

## USAGE - URBAN DATA SPACE FOR GREEN DEAL FINANZIATO DALLA C ALL HORIZON CL6-2021 GOVERNANCE-01 STUDIO IDRAULICO SU UN'AREA PRODUTTIVA PMI NEL COMUNE DI FERRARA



Codice	Rev. n°	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato	Visto
SF_0203	01	OTTOBRE 2023	Prima emissione	DV	DV		

## STUDIO IDRAULICO AREA PRODUTTIVA PMI

Elaborato:

1

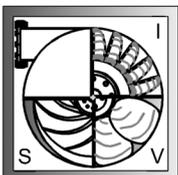
### RELAZIONE TECNICA

Scala :

-

Data: OTTOBRE 2023

FILE:



#### IL PROGETTISTA: ING. DAVID VOLTAN

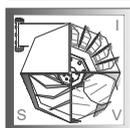
STUDIO VOLTAN INGEGNERIA  
VIA L. EINAUDI, 24 - 45100 - ROVIGO  
Tel 0425 475433  
Fax 0425 475433  
Mob 347 6412123  
email [studiovoltan@libero.it](mailto:studiovoltan@libero.it)  
WEB [www.studiovoltan.altervista.org](http://www.studiovoltan.altervista.org)

## SOMMARIO

1	PREMESSE .....	3
2	INQUADRAMENTO DELL'AREA .....	4
2.1	RETE IDROGRAFICA PRINCIPALE E RETE FOGNARIA.....	4
2.2	CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE E GEOLOGICHE .....	6
2.3	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E ANALISI PLUVIOMETRICA .....	9
2.3.1	RACCOLTA DELLE SERIE STORICHE .....	10
2.3.2	ELABORAZIONE STATISTICA CON IL METODO DI GUMBEL .....	10
2.3.3	CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA .....	12
3	ACQUISIZIONE DATI DELLA RETE FOGNARIA ESISTENTE.....	17
3.1	RETE FOGNARIA .....	20
3.2	IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DI VIA SUTTER .....	22
4	ANALISI MODELLISTICA.....	23
5	VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI A SEGUITO DI DIVERSI SCENARI DI PRECIPITAZIONE .....	32
5.1	SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI.....	32
5.2	SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 5 ANNI.....	35
5.3	SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI.....	39
5.4	SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 25 ANNI.....	41
5.5	SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI.....	43
5.6	SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 100 ANNI .....	46
5.7	SIMULAZIONE CON EVENTO METEORICO DEL 19.08.2022 .....	48
5.8	CONSIDERAZIONI SUL FUNZIONAMENTO DELLA RETE FOGNARIA .....	51
5.9	CONSIDERAZIONI SULL'EVENTO METEORICO DEL 19.08.2022 .....	52
6	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO .....	53
7	ZONE A MAGGIORE CRITICITA' .....	55
7.1	ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA TR 5 ANNI .....	55
7.2	ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA TR 25 ANNI .....	56
7.3	ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA TR 50 ANNI .....	56
7.4	ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA EVENTO METEORICO DEL 19.08.2022.....	57
8	SCHEMATIZZAZIONE DEL LIVELLO DI IMPERMEABILITÀ.....	58
8.1	INDIVIDUAZIONE GRADO DI IMPERMEABILIZZAZIONE MASSIMO .....	59
8.2	INDIVIDUAZIONE DEFICIT VOLUME DI LAMINAZIONE .....	59
8.3	CALCOLO SPEDITIVO DEL DEFICIT DEL VOLUME DI LAMINAZIONE.....	61
8.4	ANALISI DEL DEFICIT DEL VOLUME DI LAMINAZIONE .....	63
9	ANALISI DEL GRADO DI SOFFERENZA DEL COMPARTO PRODUTTIVO .....	64



10	PROPOSTE PROGETTUALI .....	67
10.1	IMPLEMENTAZIONE DELLA RETE DI FOGNATURA.....	67
10.2	IMPLEMENTAZIONE DELL'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DI VIA SUTTER.....	69
10.3	INDIVIDUAZIONE DI POSSIBILI AREE PER VOLUME DI LAMINAZIONE.....	70
10.4	INDIVIDUAZIONE DEI VOLUMI MINIMI DI LAMINAZIONE PER LE FUTURE TRASFORMAZIONI DEL SUOLO .....	73
10.5	VERIFICA DELLE PROPOSTE PROGETTUALI .....	73
11	CONCLUSIONI.....	76



## 1 PREMESSE

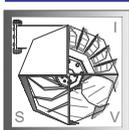
Il presente studio idraulico relativo all'area industriale di Cassana nel Comune di Ferrara, è stato commissionato dalla società S.I.PRO Agenzia Provinciale per lo Sviluppo s.p.A. con sede legale in Ferrara – Castello Estense, nell'ambito del progetto denominato "UsaGE – Urban Data Space for Green Deal" finanziato dalla C all Horizon CL6-2021 Governance-01. Nell'ambito del progetto "Usage" è prevista la redazione di uno studio idraulico su un'area produttiva PMI nel Comune di Ferrara avente l'obiettivo generale di determinare il grado di sofferenza idraulica dell'area produttiva presa in esame a seguito di eventi piovosi estremi, a supporto degli strumenti urbanistici di pianificazione territoriale.



