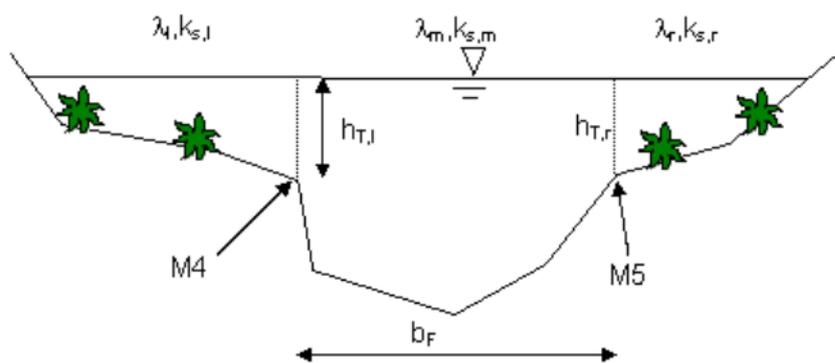


Figura 45. Sezione composta tipologica con individuazione delle golene per l'applicazione di differenti coefficienti di scabrezza.

Una volta implementata la geometria sono state inserite tutte le condizioni al contorno per le differenti simulazioni.

Le condizioni di monte corrispondono agli idrogrammi di portata calcolati per i diversi sottobacini al paragrafo precedente con tempi di ritorno di 5 e 20 anni. Tali input sono stati inseriti come:

- immissioni puntuali (scarico localizzato di una rete di smaltimento delle acque meteoriche, immissione di un fossato non modellato, contributo idrologico dei bacini di monte fuori dal territorio comunale).
- immissioni distribuite (bacini composti prevalentemente da aree agricole drenate da scoline o fossati recapitanti direttamente nei collettori principali per tratti estesi).

Nei punti di interconnessione con la rete fognaria sono stati inseriti anche gli output degli sfiori principali ottenuti con il modello Infoworks.

Come condizioni di valle sono stati assegnati i livelli dei corpi idrici ricettori. Al paragrafo 7.3 sono descritte le diverse condizioni assegnate per ciascun modello.

Infine, per l'implementazione dei dati e la taratura dei modelli sono stati utilizzati i seguenti dati di base:

- dati di funzionamento degli impianti di sollevamento (portate, quote di attacchi e stacchi);
- dati dei pluviometri presenti sul territorio (stazioni ARPAV, stazioni della Protezione Civile comunale, centraline del Consorzio di bonifica)
- dati dei misuratori di livello installati lungo la rete;
- dati di gestione dei manufatti regolabili lungo la rete superficiale;
- censimento degli sfiori in acque superficiali presenti lungo la rete fognaria (Veritas);
- modalità di funzionamento degli impianti di sollevamento (quote di attacco-stacco pompe) delle centraline in gestione a Veritas.

7.3 La schematizzazione adottata

La schematizzazione della rete superficiale nel territorio comunale, integrata con le dorsali principali di fognatura indagate, è riportata nella tavola *04.02.00 Carta della rete modellata e delle interconnessioni*.

