



COMUNE DI VILLA DEL CONTE

Piazza Vittoria 12 - 35010 Villa del Conte (PD)

Via Rovereto, 12 - 30174 VENEZIA
e-mail: consorzio@acquerisorgive.it
www.acquerisorgive.it



ACQUE RISORGIVE CONSORZIO DI BONIFICA

01.02.00 - RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

P.A. Villa del Conte

PIANO DELLE ACQUE COMUNALE

DATA		ELABORATO						
MARZO 2019		01.02.00 - RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA						
SCALA								
-								
CODICE ELABORATO						Consorzio di bonifica Acque Risorgive		
AR082	PA	01	02	00	REII	00	<i>ing. Carlo Bendoricchio</i> DIRETTORE GENERALE	
Comune di Villa del Conte						<i>ing. Michele Caffini</i> DIRETTORE AREA TECNICA		
<i>sig. Renzo Nodari</i> SINDACO						GRUPPO DI LAVORO <i>dott. urb. Davide Denurchis</i> Capo ufficio Pianificazione e Pareri <i>ing. Martino Cerni</i> Collaboratore Direttivo <i>geom. Marco Milan</i> Collaboratore		
<i>arch. Demetrio Zattarin</i> RESPONSABILE III SETTORE "TECNICO"								
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE				REDIGE	VERIFICA	APPROVA
0	15-03-2019	Prima emissione				M. Cerni	M. Cerni	D. Denurchis

Sommario

1.	Premesse	2
2.	Descrizione dei sistemi idraulici principali nel territorio comunale	3
2.1.	La rete idrografica	3
2.2.	Il reticolo minore e la rete di fognatura	5
2.3.	Individuazione dei sottobacini idraulici	6
3.	Definizione degli eventi pluviometrici di progetto	7
3.1.	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.....	7
3.2.	Scelta degli eventi.....	8
3.3.	Ietogrammi di progetto	8
4.	Definizione dei modelli matematici	10
5.	Modello della rete urbana.....	11
5.1.	La costruzione del modello della rete fognaria.....	11
5.2.	Caratteristiche tecniche del software di simulazione idraulica.....	11
5.2.1.	Modelli idrologici disponibili	11
5.2.2.	Approccio numerico.....	12
5.3.	Dati di partenza e integrazione dei dati geometrici.....	13
5.4.	La schematizzazione adottata.....	14
5.5.	Sottobacini.....	15
5.5.1.	Usi e tipologie di suolo	16
5.5.2.	La separazione degli afflussi.....	17
5.5.3.	Lo ietogramma netto	22
5.5.4.	Stima degli idrogrammi di piena	22
5.6.	Tempo di corrivazione	24
5.7.	Analisi e verifica idraulica dello stato di fatto.....	24
5.8.	Analisi e verifica idraulica dello stato di progetto	25
6.	Conclusioni.....	26

1. PREMESSE

Nell'ambito della revisione del Piano delle Acque del Comune di Villa del Conte è stato sviluppato il presente studio idrologico-idraulico del territorio indagato; 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.

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 al Tergola 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.

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 degli ietogrammi "netti".

A partire dai risultati del modello 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 nella rete modellata.

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 dei fossati e dei tratti di rete fognaria principali evidenziandone le eventuali insufficienze e le possibili fonti di rischio per il territorio, generalmente rappresentate da restringimenti, attraversamenti, inadeguatezza della sezione idraulica: conoscenza propedeutica indispensabile per intervenire efficacemente con adeguate e circostanziate soluzioni progettuali.

2. DESCRIZIONE DEI SISTEMI IDRAULICI PRINCIPALI NEL TERRITORIO COMUNALE

Il territorio del comune di Villa del Conte è inserito 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, che rendono la pianura veneta un insieme di complessi sistemi idraulici tra loro spesso interconnessi.

2.1. La rete idrografica

La rete idrografica del comune di Villa del Conte, 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.

Le dorsali principali di deflusso sono rappresentate dallo scolo Vandura (che poco a monte del confine comunale viene chiamato Rio della Pila), lo scolo Ghebbo Mussato (che a monte della frazione di Abbazia Pisani viene chiamato Rio Figaro), lo scolo Orcone (derivazione in sinistra idraulica del Ghebbo Mussato), il Tergola e lo scolo Piovego di Villabozza (che con i lavori straordinari eseguiti costituisce lo scolmatore di piena del Tergola).

2.2. Il reticolo minore e la rete di fognatura

Le attività relative alla redazione del presente Piano hanno comportato numerosi sopralluoghi in situ e rilievi topografici del reticolo minore e della rete tubata a servizio del comune. Tali indagini hanno portato ad una maggior definizione delle affossature comunali e private e delle caratteristiche strutturali della fognatura pubblica che partecipano al drenaggio del territorio in esame.

Il reticolo indagato è stato rappresentato nelle tavole *02.04 Carta di dettaglio delle reti idrauliche*, suddivise per le zone Nord, Sud e centri urbani, con l'indicazione delle affossature principali, capofossi, di quelle secondarie, fossi, nonché della rete minore tubata.



Figura 2. Estratto dalla carta di dettaglio delle reti idrauliche (capofossi in azzurro e fossi in verde, tratteggiata la rete minore tubata)

2.3. 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 tutto il comune. I nuovi sottobacini afferenti al reticolo principale sono rappresentati nella tavola 02.05.00 della quale si riporta di seguito un’anteprima.