Fig. 1 – Ortofoto con individuazione dell'area di intervento

Lo studio idraulico richiesto è relativo alla zona PMI ubicata in loc. Cassana, posta a ovest del centro del capoluogo Emiliano. La superficie complessiva è pari a circa 160 Ha. I contenuti specifici dello studio dovranno illustrare i seguenti argomenti:

1. Inquadramento dell'area, con descrizione della rete idrografica principale, delle caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche e idrologiche, analisi pluviometrica, schematizzazione della rete fognaria e delle sue interconnessioni con il reticolo idrografico;
2. Acquisizione da Hera della rete fognaria e trasposizione della stessa nel modello di simulazione, realizzazione di rilievi topografici ad hoc per acquistare informazione sui nodi idraulici necessari alla simulazione;
3. Analisi modellistica attraverso software quali EPASWMM5 delle reti fognarie a servizio dell'area, sollecitati dai deflussi di cui al punto precedente, analisi delle possibili criticità ed individuazione delle possibili soluzioni;
4. Valutazione dei deflussi a seguito di diversi scenari di precipitazione;



5. Schematizzazione del livello di impermeabilità e realizzazione di una mappa di rischio anche con individuazione di possibili aree in cui realizzare volumi di accumulo di acqua;
6. Analisi delle condizioni di pericolosità: stima del livello di sofferenza del comparto produttivo e la conseguente capacità di sopportare piogge consistenti. In particolare l'area sarà analizzata sulla base della suddivisione in sottoaree differenziate rispetto al grado di sofferenza ad esempio indicando a quale quantitativo di pioggia ogni singola sottoarea definita puo' far fronte;
7. Individuazione di aree di pericolosità idraulica per le quali è necessaria la de-sigillazione ovvero una definizione del grado di impermeabilizzazione massimo;
8. Proposta di modifica / implementazione della rete di fognatura;
9. Realizzazione di una cartografia con la zonizzazione in aree a diversi coefficienti udometrici.

## 2 INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area oggetto di studio è ubicata nella zona occidentale del capoluogo, confina a nord con via Diamantina e il canale Consortile Canl Bianco, a est con l'asse autotradale A13 Bologna-Padova, a sud con il Canale Emissario di Burana e a ovest con via Orazio Poltronieri e via Canale Cittadino. La superficie complessiva dell'area oggetto di studio è pari a circa 160 Ha, come evidenziato nell'immagine successiva.

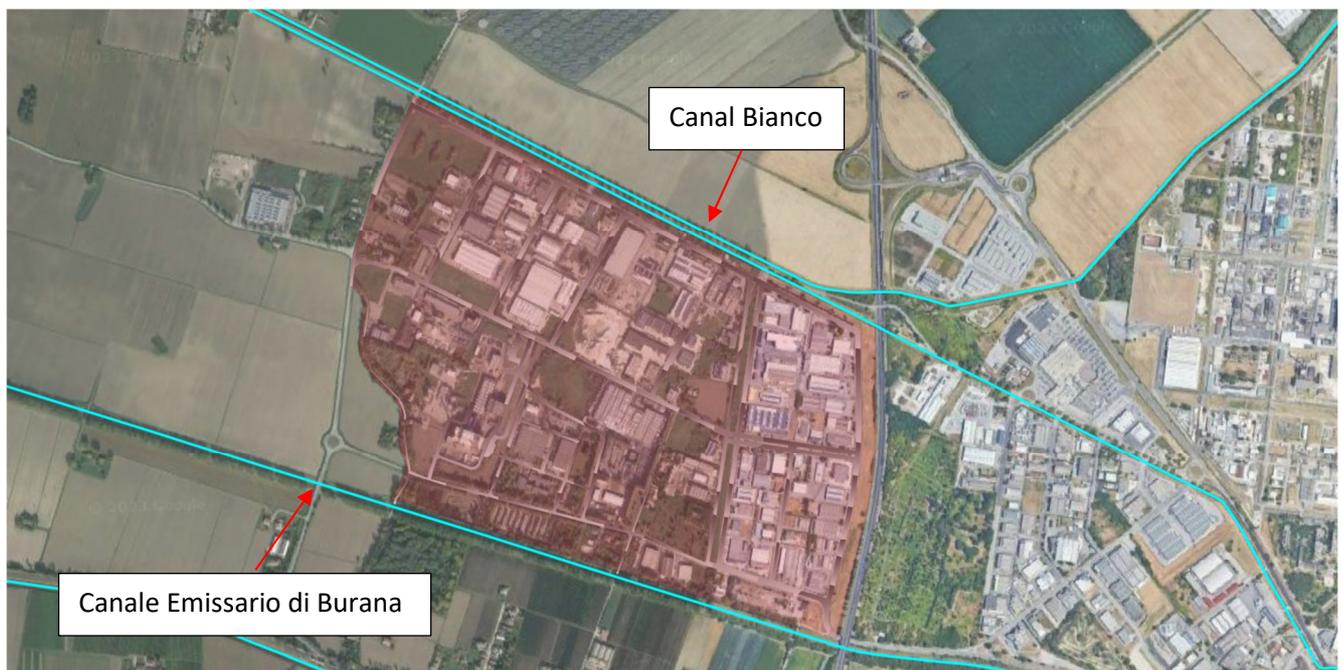
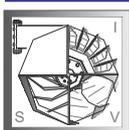


