

Regione Lombardia
Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



CODICE
COMMESSA

LIVELLO
PROGETTAZIONE

D.P.R.
207/10

PROGRESSIVO
ELABORATO

CATEGORIA
OPERA

NUMERO
OPERA

REVISIONE

SCALA

F 3 0

D

b

0 0 2

I D

- -

R 0

--

LINEA MILANO-VARESE-LAVENO
RISOLUZIONE PL LOCATE VARESINO - FASE 2
Progetto Definitivo

RELAZIONE IDRAULICA "FOSSO RE"

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	MAGGIO 2024	PRIMA EMISSIONE		

NORD_ING

NORD_ING Srl
IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Laura Stiriti

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA
IL DIRETTORE
Ing. Andrea Lucia Passarelli

Progettista



Collaborazione



Piazza Oriani 3/1
16154, Genova (GE)
Tel. 010 604 3225
010 604 3245

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
P. Arnaud	L. Scarsi	S. Ameri	maggio 2024
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.
RI.01			
Prima Emissione			0

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. ANALISI IDROLOGICA.....	3
2.1. Caratterizzazione del bacino del Fosso Re	3
2.1.1. <i>Caratterizzazione geologica-geomorfologica</i>	4
2.1.2. <i>Parametri morfometrici</i>	4
2.2. Calcolo del tempo di corrivazione.....	4
2.3. Definizione del regime pluviometrico	6
2.3.1. <i>Le curve di massima possibilità pluviometrica</i>	6
2.3.2. <i>Bacino del Fosso Re - Pluviogrammi tipo Chicago</i>	8
2.4. Modello di trasformazione afflussi-deflussi.....	9
2.4.1. <i>Costruzione del modello idrologico</i>	9
2.4.2. <i>Parametri di calcolo</i>	10
2.4.3. <i>Calcolo dei parametri idrologici per il bacino del Fosso Re</i>	10
2.5. Calcolo di trasformazione afflussi-deflussi.....	14
2.5.1. <i>Portate al colmo per tempi di ritorno</i>	14
3. ANALISI IDRAULICHE.....	17
3.1. Aspetti generali	17
3.1.1. <i>Descrizione del metodo di calcolo</i>	17
3.1.2. <i>Schema di calcolo</i>	18
3.1.3. <i>Calcoli idraulici con il metodo dell'invaso</i>	19
3.1.3.1. Scenari di calcolo e risultati delle analisi	19
3.1.3.2. Ricalcolo Tratto T.01 (431-430) per verifica del coefficiente di scabrezza	20
3.1.3.3. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 20 anni	20
3.1.3.4. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 50 anni	21
3.1.3.5. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 100 anni	21
4. CONCLUSIONI	22
5. BIBLIOGRAFIA.....	24
6. ALLEGATI.....	25
6.1. ALLEGATO 1 - Bacino imbrifero del canale "Fosso Re"	26
6.2. ALLEGATO 2 - Schema della rete di fognatura	27
6.3. ALLEGATO 3 – Profilo altimetria di riferimento – Estratto dalla carta "Profilo altimetrico Via Piave - Fosso Re" 28	
6.4. ALLEGATO 4 – Schema di calcolo della rete di fognatura – Planimetria -	29
6.5. ALLEGATO 5 – Calcolo del Tratto T.01 (431-430) per verifica del coefficiente di scabrezza – Codice FlowMaster - 30	
6.6. ALLEGATO 6 – Analisi della rete di fognatura – Metodo dell'Invaso – Tr 20 anni -	31
6.7. ALLEGATO 7 – Analisi della rete di fognatura – Metodo dell'Invaso – Tr 50 anni -	32
6.8. ALLEGATO 8 – Analisi della rete di fognatura – Metodo dell'Invaso – Tr 100 anni -	33
6.9. ALLEGATO 9 – Codice di calcolo HYDROCAD – Parametri di calcolo –.....	34
6.10. ALLEGATO 10 – Codice di calcolo HYDROCAD - Analisi delle reti di fognatura –.....	35

1. PREMESSA

Il presente studio idraulico viene effettuato per analizzare la dinamica delle piene del canale di fognatura acque bianche defluente lungo via Piave in Locate Varesino, con la finalità di verificarne le condizioni di deflusso, in quanto tale canale è ubicato sull'area in cui si prevede la realizzazione delle fondazioni della passerella pedonale in progetto.

Il canale in oggetto raccoglie le acque piovane defluenti in una roggia a cielo aperto, denominata Fosso Re, proveniente da Nord-Ovest, dal Comune di Tradate, che costeggia sul lato Nord la ferrovia Milano-Laveno della rete Ferrovienord; entrando nel Comune di Locate Varesino in canale è intubato, con diametro interno 150 cm, e dopo un tratto di circa 125m attraversa la linea ferroviaria, transitando sul lato Sud della stessa in direzione Est, defluendo nel Rio Gradaluso dopo un percorso di circa 550 m.

Si è effettuato uno Studio Idrologico per determinare le portate provenienti dal bacino scolante dal Comune di Tradate affluenti nel Fosso Re e poi al canale in oggetto, riproducendo gli eventi di piena per i tempi di ritorno secondo la Direttiva P.A.I., 20, 50 e 100 anni.

Tale studio è stato reso possibile grazie alla disponibilità della "Carta dei bacini idrografici sottoposti a verifica idraulica" elaborata dal Geol. A. Ciarmiello per il P.R.G.C. del Comune di Locate Varesino, che riporta la perimetrazione del Bacino A scolante verso la roggia afferente al canale di acque bianche in oggetto.

Lo Studio Idrologico viene effettuato con la costruzione di un Modello Idrologico, applicando il metodo CN (Curve Number) secondo Soil Conservation Service (SCS). Tale metodo consente di tener conto della tipologia di terreno in base alla sua permeabilità e della capacità di ritenzione idrica della copertura vegetale sul bacino imbrifero, per cui si rivela il metodo scientificamente più affidabile per calcolare i valori di portata più attendibili.

Le precipitazioni sono desunte dai parametri di possibilità climatica forniti da Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, applicando l'idrogramma tipo Chicago, per simulare l'evento pluviometrico più gravoso.

Si è poi effettuato il calcolo idraulico della canalizzazione di acque bianche applicando il Metodo Italiano dell'Invaso (Puppini-Supino, 1932), verificando le condizioni di deflusso per i diversi tempi di ritorno in termini di velocità della corrente e del rapporto tra la portata defluente e la massima capacità di portata del canale a pelo libero per ogni tratto.

Per condurre tali analisi si è utilizzata l'altimetria del canale fornita dal "Profilo altimetrico Via Piave - Fosso Re" Elab. n. 15, Comune di Locate Varesino.

2. ANALISI IDROLOGICA

La presente analisi idrologica sul bacino del Fosso Re è finalizzata alla quantificazione delle portate per eventi meteorologici intensi aventi tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni.

2.1. Caratterizzazione del bacino del Fosso Re

Lo studio idrologico interessa l'asta del Rio "Fosso Re" che si estende dalle alture di Abbiate Guazzone nel Comune di Tradate fino alla sezione di chiusura in corrispondenza dell'immissione nel canale intubato lungo la Ferrovia Nord in Comune di Locate Varesino. Il bacino riportato in GIS con le curve di livello ad equidistanza 5 m è rappresentato nella seguente **Figura 1**. L'estensione del bacino misura 1,419 km² e la lunghezza dell'asta principale è di circa 1,9 km.



Figura 1 – Il bacino del Fosso Re confluyente nella rete acque bianche in Comune di Locate Varesino.

2.1.1. Caratterizzazione geologica-geomorfologica

Il bacino è impostato nella sequenza dei depositi sedimentari del Bacino Terziario, lungo il fondo valle sono presenti depositi alluvionali attuali e recenti del corso d'acqua principale.

Nel complesso, il bacino del Fosso Re è situato in un'area nell'alta pianura lombarda al limite sud-ovest della provincia di Como al confine con la provincia di Varese, caratterizzata da depositi morenici e fluvio-glaciali di età quaternaria.

2.1.2. Parametri morfometrici

I parametri morfometrici del bacino del Fosso Re alla sezione di chiusura sono i seguenti:

Superficie $S = 1,419 \text{ km}^2$;

Lunghezza dell'asta principale $L = 1,97 \text{ km}$;

Pendenza media dell'asta $i_f = 1,02\%$;

Pendenza media dei versanti $i_v = 1,54\%$.

2.2. Calcolo del tempo di corrivazione

La formula proposta da Aronica-Paltrinieri, applicabile per bacini di 10-20 km², deriva dalla formula di Giandotti introducendo due parametri associati al tipo di copertura e alla permeabilità del suolo:

$$T_c = \frac{1/Md \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H}}$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore);

S = area del bacino idrografico (km²);

L = lunghezza dell'asta principale (km);

H = altitudine media del sottobacino riferita alla sezione di chiusura (m);

M = parametro relativo al tipo di copertura;

d = parametro relativo alla permeabilità del suolo.

I parametri tipici sono riportati in **Tabella 1**.

Tabella 1 - Parametri della formula di Aronica - Paltrinieri

Valori costanti <i>M</i> e <i>d</i> della formula di Aronica e Paltrinieri.	
Tipo di copertura	<i>M</i>
Terreno nudo	0,667
Terreni coperti con erbe rade	0,25
Terreni coperti da bosco	0,2
Terreni coperti da prato permanente	0,167
Permeabilità	<i>d</i>
Terreni semi-permeabili	1,27
Terreni poco permeabili	0,96
Terreni mediamente permeabili	0,81
Terreni molto permeabili	0,69

La formula determinata da Merlo e Tournon deriva da un'approfondita indagine sui fenomeni di piena verificatisi in nove piccoli bacini piemontesi con superficie inferiore a 200 km², ottenendo una relazione matematica che interpreta in modo soddisfacente e prudentiale i valori sperimentali dei tempi di corrivazione dei bacini esaminati. Tale relazione è la seguente:

$$T_c \equiv 0,396 \frac{L}{\sqrt{i_f}} \left(\frac{S}{L^2} \cdot \frac{\sqrt{i_f}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0,72} \quad (1.3) \text{dove:}$$

T_c = tempo di corrivazione [ore];

S = superficie del sottobacino [Km²];

L = lunghezza dell'asta principale [Km];

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale [m/m];

i_v = pendenza media dei versanti [m/m].

Formulazione proposta dall'SCS:

$$T_c = 0.00227 \cdot (1000 \cdot L_a)^{0.8} \cdot [(1000CN) - 9]^{0.7} \cdot i_b^{-0.5} \quad (1.2)$$

dove:

L_a = lunghezza dell'asta principale del bacino (km);

CN = Curve Number del Soil Conservation Service, calcolato per condizioni AMC_III di saturazione del suolo;

i_b = pendenza media del bacino.

Formula proposta dal Prof. Renzo Rosso:

$$T_c = 0.433 \cdot L^{0.82} \cdot i_m^{-0.2} \cdot (1 + CN_{i_m})^{0.13}$$

dove:

i_m = pendenza media del bacino;

CN_{i_m} = Curve Number maggiorato con un coefficiente dipendente dalla pendenza dei versanti.

I tempi di corrivazione calcolati con le formule sopra riportate sono mediati con i valori ottenuti dal metodo cinematico, calcolando i tempi di percorrenza dei deflussi nelle aste principali con l'equazione del moto.

I tempi di corrivazione calcolati con le formule sopra riportate sono rappresentati in **Tabella 2**.

Tabella 2 - Tempi di corrivazione del bacino del Fosso Re

BACINO	Tc (Aronica-Paltr) [ore]	Tc (Tournon) [ore]	Tc (SCS) AMC II [ore]	Tc (Rosso) [ore]	Tc.(CINEM) [ore]	Tc.med [ore]	T.lag [min]
FOSSO RE	2.52	2.45	2.55	1.08	0.64	1.68	60.47

Noti i parametri morfometrici, di uso del suolo e nota la precipitazione afferente sul bacino idrografico, è possibile dare seguito al calcolo della trasformazione afflussi-deflussi.

Nel caso specifico si adotta il codice di calcolo HEC-HMS validato a livello internazionale, pervenendo così alla determinazione delle onde di piena e delle portate al colmo per i diversi tempi di ritorno.

2.3. Definizione del regime pluviometrico

Nell'ambito della caratterizzazione del regime idrologico di un corso d'acqua assume particolare rilievo l'analisi del regime delle precipitazioni che interessa il bacino stesso.

2.3.1. Le curve di massima possibilità pluviometrica

Per assegnato tempo di ritorno, il regime pluviometrico può essere rappresentato attraverso *curve di possibilità pluviometrica*, nella forma $h=at^n$. Tali curve descrivono il legame analitico tra *altezza di precipitazione* e *durata dell'evento*, mediante due parametri a e n che, nell'ambito di analisi di tipo statistico, vengono definiti attraverso l'analisi del campione di altezze di precipitazione.

L'Autorità di Bacino del Fiume Po ha effettuato un'analisi statistica delle serie storiche dei pluviometri presenti sul territorio del bacino, riportando i risultati nel Piano Stralcio d'Assetto Idrogeologico. Nella "*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*" adottata dall'Autorità di Bacino con il Piano di Assetto Idrogeologico (21/4/2001), sono riportati i valori per i parametri di possibilità pluviometrica distribuiti su tutta l'area del bacino del Po, ottenuti attraverso il reticolo di Kriging.

Nell'ambito del presente studio, trattandosi di un rio minore, si effettua il calcolo delle portate di massima piena per i tempi di ritorno di 100, 50 e 20 anni applicando i coefficienti a ed n riportati nella Direttiva di Progetto dell'Autorità di bacino del Fiume Po per celle di lato 2 km.

Nella seguente figura si riportano le celle estratte dal software “Celle_portate” per il bacino del Fosso Re.



Figura 2 – Celle di calcolo dei parametri di possibilità pluviometrica per il bacino del Fosso Re.

I valori dei parametri relativi alle celle sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 3 - Parametri di possibilità pluviometrica delle celle della Direttiva di progetto

CELLA	C. EST	C.NORD	TR 20		TR 100		TR 200		TR 500	
			a	n	a	n	a	n	a	n
CS70	493000	5061000	64.21	0.238	83.25	0.225	91.36	0.221	102.09	0.216
CT70	495000	5061000	63.47	0.24	82.18	0.227	90.14	0.223	100.69	0.219
			63.8400	0.2390	82.7150	0.2260	90.7500	0.2220	101.3900	0.2175

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno vengono ricavati dal calcolo del valore medio dei parametri delle diverse celle. I valori relativi al tempo di ritorno di 50 anni e inferiori sono calcolati per interpolazione esponenziale con le funzioni riportate nella seguente figura.

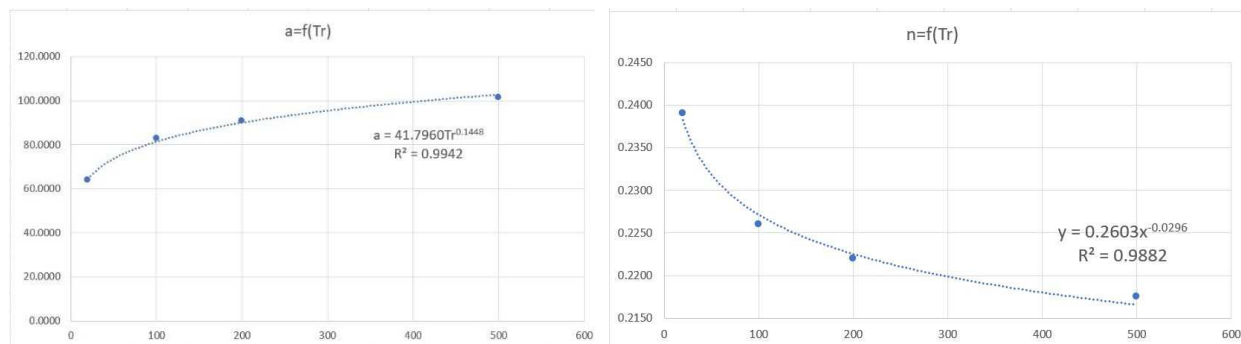


Figura 3 – Funzioni interpolanti per il calcolo dei parametri a ed n.

Nella seguente tabella si riportano i parametri di possibilità pluviometrica per il bacino del Fosso Re per i tempi di ritorno applicati per le verifiche idrauliche di 20, 50 e 100 anni.

Tabella 4 - Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per il bacino del Fosso Re.