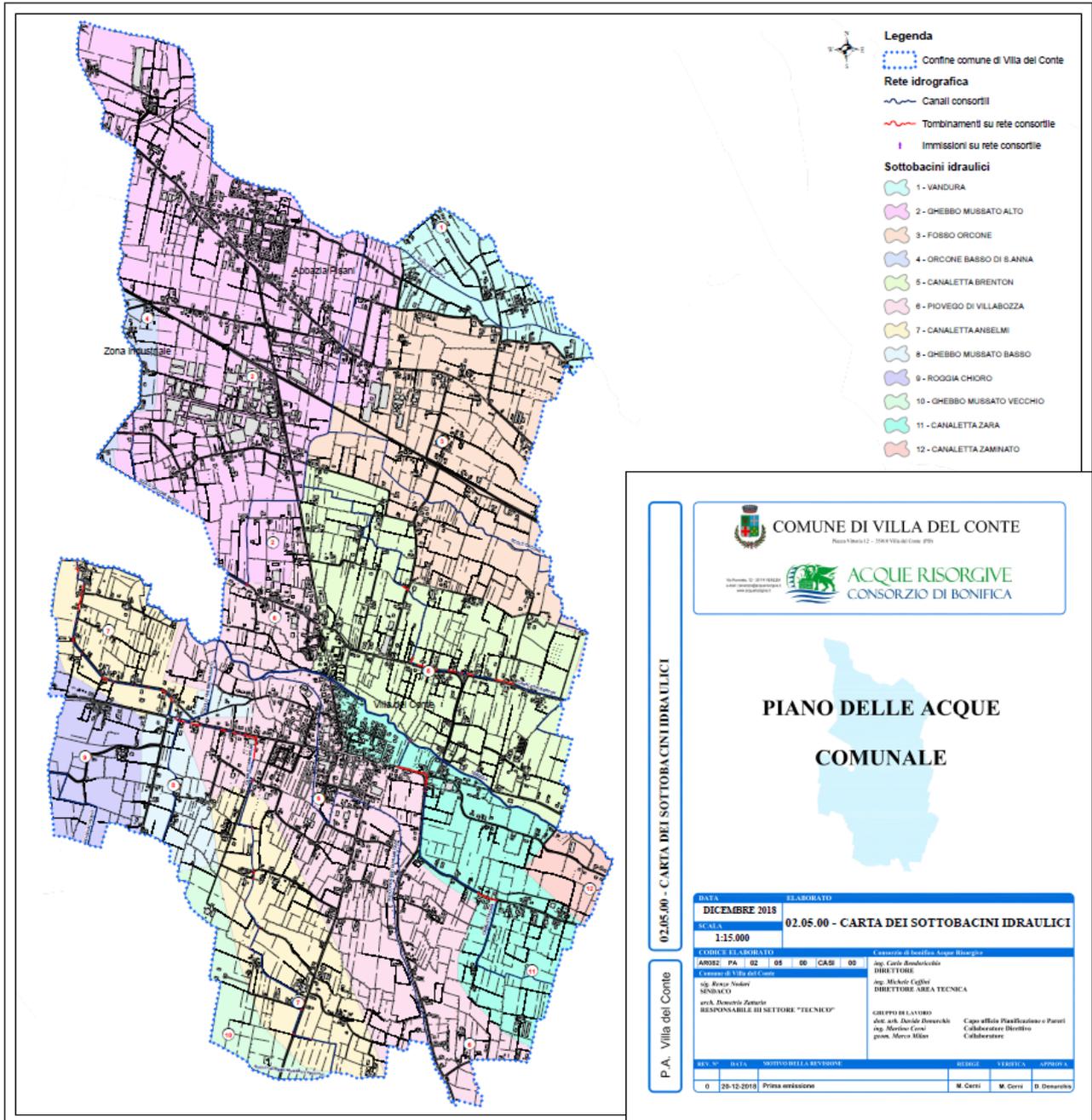


Figura 3. Carta dei sottobacini idraulici

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 allo 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 sud-occidentale, alla quale appartiene il territorio del Comune di Villa del Conte.

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

Tr (anni)	a	b	c
2	20.2	10.6	0.838
5	26.9	11.9	0.835
10	30.9	12.6	0.830
20	34.4	13.3	0.823
30	36.4	13.7	0.823
50	39.5	14.5	0.818
100	41.4	14.9	0.803
200	44.0	15.6	0.794

Tabella 1. Valori dei parametri da assegnare alla curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno.

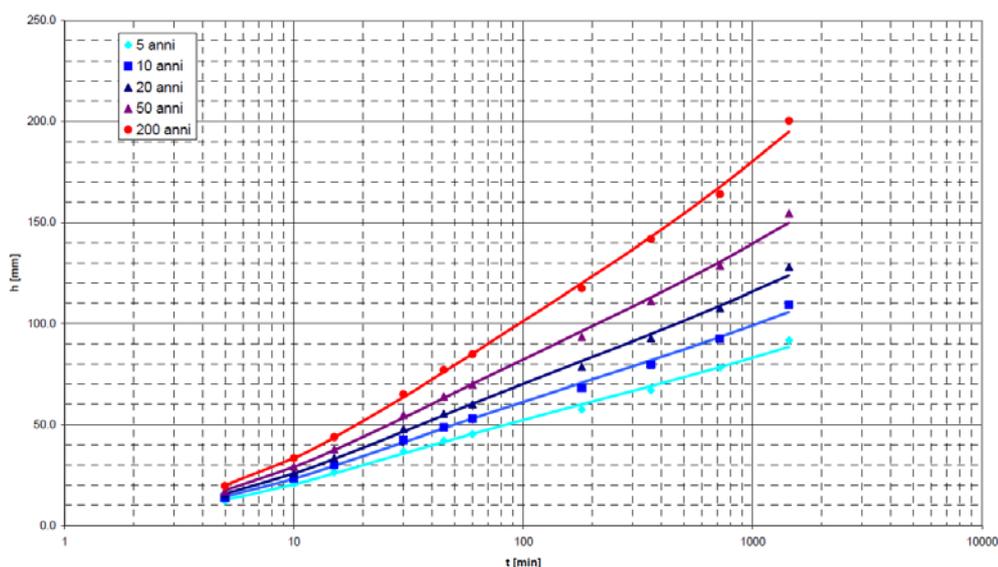


Figura 4. Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per la zona nord-orientale

3.2. Scelta degli eventi

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

- 2 anni: evento che statisticamente ha una probabilità di verificarsi con più frequenza
- 5 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 (30 minuti – 1 ora); 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.

Al fine di considerare entrambi i casi si è scelto di simulare eventi “sintetici” caratterizzati da uno ietogramma “Chicago” che dato un tempo di ritorno è critico per tutte le durate.