Fig. 2 – Inquadramento dell'area – S~ 160 Ha

### 2.1 RETE IDROGRAFICA PRINCIPALE E RETE FOGNARIA

I corsi d'acqua principali che rappresentano i recapiti delle acque meteoriche dell'area industriale sono il Canale Cittadino che scola la parte nord e est della superficie dell'area PMI di Cassana (circa 120 Ha pari a circa il 75%



dell'intera superficie) e il Canale Emissario di Burana ricettore della rimanente quota parte dell'area (pari a circa 40 Ha pari a circa il 25% dell'intera superficie).



Fig. 3 – Suddivisione delle aree scolanti a nord nel Canale Cittadino e a sud nel Canale Emissario Burana

Le reti fognarie adibite alla raccolta e smaltimento delle acque meteoriche sono asservite a punti di scarico diversi: la rete fognaria a servizio del comparto nord è di tipo mista, ed è costituita da tubazioni di diametro variabile da monte verso valle dal DN 600 alla sezione ovoidale 1700x1500 e recapita, tramite una sezione scatolare di dimensioni nette pari a circa 2100x1900 mm, all'interno di un impianto di sollevamento sito in via Sutter, gestito da Hera, costituito da un manufatto di dimensioni in pianta pari a circa 95 mq dotato di n° 1+1 elettropompe aventi potenza nominale pari 3 kW/cad per il sollevamento delle acque nere e il loro collettamento a depurazione e n°4 elettropompe per il sollevamento delle acque bianche e scarico nel Canale Cittadino. L'impianto di sollevamento acque bianche è costituito da 4 elettropompe sommergibili, di cui n°2 aventi potenza nominale pari a 18 kW/cad e portata nominale nel punto di lavoro pari a circa 350 l/s e n°2 aventi potenza nominale pari a 29,5 kW/cad e portata nominale nel punto di lavoro pari a circa 700 l/s (dati forniti dal Gestore). Le elettropompe per acque bianche possono funzionare in parallelo nella configurazione n° 1 x 18 kW + n° 1 x 29.5 kW, le altre due elettropompe di pari potenza ricoprono la funzione di riserva attiva. In caso di estrema necessità tutte le elettropompe per acque bianche possono essere attivate raggiungendo il massimo assorbimento consentito dal



quadro elettrico di comando esistente. Hera S.p.a. ha in animo la sostituzione degli attuali quadri elettrici di comando.

La seconda rete fognaria, per acqua bianca, è a servizio del comparto sud ed è costituita da tubazioni di diametro variabile da monte verso valle dal DN 600 al DN 1400, tale rete recapita, con scarico a gravità, nel Canale Emissario di Burana gestito dalla Regione Emilia Romagna - Settore Sicurezza Territoriale e Protezione Civile sede di Ferrara.

## 2.2 CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE E GEOLOGICHE

Situato nella parte nord-orientale della Regione Emilia-Romagna, il territorio del Comune di Ferrara si estende nella bassa pianura alluvionale del Po e ricade all'interno dei Fogli 185 "Ferrara", 186 "Copparo", 203 "Poggio Renatico" e 204 "Portomaggiore", prodotti dall'Istituto Geografico Militare in scala 1:50.000.