TR	a	n
20	63.8400	0.2390
50	73.6454	0.2318
100	82.7150	0.2260

2.3.2. Bacino del Fosso Re - Pluviogrammi tipo Chicago

Con riferimento ad un generico evento, lo *ietogramma* può essere caratterizzato da un andamento rettangolare (che presuppone un'intensità costante di precipitazione durante tutto l'evento) o triangolare (in cui si assume un'intensità variabile ed impulsiva nel corso dell'evento). Tale ietogramma distribuisce la precipitazione massima, relativa ad un determinato tempo di ritorno e per uno specifico tempo di corrvazione, con un grafico caratterizzato da un picco centrale in corrispondenza del tempo di corrvazione T_c .

Dai parametri delle curve di massima possibilità pluviometrica si ricavano i pluviogrammi tipo Chicago per i diversi tempi di ritorno. Tale approccio corrisponde all'analisi della condizione più gravosa, come risulta da autorevoli autori in letteratura idrologica.

Nel presente studio si è fatto ricorso ad uno ietogramma triangolare, tipo Chicago, ipotizzando che la durata dell'evento coincida con il tempo di corrvazione del bacino, e sempre nel rispetto della curva di massima possibilità pluviometrica: la massima intensità media di precipitazione per ciascuna durata coincide quindi con il valore ricavato dalla curva di massima possibilità pluviometrica di adeguato tempo di ritorno.

Nella figura seguente si rappresenta lo ietogramma per il bacino del Fosso Re per $T_r=100$ anni.

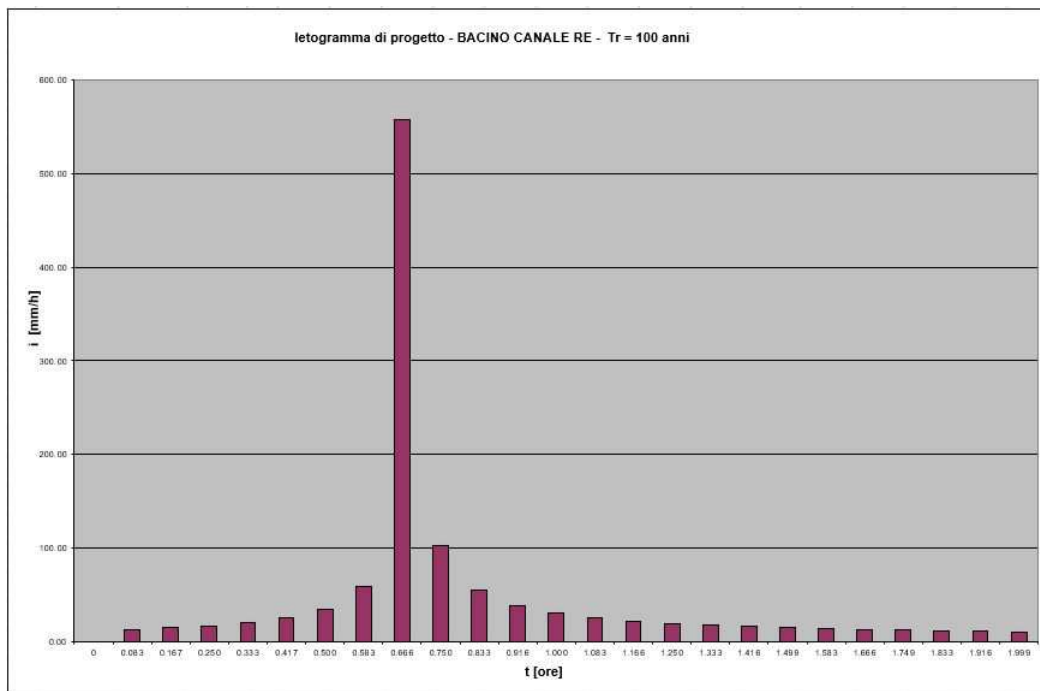


Figura 4 – Ietogramma di Chicago per il bacino del Fosso Re - T_r 100.

2.4. Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Si adotta un approccio modellistico afflussi-deflussi, che consente di rappresentare il meccanismo con cui la precipitazione afferente su un bacino (o sua porzione) si trasforma in portata nella sezione di interesse.

Per l'analisi del processo di trasformazione afflussi-deflussi si costruisce un Modello Idrologico che viene costruito considerando i diversi sottobacini ed i relativi parametri per il calcolo delle perdite secondo il metodo SCS (Soil Conservation Service), determinati in base alle caratteristiche litologiche, di permeabilità, del drenaggio e del tipo di uso del suolo di ogni bacino.

Secondo autorevoli autori tale metodo è il più scientifico ed attendibile, purché si valutino correttamente i parametri idrologici per il calcolo delle perdite iniziali.

2.4.1. Costruzione del modello idrologico

Il modello idrologico per la trasformazione afflussi-deflussi viene costruito con il codice di calcolo HEC-HMS, sviluppato dal Hydrologic Engineering Center del U.S. Army Corps of Engineers.

Il software consente di schematizzare il reticolo idrografico con una serie di componenti idrologicamente interconnessi tra di loro, assegnando le caratteristiche geometriche e di permeabilità del bacino.

La seguente Figura rappresenta lo schema del Modello del Bacino del Fosso Re.

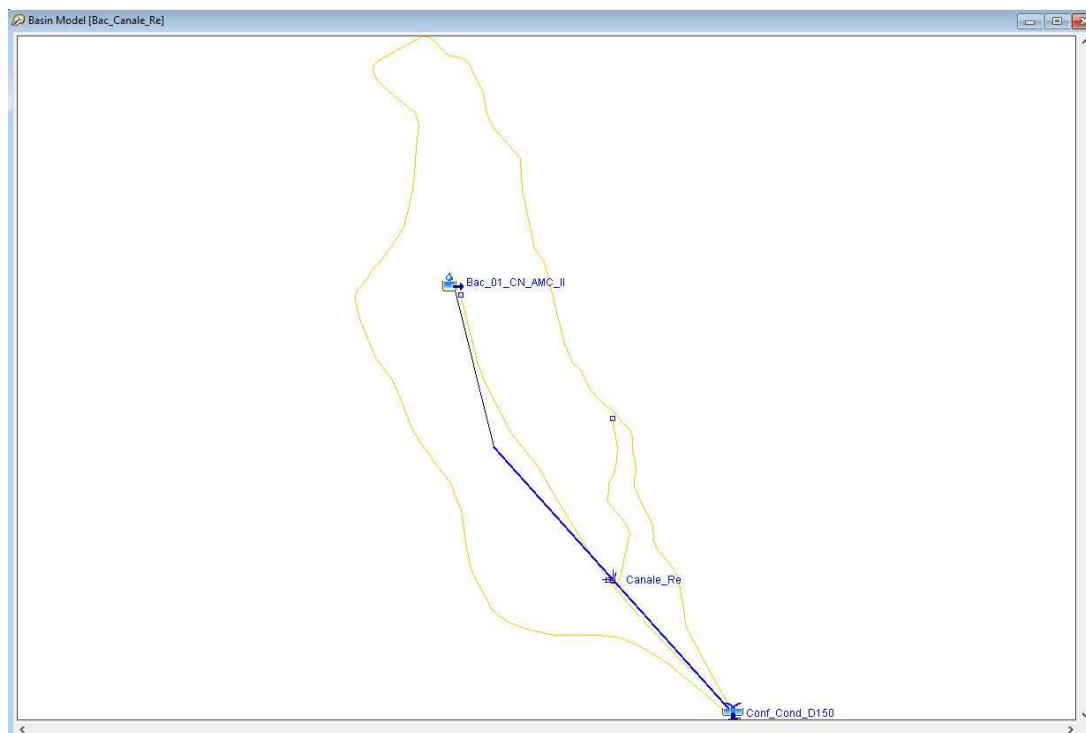


Figura 5 – Schema del modello idrologico HEC-HMS del bacino del Fosso Re.

Il modello fornisce risultati tanto più attendibili quanto più approfondite sono le analisi effettuate per determinare le caratteristiche geomorfologiche, litologiche e di uso del suolo del bacino, anche applicando idrogrammi di piena registrati per una corretta calibrazione del modello.

2.4.2. Parametri di calcolo

Per ogni sottobacino vengono assegnati i parametri idrologici di calcolo delle perdite con l'applicazione del metodo del Soil Conservation Service e la trasformazione afflussi-deflussi viene effettuata con l'applicazione dell'idrogramma unitario SCS.

I parametri di calcolo assegnati per ogni sottobacino sono:

- Il parametro I_a [mm] (initial abstraction) che caratterizza le perdite iniziali;
- il Curve Number CN , che viene determinato attraverso un'analisi dell'uso del suolo delle diverse aree e del Tipo di suolo associato ad esse.
- I_p [%] percentuale di superficie del bacino impermeabile;
- il tempo di concentrazione T_{lag} , che è proporzionale al tempo di corrivazione T_c .

2.4.3. Calcolo dei parametri idrologici per il bacino del Fosso Re

Il metodo del Soil Conservation Service statunitense richiede la conoscenza del valore della perdita iniziale di pioggia (initial abstraction) e del numero di curva dimensionale CN (SCS curve number) definito dal Soil Conservation Service sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misure in campo..

La stima delle perdite di pioggia I_a che si ha all'inizio dell'evento meteorico è funzione delle caratteristiche geologiche e di saturazione del terreno stesso; in assenza di elementi di valutazione, questo parametro può essere calcolato in funzione di CN (numero di curva adimensionale SCS Curve Number), secondo la relazione proposta dal Soil Conservation Service, sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misura in campo:

$$I_a = 0.2 \cdot \frac{(1000 - 10 \cdot CN)}{CN}$$

Il numero di curva adimensionale CN (Runoff Curve Number) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno.

Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il Soil Conservation Service propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di CN corrispondente.

Il parametro CN è essenzialmente legato a:

- natura litologica del suolo;
- tipo di copertura (uso del suolo);
- condizioni iniziali di umidità del suolo antecedenti un evento meteorico;
- stagione di riposo o crescita della vegetazione.

Nella figura successiva è interessante osservare in che modo la pioggia cumulata si trasforma in pioggia netta in relazione al variare del parametro CN .

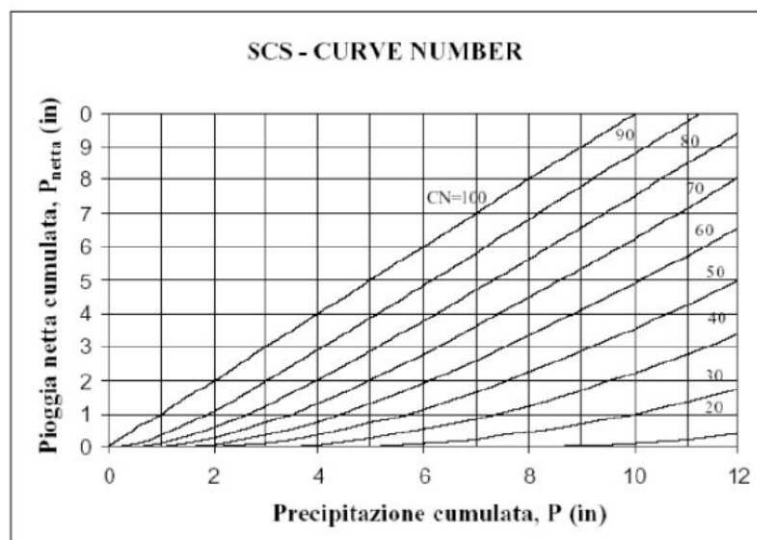


Figura 6 – Correlazione tra Pioggia Netta e Precipitazione cumulata in funzione della variazione del CN .

L'agenzia del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS), precedentemente nota come Soil Conservation Service, ha fornito nel 1972 le seguenti tabelle destinate alla determinazione del parametro CN . Ha suddiviso il suolo in quattro classi in base alla capacità di assorbimento e quindi alla

differente potenzialità di deflusso variabile da terreni altamente permeabili con scarsa potenzialità di deflusso (classe A) a terreni impermeabili con alta potenzialità di deflusso (classe D).

Tabella 5 – Classificazione dei terreni secondo l'SCS

Tipo di suolo	Descrizione
A deflusso superficiale potenziale basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) basso, ed è alta la permeabilità. Sono caratterizzati da avere meno del 10% di argilla e oltre il 90% di sabbia e/o ghiaia e la tessitura è sabbiosa o ghiaiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) è maggiore di 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con alta permeabilità per fratturazione e/o carsismo
B deflusso superficiale potenziale moderatamente basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente basso, e l'acqua attraversa il suolo senza impedimenti. Sono caratterizzati da avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia e la tessitura è sabbioso-franca, franco-sabbiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 3,6 e 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità, medio-alta e media, per fratturazione e/o carsismo
C deflusso superficiale potenziale moderatamente alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente alto, e l'acqua attraversa il suolo con qualche limitazione. Sono caratterizzati da avere tra il 20% e il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è prevalentemente franca, franco-limosa, franco-argilloso-sabbioso, franco-argilloso, e franco-argilloso-limosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 0,36 e 3,6 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con bassa e medio-bassa permeabilità per fratturazione e/o carsismo
D deflusso superficiale potenziale alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) alto, e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni. Sono caratterizzati da avere oltre il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è argillosa, talvolta anche espandibili. La conducibilità idraulica (Ksat) è $\leq 0,36$ cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è compresa tra 50 cm e 100 cm, e la profondità della falda superficiale è entro i 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità molto bassa, le rocce impermeabili e le aree non rilevate o non classificate.

Per l'applicazione del metodo, i terreni che costituiscono i bacini in studio devono essere ricondotti ad una delle classi sopra elencate. Si può anche fare riferimento alla seguente tabella, che meglio si adatta a rappresentare le situazioni geologiche del bacino in studio.

Tabella 6 - Gruppi idrologici assegnabili ai diversi litotipi

CLASSE	TIPOLOGIA DI TERRENO
A	Accumuli di frana da crollo
B	Depositi da debris flow, alluvioni antiche, depositi colluviali, depositi gravitativi di falda e conoide, depositi glaciali di ablazione e indifferenziati
C	Depositi colluviali, prodotti colluviali
D	Calcari dolomitici, serpentiniti, calcescisti, micascisti, gneiss indifferenziati, metabasiti

Il bacino del Fosso Re risulta costituito prevalentemente da depositi morenici e fluvio-glaciali del quaternario ,pertanto, sulla base delle caratteristiche litologiche osservate, il bacino può essere classificato prevalentemente di Tipo B (media permeabilità).

Una volta determinata la classe del suolo, occorre attribuire alle diverse aree del bacino i diversi utilizzi del suolo in relazione al tipo di copertura. A tal fine viene in aiuto una specifica tabella fornita dal SCS che riporta i valori del parametro per ciascuna classe d'uso del suolo e per ogni Tipo di suolo.

Abitualmente la carta dell'Uso del Suolo viene ricavata dalla Carta "Corine Landcover", verificando la tipologia di copertura vegetale anche con riprese satellitari (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) molto dettagliate.

Nel caso del bacino in studio si dispone della "Carta dei bacini idrografici sottoposti a verifica idraulica", redatta nel 2004 dal Geol. Ciarmiello, fornita dal Comune di Locate Varesino, riportata nella seguente **Figura 7**, nella quale sono rappresentate le aree di diversa permeabilità:

- Aree residenziali (65% impermeabili);
- Aree residenziali (25% impermeabili);
- Aree a verde (prati e boschi).