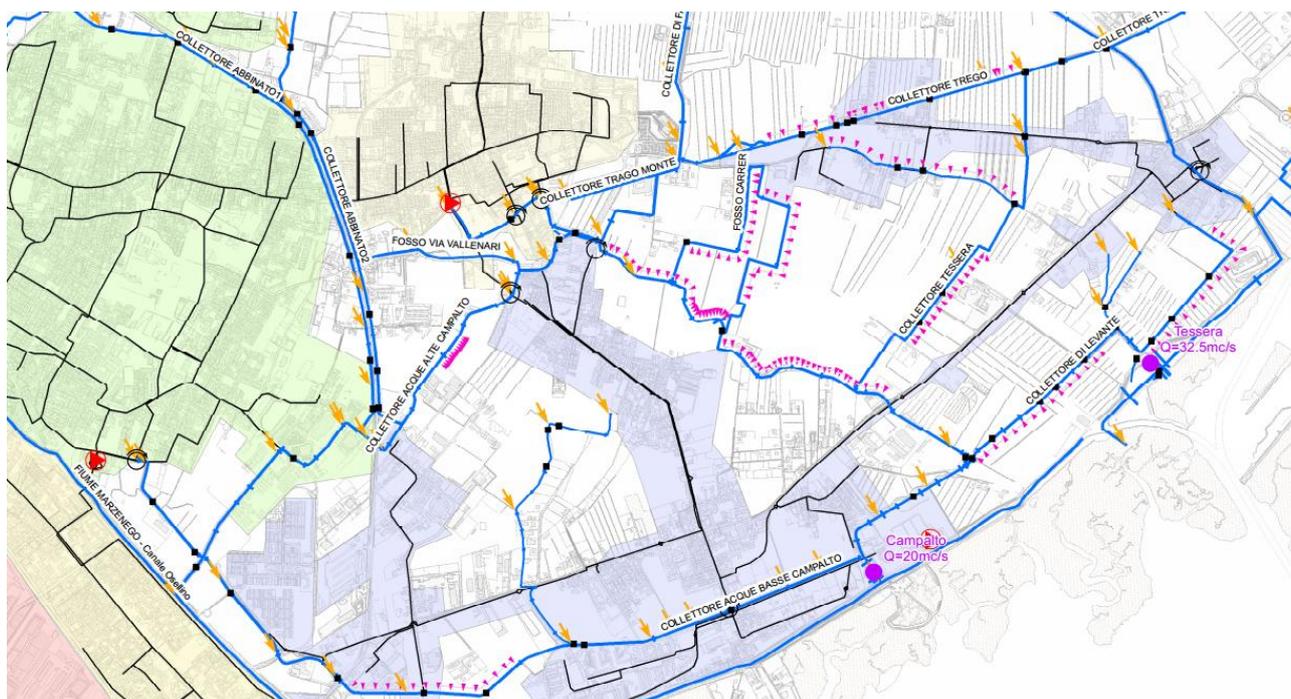


Figura 46. Estratto della tavola 04.01.00

La tavola riporta i tratti di corsi d'acqua superficiali modellati (in blu), l'ubicazione delle sezioni dei collettori (in blu), i principali manufatti (tombinamenti e ponti) che condizionano il moto (quadrati neri), le condizioni al contorno puntuali (freccie gialle), le condizioni al contorno distribuite (triangoli rosa), le principali dorsali di fognatura negli agglomerati urbani (in nero) con indicazione di centraline di sollevamento, sfiori di acque di fognatura in acque superficiali (interconnessioni tra i due sistemi modellati) e le idrovore.

La tavola riporta anche bacini dei centri urbani la cui risposta idrologica è stata calcolata direttamente con il modello Infoworks per le reti tubate.

Di seguito si elencano i collettori modellati suddivisi nei quattro distinti modelli realizzati per ridurre gli oneri computazionali data la sconnessione idraulica dei differenti sistemi.

7.3.1 Modello Campalto – Tessera

Il primo modello implementato raggruppa 47 collettori (tra reticolo di bonifica e fossati comunali) afferenti al fiume Marzenego e alle idrovore Tessera, Campalto e Cimetto, tra loro in parte interconnessi.

Nel reticolo schematizzato sono stati aggiunti anche la Bazzera Alta (affluente di destra del Dese) vista la sua connessione a valle con la Bazzera Bassa (affluente dello Scolmatore) e gli scoli Tarù e Pesegiana con scolo a gravità nel Dese.