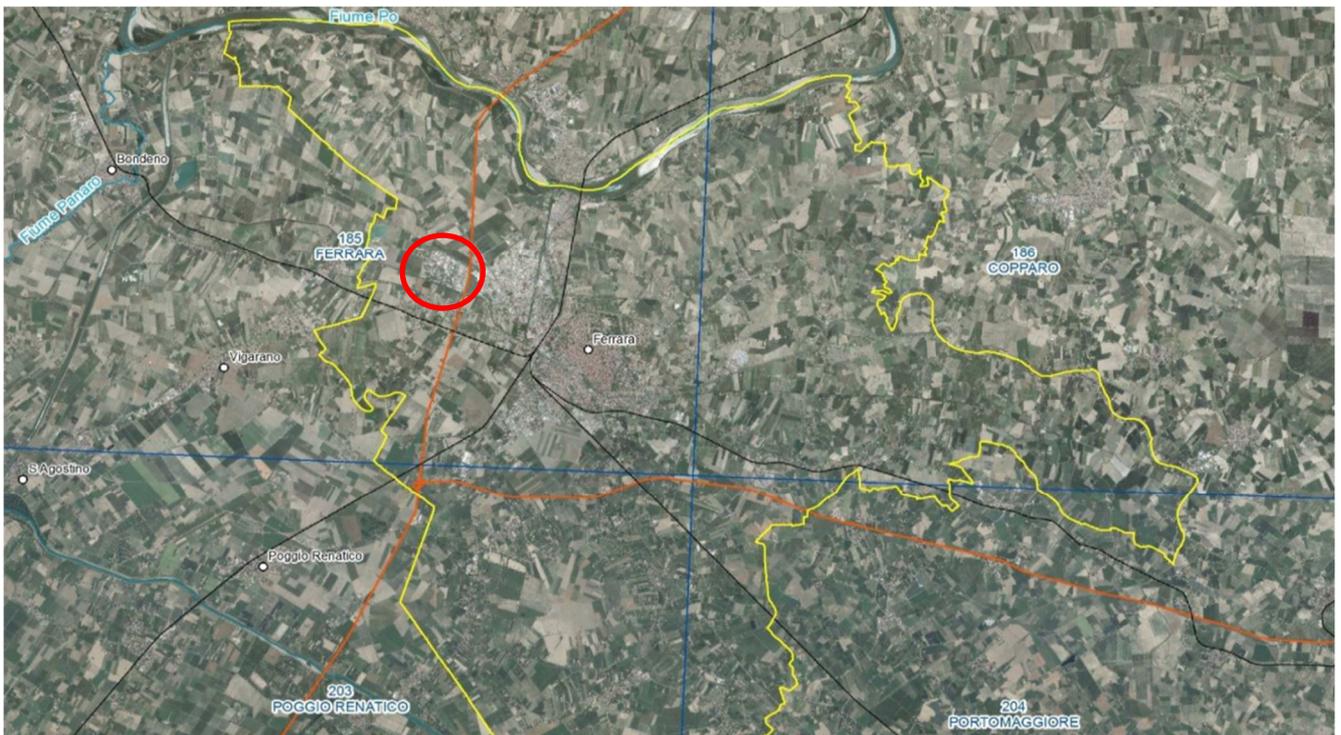
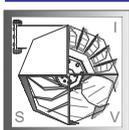


Fig. 4 – Inquadramento dell'area di studio su ortofoto AGEA 2011

Dal punto di vista geomorfologico, la Carta Geomorfologica della Pianura Padana alla scala 1:250.000 (Castiglioni et al., 1998) risulta ancora essere uno strumento fondamentale per la comprensione di tutte le pianure dell'Italia settentrionale. La rappresentazione del territorio ferrarese, curata da Marco Bondesan, appare molto convincente nonostante la necessità di una forte sintesi dovuta alla scala utilizzata e di una rappresentazione grafica non sempre intuitiva. In questa carta sono rappresentati tutti i corpi di paleoalveo principali affioranti, le depressioni interalvee, le zone di colmata artificiale, i ventagli da rotta.