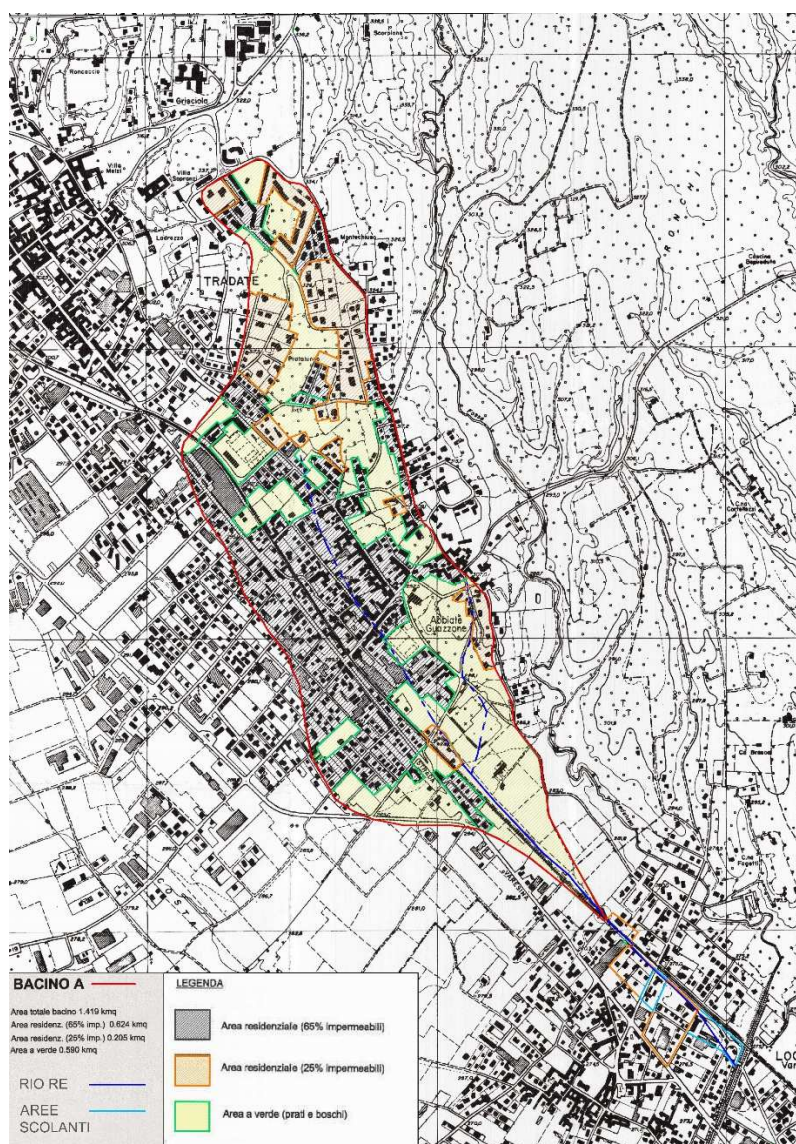


Figura 7 – Carta del bacino del Fosso Re – Aree di diversa permeabilità (Geol. Ciarmiello, 2004).

È possibile inoltre tener conto delle condizioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo, infatti, classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- ❑ **AMC I:** potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;

- ❑ *AMC II*: condizione media;
- ❑ *AMC III*: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello di inizio dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa), come riportato nella seguente tabella.

Tabella 7 - Categoria di umidità iniziale in funzione di precipitazioni pregresse

Categoria	Precipitazione dei 5 gg antecedenti l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
AMC I	<12,7	<35,6
AMC II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
AMC III	>27,9	>53,3

I valori di *CN* corrispondenti alla categoria *AMC I* e *AMC III* si possono ricavare dal valore di quello relativo ad una condizione *AMC II* per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988):

$$CN(I) = \frac{\alpha \cdot CN(II)}{10 - \beta \cdot CN(II)} \quad \quad \quad CN(III) = \frac{\alpha \cdot CN(II)}{10 + \beta \cdot CN(II)}$$

dove α e β sono coefficienti sperimentali noti.

Nella seguente **Tabella 8** è riportato il calcolo del parametro del numero di curva *CN* del bacino totale del Fosso Re, attraverso la media ponderata dei valori di *CN* relativi alle aree delle diverse colture, nelle condizioni *AMC_II* di media saturazione del terreno.

Tabella 8 - Tabella di calcolo del CN – bacino totale del Fosso Re

BACINO	CANALE RE	CN PER CONDIZIONI AMC II - SUOLO TIPO B					
Analisi DA CARTA USO SUOLO IPLA - Mod. da Ortofoto							
			S = 1.419				
N. Area	Tipo Suolo	Classe	Coltura	S	S %	CN	CN*S
		Uso Suolo		[km2]			
	Tipo Suolo B						
B.1	B	99.1	Residenziali Imp. 25%	0.205	14.4	64	13.12
B.2		32	Seminativi e prati avvicendati + prati permanenti				
	B			0.590	41.6	62	36.58
B.3	B	99.2	Aree urbanizzate Imp. 65%	0.624	44.0	85	53.04
			A.tot =	1.419	100.0	Σ(CN*S) =	102.74
			CN.med =	72.4			

2.5. Calcolo di trasformazione afflussi-deflussi

2.5.1. Portate al colmo per tempi di ritorno

Le analisi idrologiche effettuate con il codice di calcolo HEC-HMS forniscono le onde di piena alla sezione di confluenza del bacino del fosso Re, all'inizio del tratto intubato nel Comune di Locate Varesino.

Si riporta nella seguente **Figura 8** l'onda di piena del Fosso Re per il tempo di ritorno di 100 anni.

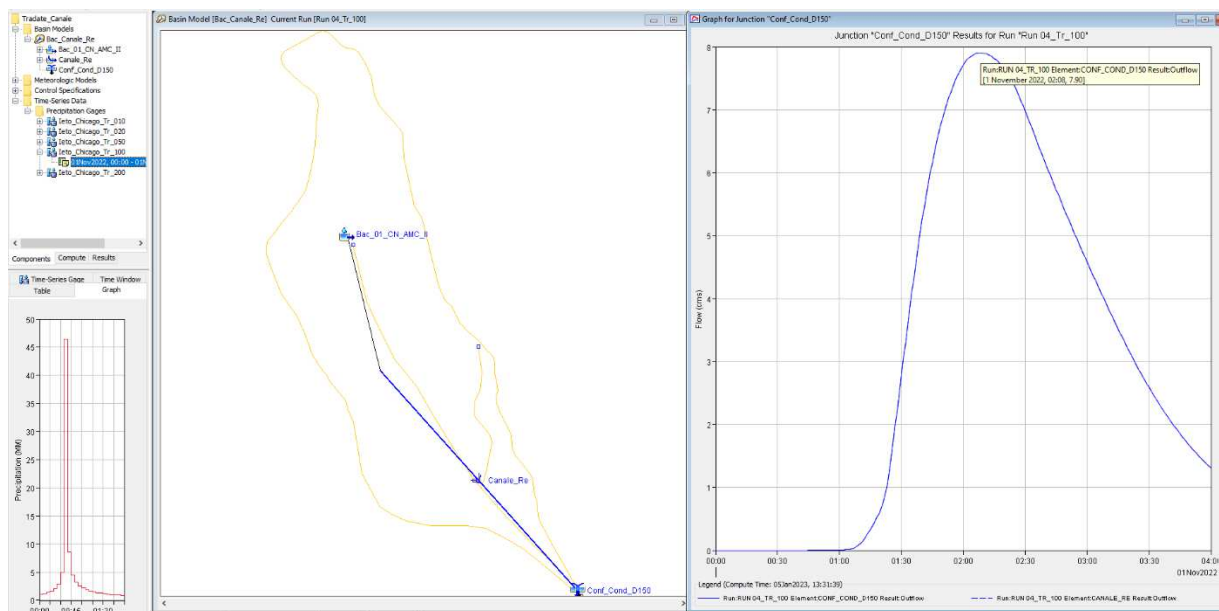


Figura 8 –

Onda di piena del Fosso Re per Tr 100 – Portata al colmo 7.90 m³/s.

Si riporta nella seguente **Figura 8** l'onda di piena del Fosso Re per il tempo di ritorno di 50 anni.

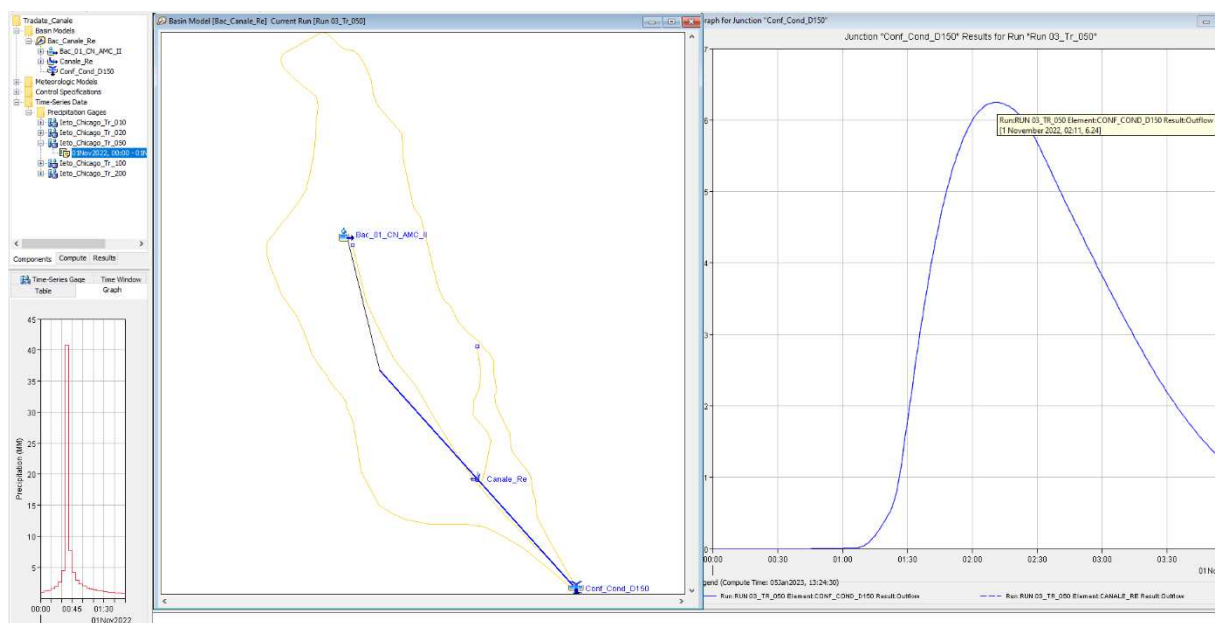


Figura 9 – Onda di piena del Fosso Re per Tr 50 – Portata al colmo 6.24 m³/s.

Si riporta nella seguente **Figura 10** l'onda di piena del Fosso Re per il tempo di ritorno di 20 anni.

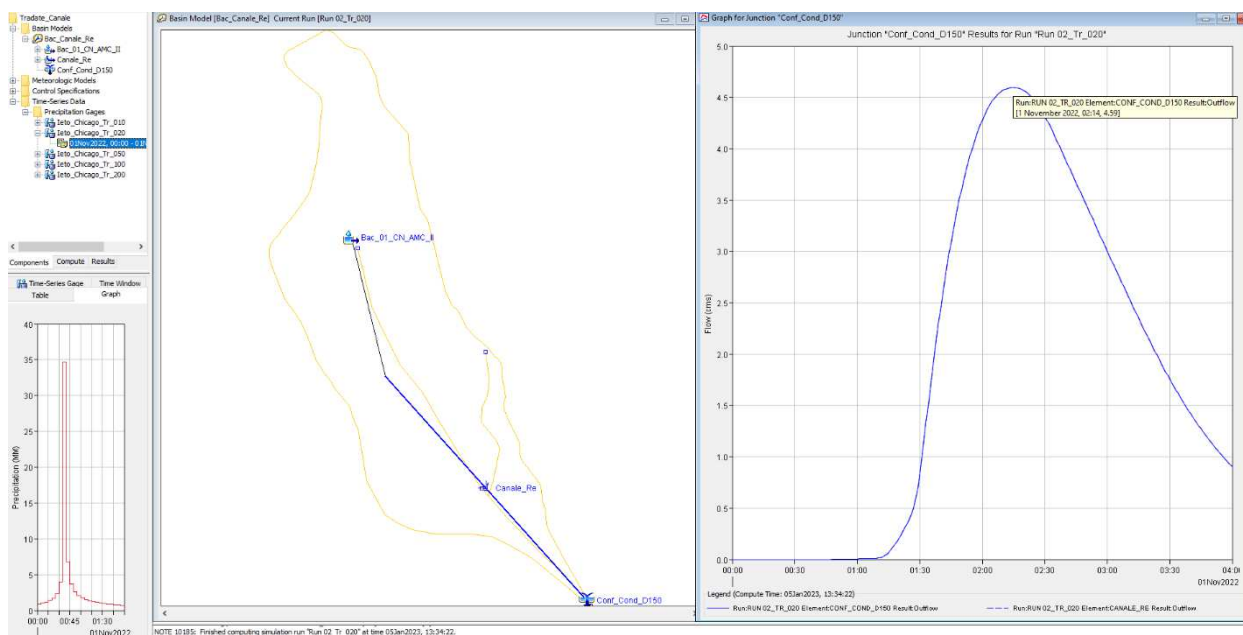


Figura 10

– Onda di piena del Fosso Re per Tr 20 – Portata al colmo 4.60 m³/s.

Le portate “idrologiche” calcolate dal modello HMS per i diversi tempi di ritorno vengono corrette da applicativo software per determinare le portate defluenti alla sezione di chiusura, per tener conto del fenomeno di laminazione e della riduzione dovuta agli invasi superficiali e in rete.

Le portate così calcolate sono riportate nella seguente Tabella 9.

Tabella 9 – Portate al colmo da modello idrologico HEC-HMS e defluenti nel canale Re

Tr	Q _(HMS) [m³/s]	Q _{def} [m³/s]
20	4.6	4.37
50	6.24	5.62
100	7.90	6.72

Si applicheranno le portate così calcolate defluenti all’ingresso del canale intubato per le verifiche idrauliche della rete di fognatura bianca lungo via Piave.

3. ANALISI IDRAULICHE

3.1. Aspetti generali

Il calcolo idraulico di verifica del collettore defluente lungo via Piave viene effettuato con il Metodo Italiano del Volume di Invaso, noto in letteratura come metodo di Paladini-Fantoli.

3.1.1. Descrizione del metodo di calcolo

Tale metodo risolve la problematica di un canale di fognatura che serve un'area "A", soggetta ad una pioggia di intensità "I", funzionante senza produrre danni per un tempo "Tc" ottenuto come somma del tempo "Tr" di riempimento del canale e "Tf" di funzionamento in pressione.

L'analisi si basa quindi sul concetto di coefficiente udometrico "u" riferito alla portata per unità di area servita, cioè al parametro $u = Q/A$, calcolato per un canale con deflusso a pelo libero con la relazione:

$$u = 2168 \cdot n \cdot \frac{(\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{v^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}} \quad (1)$$

L'analisi viene effettuata iterativamente convergendo al valore della portata di progetto.

Se si vuole considerare il funzionamento di un canale "in pressione" si può fare riferimento alla esperienza delle fognature di Milano. In tal caso la formulazione del coefficiente udometrico, pur mantenendo la stessa forma dell'equazione (6), diventa

$$u = 1670 \cdot n \cdot \frac{(\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{v^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}} \quad (2)$$

Seppur non sia auspicabile adoperare tale formula al fine di dimensionare una nuova rete di fognatura (il funzionamento deve essere sempre a pelo libero), questa procedura di calcolo può essere utile nel caso della verifica di una rete esistente per riprodurre eventuali eventi pluviometrici che producono deflussi in pressione.

Le analisi idrauliche sono effettuate tramite il software proprietario "Hydrocad" elaborato dallo scrivente, codice la cui affidabilità è comprovata da numerosi test di validazione da testi di a.a. [6], [7], [8], [9], e che permette il progetto e la verifica di reti di drenaggio urbano sia tramite il metodo dell'invaso (Supino, Fantoli, Puppini) che con altri metodi (metodo cinematico, metodo dell'invaso lineare).

Il metodo del volume di invaso ha il vantaggio, rispetto al metodo cinematico, di tenere in considerazione il volume invasato sulla superficie e all'interno dei tronchi della rete.

3.1.2. Schema di calcolo

I diversi tronchi di calcolo in cui è suddivisa la rete è coerente con la geometria del canale riportata negli Elaborati forniti dal Comune di Locate Varesino “Rilievo rete fognaria esistente” e “Profilo altimetrico Via Piave - Fosso Re” Elab. n. 15, Ing. Ambrosetti, 1996, di cui si rispetta integralmente la planimetria e l’altimetria dei pozzi.

La seguente **Figura 11** rappresenta lo schema della rete estratto dalla carta “Rilievo rete fognaria esistente” mentre la **Figura 12** rappresenta la planimetria del canale di fognatura bianca proveniente dal Fosso Re da Nord Ovest, suddivisa nei “tronchi di calcolo” ai quali sono associate le rispettive aree scolanti, ai fini del calcolo della rete effettuato con il metodo dell’invaso.



Figura 11 – Schema della rete – Estratto da “carta della rete fognaria esistente”, Comune di Locate V.



Figura 12 – Schema della rete con le sigle dei tronchi di calcolo e aree scolanti.

3.1.3. Calcoli idraulici con il metodo dell'invaso

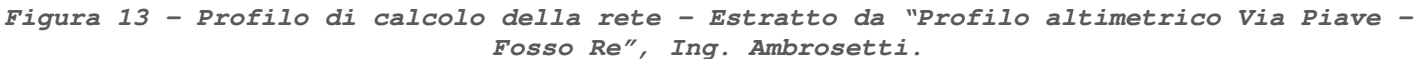
Seguono gli elaborati di calcolo della canalizzazione lungo Via Piave, che incrocia la passerella in progetto in corrispondenza del passaggio a livello di via Giuseppe Mazzini, a valle del pozzetto 75.