Tabella 9. Elenco dei corsi d'acqua modellati nel sistema afferente al fiume Marzenego

Corso d'acqua	Lunghezza (m)	Connessione di monte		Connessione di valle	
		Collettore	Progressiva	Collettore	Progressiva
Collettore Abbinato1	3001			Collettore Acque Alte Campalto	1660
Collettore Abbinato2	2345	Collettore Abbinato1	727	Collettore Acque Alte Campalto	1349
Collettore Acque Alte Campalto	3101				
Collettore Acque basse Campalto	4457			Fossa Pagana Valle	771
Collettore Allacciante di Levante	761			Scolmatore Monte	0
Collettore Allacciante di Ponente	718	Scolo Roviego	5057	Scolmatore Monte	1
Collettore Boscariola Monte	1784	Scolo Bazzera Alta	2511	Scolo Rio Moro	393
Collettore Boscariola Valle	1168	Scolo Rio Moro	449	Scolo Rio Storto	3288
Collettore del bosco	1111			Collettore Abbinato1	0
Collettore Favaro	2145	Collettore Acque Alte	0	Scolmatore Valle	2
Collettore Levante	1201			Fossa Pagana Valle	0
Collettore Mondo Nuovo	1779			Collettore Acque basse Campalto	2925
Collettore Paccagnella	1474	Scolo Rio Moro	2280	Scolo Rio Storto	4945
Collettore Pra' Secco	1539			Collettore Abbinato2	526
Collettore Pro levante	1025			Collettore Levante	0
Collettore Scatti	1359			Scolo Cimetto	1208
Collettore Tarù	2494			Scolo Peseggiana	3490
Collettore Terraglio Nord	1693	Scolo Rio Moro	4055	Scolmatore Monte	1702
Collettore Terraglio Sud	1259			Scolmatore Monte	1702
Collettore Tessera	2089	Collettore Trego	1827	Fossa Pagana Monte	2786
Collettore Trego	2280	Collettore Favaro	920		
Collettore Trego monte	446			Collettore Favaro	756
Collettore Trego vecchio ramo	242	Collettore Trego	221	Collettore Trego	492
Fosso immissione coll Levante	392			Collettore Levante	172

Fosso via Colombara Nord	353			Fosso via Colombara Sud	341
Fosso via Colombara Sud	676			Collettore Favaro	1790
Fosso via Piovega	996			Collettore Tessera	742
Fosso via Vecchio Hangar	329			Fosso immissione coll Levante	285
Fossa Pagana Monte	3499			Fossa Pagana Valle	0
Fossa Pagana Valle	931				
Fosso Bellinato	1078			Fossa Pagana Monte	1906
Fosso Bellinato 2	242	Fosso Carrer	102	Fosso Bellinato	0
Fosso Carrer	1015			Fossa Pagana Monte	1469
Fosso via Vallenari	866	Collettore Abbinato2	1438	Collettore Acque Alte	319
Paratoie Tessera	68	Scolmatore Valle	4432	Scolmatore Valle	4532
Scolo Bazzera Alta	6703				
Scolo Bazzera Bassa	3979	Scolo Bazzera Alta	6267	Scolmatore Monte	4621
Scolo Bazzera Bassa scarico Scolmatore	109	Scolo Bazzera Bassa	3094	Scolmatore Monte	3646
Scolo Cimetto	6196			Collettore Allacciante di Levante	0
Scolo Cimetto Vecchio	794	Scolo Cimetto	6060		
Scolo Dosa	4253			Scolo Roviego	3582
Scolo Rio Moro	4193			Scolo Bazzera Bassa	403
Scolo Rio Storto	6233			Scolmatore Monte	1158
Scolo Roviego	5193			Collettore Allacciante di Levante	0
Scolo Peseggiana	5200				
Scolmatore Monte	6923			Scolmatore Valle	0
Scolmatore Valle	7015				

Il modello è costituito da oltre 600 sezioni e più di 200 strutture tra ponti, tombinamenti, idrovore e paratoie.

Le condizioni al contorno utilizzate nelle simulazioni sono state scelte ipotizzando le condizioni più verosimili possibili andando a valutare comunque l'eventuale influenza di queste sui risultati della modellazione.