3.3. Ietogrammi di progetto

A partire dai parametri delle curve di possibilità pluviometrica per TR 2 e 5 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**, uno ietogramma derivato dalle curve di probabilità pluviometrica che, dato un tempo di ritorno è critico per tutte le durate.

Lo ietogramma Chicago riproduce una pioggia critica per tutte le durate, nel senso che per tutte le durate l'altezza di precipitazione è proprio quella prevista dalla assegnata curva di possibilità pluviometrica relativa al prefissato tempo di ritorno. 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.

Allo ietogramma Chicago quindi, ai fini della trasformazione afflussi-deflussi, corrisponde un tempo di ritorno maggiore di quello proprio della curva di possibilità pluviometrica da cui è stato derivato. E' quindi 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.

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

Si riportano a titolo di esempio gli ietogrammi così generati, a partire dalle curve di possibilità pluviometrica relative ai tempi di ritorno di 2 e 5 anni.

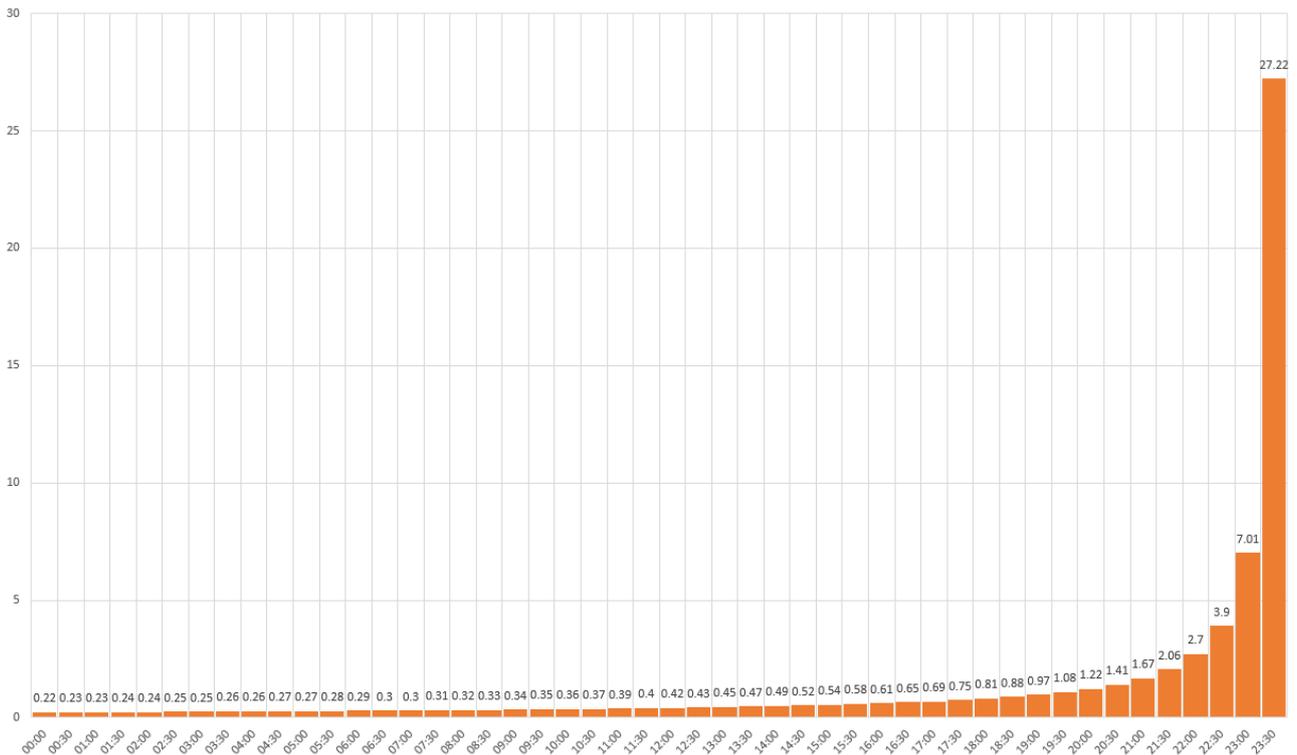


Figura 5. Ietogramma sintetico Chicago per TR=2 anni

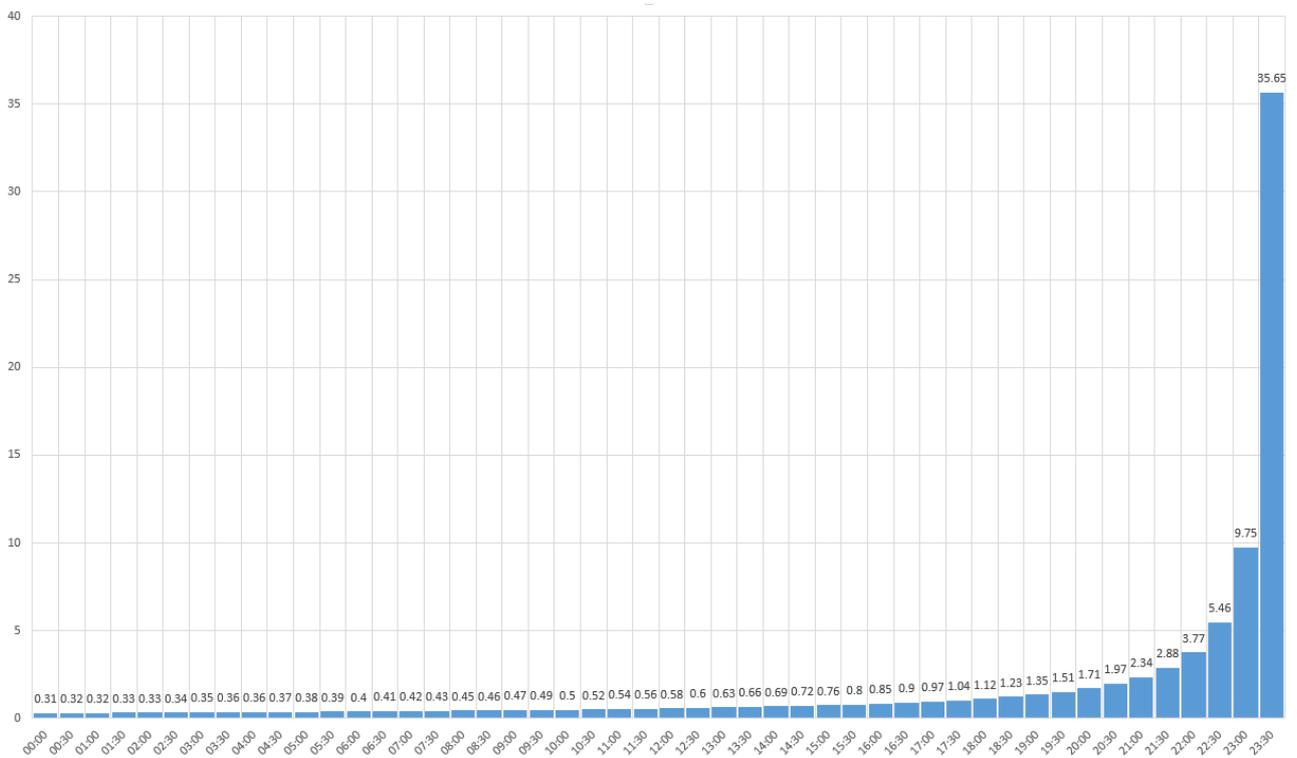


Figura 6. Ietogramma sintetico Chicago per TR=5 anni

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 stato sviluppato a cura del Consorzio di Bonifica Acque con l'utilizzo del software *MIKE URBAN* del *Danish Hydraulic Institute (DHI)* (**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 *MIKE URBAN* del *Danish Hydraulic Institute (DHI)*.

Di seguito si riporta una trattazione sintetica dei diversi modelli e della metodologia utilizzata per l'accoppiamento degli stessi.

5. MODELLO DELLA RETE URBANA

5.1. 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 *MIKE URBAN*, sviluppato dal *Danish Hydraulic Institute (DHI)* e utilizzato in ambito tecnico per la progettazione e verifica di reti fognarie urbane e reti di bonifica.

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

- 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;
- carta dell'uso del suolo per la definizione dei coefficienti di deflusso dei sottobacini.

5.2. Caratteristiche tecniche del software di simulazione idraulica

MIKE URBAN è un applicativo di simulazione idraulica sviluppato dal *Danish Hydraulic Institute (DHI)*. Il software nasce per consentire la modellazione numerica integrata di sistemi di drenaggio urbano e di reticoli di bonifica. La sua flessibilità di applicazione consente 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 e reti di drenaggio chiuse.

5.2.1. Modelli idrologici disponibili

In *MIKE URBAN* 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 nei diversi sottobacini.

L'utente può scegliere tra questi modelli idrologici:

- Metodo Razionale
- Modello dell'infiltrazione costante
- Modello SCS (CN)
- Modello SCS generalizzato