3.1.3.1. Scenari di calcolo e risultati delle analisi

Le analisi idrauliche vengono effettuate per i seguenti scenari e condizioni al contorno:

1. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 20 anni.
Per tale scenario si applica una portata all'imbocco del canale chiuso la portata defluente dal Fosso Re per tale tempo di ritorno pari a 4370 l/s;
2. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 50 anni.
Per tale scenario si applica una portata all'imbocco del canale chiuso la portata defluente dal Fosso Re per tale tempo di ritorno pari a 5620 l/s;
3. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 100 anni.
Per tale scenario si applica una portata all'imbocco del canale chiuso la portata defluente dal Fosso Re per tale tempo di ritorno pari a 6720 l/s.

Per le analisi idrauliche attuali si fa riferimento alla altimetria riportata nell'elaborato "Profilo altimetrico Via Piave - Fosso Re" redatto dall'Ing. Ambrosetti, di cui si riproduce un estratto in Figura 13.



Allo scopo di effettuare i calcoli idraulici con lo stesso coefficiente di scabrezza utilizzato nelle verifiche idrauliche originarie eseguite dall'Ing. Ambrosetti, si è effettuato il calcolo del canale del primo tratto T.01 (431-430), di diametro interno 150 cm, con la portata teorica smaltibile di 8569.4 l/s riportata nel "Profilo altimetrico Via Piave - Fosso Re" per ricavare il coefficiente di scabrezza a suo tempo applicato. Il calcolo è stato effettuato con il codice di calcolo FlowMaster - Haestad Methods, ottenendo un coefficiente di Manning pari a $0.013 \text{ s/m}^{1/3}$ corrispondente ad un coefficiente di Strickler di $76.9 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$. Il tabulato di calcolo è riportato in Allegato 5.

Si riportano i risultati delle analisi idrauliche per il tempo di ritorno di 20 anni nella seguente **Tabella 10**.

In tabella sono riportati i valori della portata massima Q_{tot} affluente calcolata con il metodo dell'invaso, comprendente la portata affluente dal Fosso Re, la portata massima smaltibile a bocca piena Q_0 con la sezione e la pendenza assegnate, ed il rapporto Q_{tot}/Q_0 che indica il livello di funzionamento della condotta, che se risulta inferiore a 1 significa che il deflusso avviene a pelo libero, in caso contrario il deflusso avviene in pressione.

Per tale scenario il deflusso avviene a pelo libero in tutti i tratti della condotta.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in Allegato 5.

Tabella 10 - Tabella di sintesi dei risultati delle analisi idrauliche per Tr 20.

TRATTI FOGNATUTRA D150 LUNGO VIA PIAVE					Tr = 20 anni						
TRATTO	CHIUSINI	L	If	S	p.lm	Fi1	SEZ	Q _{tot}	Q0	Q _{tot} /Q0	VERIFICATO
		[m]	[°/°]	[ha]	[S.lmp/S]	[-]	[cm]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	
T.01	431-430	124.75	12.7	0.413	0.25	0.45	150	4375	7404	0.591	SI, Q/Q0 < 1
T.02	430-428	12.08	12.7	0.051	0	0.4	150x150	4375	7416	0.59	SI, Q/Q0 < 1
T.03	428- 75	120.22	10.26	1.372	0.25	0.45	150	4445	7167	0.62	SI, Q/Q0 < 1
T.04	75-504	48.71	8.63	0.673	0.35	0.51	150	4504	6573	0.685	SI, Q/Q0 < 1
T.05	504- 67	142.73	8.63	2.888	0.35	0.51	150	4841	6573	0.737	SI, Q/Q0 < 1
T.06	67-503	5.79	8.63	0	0.35	0.51	150	4838	6573	0.736	SI, Q/Q0 < 1
T.07	503-348	230.33	8.63	1.465	0.35	0.51	150	4861	6573	0.74	SI, Q/Q0 < 1

3.1.3.4. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 50 anni

Si riportano i risultati delle analisi idrauliche per il tempo di ritorno di 50 anni nella seguente **Tabella 11**.

In tabella sono riportati i valori della portata massima Q_{tot} affluente calcolata con il metodo dell'invaso, comprendente la portata affluente dal Fosso Re, la portata massima smaltibile a bocca piena Q0 con la sezione e la pendenza assegnate, ed il rapporto Q_{tot}/Q0 che indica il livello di funzionamento della condotta, che se risulta inferiore a 1 significa che il deflusso avviene a pelo libero, in caso contrario il deflusso avviene in pressione.

Per tale scenario il deflusso avviene a pelo libero in tutti i tratti della condotta.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in Allegato 6.

Tabella 11 - Tabella di sintesi dei risultati delle analisi idrauliche per Tr 50.

TRATTI FOGNATUTRA D150 LUNGO VIA PIAVE					Tr = 50 anni						
TRATTO	CHIUSINI	L	If	S	p.lm	Fi1	SEZ	Q _{tot}	Q0	Q _{tot} /Q0	VERIFICATO
		[m]	[°/°]	[ha]	[S.lmp/S]	[-]	[cm]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	
T.01	431-430	124.75	12.7	0.413	0.25	0.45	150	5625	7404	0.76	SI, Q/Q0 < 1
T.02	430-428	12.08	12.7	0.051	0	0.4	150x150	5625	7416	0.759	SI, Q/Q0 < 1
T.03	428- 75	120.22	10.26	1.372	0.25	0.45	150	5707	7167	0.796	SI, Q/Q0 < 1
T.04	75-504	48.71	8.63	0.673	0.35	0.51	150	5780	6573	0.879	SI, Q/Q0 < 1
T.05	504- 67	142.73	8.63	2.888	0.35	0.51	150	6214	6573	0.945	SI, Q/Q0 < 1
T.06	67-503	5.79	8.63	0	0.35	0.51	150	6208	6573	0.944	SI, Q/Q0 < 1
T.07	503-348	230.33	8.63	1.465	0.35	0.51	150	6212	6573	0.945	SI, Q/Q0 < 1

3.1.3.5. Calcolo della rete per tempo di ritorno di 100 anni

Si riportano i risultati delle analisi idrauliche per il tempo di ritorno di 100 anni nella seguente **Tabella 12**.

In tabella sono riportati i valori della portata massima Q_{tot} affluente calcolata con il metodo dell'invaso, comprendente la portata affluente dal Fosso Re, la portata massima smaltibile a bocca piena Q0 con la sezione e la pendenza assegnate, ed il rapporto Q_{tot}/Q0

che indica il livello di funzionamento della condotta, che se risulta inferiore a 1 significa che il deflusso avviene a pelo libero, in caso contrario il deflusso avviene in pressione.

Per tale scenario il deflusso avviene a pelo libero nei primi 3 tratti della condotta, fino al pozzetto 75, a monte dell'attraversamento di via Giuseppe Mazzini, in corrispondenza della passerella in progetto, mentre nei tratti a valle il deflusso avverrebbe lievemente in pressione, il che può comunque considerarsi un buon risultato, trattandosi di un evento caratterizzato da un tempo di ritorno di 100 anni.

Per evitare eventuali problemi in caso di eventi intensi con tempi di ritorno centennale o superiori si consiglia di realizzare un pozzetto a valle del tratto transitante sotto la passerella in progetto, al fine di costituire uno sfogo a cielo aperto qualora si dovesse verificare deflusso in pressione.

In realtà, l'esistenza di un breve tratto di condotta a cielo aperto, a monte e a valle dell'attraversamento della ferrovia (Tratto T.02), consente la tracimazione di una portata in esubero, per cui non può crearsi un battente tale da provocare deflusso in pressione nel tratto successivo T.03, posto a monte della passerella in progetto.

I tabulati di calcolo completi sono riportati in Allegato 7.

Tabella 12 - Tabella di sintesi dei risultati delle analisi idrauliche per Tr 100.

TRATTI FOGNATURA D150 LUNGO VIA PIAVE					Tr = 100 anni						
TRATTO	CHIUSINI	L	If	S	p.lm	Fi1	SEZ	Q _{tot}	Q0	Q _{tot} /Q0	VERIFICATO
		[m]	[°/°]	[ha]	[S.lmp/S]	[-]	[cm]	[l/s]	[l/s]	[l/s]	
T.01	431-430	124.75	12.7	0.413	0.25	0.45	150	6725	7404	0.908	SI, Q/Q0 < 1
T.02	430-428	12.08	12.7	0.051	0	0.4	150x150	6726	7416	0.907	SI, Q/Q0 < 1
T.03	428-75	120.22	10.26	1.372	0.25	0.45	150	6815	7167	0.951	SI, Q/Q0 < 1
T.04	75-504	48.71	8.63	0.673	0.35	0.51	150	6893	6573	1.049	NO, 1 < Q/Q0 < 1.5 CONDOTTA PARZIALMENTE IN PRESSIONE
T.05	504-67	142.73	8.63	2.888	0.35	0.51	150	7408	6573	1.127	NO, 1 < Q/Q0 < 1.5 CONDOTTA PARZIALMENTE IN PRESSIONE
T.06	67-503	5.79	8.63	0	0.35	0.51	150	7400	6573	1.126	NO, 1 < Q/Q0 < 1.5 CONDOTTA PARZIALMENTE IN PRESSIONE
T.07	503-348	230.33	8.63	1.465	0.35	0.51	150	7384	6573	1.123	NO, 1 < Q/Q0 < 1.5 CONDOTTA PARZIALMENTE IN PRESSIONE

4. CONCLUSIONI

Le analisi idrologiche e idrauliche del presente studio sono state effettuate per verificare che le condizioni di deflusso nella canalizzazione di acque bianche nel Comune di Locate Varesino lungo via Piave, all'incrocio con via Giuseppe Mazzini, avvengano a pelo libero anche per eventi meteorici intensi, al fine di non provocare problematiche nei confronti della passerella in progetto, e soprattutto del vano ascensori, previsto sovrastante alla condotta in oggetto.

Le analisi idrauliche sono state effettuate per tempi di ritorno superiori a quelli che normalmente vengono utilizzati per il progetto delle reti di fognatura di acque bianche, dell'ordine di 8 - 10 anni: le verifiche attuali sono state condotte per eventi meteorici

caratterizzati da tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni, considerando l'afflusso nella condotta in oggetto dalla canalizzazione proveniente dal Comune di Tradate, denominata "Fosso Re", pertanto si è effettuato uno studio idrologico sul bacino del Fosso Re con le metodologie più attuali, al fine di determinare le portate affluenti per i tempi di ritorno sopra citati.

I calcoli idraulici nella condotta in esame, di diametro interno di 150 cm, sono stati effettuati con il metodo "Italiano del Volume di Invaso", normalmente utilizzato per la progettazione e per la verifica di reti di fognatura.

I risultati ottenuti possono considerarsi soddisfacenti, in quanto per i tempi di ritorno di 20 e di 50 anni i deflussi avvengono a pelo libero, mentre per il tempo di ritorno di 100 anni i deflussi avvengono a pelo libero nei primi tre tratti, a monte della passerella in progetto, mentre a valle i deflussi avverrebbero con valori del rapporto Q/Q_0 , tra la portata massima affluente e la portata massima smaltibile a bocca piena, inferiori a 1,15, il che significa deflussi lievemente in pressione.

Allo scopo di eliminare ogni rischio di problematiche nei confronti della passerella in progetto e della fossa ascensore della stessa, previsti in adiacenza alla condotta esistente, si consiglia di realizzare un pozzetto di ispezione con griglia di copertura a valle del tratto della condotta in oggetto, transitante sotto la passerella in progetto.

Tanto si doveva per adempiere all'incarico ricevuto.

Asti, Gennaio 2023

Ing. Paolo Arnaud

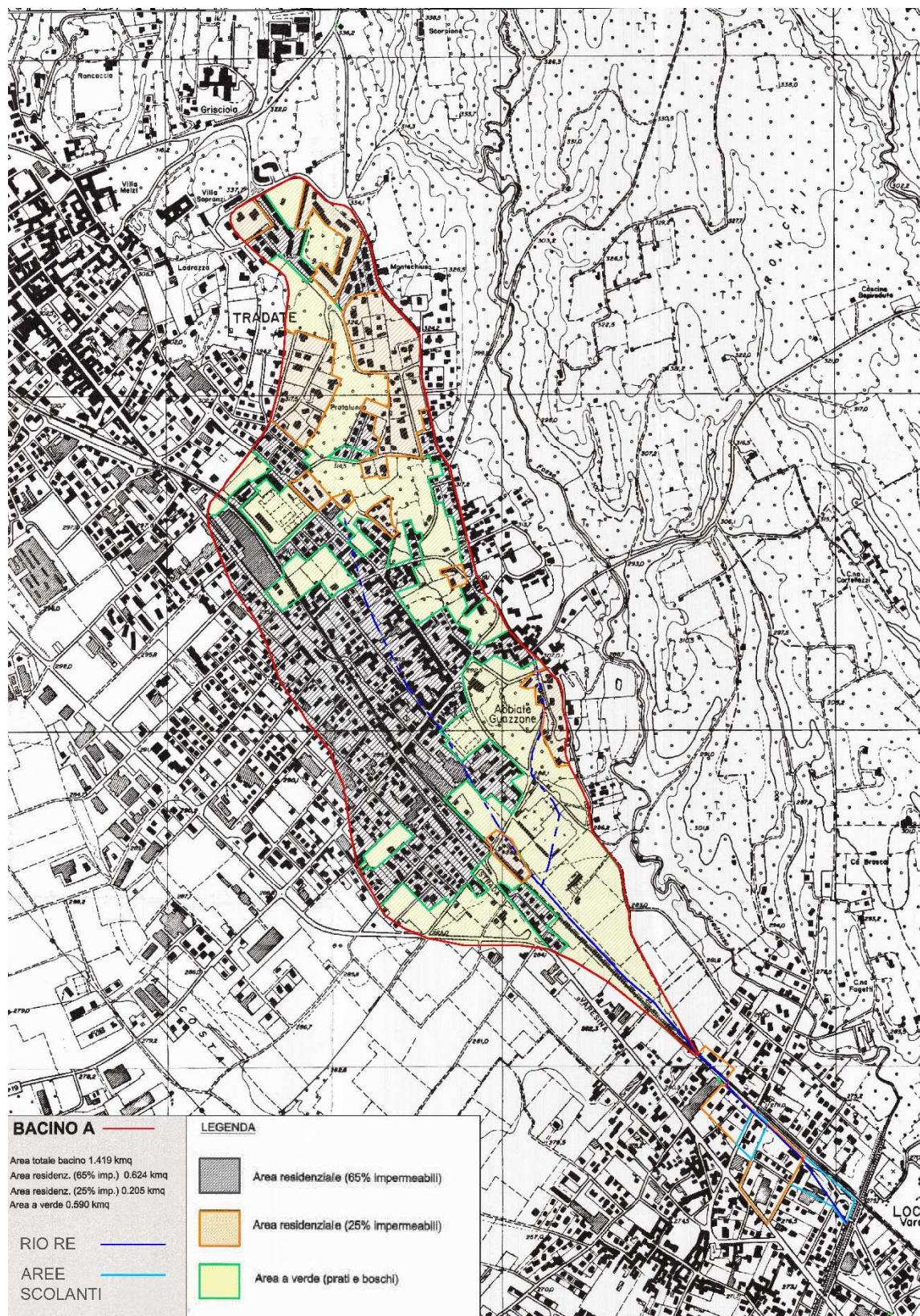


5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla Piena di Progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2001
- [2] Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla Piena di Progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica, Allegato 3 - Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense, Autorità di Bacino del Fiume Po
- [3] Hydrologic Modeling System HEC-HMS 3.5 - User's Manual, 2010
- [4] Hydrologic Modeling System HEC-HMS 3.5 - Technical Reference Manual, 2010
- [5] USGS, U.S. Geological Survey, Surface-Water field techniques, Verified Roughness Characteristics of Natural Channels
- [6] Sistemi di Fognatura - Manuale di Progettazione, S. Artina et al., Centro Deflussi Urbani, Hoepli
- [7] Le reti idrauliche, G. Supino, Patron Ed.
- [8] Verifica e dimensionamento di reti di fognatura, Prof. S. Artina, Manuale dell'Ingegneria Vol III, ESAC Ed.
- [9] Hydrocad - Analisi di reti di canalizzazioni - Manuale d'uso Ver. 4.0, Studio Arnaud Ingegneria, 2017