- Livello della Laguna di Venezia imposto costante pari a quota +1.00 m s.l.m.m. al fine di verificare la capacità dell'impianto idrovoro di Tessera nelle condizioni più gravose di chiusura delle paratoie.

- Livelli del fiume Marzenego all'immissione del ramo del vecchio Cimetto e delle Acque Alte in condizioni di piena (livelli stimati con modello sviluppato nell'ambito di PGBTT e PGRA di cui alle premesse per tempo di ritorno di 30 anni con condizioni di marea pari a quelle verificatesi nel novembre del 1966)
- Livelli del fiume Dese all'immissione degli scoli Peseggiana e Bazzera Alta in condizioni di piena (livelli stimati con modello sviluppato nell'ambito di PGBTT e PGRA di cui alle premesse per tempo di ritorno di 30 anni)

7.3.2 Modello Cattal e Sottodese

Il secondo modello implementato raggruppa 18 collettori afferenti agli impianti idrovori di Cattal e Zuccarello con recapito sul fiume Dese.

Tabella 10. Elenco dei corsi d'acqua modellati afferenti agli impianti idrovori sul fiume Dese

Corso d'acqua	Lunghezza (m)	Connessione di monte		Connessione di valle	
		Collettore	Progressiva	Collettore	Progressiva
Collegamento Altinate - Pagliaga	397	Collettore Altinate	897	Collettore Pagliaga	565
Collettore Acque Alte Cattal	2481			Collettore Acque Medie Cattal	0
Collettore Acque Basse Cattal	2440			Scarico Idrovora	0
Collettore Acque Medie Cattal	6892			Scarico Idrovora	25
Collettore Altinate	1789			Collettore Acque Medie Cattal	6416
Collettore Ca' Solaro	1437			Collettore Acque Alte Cattal	265
Collettore Canaletta Irrigua	1746	Collettore Acque Medie Cattal	1090	Collettore Fornasotti	815
Collettore Cattal	3089			Collettore Acque Basse Cattal	1450
Collettore Fornasotti	1947			Collettore Acque Basse Cattal	850
Collettore Pagliaga	1472			Collettore Acque Basse Cattal	2370
Collettore Pagliagheta	3091			Collettore Acque Medie Cattal	4246
Collettore Praello	1571			Collettore Sottodese	3535
Collettore Sottodese	4617			Zuccarello	0
Collettore Trego Di Levante	660			Collettore Acque Medie Cattal	2435

Congiunzione Cattal Dese	654			Collettore Acque Alte Cattal	2481
Scarico Idrovora	29				
Scarico Pagliaga AMC	10	Collettore Pagliaga	1434	Collettore Acque Medie Cattal	6859
Collettore Zuccarello	864				

Il modello è stato impostato sulla base anche di precedenti indagini eseguite da professionisti e tecnici del Consorzio.

I livelli del fiume Dese sono ininfluenti come condizione di valle in quanto entrambi i sistemi sono a scolo meccanico.

7.3.3 Modello Lusore

Il terzo modello implementato raggruppa 26 collettori tra affluenti al fiume Lusore e afferenti agli impianti idrovori di Ca' Emiliani e Malcontenta.

Tabella 11. Elenco dei corsi d'acqua modellati afferenti al fiume Lusore

Corso d'acqua	Lunghezza (m)	Connessione di monte		Connessione di valle	
		Collettore	Progressiva	Collettore	Progressiva
Barbariga	520			Fondi A Nord	934
Bypass Menegon	152	Canale Menegon	2648	Canale Menegon	2785
Canale Menegon	5738			Lusore	30427
Collegamento Fosso 2 - Fosso 6	10	Fosso 2	800	Diramazione Fosso 6	318
Collegamento Fosso7	30	Fosso 7	712	Fosso 7	1073
Colombara	866			Fondi A Nord	1983
Diramazione Fosso 6	456			Fosso 6	0
Fondi A Est	3570			Fondi A Sud	900
Fondi A Nord	2181			Scarico Malcontenta	0
Fondi A Sud	1616			Fondi A Nord	2166
Fossa Di Chirignago	2354			Fosso 7	0
Fossa Di Chirignago Ex Alveo	106	Fossa Di Chirignago	1263	Fossa Di Chirignago	1371
Fosso 1	2308			Fossa Di Chirignago	976
Fosso 2	2425	Fosso Diversivo	328	Fosso 7	0
Fosso 6	1473			Fosso 7	94
Fosso 6 Nuovo	2142			Fosso 6	0