5.2.2. Approccio numerico

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a superficie libera (sia le tratte fluviali aperte che le tubazioni) viene calcolato mediante l'integrazione delle equazioni di base di De Saint Venant (conservazione della massa e del momento).

Le equazioni sono le seguenti:

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

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gAI_f = gAI_0 \quad (2)$$

dove:

- A area bagnata del condotto;
- Q portata;
- y livello idrico;
- x distanza lungo l'asse del condotto;
- t tempo;
- g accelerazione di gravità;
- α coefficiente di distribuzione della velocità;
- I_0 pendenza del fondo;
- I_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 *MIKE URBAN* sono infatti disponibili le equazioni di Colebrook-White, Manning e Hazen-Williams.

Le equazioni vengono trasformate in un insieme di equazioni implicite alle differenze finite su una griglia computazionale costituita dall'alternanza di punti q e h , ovvero sia portata e livello rispettivamente.

Lo schema numerico adottato è lo schema implicito dei 6 punti di Abbott and Ionescu (1967), riportato nella figura seguente. L'idea di base è usare valori adiacenti nel tempo e nello spazio per scrivere le derivate di q ed h e quindi convertire le due equazioni di Saint-Venant in un insieme di equazioni implicite alle differenze finite accoppiate.

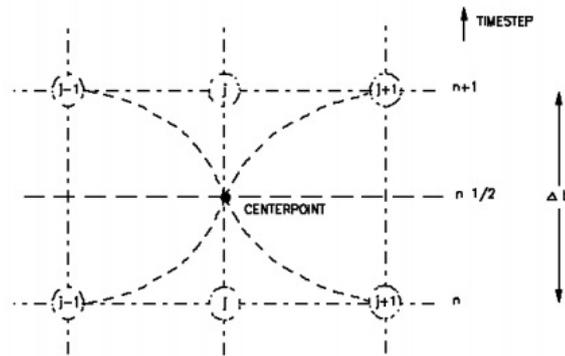


Figura 7 – Schema a 6 punti di Abbott

Le equazioni di cui sopra sono valide fino a quando il condotto non entra in pressione; per permettere al software 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 a gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione 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.

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.

5.3. Dati di partenza e integrazione dei dati geometrici

Come dato di base per l'implementazione del modello sono stati utilizzati i dati acquisiti durante la campagna di rilievi effettuata appositamente nell'ambito della redazione del Piano.

Nella fase di sviluppo del modello è stato necessario aggiungere a tali dati di base ulteriori informazioni ricavate in parte dagli elaborati di altri progetti a disposizione dell'amministrazione.

5.4. La schematizzazione adottata

La rete modellata copre l'intero comune di Villa del Conte. Nel modello sono state inserite la rete principale e parte della rete secondaria. Ogni tratto di tubazione è stato caratterizzato con l'inserimento delle quote di scorrimento dei nodi di monte e di valle, lunghezza e diametro della condotta, così come ad ogni fossato sono state attribuite le sezioni di riferimento e le quote note o rilevate. Nelle figure seguenti vengono riportati degli estratti della tavola *04.01.00 Carta della rete modellata* in cui è rappresentato in nero il reticolo della rete modellata, costituita da **418 link** e **423 nodi**.