6. ALLEGATI

6.1. ALLEGATO 1 - Bacino imbrifero del canale "Fosso Re"



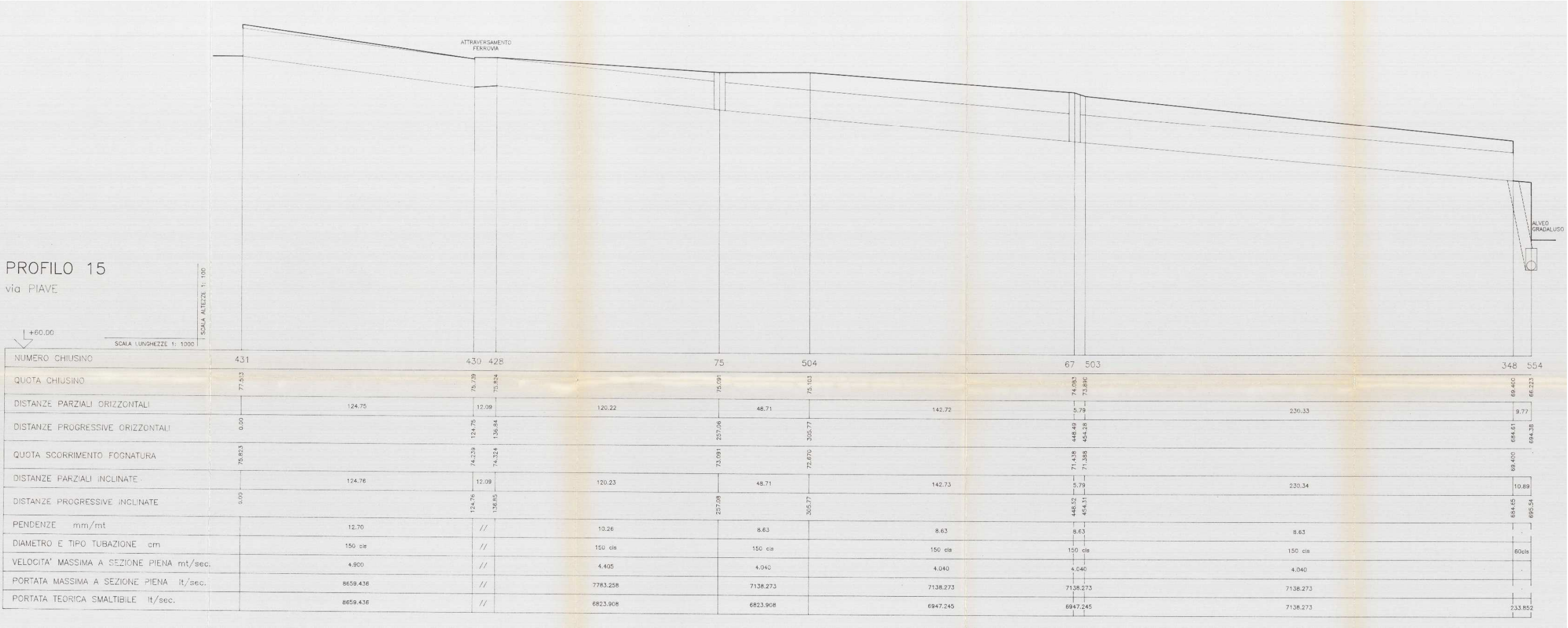
6.2. ALLEGATO 2 - Schema della rete di fognatura

Estratto dalla carta "Rilievo rete fognaria esistente" Comune di Locate Varesino

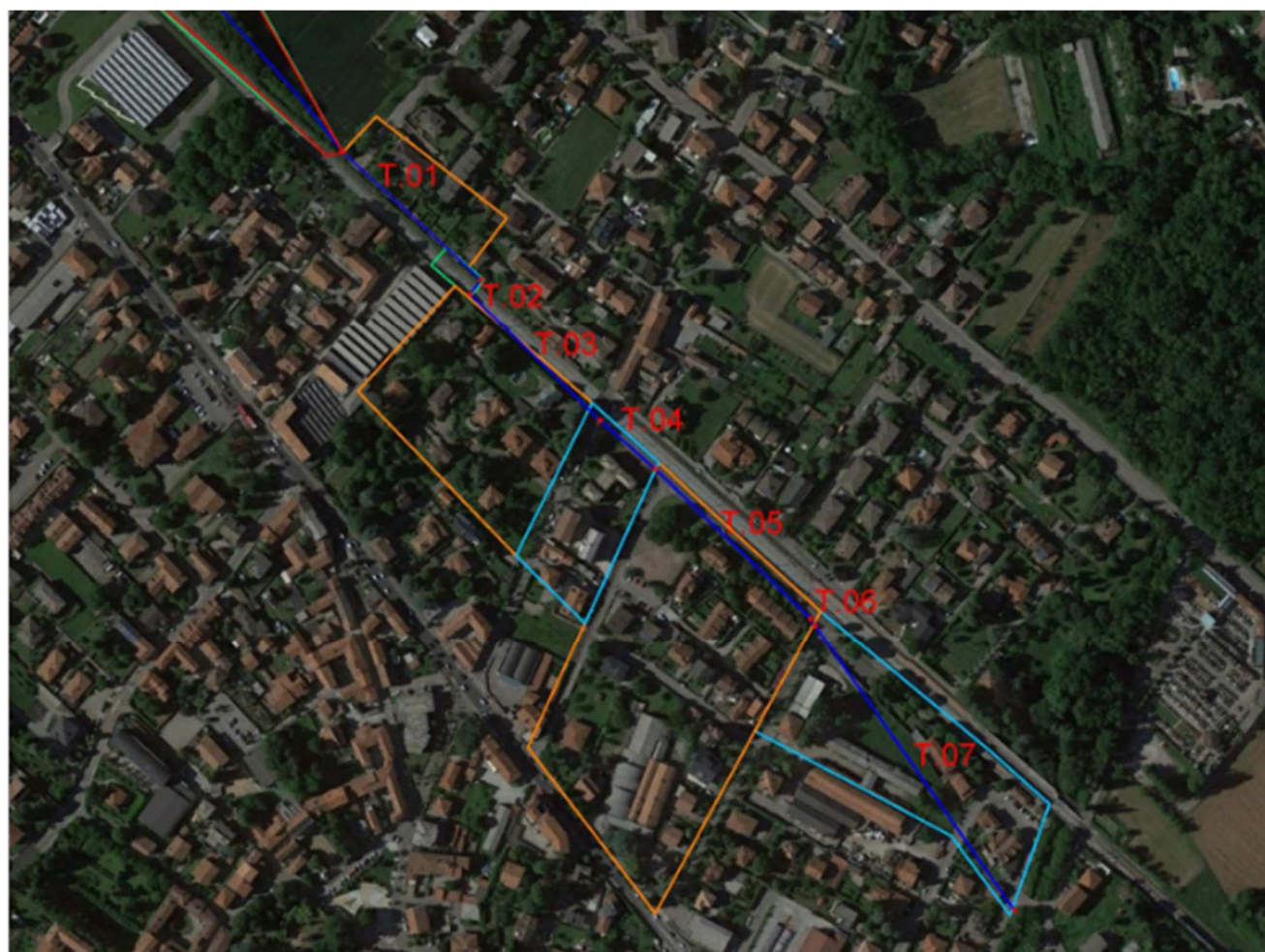


6.3. ALLEGATO 3 – Profilo altimetria di riferimento – Estratto dalla carta “Profilo altimetrico Via Piave - Fosso Re”

- Comune di Locate Varesino -



6.4. ALLEGATO 4 – Schema di calcolo della rete di fognatura – Planimetria -



6.5. ALLEGATO 5 – Calcolo del Tratto T.01 (431-430) per verifica del coefficiente di scabrezza – Codice FlowMaster -

Condotta_Prof.15_Tratto 431-430
Worksheet for Circular Channel

Project Description	
Project File	c:\docume~1\macchina\desktop\haestad\fmw\progetti\tradata.fm2
Worksheet	Canale Re _bacino S=0.225 km2
Flow Element	Circular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Discharge

Input Data		
Mannings Coefficient	0,013	
Channel Slope	0,012700	m/m
Depth	1,42	m
Diameter	1.500,00	mm

Results	
Discharge	8,63 m ³ /s
Flow Area	1,73 m ²
Wetted Perimeter	4,01 m
Top Width	0,67 m
Critical Depth	1,42 m
Percent Full	94,67
Critical Slope	0,012696 m/m
Velocity	4,99 m/s
Velocity Head	1,27 m
Specific Energy	2,69 m
Froude Number	0,99
Maximum Discharge	8,64 m ³ /s
Full Flow Capacity	8,03 m ³ /s
Full Flow Slope	0,014679 m/m
Flow is subcritical.	

6.6. ALLEGATO 6 – Analisi della rete di fognatura – Metodo dell’Invaso – Tr 20 anni -

ANALISI DI RETE DI CANALIZZAZIONI CON IL METODO DELL'INVASO			
SOFTWARE HYDROCAD			
STUDIO ARNAUD - www.studioarnaud.it			
LAVORO: FOSSO_LOCALITE_TR_20			
DESCRIZIONE RETE:		FOSSO_LOCALITE VARESINO - TR 20	
FILE: C:\HTB\OG\F_LOCAL003.20			
Codice Identificativo Rete	ID.Rete =	1.2	
DATI GENERALI DELLA RETE:			
Numero tronchi della rete	NTr =	7	
Numero nodi/picchetti	Np =	9	
Tempo di ritorno	Tr =	20 [ann]	
Coeff. a della curva $h=at^n$	a =	63.84 [mm/h^n]	
Coeff. n della curva $h=at^n$	n =	0.239 [-]	
Coeff. <a>,<n> variab. con Sup. bacino	=	SI	
Legge di variazione di <a>,<n>:	Puppin:	$a1=a(1-0.4 \cdot n1)$ $n1=n+0.0175 \cdot (S/100)$	
Metodo di calcolo della rete:	ITALIANO DELL'INVASO		
Parametri per Metodo Italiano dell'Invaso:			
Opzione Escludi calcolo $nD=4/3 \cdot n$	=	NO	
VOLUME SPECIFICI PICCOLI INVASI	Vis =	CALCOLATO con Form. (8.32) Gruppo Deflussi Urbani	
Param. coeff. udom. costanti per la rete	=	SI	
Costante del coeff. idometrico	ku =	2168 [-]	
Invaso in press./inv. pelo libero	Gamma =	0 [-]	
Scostamento linea car. piezometr.	Teta =	1 [-]	
Attiva CONTROLLO CONTINUITA' NODI	Con. C =	0 [-]	
Applica CALCOLO ASINCRONO SPED.	Asinc =	0 [-]	[Form. (8.30a) Sistemi di Fognatura]
Parametri per Metodo Cinematico o della Corrivazione:			
Opzione calcolo Tempo di accesso rete Ta =		0	Ta COST., Metodo Class.
Opzione calcolo Tempo di rete Tr =		0	For.(8.11), Tr=Som(L/V/uv)
Parametri per Metodo dell'invaso del Serbatoio lineare:			
Opzione calcolo Costante di Invaso K =		0	Cost. di Invaso K: For.(8.23), Desbordes 1
Parametro di forma costante YF =		0 [-]	
Param. $r [n=1-r \cdot \text{EXP}(-rj)/(1-\text{EXP}(-r))]$ r =		0 [-]	
Rete mista	Re mis =	NO	

TRATTO	NODO	NODO	DESCRIZIONE	TRONCHI	L0	L	Dh	q.pc.a	q.pc.b	q.ft.a	q.ft.b	Dh pz	Dhta	Za	Zb	If	S	S.tot	Fi.per	Fi.limp	Im	Fi1	FiIm	Vi.su	Vitr	Vis	Vag	Vtot	Vrt	Ku	u	Qp
	INL.	FIN.		A MONTE	[m]	[m]	[m]	[msm]	[msm]	[msm]	[msm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[ø/øø]	[ha]	[ha]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m3/ha]	[m3]	[m3]	[m3]	[m3]	[m]	[-]	[l/s ha]	[l/s]
1	1	2	TRATTO 431-430	-	124.75	124.76	1.784	77.523	75.739	75.82	74.46	0	0	1.7	1.28	10.95	0.413	0.413	0.3	0.9	0.25	0.45	0.45	50	124.4	20.7	0	145.1	0.03513	2168	12.9	5
2	2	3	TRATTO 430-428	1	12.09	12.09	-0.085	75.739	75.824	74.46	74.32	0	0	1.28	1.5	10.95	0.05	0.463	0.4	0.9	0	0.4	0.4446	50	17.8	2.5	1	166.4	0.03595	2168	11.8	5
3	3	4	TRATTO 428-75	2	120.22	120.23	0.733	75.824	75.091	74.32	73.09	0	0	1.5	2	10.26	1.37	1.833	0.3	0.9	0.25	0.45	0.4486	60	124.9	82.2	0	373.5	0.02038	2168	41	75
4	4	5	TRATTO 75 - 504	3	48.71	48.71	-0.012	75.091	75.103	73.09	72.67	0	0	2	2.43	8.63	0.673	2.506	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4651	70	54.7	47.1	0	475.3	0.01897	2168	53.5	134
5	5	6	TRATTO 504-67	4	142.72	142.73	1.02	75.103	74.083	72.67	71.44	0	0	2.43	2.64	8.63	2.888	5.394	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4891	80	168.2	231	1	875.6	0.01623	2168	87.4	471
6	6	7	TRATTO 67-503	5	5.79	5.79	0.193	74.083	73.89	71.44	71.39	0	0	2.64	2.5	8.63	0.025	5.419	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4892	60	6.8	1.5	1	884.9	0.01633	2168	86.3	468
7	7	8	TRATTO 503-348	6	230.33	230.34	4.49	73.89	69.4	71.39	69.4	0	0	2.5	0	8.63	1.465	6.884	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4937	60	272.2	87.9	0	1245	0.01809	2168	71.4	491

[illegible]

6.7. ALLEGATO 7 – Analisi della rete di fognatura – Metodo dell’Invaso – Tr 50 anni –

ANALISI DI RETE DI CANALIZZAZIONI CON IL METODO DELL'INVASO			
SOFTWARE HYDROCAD			
STUDIO ARNAUD - www.studioarnaud.it			
LAVORO: FOSSO_LOCATE_TR_50			
DESCRIZIONE RETE:		FOSSO_LOCATE VARESINO - TR 50	
FILE: C:\HTB\FOG\F_LOCD01.50			
Codice Identificativo Rete	ID.Rete =	1.5	
DATI GENERALI DELLA RETE:			
Numero tronchi della rete	Ntr =	7	
Numero nodi/picchetti	Nn =	9	
Tempo di ritorno	Tr =	50 [anni]	
Coeff. a della curva $h=at^n$	a =	73.6454 [mm/h^n]	
Coeff. n della curva $h=at^n$	n =	0.2318 [-]	
Coeff. <a>,<n> variab. con Sup. bacino		SI	
Legge di variazione di <a>,<n>:	Puppini:	a1=a/1-0.6	n1=n+0.0175*(S/100)
Metodo di calcolo della rete:		ITALIANO DELL'INVASO	
Parametri per Metodo Italiano dell'Invaso:			
Opzione Escludi calcolo $n0=4/3^n$	=	NO	
Volume specifico piccoli invasi Vis = CALCOLATO con Form. (8.37) Gruppo Deflussi Urbani			
Param. coeff. udom. costanti per la rete	=	SI	
Costante del coeff. odometrico	ku =	2168 [-]	
Invaso in press./lrv. pelo libero	Gamma =	0 [-]	
Scostamento linea car. piezometr.	Teta =	1 [-]	
Attiva CONTROLLO CONTINUITA' NODI	Con_C =	0 [-]	
Applica CALCOLO ASINCRONO SPED.	Asinc =	0 [-]	(Form. (8.30a) Sistemi di Fognatura)
Parametri per Metodo Cinematico o della Corrivazione:			
Opzione calcolo Tempo di accesso rete Ta =		0	Ta COST., Metodo Class.
Opzione calcolo Tempo di rete Tr =		0	For.(8.11), Tr=50m(L/Vu)
Parametri per Metodo dell'invaso del Serbatoio lineare:			
Opzione calcolo Costante di Invaso K =		0	Cost. di Invaso K; For.(8.23), Desbordes_1
Parametro di forma costante Yf =		0	[-]
Param. r $[n=1-r*EXP(-r)/[1-EXP(-r)]]$ r =		0	[-]
Rete mista			
Re. mis =	NO		