Fosso 7	1673			Scarico Ca' Emiliani	0
Fosso Dell'osteria	918			Fondi A Sud	1353
Fosso Diversivo	383			Fosso 1	1516
Fosso Foffano	294			Scolo Rietto	2010
Lusore	31451				
Nuovo Collegamento Fondi A Sud	180	Fondi A Sud	1395	Fondi A Nord	2113
Scarico Ca' Emiliani	466			Lusore	30632
Scarico Malcontenta	681			Lusore	30914
Scolmatore Cesenego Vecchio - Comuna	748			Fondi A Nord	0
Scolo Rietto	3089			Canale Menegon	3043

Il modello è costituito da oltre 200 sezioni e circa 50 strutture tra ponti, tombinamenti, idrovore e paratoie.

Le condizioni al contorno utilizzate nelle simulazioni sono:

- Livelli del fiume Lusore allo scarico in laguna di Venezia in condizioni di marea pari a quelle verificatesi nel novembre del 1966).

7.4 Taratura

I modelli numerici realizzati sono caratterizzati anche da una serie di parametri la cui scelta, in prima battuta, è stata effettuata sulla base di valori ricavati in bibliografia e riferiti a condizioni simili (risposta idrologica del suolo, scabrezza canali e condotte, impermeabilizzazione del suolo in base all'uso). Ulteriori indicazioni sono state recepite nell'ambito della taratura effettuata per i modelli del PGBTT e del PGRA di cui alle premesse.

Alcune verifiche locali sono state effettuate confrontando i livelli calcolati dal modello con quelli misurati in corrispondenza di alcune stazioni misura del sistema di telecontrollo consortile, per noti ietogrammi "storici" (eventi di maggio 2016 e febbraio 2014).

Infine, i risultati del modello sono stati comparati qualitativamente alle segnalazioni di allagamenti, alle criticità storiche o alle fotografie effettuate durante gli eventi di piena più recenti.

7.5 Parametri assunti

In linea generale i principali parametri di simulazione idraulica utilizzati sono i seguenti:

- Scabrezza canali: $0.05 \text{ s/m}^{(1/3)}$;
- Scabrezza golene vegetate: $0.075 \text{ s/m}^{(1/3)}$;
- Scabrezza manufatti: $0.013 \text{ s/m}^{(1/3)}$;
- Scabrezza tratti tombinati e/o sezioni con spallette in cemento: $0.025 \text{ s/m}^{(1/3)}$;
- Coefficiente di perdita di carico sbocco tombinamenti/condotte: formula di Borda
- Coefficiente di perdita di carico imbocco tombinamenti/condotte: perdita sbocco/2

In alcuni casi sono stati effettuati approfondimenti che hanno comportato la modifica puntuale di alcuni dei suddetti parametri.

8 Risultati salienti della modellazione idraulica

Come anticipato, si è voluto indagare e verificare il comportamento idraulico dei collettori lungo l'intero sviluppo della loro asta nel territorio comunale. Si ricorda che i modelli utilizzati sono mono-dimensionali (il che comporta che tutte le grandezze idrauliche caratteristiche del canale, come la portata, la velocità, il livello idrometrico varino, ad ogni istante temporale, unicamente lungo la direzione di scorrimento della corrente), per cui non è possibile simulare l'eventuale allagamento dovuto a sormonto o cedimento di un argine. Per far ciò, sarebbe necessario utilizzare un modello di tipo bidimensionale, al pari di quelli utilizzati per la pianificazione a scala di bacino. Il modello comunque evidenzia dove e come può eventualmente avvenire la tracimazione, dandone anche, indirettamente, un'indicazione quantitativa senza però fornire informazioni su come poi la portata tracimata si propaghi nel territorio.