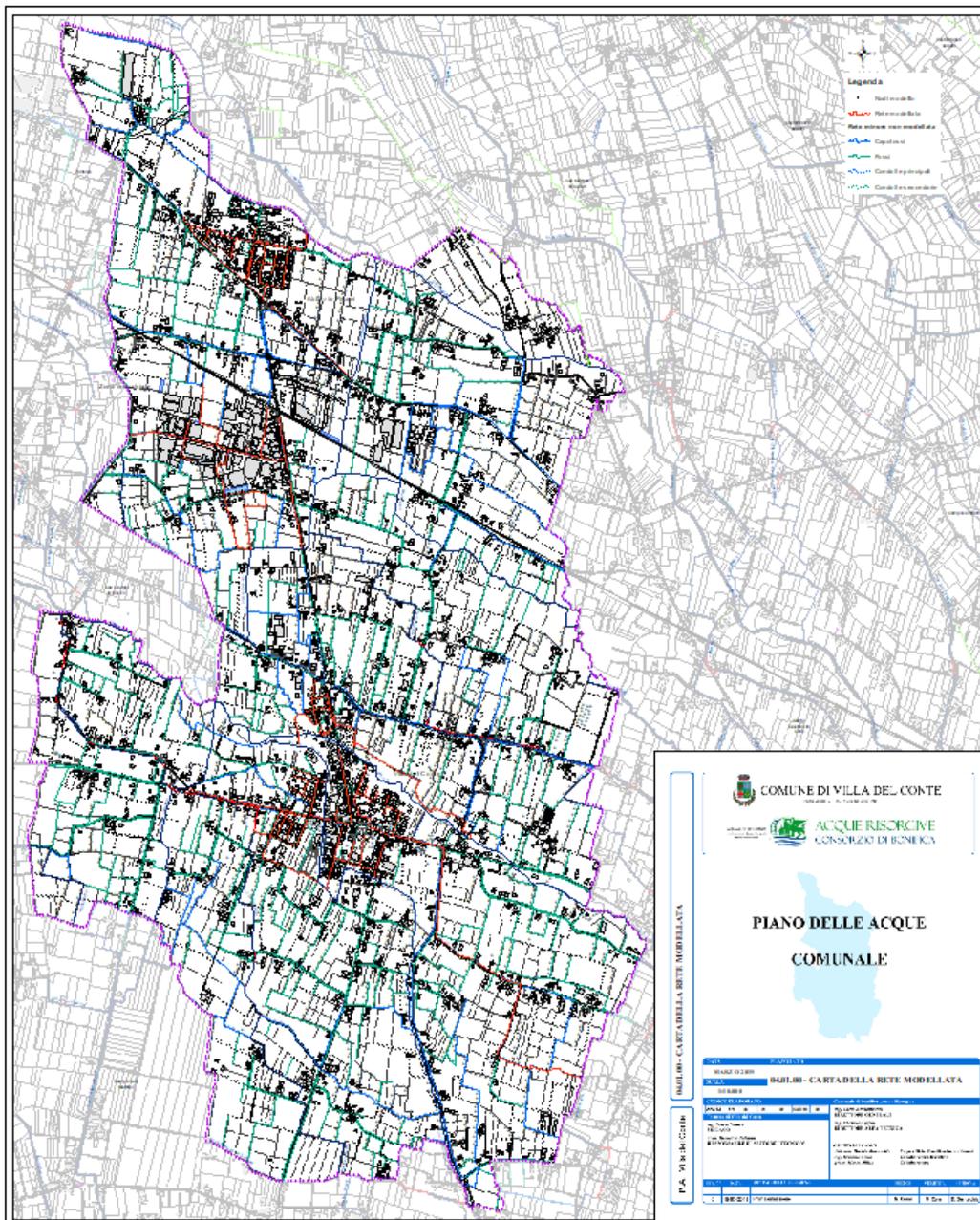


Figura 8. Estratti della della rete modellata nel capoluogo

5.5. Sottobacini

Nel modello si sono utilizzati i principali bacini di bonifica (aree afferenti a ciascun collettore principale) e gli stessi sono stati ripartiti sulla base delle planimetrie di rete fognaria, riperimetrati ove necessario con considerazioni di carattere matematico e idraulico.