TRATTO	NODO	NODO	DESCRIZIONE	TRONCHI	L0	L	Dh	q.pc.a	q.pc.b	q.ft.a	q.ft.b	Dhpz	Dhta	Za	Zb	If	S	S.tot	Fi.per	Fi.imp	Im	Fi1	Fi1m	Vi.su	Vitr	Vis	Vag	Vtot	Wt	Ku	u	Qp
	INI.	FIN.		A MONTE	[m]	[m]	[m]	[msm]	[msm]	[msm]	[msm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[ø/øø]	[ha]	[ha]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m3/ha]	[m3]	[m3]	[m3]	[m3]	[m]	[-]	[l/s ha]	[l/s]
1	1	2	TRATTO 431-430	-	124.75	124.76	1.784	77.523	75.739	75.82	74.46	0	0	1.7	1.28	10.95	0.413	0.413	0.3	0.9	0.25	0.45	0.45	60	149.9	24.8	0	174.7	0.0423	2168	12.9	5
2	2	3	TRATTO 430-428	1	12.09	12.09	-0.085	75.739	75.824	74.46	74.32	0	0	1.28	1.5	10.95	0.05	0.463	0.4	0.9	0	0.4	0.4446	50	21.8	2.5	1	200	0.04319	2168	11.8	5
3	3	4	TRATTO 428-75	2	120.22	120.23	0.733	75.824	75.091	74.32	73.09	0	0	1.5	2	10.26	1.37	1.833	0.3	0.9	0.25	0.45	0.4486	60	148.8	82.2	0	431	0.02352	2168	47.3	87
4	4	5	TRATTO 75 - 504	3	48.71	48.71	-0.012	75.091	75.103	73.09	72.67	0	0	2	2.43	8.63	0.673	2.506	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4651	70	65.3	47.1	0	543.5	0.02169	2168	63.8	160
5	5	6	TRATTO 504-67	4	142.72	142.73	1.02	75.103	74.083	72.67	71.44	0	0	2.43	2.64	8.63	2.888	5.394	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4891	80	210.1	231	1	985.7	0.01827	2168	110.1	594
6	6	7	TRATTO 67-503	5	5.79	5.79	0.193	74.083	73.89	71.44	71.39	0	0	2.64	2.5	8.63	0.025	5.419	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4892	60	8.5	1.5	1	996.7	0.01839	2168	108.5	588
7	7	8	TRATTO 503-348	6	230.33	230.34	4.49	73.89	69.4	71.39	69.4	0	0	2.5	0	8.63	1.465	6.884	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4937	60	339	87.9	0	1423.6	0.02068	2168	86	592

[illegible]

6.8. ALLEGATO 8 – Analisi della rete di fognatura – Metodo dell’Invaso – Tr 100 anni –

LAVORO: FOSSO. LOCATE. TR. 100			
DESCRIZIONE RETE:		FOSSO. LOCATE VARESI NO - TR. 100	
FILE: C:\HTB\FOG\F_LO C100.00			
Codice Identificativo Rete	ID.Rete =	100	
DATI GENERALI DELLA RETE:			
Numero tronchi della rete	Ntr =	7	
Numero nodi/picchetti	Np =	9	
Tempo di ritorno	Tr =	100 [anni]	
Coeff. a della curva $h=at^n$	a =	82.715 [mm/h^n]	
Coeff. n della curva $h=at^n$	n =	0.226 [-]	
Coeff. <a>,<n> variab. con Sup. bacino	=	SI	
Legge di variazione di <a>,<n>:	Puppini:	$a1=a[1-0.01n]$	$n1=n+0.0175*(S/100)$
Metodo di calcolo della rete:	ITALIANO DELL'INVASO		
Parametri per Metodo Italiano dell'Invaso:			
Opzione Escludi calcolo $n0=4/3^n$	=	NO	
Volume specifico piccoli invasi	Vis =	CALCOLATO con Form. (8.32) Gruppo Deflussi Urbani	
Param. coeff. udom. costanti per la rete	=	SI	
Costante del coeff. udometrico	ku =	2168 [-]	
Invaso in press./Inv. pelo libero	Gamma =	0 [-]	
Scostamento linea car. piezometr.	Teta =	1 [-]	
Attiva CONTROLLO CONTINUITA' NODI	Con. C =	0 [-]	
Applica CALCOLO ASINCRONO SPED.	Asinc =	0 [-]	(Form. (8.30a) Sistemi di Fognatura)
Parametri per Metodo Cinematico o della Corrivazione:			
Opzione calcolo Tempo di accesso rete Ta =		0	Ta COST., Metodo Class.
Opzione calcolo Tempo di rete Tr =		0	For.(8.11), $Tr=Som(L/Vu)$
Parametri per Metodo dell'invaso del Serbatoio lineare:			
Opzione calcolo Costante di Invaso K =		0	Cost. di Invaso K: For.(8.23), Desbordes_1
Parametro di forma costante Yf =		0 [-]	
Param. r [$r=(1+r*EXP(-r)/(1-EXP(-r)))$] r =		0 [-]	
Rete mista	Re_mis =	NO	

TRATTO	NODO	NODO	DESCRIZIONE	TRONCHI	L0	L	Dh	q.pc.a	q.pc.b	q.ft.a	q.ft.b	Dh pz	Dhta	Za	Zb	If	S	S.tot	Fi.per	Fi.imp	Im	Fi1	Fi1m	Vi.su	Vitr	Vis	Vag	Vtot	Wt	Ku	u	Qp
	INI.	FIN.		A MONTE	[m]	[m]	[m]	[msm]	[msm]	[msm]	[msm]	[m]	[m]	[m]	[m]	[ø/øø]	[ha]	[ha]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[m3/ha]	[m3]	[m3]	[m3]	[m3]	[m]	[-]	[l/s ha]	[l/s]
1	1	2	TRATTO 431-430	-	124.75	124.76	1.784	77.523	75.739	75.82	74.46	0	0	1.7	1.28	10.95	0.413	0.413	0.3	0.9	0.25	0.45	0.45	60	173.7	26.6	0	200.4	0.04852	2168	13.2	5
2	2	3	TRATTO 430-428	1	12.09	12.09	-0.085	75.739	75.824	74.46	74.32	0	0	1.28	1.5	10.95	0.05	0.463	0.4	0.9	0	0.4	0.4446	50	25.1	2.5	1	229	0.04946	2168	12.1	6
3	3	4	TRATTO 428-75	2	120.22	120.23	0.733	75.824	75.091	74.32	73.09	0	0	1.5	2	10.26	1.37	1.833	0.3	0.9	0.25	0.45	0.4486	60	178.6	82.2	0	489.8	0.02672	2168	51.9	95
4	4	5	TRATTO 75 - 504	3	48.71	48.71	-0.012	75.091	75.103	73.09	72.67	0	0	2	2.43	8.63	0.673	2.506	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4651	70	86.1	47.1	0	623	0.02486	2168	69.2	173
5	5	6	TRATTO 504-67	4	142.72	142.73	1.02	75.103	74.083	72.67	71.44	0	0	2.43	2.64	8.63	2.888	5.394	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4891	80	252.2	231	1	1107.3	0.02053	2168	127.5	688
6	6	7	TRATTO 67-503	5	5.79	5.79	0.193	74.083	73.89	71.44	71.39	0	0	2.64	2.5	8.63	0.025	5.419	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4892	60	10.2	1.5	1	1120	0.02067	2168	125.5	680
7	7	8	TRATTO 503-348	6	230.33	230.34	4.49	73.89	69.4	71.39	69.4	0	0	2.5	0	8.63	1.465	6.884	0.3	0.9	0.35	0.51	0.4937	60	407	87.9	0	1614.9	0.02346	2168	96.4	664

[illegible]

6.9. ALLEGATO 9 – Codice di calcolo HYDROCAD – Parametri di calcolo –

DATI GENERALI DELLA RETE		Riferimenti bibliografici	[X]
Parametro			
Ntr	Numero di Tratti della rete		
Np	Numero di nodi / picchetti		
Tr [anni]	Tempo di ritorno		
a [mm/h]	Coefficiente "a" della curva $h=at^n$ per il tempo di ritorno Tr		
n [-]	Esponente "n" della curva $h = at^n$ per il tempo di ritorno Tr		
coeff. "a", "n"	variabili con la Superficie bacino: SI/ NO		
I coeff. "a", "n" possono essere variati in funzione della superficie del bacino. Si possono applicare 2 leggi di variazione per i coefficienti a ed n:			
	formule di Puppini	$a(S) = a(1-0.052(S/100) + 0.002(S/100)^2)$	
		$n(S) = n + 0.0175 (S/100)$	
	formule di Colombo	$a(S) = a(1-0.06(S/100)^0.4)$	
		$n(S) = n + 0.003 (S/100)^0.6$	
Metodi di calcolo		Metodo Italiano del Volume di Invaso	
		Metodo Cinematico o della Corrivazione	
		Metodo dell'Invaso del Serbatoio Lineare	
		Parametri per Metodo Italiano dell'Invaso:	
n0 =4/3*n	Opzione Escludi calcolo di $n0=4/3*n$ SI/ NO [2], [3]		
Vls [m3/ha]	Volume specifico dei piccoli invasi (altezza velo d'acqua in [mm])		
Vls_c [m3/ha]	Vls può essere calcolato secondo la For. (8.32), Benedetto, 1995 [2]		
	Parametro costante di calcolo (ku=2168 per deflusso a pelo libero; ku=1670 per deflusso parzialmente in pressione). Il parametro ku può essere assegnato costante per la rete oppure no, oppure può essere calcolato con il procedimento rigoroso secondo Supino in funzione dei parametri n, Gamma, Teta, Eta [1]		
Ku [-]			
y Gamma [-]	Invaso in pressione / Invaso a pelo libero (valori da 0 a 1) [1]		
θ Teta [-]	Scostamento della linea dei carichi piezometrici (valori da 1 a 1.3) [1]		
η Eta [-]	Rapporto ta la portata aggiuntiva indipendente dalla pioggia e la portata di pioggia Q: Eta=Qag / Qp [1]		
Con_C	(SI / NO) Attiva il controllo dell'equazione di continuità ai nodi		
Asinc	(SI / NO) Applica il Calcolo Asincrono speditivo secondo Del Giudice, Gisonni, Rasulo, 1996 [7], [2]		
	Parametri per Metodo Cinematico o della Corrivazione:		
Ta [s]	Tempo di accesso alla rete		
	Ta può essere calcolato secondo le seguenti Formule:		
Opz_calc_Ta = 0	Ta costante assegnato costrante per ogni tratto (metodo classico); [2]		
Opz_calc_Ta = 1	Ta secondo For. (8.12b) Polit. Milano; [2]		
Opz_calc_Ta = 2	Ta secondo For. (8.12c) Polit. Milano; [2]		
Tr [s]	Tempo di rete: somma dei tempi di percorrenza di ogni canale secondo il percorso più lungo.		
	Tr può essere assegnato per ogni tratto oppure calcolato secondo le seguenti Formule:		
Opz_calc_Tr = 0	Tr secondo For. (8.11) Ippolito; [2]		
Opz_calc_Tr = 1	Tr secondo For. (8.13), Becciu et al., Polit. Milano; [2]		
Tc_cin [s]	Tc_cin = Ta + Tr Tempo di concentrazione (calcolato iterativamente per ogni tratto) [2]		
	Parametri per Metodo dell'Invaso del Serbatoio Lineare:		
K [s]	Costante di Invaso. K può essere calcolata secondo le seguenti Formule:		
Opz_calc_K = 0	For. (8.23), Desbordes_1, 1975; [2]		
Opz_calc_K = 1	For. (8.24), Ciaponi e Papiri_1, 1992; [2]		
Opz_calc_K = 2	For. (8.25), Desbordes_2, 1975; [2]		
Opz_calc_K = 3	For. (8.24), Ciaponi e Papiri_2, 1992; [2]		
Yfor [-]	Parametro di forma del bacino (Yfor = 0.2 - 0.4; per bacino rettangolare Yfor=0.33) [2]		
r =Tp/K	Parametro r funzione dell'esponente n della curva di probabilità a due parametri, For. (8.20) $n=1+*EXP(-r) / (1-EXP(-r))$ per cui si ha il massimo della portata al colmo, per Tp=Tc [2]		
Rete MISTA	SI / NO - Se si ha una rete mista si hanno i parametri per la rete nera:		
Dmg [l/ab g]	Dotazione media annua acquedotto (se rete anche per acque nere)		
Alfa [-]	Coeff. riduzione consumi acquedotto		
Beta [-]	Coeff. ora di punta		
PARAMETRI DEI TRATTI (ASSEGNA TI)			
I	N. tratto		
Descrizione	Testo descrittivo del tratto		
Tr1, Tr2, Tr3, Tr4	Numero dei 4 Tratti confluenti all'inizio del tratto		
Npa	N. picchetto iniziale		
Npb	N. picchetto finale		
q.pc.a [m.s.m.]	Quota assoluta piano di campagna all'inizio del tratto		
q.pc.b [m.s.m.]	Quota assoluta piano di campagna alla fine del tratto		
q.ft.a [m.s.m.]	Quota fondo scorrevole all'inizio del tratto		
q.ft.b [m.s.m.]	Quota fondo scorrevole alla fine del tratto		
L0 [m]	Lunghezza in orizzontale del tratto		
Dh [m]	Dislivello del piano stradale Dh=Qa-Qb (Dh>0 se Qa > Qb)		
Dh pz [m]	Salto fondo tubo inizio – fondo tubo tratto precedente		
Dhta [m]	Dislivello terreno inizio tratto I (+ se verso alto, - verso basso)		
Za [m]	Profondità fondo tubo all'inizio del tratto		
Zb [m]	Profondità fondo tubo alla fine del tratto		
if [%]	Pendenza del fondo		
S [ha]	Superficie del bacino affluente al tratto		
FI_per [-]	Coefficiente di afflusso per aree permeabili (FI_per =t(Tempo di ritorno; 0.00 - 0.30), Tab. (8.3) [2]		
FI_imp [-]	Coefficiente di afflusso per aree impermeabili (FI_imp =t(Tempo di ritorno; 0.60 - 0.90), Tab. (8.3) [2]		
Im [-]	Aliquota di aree impermeabili del bacino connesse alla rete di drenaggio [2]		
FI1 [-]	Coefficiente di afflusso relativo a precipitazioni della durata di un'ora (vedansi tabelle manuale Colombo, Ippolito); FI1 può essere assegnato oppure calcolato secondo la For. (8.4), Gruppo Deflussi Urbani: FI1=FI_per*(1-Im) + FI_imp*Im [2]		
Vl.su [m3/ha]	Volume degli invasi superficiali (sull'area del tratto)		
Qag [l/s]	Portata aggiuntiva assegnata indipendente dalla pioggia		
SEZ. ASSEG. / PROG.	La sezione può essere assegnata oppure no in caso di progetto		
Tsz	Tipo sezione (0=tubo circolare; 1=voidale; 2=rettangolare/trapezia; 3= circolare con cunetta; 4=policentrica; 5=alveo generico)		
	I parametri geometrici dei diversi tipi di sezione sono riportati nelle colonne Dim1, Dim2, Dim3, che possono assumere i seguenti significati:		
D [cm]	Diametro del tubo circolare (Tsz = 0), o Diametro minore dello speco ovoidale (Tsz = 1), o Diametro maggiore tubo circolare con cunetta (Tsz = 3)		
De [cm]	Diametro esterno del tubo circolare (Tsz = 0)		
B [cm]	Larghezza base sezione rettangolare / trapezia (Tsz = 2), o Larghezza sezione policentrica (Tsz = 4)		
H [cm]	Altezza sezione rettangolare / trapezia (Tsz = 2)		
Ang [°]	Angolo inclinazione sponde		
	Nel caso di alveo generico (canale, torrente) (Tsz = 5) vengono assegnati i seguenti parametri:		
B1 [m]	Larghezza del fondo alveo primario		
if [%]	Pendenza del fondo alveo primario		
Ang [°]	Angolo di inclinazione delle sponde		
C [m1/3s-1]	Coeff. di scabrezza (Strickler) alveo primario		
Bgs [m]	Larghezza alveo golienale sp. sx.		
Bgd [m]	Larghezza alveo golienale sp. dx.		
Bs [m]	Larghezza alveo di espansione sp. sx.		
Bd [m]	Larghezza alveo di espansione sp. dx.		
Ifs [%]	Pendenza alveo di espansione sp. sx.		
Ifd [%]	Pendenza alveo di espansione sp. dx.		
Ygs [m]	Altezza alveo golienale sp. sx.		
Ygd [m]	Altezza alveo golienale sp. dx.		
Ys [m]	Altezza alveo di espansione sp. sx.		
Yd [m]	Altezza alveo di espansione sp. dx.		
Has [m]	Altezza argine sp. sx.		
Had [m]	Altezza argine sp. dx.		
B2 [m]	Larghezza totale alveo primario + alveo espansione		
Cs [m1/3s-1]	Coeff. di scabrezza (Strickler) alveo secondario sx.		
Cd [m1/3s-1]	Coeff. di scabrezza (Strickler) alveo secondario dx.		
	Costante del coefficiente idometrico, che può essere assegnata per ogni tratto (ku=2168 per deflusso a pelo libero; ku=1670 per deflusso parzialmente in pressione), oppure, assegnando ku=0, tale parametro viene calcolato in modo rigoroso secondo la funzione di Supino (45) [1] (Le reti Idrauliche, Patron Ed., Pag. 242) in funzione dei parametri n, y, θ, η anche tabellati (pag 262-269), in cui:		
Ku [-]			
y Gamma [-]	Invaso in pressione / Invaso a pelo libero (valori da 0 a 1)		
θ Teta [-]	Scostamento della linea dei carichi piezometrici (valori da 1 a 1.3)		
η Eta [-]	Rapporto ta la portata aggiuntiva indipendente dalla pioggia e la portata di pioggia Q: Eta=Qag / Qp		
Nab [-]	Numero di abitanti gravanti sul tratto per calc. portata nera		
Tfz	Parametro che definisce il Tipo di formula per la scabrezza: (0=Strickler; 1=Manning; 2=Kutter; 3=Bazin; 4=Colebrook)		
C [m1/3 s-1]	Coefficiente di scabrezza del tubo (Strickler)		
Ma [s/m1/3]	Coefficiente di scabrezza del tubo (Manning)		
m	Coefficiente di scabrezza del tubo (Kutter)		
G	Coefficiente di scabrezza del tubo (Bazin)		
E [mm]	Coefficiente di scabrezza del tubo (Colebrook)		