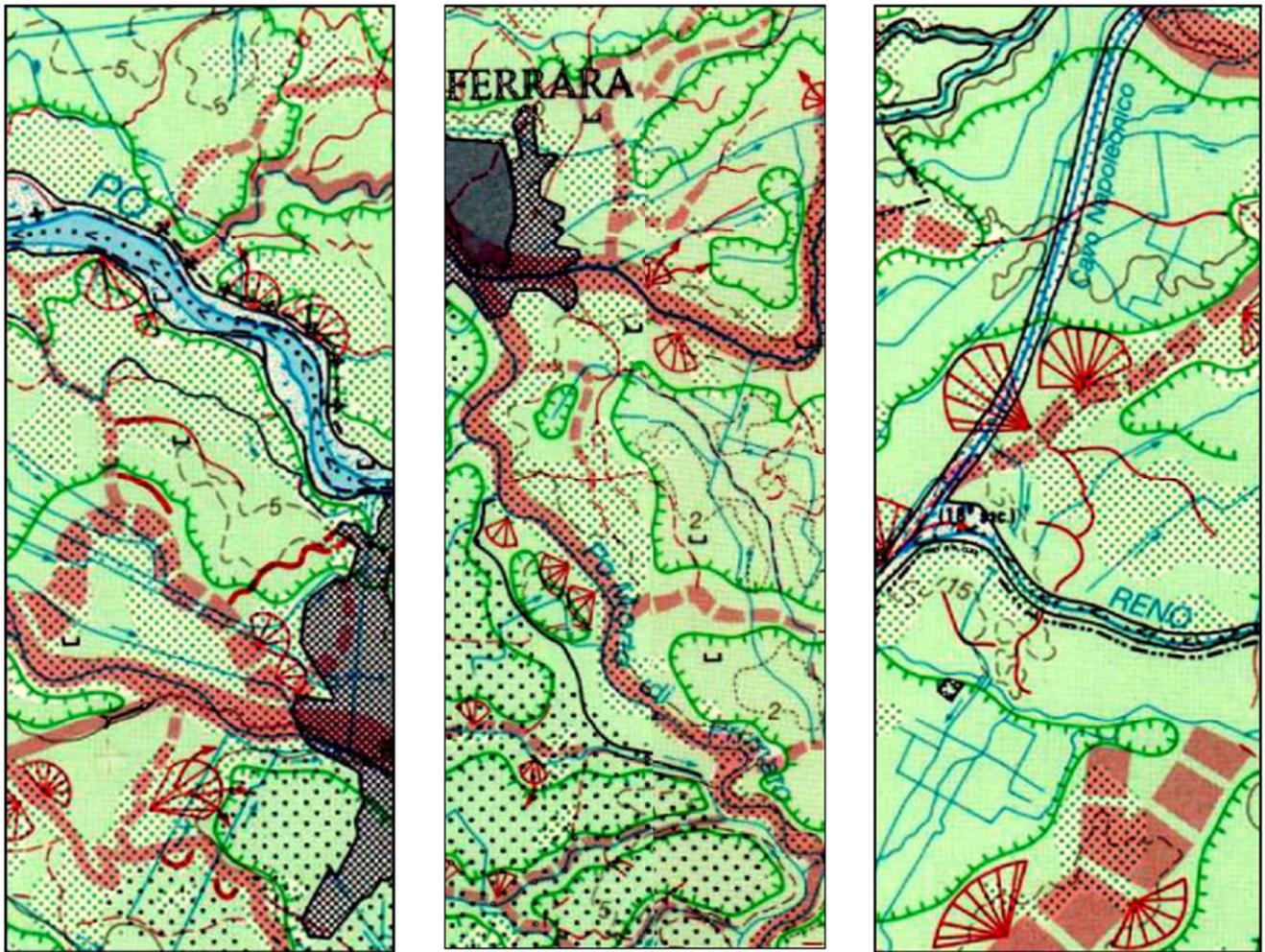


Fig. 5 – Stralci della carta Geomorfologica della Pianura Padana

La morfologia del territorio risulta quindi caratterizzata da un articolato microrilievo, costituito da dossi fluviali ed estesi corpi di argine naturale che sfumano in depressioni interalvee; tali caratteristiche risultano estremamente evidenti grazie alle tecniche di telerilevamento laser (LIDAR), che permettono una ricostruzione altimetrica di elevato dettaglio. Nel dettaglio, il territorio di Ferrara può essere suddiviso in tre grandi settori con caratteristiche distintive nette: pianura a meandri del fiume Po – in gran parte di età pre-romana –, bassa pianura alluvionale e deltizia del Po – accumulate in età pre-romana, romana e medievale –, pianura alluvionale di fiumi appenninici, di età moderna, circostante e della piana deltizia, ma al contrario mostrano morfologie arcuate e poco accentuate. Prima delle arginature artificiali di età storica, in questa area non si svilupparono fiumi pensili veri e propri, anzi, alvei più recenti presentano relazione di intersezione erosiva “a livello”, tanto che alvei di diversa età si ritrovano alla stessa quota, se non addirittura debolmente incassati e terrazzati. Subito ad occidente del territorio comunale, infatti, i depositi meandriformi recenti del Panaro risultano topograficamente più bassi di quelli del Po medievale ed antico. L’alveo romano e medievale del Po di Ferrara, posto al limite meridionale di tale settore, presenta invece una netta sopraelevazione morfologica, in buona parte legata alle massicce arginature artificiali di età storica. Totalmente arginato appare anche l’attuale corso del Po, che però, fra Ficarolo e Pontelagoscuro,



presenta una pensilità sulla piana circostante assai ridotta o addirittura assente e comunque di origine assai recente. Le uniche vere aree morfologicamente depresse corrispondono alla Diamantina, situata appena ad occidente del limite comunale, ed alla zona circostante l'area di servizio "Po", lungo l'Autostrada A13 Bologna-Padova. Tali caratteristiche morfologiche risultano estremamente evidenti grazie alle tecniche di telerilevamento laser (LIDAR), che permettono una ricostruzione di elevato dettaglio dell'altimetria al suolo (figura successiva).