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

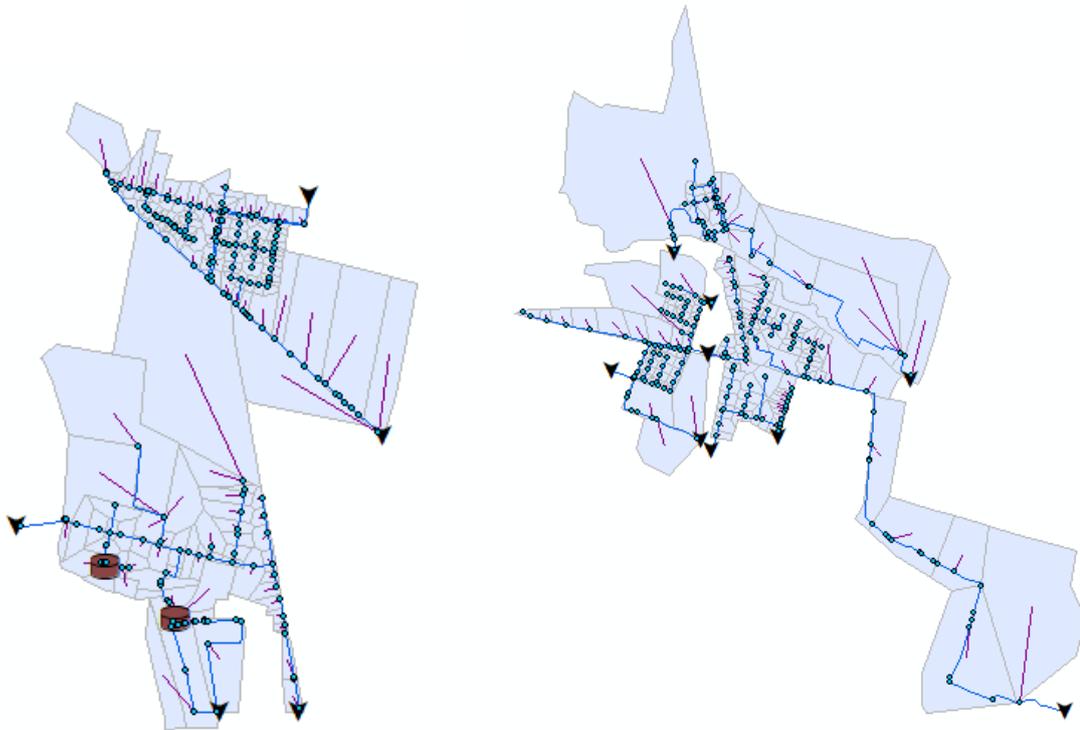


Figura 9. Suddivisione in sottobacini della rete (porzione Nord e Sud)

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

Di seguito è descritta la metodologia per l'individuazione della risposta idrologica dei sottobacini. 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 *MIKE URBAN*.

5.5.1. Usi e tipologie di suolo

Il territorio comunale di Villa del Conte 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 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*.

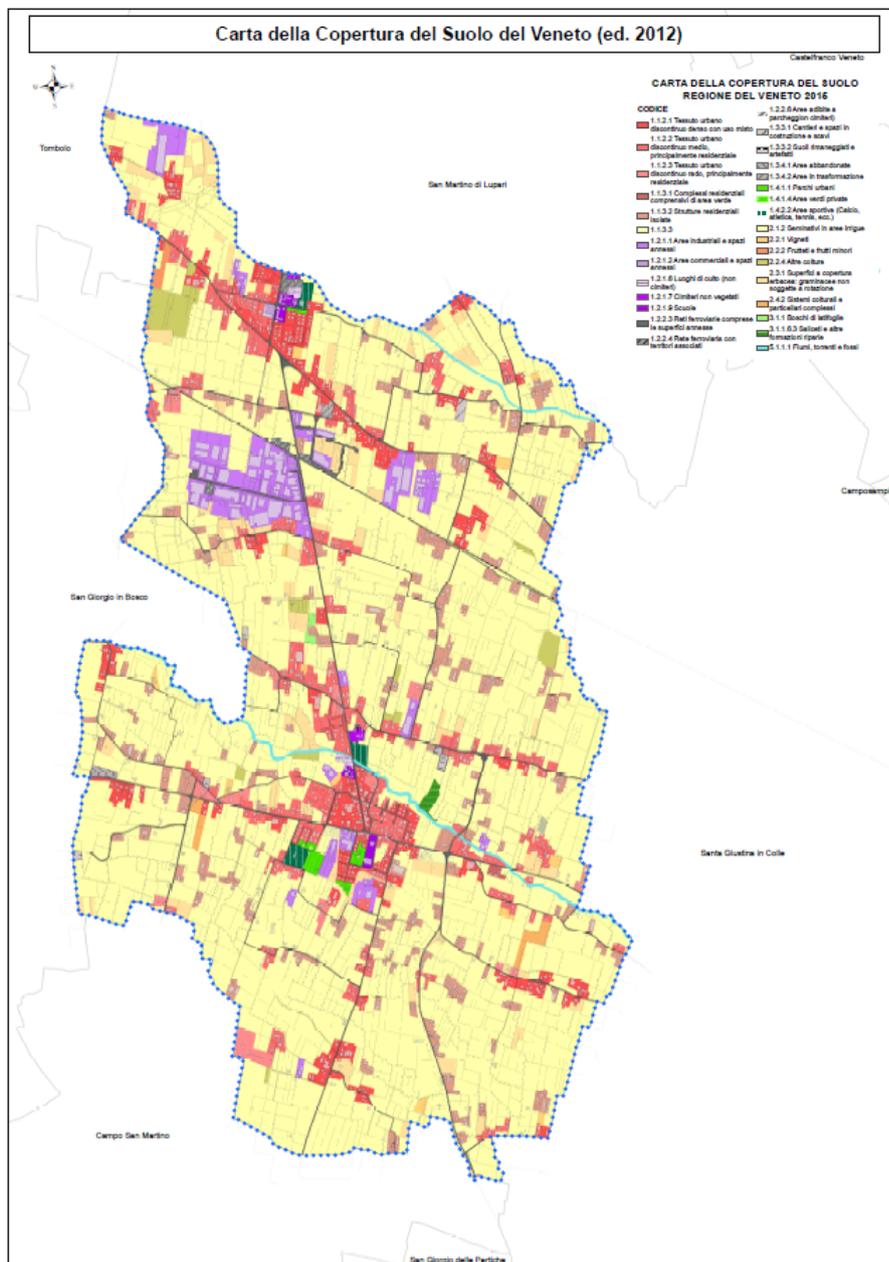


Figura 10. Carta della copertura del suolo

5.5.2. 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 e 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 del 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.

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.

Tabella 2. 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
		Aree in attesa di una destinazione d'uso	61	75	83	87
	Zone verdi artificiali non agricole	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	87
		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 4, 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:

$$CN_{\alpha} = (1/3) (CN_{III} - CN_{II}) [1 - 2 \exp(-0.386 \alpha)] + CN_{II}$$

Dove α è la pendenza percentuale espressa in numero decimale.

Come si osserva dalla Figura 14, 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 essere attribuiti ai territori di bonifica del Veneto i quali sono generalmente caratterizzati da pendenze dell'ordine dello 0.1 %.