Con l'implementazione dei modelli è stato quindi possibile ricavare informazioni di notevole interesse sulle possibili criticità idrauliche generate o in qualche modo collegate al comportamento idraulico dei collettori.

Nella tavola *04.02.00 Esiti della modellazione idrologico-idraulica* sono state riassunte tutte le principali criticità emerse dalla modellazione numerica: attraverso la sovrapposizione dell'output relativo a tutti gli eventi analizzati, sia per le reti tubate che per i collettori superficiali, è stato possibile individuare zone soggette ad insufficienza dell'attuale rete di smaltimento delle acque meteoriche (rete di bonifica, fossi privati/pubblici o rete condotte). Eventi brevi e intensi sollecitano maggiormente la rete di fognatura bianca dei centri urbani mentre gli eventi di durata di qualche ora o un giorno generano esondazioni sulla rete consortile caratterizzata da bacini di maggiori dimensioni. Grazie all'utilizzo dello ietogramma Chicago è stato possibile evidenziare le criticità sulla rete in entrambi i casi.

I risultati delle simulazioni hanno evidenziato il sostanziale buon dimensionamento e comportamento di alcuni collettori principali per i quali non si notano rilevanti criticità, (la rete afferente al canale Scolmatore, fatta eccezione per alcuni collettori con problemi localizzati, i canali afferenti all'impianto di Malcontenta, sufficientemente in grado di smaltire le portate di picco).

Le principali criticità riscontrate si osservano nei tratti terminali dei sistemi connessi alle idrovore di Cattal e di Campalto che risultano sottodimensionate e per le quali sono già avviati studi e progetti al fine di potenziare gli impianti o scollegare parte dei bacini scolanti.

Altre criticità sono imputabili principalmente al rigurgito prodotto da alcuni manufatti probabilmente sottodimensionati (ponticelli e salti di fondo) come ad esempio avviene per il collettore Mondo Nuovo, il collettore di Tesserà, la Boscariola di monte, il Rio Cimetto.

Maggiori problemi presenta invece lo scolo Bazzera Alta, a causa della contemporanea presenza di diffuse insufficienze di sezione e di alcuni manufatti con luci troppo ristrette.

Per quanto riguarda poi le condizioni di criticità evidenziate lungo la Fossa di Chirignago e i fossi 2 e 6 si segnalano restringimenti sul Fosso 7 che, nonostante l'ingente capacità di portata dell'impianto di Ca' Emiliani, sono tali da propagare il fenomeno di rigurgito fino alle sezioni di monte dei suddetti collettori.

Ci sono infine collettori che entrano in crisi per i picchi impulsivi di portata riversata da impianti e/o sfiori di fognatura quali la Fossa Pagana e il collettore Acque Basse Campalto.