PARAMETRI DEI TRATTI (RISULTATI)	
L [m]	Lunghezza inclinata del tratto
S.tot [ha]	Superficie del bacino affluente al tratto
FI1 [-]	Coefficiente di afflusso medio della rete sottesa al tratto l-esimo
	Parametri Risultati per Metodo Italiano dell'Invaso
Vl.su [m3]	Volume dei piccoli invasi superficiali, compreso il tratto l-esimo
Vl.tr [m3]	Volume invasato nel tratto l-esimo
Vtot [m3]	Volume di invaso totale al tratto l-esimo
Wt [m]	Invaso specifico totale [m3/m2]
Ku [-]	Parametro costante di calcolo (ku=2168 per deflusso a pelo libero; ku=1670 per deflusso parzialmente in pressione). Il parametro Ku può essere stato assegnato per ogni tronco, oppure può essere stato calcolato con il procedimento rigoroso secondo Supino, in funzione dei parametri n, Gamma, Teta, Eta
u [l/s*ha]	Coefficiente idometrico o portata specifica calcolata secondo la formula $u=Ku*n*[(FI1m*a)^(1/n)]/v^(1/n-1)$
Qp [l/s]	Portata di pioggia
	Parametri Risultati per Metodo Cinematico o della Corrivazione
Ta [s]	Tempo di accesso alla rete (Ta assegnata costante o calcolata con le For. (8.12b) o (8.12c)
Tr [s]	Tempo di rete: somma dei tempi di percorrenza di ogni canale secondo il percorso più lungo; calcolato con For. (8.11) o (8.13)
Tc_cin [s]	Tc_cin = Ta + Tr Tempo di concentrazione (calcolato iterativamente per ogni tratto)
l.med [mm/h]	Intensità media di pioggia di durata pari al tempo di concentrazione Tc_cin
u.cin [l/s*ha]	Coefficiente idometrico o portata specifica calcolata secondo la For. (8.9) $u=FI1*.med*S/360$
Qp.cin [l/s]	Portata di pioggia
	Parametri Risultati per Metodo dell'Invaso del Serbatoio Lineare
	Aliquota media di aree impermeabili del bacino
Im.m [-]	[2]
Tc [s]	Valore del tempo di concentrazione calcolata risoluzione di funzione trascendente associata al parametro $r=Tc/k$
l.med [mm/h]	Intensità media di pioggia di durata pari al tempo di concentrazione Tc_cin
K [s]	Costante di Invaso. K può essere calcolata secondo le seguenti Formule:
Se Opz_calc_K = 0	For. (8.23), Desbordes_1, 1975; [2]
Se Opz_calc_K = 1	For. (8.24), Ciaponi e Papiri_1, 1992; [2]
Se Opz_calc_K = 2	For. (8.25), Desbordes_2, 1975; [2]
Se Opz_calc_K = 3	For. (8.24), Ciaponi e Papiri_2, 1992; [2]
d dr [m/ha]	Densità di drenaggio, rapporto tra sviluppo della rete di drenaggio [m] e l'area del bacino [ha]
Yfor [-]	Parametro di forma del bacino (Yfor = 0.2 - 0.4; per bacino rettangolare Yfor=0.33) [2]
u.ser [l/s*ha]	Coefficiente idometrico o portata specifica calcolata secondo la For. (8.9) $u=FI1*.med*S/360$ [2]
Qp.ser [l/s]	Portata di pioggia
	Parametri Risultati dei calcoli idraulici dei Tratti
Qn [l/s]	Portata nera
Qtot [l/s]	Portata totale (Qag + Qn + Qp)
Q0 [l/s]	Portata massima della sezione a bocca piena per il tratto l-esimo
	Rapporto tra la portata totale e la portata massima della sezione (calcolata a pelo libero (Ku=2168) oppure parzialmente in pressione (Ku<2168))
Q/Q0 [-]	
R [m]	Raggio Idraulico $R= Om/Contorno$ bagnato B
Om [m2]	Sezione bagnata
Om0 [m2]	Sezione bagnata a bocca piena
Om/Om0 [-]	Rapporto tra la sezione bagnata e la sezione piena
vmax [m/s]	Velocità massima della corrente
	Numero di Froude (radice quadrata del rapporto tra la forza di inerzia e forza peso); se Fr=1 la corrente è nel punto critico; se Fr<1 la corrente è lenta, se Fr>1 è veloce)
Froude [-]	
Dt [s]	Tempo di deflusso del tratto
h/h0 [-]	Rapporto tra l'altezza idrica e l'altezza massima della sezione
h_w [cm]	Altezza idrica
h.cr [cm]	Altezza critica
vmin [m/s]	Velocità minima della corrente
q.w.a [m.s.m.]	Quota assoluta livello idrico all'inizio del tratto
q.w.b [m.s.m.]	Quota assoluta livello idrico alla fine del tratto
q.eg.a [m.s.m.]	Quota assoluta livello energia all'inizio del tratto
q.eg.b [m.s.m.]	Quota assoluta livello energia alla fine del tratto
VERIFICA SEZIONE	SI se Q/Q0<1
	Tempo di rete (somma dei tempi di percorrenza dei collettori principali (attivati con "SI" nella colonna "COLL. PRINC.")
T.tot [s]	Calcolato secondo For. 8.11)
T.rete [s]	Tempo di rete (Calcolato secondo le For. 8.13 Polit. Milano)
	[2]
	COMPUTO METRICO
	Il computo
Attiva Computo	metrico può essere attivato, oppure no per ogni tratto. Se il computo del tratto è attivato, vengono assegnati / calcolati i seguenti parametri:
Hsbanc	Spessore di sbancamento lungo il tratto: verrà detratto nel calcolo dell'altezza di scavo
Calc.Vol.Sca.	Opzione calcolo volumi di scavo (SI/NO)
L.scavo [m]	Lunghezza dello scavo del tratto
Salto Fo. Poz. Dh pz [m]	Salto di fondo pozzetto inizio tratto
	Alle SEZIONI INIZIALE e FINALE di ogni tratto vengono riportati:
Quota Terr. [m.s.m.]	Quota piano campagna
Quota Scorr. [m.s.m.]	Quota fondo scorrevole tubo
Quota Fo.Sca. [m.s.m.]	Quota fondo scavo
H.Sup.Tu [m]	Altezza di terreno di ricoprimento sopra tubo
H.Scavo [m]	Altezza dello scavo
B.Scavo_Sup. [m]	Larghezza superiore dello scavo (al piano stradale)
B.Scavo_Inf. [m]	Larghezza inferiore dello scavo (a fondo scavo)
	Per ogni tratto vengono riportate le quantità:
Vol.scavo [m3]	Volume di scavo del tratto
Hcls [m]	Spessore del riempimento di sottofondo (cls / misto) da fondo scavo
Dh ft [m]	Spessore del riempimento (cls / misto) dal fondo scavo al fondo tubo
Vol.Cls [m3]	Volume del riempimento di sottofondo (cls / misto)
Vol.Rie [m3]	Volume del riempimento dal sottofondo al p.c.
COD. TUBO	Codice che individua il tipo di tubo
Diam [cm]	Diametro interno tubo
MATER. TUBO	Descrizione del tipo e materiale del tubo, SN
A. Asf. [m2]	Area asfalto del tratto se si è attivato il relativo computo
COD. POZZ.	N. Codice pozzetto del tratto (escluso pozzetto finale)
N.poz	Numero totale di pozzetti nel tratto (uguali a quello iniziale, escluso pozzetto finale)
Lar.Pz.ini [m]	Larghezza interna pozzetto iniziale e intermedi lungo il tratto
Lar.Pz.ini [m]	Larghezza interna pozzetto finale
	COMPUTO TOTALI
VOL. TOT. SCAVO [m3]	Volume totale di scavo della rete
VOL. CLS. FONDO [m3]	Volume totale di cls (misto) di sottofondo
VOL. RIE. TOT. [m3]	Volume totale di riempimento
AREA RIPR. STRADA [m2]	Area totale di ripristino strada (Asfalto)
LUNG. TOT. TUBI [m]	Lunghezza complessiva netta delle tubazioni
	Computo TUBI
	Per ogni tratto vengono riportate le quantità:
COD. TUBO	Codice di computo del tipo di tubo
TIPO SEZ.	Tipo di sezione (circolare, ovoidale, ecc.)
DIAM. [cm]	Diametro esterno commerciale
MATERIALE	Descrizione tipo tubo, SN
LUNG. Tot. [m]	Lunghezza complessiva netta del tipo di tubazione
Bibliografia	
[1]	Supino, Le reti idrauliche, Patron Ed., 1965
[2]	Artina S. et al., Sistemi di Fognatura - Manuale di progettazione, Centro Studi Deflussi Urbani, Hoepli, 1997
[3]	Ippolito G., Appunti di costruzioni idrauliche, Vol. II, Reti di fognatura, Liguri Ed., 1973
[4]	Artina S., Verifica e dimensionamento di reti di fognatura per acque bianche - Manuale di Ingegneria Civile, Vol. III, ESAC, 1989
[5]	Mantica I., Costruzioni Idrauliche, Cap. VI - Fognature, 2005
[6]	Cao C., Sul calcolo di progetto delle reti idrauliche col metodo del volume di invaso - X Convegno di Idraulica, 1966
[7]	Gisonni C., Hager W., Idraulica dei sistemi fognari, Springer-Verlag, 2012
[8]	Del Giudice G., Gisonni C., Rasulo G., Metodo Italiano dell'Invaso: un criterio di correzione della ipotesi di funzionamento sincrono della rete, Atti XXV Convegno di Idraulica, Torino, 1996

6.10. ALLEGATO 10 – Codice di calcolo HYDROCAD - Analisi delle reti di fognatura –

HYDROCAD 2021

SOFTWARE PER IL CALCOLO DI RETI DI FOGNATURE

Il codice di calcolo HYDROCAD consente la modellazione matematica dei fenomeni idrologici-idraulici che interessano reti di fognature bianche o miste o canali di bonifica, sia in fase di verifica che di progetto.

Modelli di calcolo

Il calcolo della rete di canalizzazioni può essere effettuato con l'applicazione di diversi modelli di progetto per l'analisi del fenomeno di formazione delle piene:

Metodo cinematico lineare o metodo della corrivazione: tale modello esalta l'aspetto del diverso tempo di concentrazione delle precipitazioni meteoriche cadute nei diversi punti del bacino, che viene calcolato come somma del tempo di accesso alla rete 'ta' relativo ad ogni sottobacino drenato dal condotto fognario, e dal tempo di rete 'tr', dato dalla somma dei tempi di percorrenza di ogni singola canalizzazione seguendo il percorso più lungo della rete fognaria. Per le analisi con questo metodo si possono applicare il metodo cinematico classico (tempo di accesso 'ta' predeterminato e tempo di rete 'tr' calcolato secondo la formulazione classica di G.Ippolito), oppure il metodo cinematico con il calcolo di 'ta' e 'tr' come proposto dal Politecnico di Milano (Mambretti, Paoletti, 1997).

Metodo dell'invaso del serbatoio lineare: tale metodo esalta il fenomeno della laminazione degli afflussi meteorici svolto dal volume d'acqua $W(t)$ che si deve immagazzinare sulla superficie del bacino sotteso e nella rete di monte, per calcolare il deflusso della portata $Q(t)$ attraverso una sezione di collettore a valle. Mediante l'applicazione dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) espresso da funzioni esponenziali nelle fasi di crescita e di decrescita dell'onda di piena, si procede mediante il calcolo con il metodo di Newton-Raphson per la ricerca dei parametri che rendono massima la portata al colmo (Paoletti et al., 1996); la costante di invaso K può essere calcolata con metodi diversi (Desbordes, 1975; Ciaponi e Papiri 1992).

Metodo italiano dell'invaso (Paladini-Fantoli, Puppini, Supino), che può utilizzare le classiche formule con valori predefiniti delle costanti di calcolo, per deflussi a pelo libero o parzialmente in pressione, oppure con la risoluzione delle formule generali, con il metodo di Newton-Raphson, nel caso in cui si abbiano anche afflussi indipendenti dalla pioggia (Supino), e deflussi in pressione.

Assegnata la curva delle massime possibilità pluviometriche per un tempo di ritorno prefissato, può essere considerata la variazione dei parametri in funzione della superficie del bacino imbrifero (Puppini, Columbo, Supino). Per ogni tronco viene calcolato il coefficiente di deflusso medio ponderato in relazione alla superficie sottesa. E' possibile effettuare l'analisi della rete con funzionamento sia sincrono che asincrono, con l'applicazione del metodo di invaso asincrono (Del Giudice et al., 2005).

Verifiche idrauliche

Le sezioni dei collettori possono essere dei seguenti tipi:

- circolare;
- ovoidale inglese;
- ovoidale tagliata superiormente (Tipo T);
- trapezia o rettangolare ;
- policentrica a tre centri ;
- alveo generico con golene ed argini.

Si possono considerare diverse leggi per il calcolo della scabrezza :

Strickler, Manning, Kutter, Bazin, Colebrook.

Viene calcolato per ogni tronco il volume di invaso come somma dei seguenti volumi: volumi di invasi superficiali, volume di invaso nella canalizzazione e volume di invaso aggiuntivo (nel caso di presenza di vasche di dissipazione, o di laminazione. Il programma contempla anche la possibilità di inserire per ogni tronco una portata indipendente dalla pioggia (vedl. Supino, Le reti idrauliche).

In seguito al calcolo iterativo del volume di invaso di ogni tronco, vengono calcolati i diversi parametri:

il coefficiente udometrico, la portata di pioggia massima, la portata nera, i coefficienti caratteristici del livello di funzionamento della sezione: velocità massima, velocità minima, raggio idraulico, altezza idrica, Froude, quote assolute del livello idrico e dell'energia.

Fasi di verifica o di progetto della rete

Il codice Hydrocad si rivela di fondamentale utilità sia per analisi di verifica di reti esistenti, nel caso in cui si debbano riprodurre eventi osservati, e valutare il livello di funzionamento degli specchi, oppure in fase di progetto, per effettuare un dimensionamento ottimale delle canalizzazioni.

Si dispone inoltre di sottoprogrammi per la verifica di manufatti speciali: pozzi di salto, per i quali è opportuno verificare le condizioni di assenza di *shocking*; dissipatori di energia, per ridurre la velocità uscente da collettori.