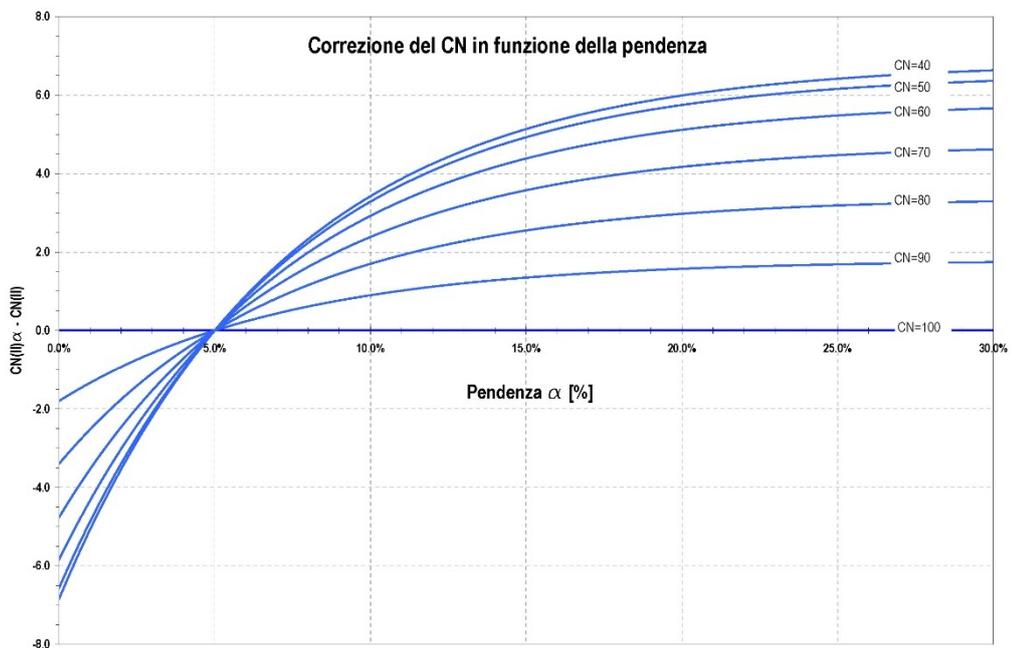


Figura 11. Variazione del parametro CN calcolato in condizioni medie di saturazione del terreno in funzione della pendenza del suolo.

5.5.3. 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 dello 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).

5.5.4. Stima degli idrogrammi di piena

La stima delle portate di piena generate dai sottobacini tributari dei collettori è stato svolto tramite il software *MIKE URBAN*.

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 950) con l'ausilio combinato di sopralluoghi in situ, rilievi e analisi delle ortofoto e della carta dell'uso del suolo, 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.

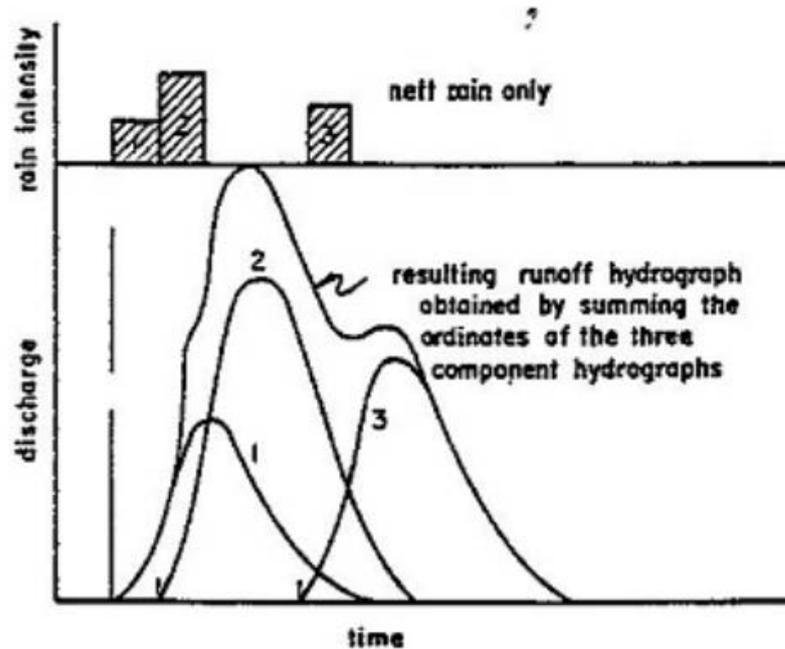
Per ciascun tratto di collettore si sono successivamente individuate le modalità con le quali i singoli idrogrammi generati sono immessi in rete: ossia se l'immissione è puntuale in una determinata sezione (in ambiente urbano e di bonifica) oppure se distribuita uniformemente lungo un tratto compreso tra due stabilite sezioni (in ambiente di bonifica).

Le portate di piena generate dai singoli sottobacini in risposta agli ietogrammi netti, calcolati come sopra, sono state ricavati con il metodo dell'idrogramma istantaneo unitario. Il metodo è un semplice modello lineare che può essere utilizzato per ricavare l'idrogramma derivante da qualsiasi precipitazione netta, depurata della parte di infiltrazione.

L'idrogramma unitario è l'idrogramma generato in risposta ad un'immissione impulsiva di volume unitario e rappresenta la risposta in termini di portata risultante da una pioggia netta di durata t .

I presupposti alla base del modello sono:

1. La precipitazione netta ha un'intensità costante durante l'evento di pioggia e ha una distribuzione uniforme su tutto il bacino;
2. Il principio di sovrapposizione degli effetti si applica agli idrogrammi risultanti dai singoli eventi di precipitazione netta unitari con intensità costante;



Un idrogramma unitario può essere caratterizzato dalla durata della pioggia unitaria t , risultante nell'idrogramma e nel tempo di ritardo t_r , definito come la differenza di tempo tra il centro dell'evento di pioggia unitario e il picco di deflusso.

Da queste due caratteristiche, il tempo di picco T_p , cioè il tempo dall'inizio dell'evento fino al verificarsi del picco di deflusso può essere calcolato come:

$$T_p = t_r/2 + t_l$$

Il modello chiede di specificare il tempo di ritardo da utilizzare per il calcolo. Tale tempo di ritardo è unico per ciascun sottobacino e tiene conto del tracciato compiuto dalla particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino stesso. Il programma quindi ridimensiona l'idrogramma applicato di conseguenza, assicurando che l'area sottesa dalla curva sia uguale all'unità.