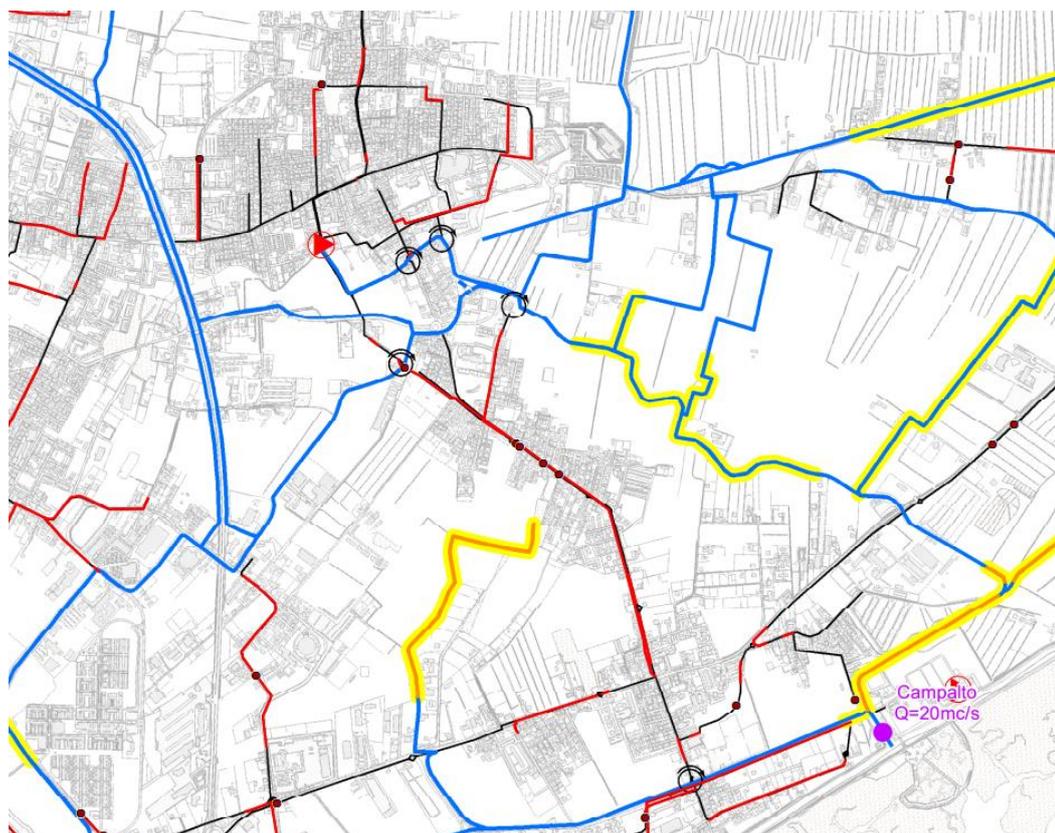


Figura 47. Estratto della tavola 04.02.00

Tutte le criticità individuate dai modelli sono riportate, in termini di insufficienza della rete, secondo la seguente simbologia:

- in rosso: tratti di fognatura in pressione e nodi con esondazione con tempo di ritorno di 5 anni;
- tratti arancione: collettori superficiali che tracimano con tempo di ritorno di 5 anni;
- tratti evidenziati in giallo: collettori superficiali che tracimano con tempo di ritorno di 20 anni.

Dall'analisi dei risultati inoltre è stato possibile ricavare i profili longitudinali dei collettori per le diverse simulazioni condotte. Si riporta nell'immagine seguente il profilo dello scolo Bazzera Alta per un tempo di ritorno di 20 anni. Dalla verifica dei livelli idrometrici lungo i corsi d'acqua al variare del tempo è stato possibile individuare la massima capacità di portata dei canali nella configurazione dello stato di fatto. Confrontando tale capacità di deflusso con le portate effettivamente generate dal bacino di monte afferente al tratto indagato è stato

possibile calcolare il volume potenzialmente esondabile. Sulla base delle evidenze morfologiche del territorio circostante, tale volume è stato trasformato in una superficie fittizia allagabile.