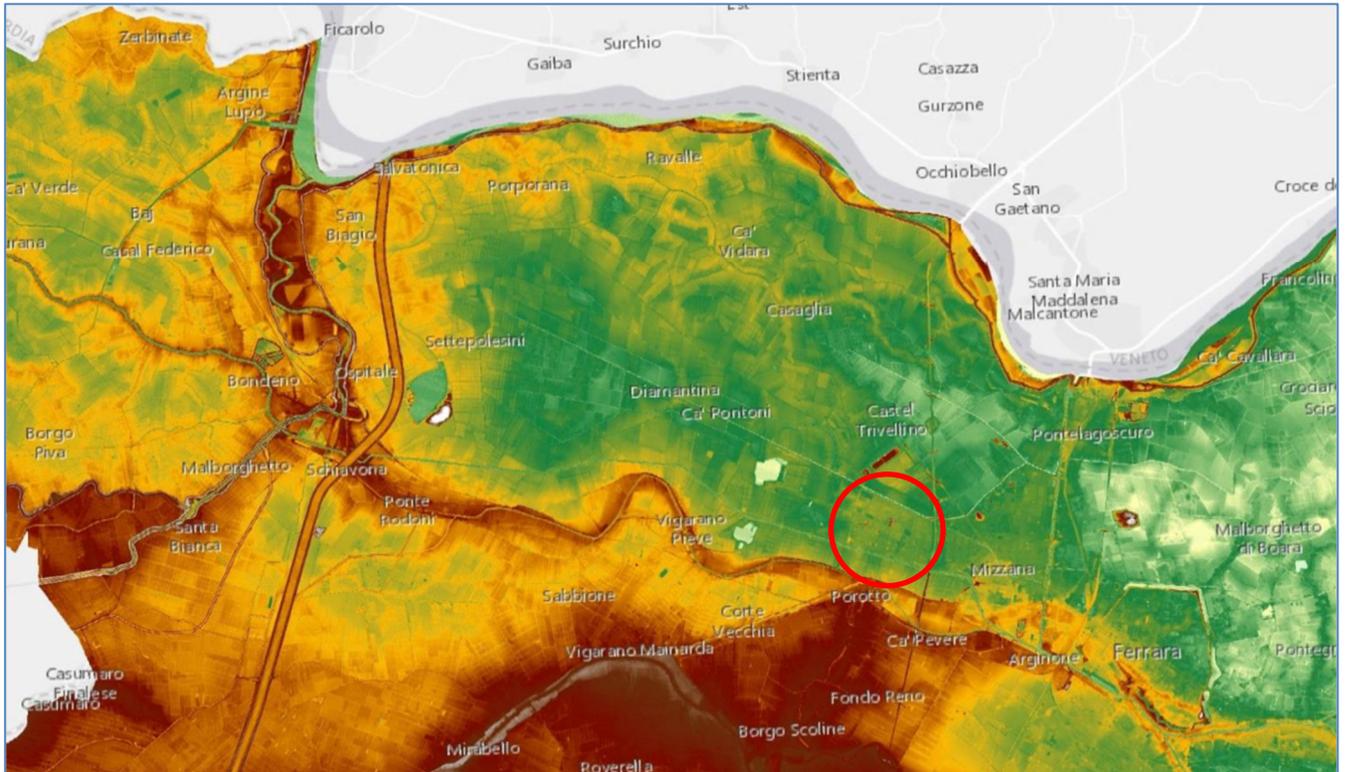
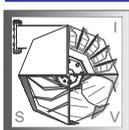


Fig. 6 – Cartografia LIDAR

### Bassa pianura alluvionale e deltizia del fiume Po

A valle di Pontelagoscuro e Cassana l'area di studio mostra i classici caratteri distintivi della bassa pianura alluvionale. I corpi di paleoalveo, formati negli ultimi 2000 anni, costituiscono pronunciati dossi allungati, decisamente sopraelevati sulle ampie depressioni interalvee circostanti, che corrispondono a forme morfologiche chiuse, in buona parte sede di ristagno di acque fino a prima delle bonifiche idrauliche dell'epoca industriali. Nella parte sud-orientale del Comune, a sud di Cona e nella zona dei Prati di Palmirano, queste depressioni si trovano attualmente anche al di sotto del livello del mare. I corpi fluviali più antichi sono progressivamente livellati e sepolti da sedimenti successivi, soprattutto di piana interalvea, tanto da perdere progressivamente la propria espressione morfologica, fino a scomparire nel sottosuolo. Ben evidente, appena ad est del nucleo cittadino, appare l'apertura del delta padano con la separazione dei due maggiori canali distributori del Primaro, a sud, e del Volano, a nord. Questi canali, il cui sviluppo avvenne in epoca altomedievale, rappresentano ancora oggi gli elementi morfologici più rilevanti di questo settore orientale del Comune di Ferrara. Anche se meno rilevato risulta ancora ben visibile l'alveo dell'Eridano di ordine pre-romana.