Il tempo di ritardo è stato calcolato sulla base delle caratteristiche del bacino utilizzando la formula standard SCS:

$$t_r = (L \cdot 3.28 \cdot 10^3)^{0.8} \cdot (1000/CN - 9)^{0.7} / (1900 \cdot Y^{0.5})$$

dove:

t_r : tempo di ritardo in ore

L = lunghezza idraulica del bacino in km,

CN = il valore del Curve Number secondo il metodo SCS -CN,

Y = la pendenza media del bacino in percentuale.



5.6. 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.

5.7. Analisi e verifica idraulica dello stato di fatto

Si è ritenuto opportuno implementare due simulazioni atte a verificare lo schema della rete urbana nel suo complesso allo stato attuale ed individuare i punti maggiormente critici legati alla struttura del reticolo per i quali risultano necessari degli approfondimenti e delle ipotesi di intervento: il primo con riferimento ad un tempo di ritorno con uno ietogramma Chicago, il secondo per tempo di ritorno 5 anni.

Nella tav. 04.02.00 sono rappresentati in colori differenti i differenti gradi di esondazione (o assenza della stessa) ai nodi ottenuti con il modello

5.8. Analisi e verifica idraulica dello stato di progetto

Le criticità emerse con le simulazioni effettuate sulle condizioni attuali della rete costituiscono la base di partenza per la pianificazione di possibili interventi sulla struttura dei condotti al fine di garantire la sicurezza idraulica del territorio almeno in concomitanza di eventi piovosi con tempi di ritorno di 5 anni.

A tale scopo, partendo dalla rete modellata dello stato di fatto, sono stati implementati diversi interventi per la mitigazione del rischio idraulico. Tutti gli interventi sono stati attentamente valutati al fine di non creare un aggravio della situazione in cui si trova la maggior parte dei territori di bonifica.

Tutti gli interventi pianificati sono visibili in rosso nella tavola *05.01.00 Carta degli interventi*, di cui se ne riporta un estratto nell'immagine seguente.

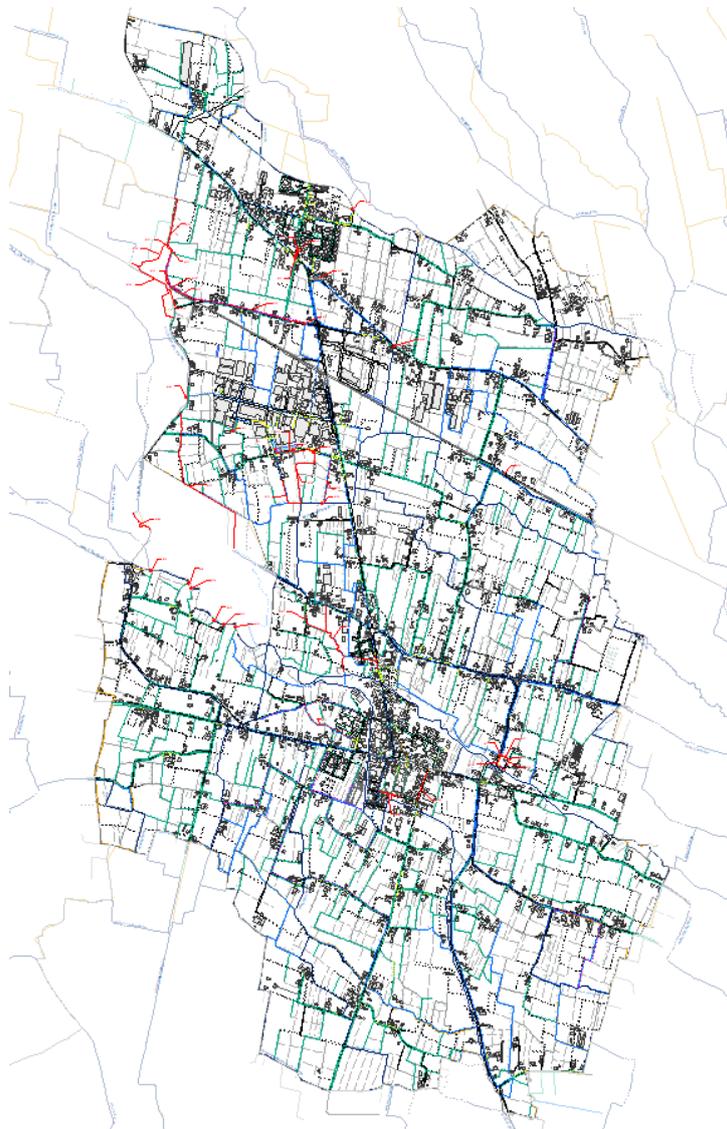


Figura 12. Estratto della Carta degli interventi

Sono state inoltre prodotte le schede criticità con l'individuazione delle aree critiche allo stato di fatto e tutti gli interventi necessari per la riduzione del rischio idraulico. Si rimanda a tali schede per la descrizione puntuale degli interventi e dei relativi benefici.

6. CONCLUSIONI

Il livello di approfondimento della modellazione numerica utilizzato in questo Piano delle Acque, destinato ad una analisi a scala comunale delle varie problematiche idrauliche presenti nel territorio, evidenzia la necessità di realizzare diversi interventi al fine di ridurre il grado di rischio idraulico del territorio oggetto di studio per gli eventi caratterizzati da tempo di ritorno pari a 2 anni in alcuni casi e 5 anni in altri casi, relativamente a durate di pioggia differenti in funzione dei sistemi indagati.

Non si esclude la possibilità di verificarsi di fenomeni di “rischio residuo”, anche ad interventi realizzati, dovuti al perdurare di elevati livelli idrometrici nella rete di bonifica, nei punti in cui quest’ultima è fortemente connessa alla rete urbana oggetto di studio.

Inoltre, gli interventi proposti non prescindono da una più approfondita indagine in fase di progettazione e dimensionamento delle opere attraverso un’analisi costi/benefici e la conoscenza più approfondita dei sottoservizi esistenti, che possa far emergere soluzioni alternative maggiormente efficaci o un dimensionamento differente degli interventi stessi.