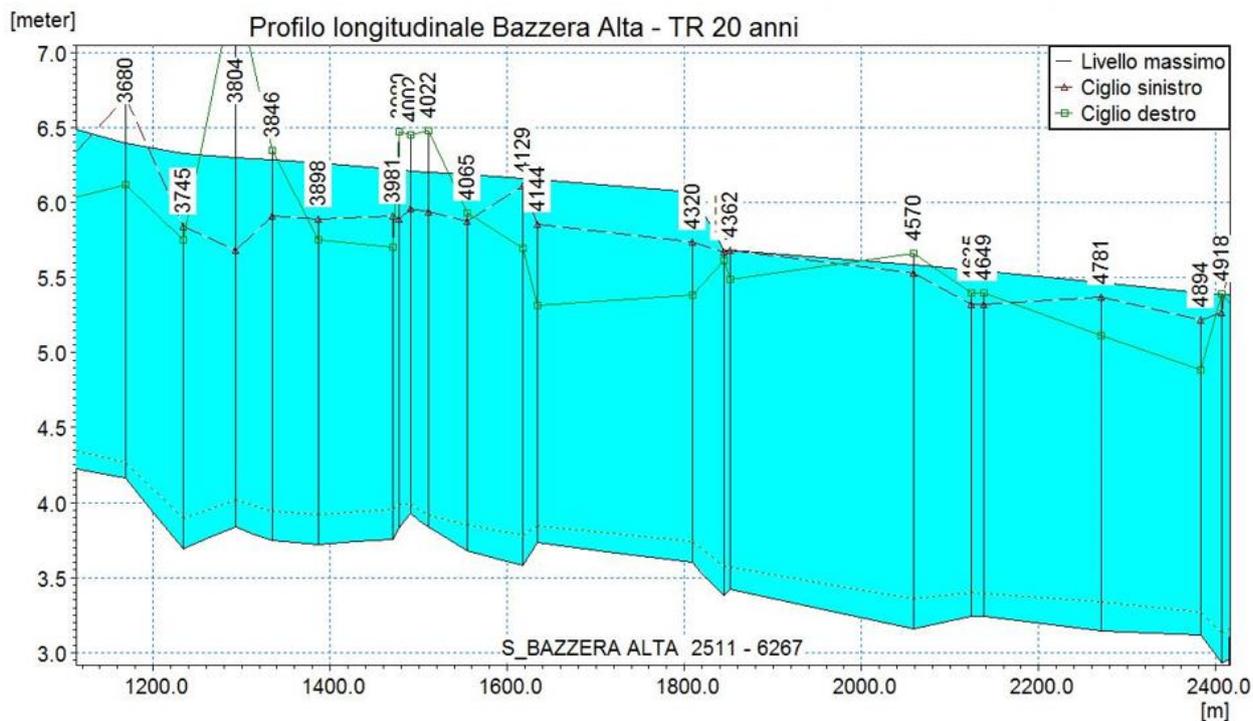


Figura 48. Profilo longitudinale collettore Bazzera Alta – evento meteorico con tempo di ritorno di 20 anni

Tutte le criticità evidenziate da modello sono state individuate sotto forma di aree con la metodologia sopra descritta e sono state riportate nella tavola 03.02.00 *Carta delle principali criticità*.

I risultati della modellazione svolta sono poi confluiti nella redazione delle schede relative alle criticità allegate al Piano, sia per quanto concerne l'individuazione e/o la conferma delle zone caratterizzate da un più elevato grado di pericolosità idraulica, che per la definizione degli interventi necessari al superamento di tali problematiche.

Per ciascuna delle schede sono state poi svolte le considerazioni sul grado di rischio e le ulteriori valutazioni già descritte in relazione generale, allo scopo di fornire strumenti utili per una futura definizione delle priorità di intervento.

9 Conclusioni

Il livello di approfondimento della modellazione numerica utilizzato in questo Piano delle Acque, destinato ad una analisi a scala di bacino delle varie problematiche idrauliche presenti nel territorio comunale, evidenzia la necessità di realizzare diversi interventi al fine di garantire la sicurezza idraulica del territorio oggetto di studio per gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 5 anni in alcuni casi e 20 anni in altri casi, relativamente a durate di pioggia differenti in funzione dei sistemi indagati.

Non si esclude che un livello più approfondito di dimensionamento e progettazione delle opere, compresa la conoscenza più approfondita dei sottoservizi esistenti, possa far emergere soluzioni alternative maggiormente efficaci o un dimensionamento differente degli interventi proposti.