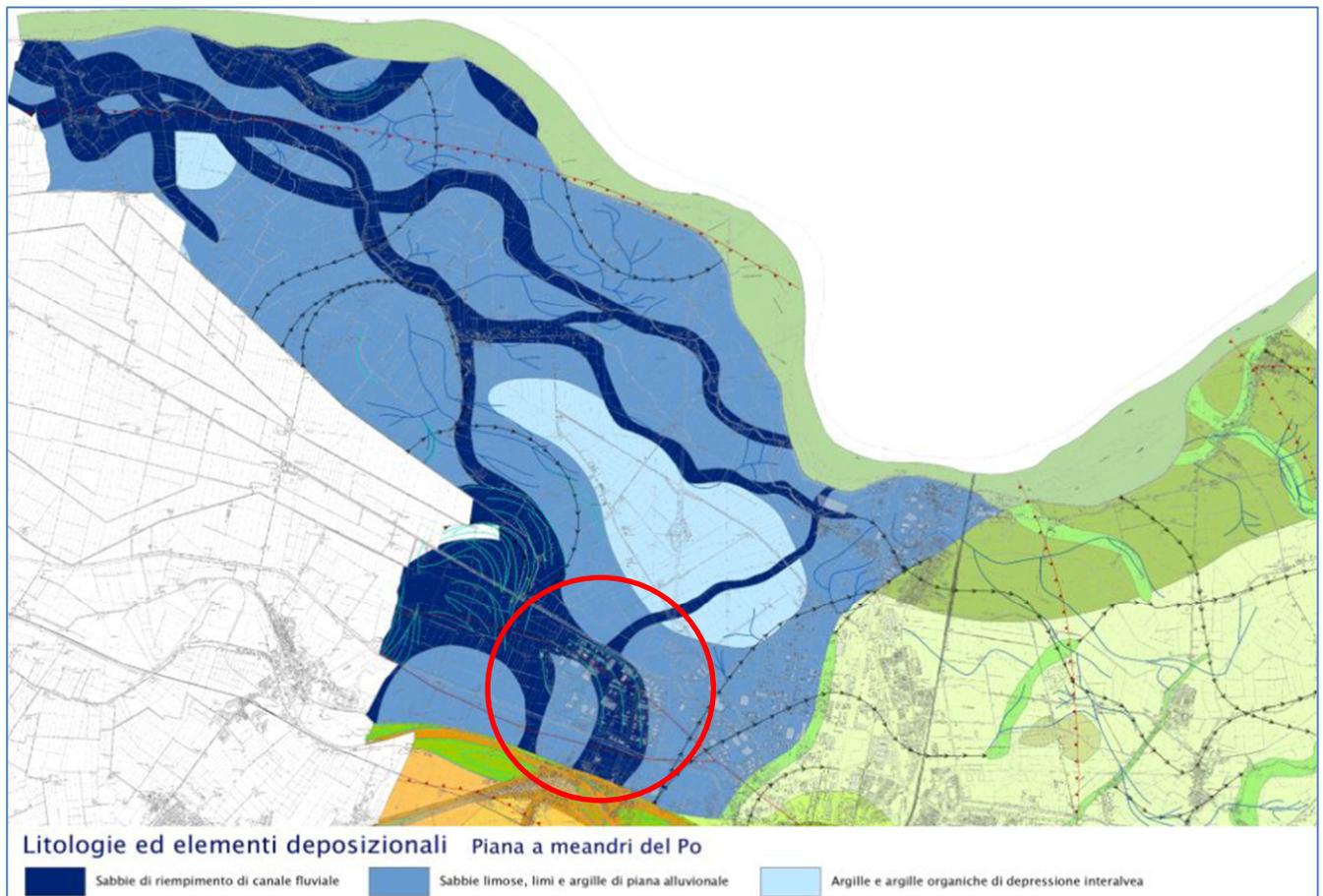


Fig. 7 – Stralcio della Carta Geologica del Comune di Ferrara (2015)

I depositi formano la parte nord-occidentale del territorio comunale, ove affiorano ampi corpi di sabbie a meandro o di paleoalveo fortemente sinuoso, alternati a depositi più fini di interalveo. Affiorano qui i sedimenti più antichi di tutto il territorio comunale, ascritti al Subsistema di Ravenna (AES8). La presenza di queste strutture meandriiformi è in parte legata al rimaneggiamento di precedenti sabbie singlaciali (AES7); ciò ha permesso lo svilupparsi, anche in questa fascia di bassa pianura, di morfologie simili a quelle di aree poste molto più a monte lungo il corso del Po, come ad esempio fra Piacenza e Sabbioneta.

### 2.3 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E ANALISI PLUVIOMETRICA

Lo studio del regime pluviometrico riguardante il territorio oggetto dello studio costituisce la base per la successiva determinazione dei valori delle portate meteoriche di massima piena con assegnato un dato tempo di ritorno. Si tratterà quindi di determinare una relazione tra la massima altezza di precipitazione e la corrispondente durata dell'evento piovoso, il tutto associato ad un prefissato tempo di ritorno. In assenza di studi statistici delle piogge dell'area in esame, in generale sviluppati in sede di redazione degli strumenti di pianificazione urbanistici, si effettua l'analisi pluviometrica tramite i metodi classici dell'idrologia.



### 2.3.1 RACCOLTA DELLE SERIE STORICHE

L'elaborazione dei dati pluviometrici forniti da una stazione di misura delle piogge si svolge ricercando la relazione esistente tra l'altezza  $h$  delle precipitazioni e le loro durate  $\tau$ . Affinché le deduzioni siano attendibili, è necessario che il periodo di osservazione sia sufficientemente esteso nel tempo: si ammette che un periodo non inferiore a 30-35 anni possa dare un discreto fondamento all'elaborazione. Per il caso in esame sono stati raccolti i dati storici relativi al valore di altezza di precipitazione massima annuale per aventi di durata pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore per la stazione pluviometrica di Ferrara per gli anni che intercorrono dal 1949 al 2011.

Le relazioni  $h = h(\tau)$  sono generalmente date nella formula:

$$h = a\tau^n$$

Nella quale le costanti  $a$  (funzione *del periodo di ritorno*  $Tr$ ) e  $n$  sono determinate caso per caso. Le curve che si deducono sono dette *curve segnalatrici di possibilità climatica o pluviometrica*. La determinazione di tali curve è stata ottenuta attraverso l'elaborazione dei dati dapprima secondo il metodo dei casi critici, per avere un'idea immediata dell'entità del fenomeno, e quindi, tramite la metodologia di Gumbel.

I valori di  $a$  e  $n$  ricavati dall'analisi statistica dei dati raccolti dal pluviometro di Ferrara sono stati confrontati con i medesimi valori della Curva di Possibilità Pluviometriche di Gaibanella (FE) forniti dal Consorzio di Bonifica Ferrara al fine di determinare quale curva rappresenti l'evento meteorico più gravoso.