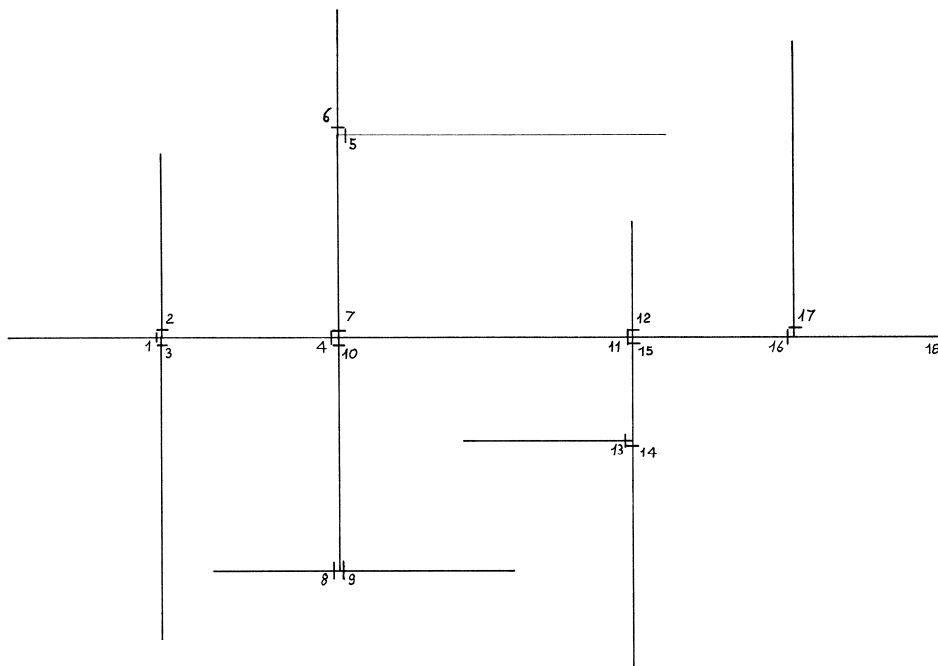
In fase di progetto viene calcolato il computo dei volumi di scavo e dei materiali impiegati: in tal modo è possibile effettuare agevolmente una ricerca della soluzione progettuale per minimizzare i costi.

Interazione con software di grafica e GIS

Il codice consente in inserimento dei dati di tipo interattivo, ma anche di leggere file dati di rilievo topografico, in formato txt o csv, relativi alle coordinate dei punti battuti, ed alla geometria dei collettori e dei pozzetti.

In maniera altrettanto agevole è possibile generare file dati dei risultati del calcolo, per utilizzarli in software di grafica o GIS. E' possibile generare file per il disegno dei profili dei tronchi in progetto.

Ing. Paolo Arnaud



SCHEMA DI RETE - NUMERAZIONE DEI NODI

TEORIA DEL METODO CINEMATICO LINEARE O METODO DELLA CORRIVAZIONE

Il metodo della corrivazione si basa sulle considerazioni che gocce di pioggia cadute contemporaneamente in punti diversi del bacino impiegano tempi diversi per arrivare alla sezione di chiusura di questo, e che il contributo di ogni singolo punto del bacino alla portata di piena è direttamente proporzionale alla intensità della pioggia caduta nel punto in un istante precedente quello del passaggio della piena del

tempo necessario perché detto contributo raggiunga la sezione di chiusura; questo tempo è caratteristico di ogni singolo punto e invariante nel tempo.

Esiste un *tempo di concentrazione* t_c caratteristico del bacino che rappresenta il tempo necessario perché la goccia caduta nel punto più "lontano" del bacino raggiunga la sezione di chiusura.

La portata massima al colmo si ottiene normalmente per piogge di durata pari al tempo di concentrazione. Per una rete di fognatura urbana il tempo di concentrazione t_c può essere determinato facendo riferimento al percorso idraulico più lungo della rete fognaria fino alla sezione di chiusura considerata, e si calcola come

$$t_c = t_a + t_r$$

dove t_a è il *tempo di accesso alla rete* relativo al sottobacino drenato dal condotto fognario posto all'estremità di monte del percorso idraulico più lungo, e t_r è il *tempo di rete*, dato dalla somma dei tempi di percorrenza di ogni singola canalizzazione seguendo il percorso più lungo della rete fognaria.

Il calcolo del tempo t_a può essere effettuato sulla base di recenti ricerche svolte presso il Politecnico di Milano, con l'applicazione del modello del condotto equivalente, attraverso diverse formulazioni (Mambretti e Paoletti) contenenti i parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica, e parametri geometrici di ogni singolo sottobacino (pendenza media, lunghezza di deflusso superficiale, superficie scolante, coefficiente di afflusso).

Le diverse formule utilizzabili dal programma sono riportate nel testo [1].

Il tempo di rete può essere calcolato con l'espressione classica (Ippolito):

$$t_r = \sum L_i / V_i$$

oppure, sulla base di ricerche svolte presso il Politecnico di Milano (Mignosa, Becciu) con la relazione:

$$t_r = \sum L_i / (1.5 V_i)$$

TEORIA DEL METODO DELL'INVASO LINEARE

Il metodo dell'invaso lineare si basa sul fenomeno della laminazione degli afflussi meteorici svolto dal volume d'acqua $W(t)$ che si deve immagazzinare sulla superficie del bacino sotteso e nella rete di monte, perché attraverso una sezione di un collettore si abbia il deflusso della portata $Q(t)$.

Nella pratica progettuale detto legame viene assunto essere lineare ed espresso dalla relazione:

$$1) \quad Q(t) = \frac{W(t)}{K} \quad (1)$$

Dove K , denominata costante di invaso, ha le dimensioni di un tempo.

Noto l'afflusso netto $I(t)$ e il valore della costante K , è possibile ricostruire l'idrogramma di piena integrando rispetto al tempo t , le equazioni del serbatoio lineare (1) e di continuità:

$$I(t) dt = dW(t) + Q(t) dt \quad (2)$$

in cui:

I afflusso netto sul bacino [m^3/s]

W volume immagazzinato a monte [m^3]

Q portata in uscita dalla sezione [m^3/s]

Nelle condizioni iniziali di rete vuota ($Q=0$ per $t=0$) si ottiene l'espressione, detta "integrale di convoluzione":

$$Q(t) = \int_0^{\tau^*} \frac{1}{K} e^{\frac{-t-\tau}{K}} I(\tau) d\tau \quad (3)$$

$\tau^* = t$ per $t < t_p$

$\tau^* = t_p$ per $t \geq t_p$

dove t_p è il tempo di afflusso

in cui il termine:
$$u(t) = \frac{1}{K} e^{\frac{-t}{K}} \quad (4)$$

rappresenta l'idrogramma unitario istantaneo (IUH) del modello dell'invaso lineare.

Nell'ipotesi che l'afflusso netto $I(t)$ sia costante nel tempo, espresso da $I(t) = \phi i(t_p) S$, la portata al colmo Q_m in uscita dalla sezione del collettore al termine dell'afflusso t_p sarà data da:

$$Q_m = \phi i(t_p) S \left(1 - e^{\left| \frac{-t}{K} \right|} \right) \quad (5)$$

La relazione (5) consente di determinare, nota la curva di probabilità pluviometrica, la durata critica t_c che rende massima la portata al colmo, uguagliandone a zero la derivata rispetto a t_p .

Posto $r = t_p / K$

nel caso di curva di probabilità pluviometrica a due parametri $i = a t^{n-1}$ il massimo della portata al colmo

si avrà per:

$$n = 1 - r \frac{e^{-r}}{1 - e^{-r}} \quad (6)$$

che viene risolta numericamente con il metodo di Newton-Raphson per ricavare il valore di r .

Con riferimento alla curva di probabilità pluviometrica a due parametri, la (5) si potrà scrivere nella forma:

$$Q_m = \phi a S K^{n-1} r^{n-1} (1 - e^{-r}) \quad (7)$$

Il modello del serbatoio lineare risulta essere un modello concettuale globale, in cui tutti i fattori che determinano il complesso formarsi della piena nel bacino sono espressi dall'unico valore della *costante di invaso* K , che assume perciò il significato di un parametro di taratura.

Per la stima della costante di invaso si dispone di diverse espressioni dovute a molti Autori, in funzione delle grandezze che caratterizzano la morfologia del bacino.

Tra queste il programma può utilizzare le relazioni di Desbordes₁ e Desbordes₂ (1975) e Ciaponi e Papiri₁ e Ciaponi e Papiri₂ (1992), riportate rispettivamente nelle Formule (8.23), (8.24), (8.25) e (8.26) del testo Artina S., Paoletti et al., *Sistemi di Fognatura - Manuale di progettazione, Centro Studi Deflussi Urbani, Hoepli, 1997* [2].

TEORIA DEL METODO ITALIANO DELL' INVASO PER CANALI CHIUSI

Il calcolo idraulico di verifica dei collettori viene effettuato con il metodo del volume di invaso, noto in letteratura come metodo italiano dell'invaso, concepito da Paladini (1901) e Fantoli (1904) come metodo di verifica, fu trasformato da Puppini (1923) e Supino (1929) come metodo di progetto [2].

Tale metodo risolve la problematica di un canale di fognatura che serve un'area "A", soggetta ad una pioggia di intensità "I", funzionante senza produrre danni per un tempo "Tc" ottenuto come somma del *tempo "Tr" di riempimento del canale e "Tf" di funzionamento in pressione.*

Nel caso semplice di un canale isolato inizialmente vuoto il tempo di funzionamento compatibile con la data intensità di pioggia è espresso da

$$T_c = T_r + T_f = \frac{V_o}{Q} \cdot \left[\ln \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} + \frac{\gamma}{\varepsilon - \vartheta} \right] \quad (1)$$

$$v = \frac{V_f}{V_o} \quad \theta = \frac{Q_m}{Q} \quad \varepsilon = \frac{\Psi I A}{Q}$$

In cui:

Q = portata a bocca piena con funzionamento a pelo libero.

Valendo nella località la funzione delle massime possibilità pluviometriche $h = at^n$ segue che la pioggia di intensità "I" può durare al più un tempo

$$T_p = \left(\frac{\varepsilon \cdot Q}{\Psi a A} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (2)$$

come si deduce dalla espressione di ε .

Il canale risulta quindi opportunamente proporzionato per una data pioggia quando la durata di quest'ultima sia uguale alla durata di funzionamento del canale, ovvero quando sia

$$\frac{V_o}{Q} \left[\ln \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} + \frac{\gamma}{\varepsilon - \vartheta} \right] = \left(\frac{\varepsilon \cdot Q}{\Psi I A} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

e conseguentemente risulti

$$Q = V_o^{\frac{n-1}{n}} \left(\frac{\Psi \cdot a \cdot A}{\varepsilon} \right)^{\frac{1}{n}} \left[\ln \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} + \frac{\gamma}{\varepsilon - \vartheta} \right]^{\frac{n-1}{n}} \quad (3)$$

La portata "Q" richiesta al canale, con riferimento ad un deflusso a bocca piena e a pelo libero, varia da una pioggia all'altra; la massima portata si richiede per quel valore di ε per cui risulti

$$\frac{dQ}{d\varepsilon} = 0$$

da cui si ricava

$$\frac{dQ}{de} = 0 = n - 1 + \frac{\ln \frac{e}{e-1} + \frac{g}{e-J}}{\frac{1}{(e-1)^2} + \frac{e \cdot g}{(e-J)^2}} = 0 \quad (4)$$

essendo noto n (dato dalla linea segnalatrice valida per la zona considerata, fissati γ e θ , si può allora dedurre \bar{e} che annulla la (4); il valore così ottenuto, sostituito nella (3) permette di conoscere la portata necessaria (a bocca piena e con deflusso a pelo libero) perché il canale possa funzionare senza inconvenienti. Ma si osservi che determinato \bar{e} (e perciò noti n , θ e γ) risulta nota la funzione

$$f(\vartheta, \gamma, n) = \bar{e}^{-\frac{1}{n}} \left[\ln \frac{\bar{e}}{\bar{e}-1} + \frac{\gamma}{\bar{e}-\vartheta} \right]^{\frac{n-1}{n}}$$

la (3) si può allora scrivere nella forma

$$Q = A \cdot f(\vartheta, \gamma, n) \cdot \frac{(\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{v^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}}$$

E riferendosi alle portate per unità di area servita, cioè ad $u = Q/A$, segue

$$u = f(\vartheta, \gamma, n) \cdot \frac{(\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{v^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}} \quad (5)$$

La funzione $f(J, g, n)$ viene calcolata numericamente con il metodo di Newton-Raphson, fornendo i valori che si trovano tabellati in Supino, Le reti idrauliche.

Se il funzionamento del canale è a pelo libero ($\gamma=0$), si ha come valore approssimato

$$u = 2168 \cdot n \cdot \frac{(\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{v^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}} \quad (6)$$

indicando con v tutto il volume invasabile per unità di area servita.

Nelle unità di misura: v in [m], a in [metri-ora⁻ⁿ], u in [litri al secondo per ettaro].

Se si vuole considerare il funzionamento di un canale sotto pressione, si può fare riferimento alla esperienza delle fognature di Milano: in essa i 4/7 del volume invasabile sono occupati dall'acqua durante la fase di riempimento, mentre i restanti 3/7 sono occupati durante il funzionamento in pressione. Mantenendosi prudenti, si può ammettere:

a) che sia $\theta=1$, cioè che durante il funzionamento in pressione la linea dei carichi piezometrici non subisca variazioni rispetto alla fase di riempimento; l'unico vantaggio del funzionamento in pressione essendo quello che il deflusso avviene a bocca piena;

b) che sia $\gamma=0,6$: ciò significa che il 60% del volume invasabile sia occupato dall'acqua durante la fase di riempimento mentre il rimanente 40% è occupato durante il funzionamento a bocca piena. E' chiaro che questa ipotesi è più prudentiale rispetto all'esperienza milanese.

In base alle posizioni a) e b) si ottiene approssimativamente

$$u = 1670 \cdot n \cdot \frac{(\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}}}{v^{\left(\frac{1}{n}-1\right)}} \quad (7)$$

indicando con v tutto il volume invasabile per unità di area servita.

Nelle unità di misura: v in [m], a in [metri-ora⁻ⁿ], u in [litri al secondo per ettaro].

L'analisi della rete viene effettuata iterativamente convergendo al valore della portata di progetto.

Significato dei simboli

T_c = tempo di funzionamento della rete sotto carico senza danni

T_r = tempo di riempimento del canale

T_f = tempo di funzionamento in pressione

I = intensità di pioggia [m/h⁻ⁿ]

A = area del bacino sottesa [ha]

ψ = coefficiente di deflusso

ψ I A = p portata affluente (costante per una data pioggia) [m³/s]

V_f = volume che si riempie durante il funzionamento in pressione del canale

Q_f = portata massima sotto carico senza allagamento stradale

Q = portata a bocca piena del canale a pelo libero

Q_m = (Q + Q_f) / 2 portata media

i_o = pendenza max. ammissibile per la linea dei carichi piezometrici

i_f = pendenza del fondo

γ = V_f / V_o rapporto tra volume invasato con funzionamento in pressione e funzionamento a bocca piena

V_o = volume di invaso quando il canale è pieno

J = Q_m / Q

ε = ψ I A / Q

T_p = tempo di durata della pioggia

h = altezza d'acqua [m]

a, n = coefficienti della scala di deflusso h = a tⁿ; a ed n sono funzione di T_r ed A

T_r = tempo di ritorno

$u = Q / A$ coeff. udometrico [l/sec ha]

$v = V / A$ invaso specifico [m]

$\eta = p_o / Q$ p_o = portata indipendente dalla pioggia

BIBLIOGRAFIA

- [1] Supino, Le reti idrauliche, Patron Ed., 1965
- [2] Artina S., Paoletti et al., Sistemi di Fognatura - Manuale di progettazione, Centro Studi Deflussi Urbani, Hoepli, 1997
- [3] Ippolito G., Appunti di costruzioni idrauliche, Vol. II, Reti di fognatura, Liguori Ed., 1973
- [4] Artina S., Verifica e dimensionamento di reti di fognatura per acque bianche - Manuale di Ingegneria Civile, Vol. III, ESAC, 1989
- [5] Mantica I., Costruzioni idrauliche, Cap. VI - Fognature, 2005
- [6] Cao C., Sul calcolo di progetto delle reti idrauliche col metodo del volume di invaso - X Convegno di Idraulica, 1966
- [7] Gisonni C., Hager W., Idraulica dei sistemi fognari, Springer-Verlag, 2012
- [8] Del Giudice G., Gisonni C., Rasulo G., Metodo Italiano dell'Invaso: un criterio di correzione della ipotesi di funzionamento sincrono della rete, Atti XXV Convegno di Idraulica, Torino, 1996.