### 2.3.2 ELABORAZIONE STATISTICA CON IL METODO DI GUMBEL

Le equazioni dei casi critici non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento col valore della sua frequenza probabile, ovvero non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. Volendo arrivare a conclusioni più accurate intorno a questo aspetto, si può determinare quale sia il periodo di anni, detto *tempo di ritorno*  $Tr$ , nel quale *un determinato evento sia mediamente eguagliato o superato*.

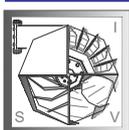
Come per il metodo dei casi critici, la rappresentazione dell'evento pluviometrico di una certa durata  $\tau$ , viene effettuata mediante una *curva di regolazione regolarizzatrice* caratterizzata dall'equazione  $h = a\tau^n$ , dove  $h$  viene indicata l'altezza di pioggia caduta nell'intervallo di tempo  $\tau$ ,  $a$  e  $n$  sono dei coefficienti determinati statisticamente nel modo esposto di seguito.

Alle precipitazioni massime di data durata, intese come eventi estremi che costituiscono una serie di elementi fra loro indipendenti, può applicarsi la seguente descrizione statistica, comune, com'è noto, a molte serie idrologiche:

$$H(T_r) = \bar{H} + F * S_H$$

Essendo:

- $H(T_r)$  il valore dell'evento caratterizzato da un periodo di ritorno  $T_r$ , ossia l'evento che viene eguagliato o superato, mediante ogni  $T_r$  anni;
- $\bar{H}$  il valore medio degli eventi considerati;
- $F$  il fattore di frequenza;
- $S_n$  scarto quadratico medio della variabile in esame (altezza di pioggia).



Una tra le distribuzioni di probabilità più usate è la distribuzione doppio-equipotenziale negativo, detta di *Gumbel*; la quale assegna a  $F$  l'espressione:

$$F = \frac{Y(T_r) - \bar{Y}_N}{S_N},$$

essendo la grandezza  $Y(T_r)$  la cosiddetta *variabile ridotta*, mentre  $\bar{Y}_N$  e  $S_N$  rappresentano la *media* e lo *scarto quadratico medio* della variabile ridotta: esse sono funzioni del numero  $N$  di osservazioni. I valori di tali parametri sono facilmente calcolabili con le seguenti relazioni:

$$\bar{Y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i,$$

$$S_N = \left[ \frac{1}{N-1} \sum (Y_i - \bar{Y}_N)^2 \right]^{1/2}.$$

Operando la sostituzione di  $F$  si ottiene:

$$H(T_r) = \bar{X} - \frac{S_H}{S_N} \bar{Y}_N + \frac{S_H}{S_N} Y(T_r);$$

Dove:

1.  $\bar{X} - \frac{S_H}{S_N} \bar{Y}_N$  è la *moda* ed indica il valore con massima frequenza probabile;
2.  $\frac{S_H}{S_N}$  è il fattore chiamato *alpha*.

La funzione  $Y(T_r)$  è legata a  $T_r$  dalla relazione:

$$Y(T_r) = \ln \left( -\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right).$$

Ordinati gli  $N$  eventi disponibili (anni d'osservazione) in ordine crescente e numerati da 1 a  $N$ , l'evento caratterizzato dall' $i$ -esima ha ascissa  $T_r$  pari a:

$$T_r = \frac{N+1}{i}.$$

A ciascun evento di una serie di  $N$  dati, si può far quindi coincidere una serie di  $N$  variabili ridotte  $Y(i)$ , dipendenti dal solo numero dei dati della serie e dalla posizione occupata:

$$Y(i) = -\ln \left( -\ln \frac{N+1-i}{N+1} \right).$$

Riscrivendo diversamente la funzione precedentemente riportata otteniamo la relazione:



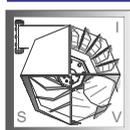
$$h(T_r) = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left( \ln \frac{T_r}{T_r - 1} \right)$$

Attraverso la quale si possono ottenere valori di altezza di pioggia massimi in relazione al *tempo di ritorno* considerato.

### 2.3.3 CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

Per il caso in esame si è provveduto all'individuazione delle altezze massime di pioggia registrate per la durata di 15 -30-45 minuti (piogge intense) e 1, 3, 6, 12, 24 ore. I dati si riferiscono alla stazione pluviometrica di Ferrara e riguardano osservazioni dal 1949 al 2020 (ad esclusione dell'anno 2006) per un totale, nel caso della serie piu' completa, di 69 dati, secondo la seguente tabella:

PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITA' (1949-2020) - stazione Ferrara Urbana (ARAPE) [mm]								
Anno	Durata (min)			Durata (ore)				
	15	30	45	1	3	6	12	24
1949				13,4	22	27	32,8	56,2
1950				17,4	20,6	26,4	29,8	30
1951				15,6	27	43	68,8	86,4
1952				27,6	32	32	32,6	47,8
1953				30,4	33,4	40,6	43,2	53,8
1954				29,8	36	36	40,2	42,4
1955				52,4	53,4	56,6	86,4	92,6
1956				23	24,6	24,8	24,8	30,6
1957				18,4	23,4	24,4	31,2	50,6
1958				20	29,8	45,6	77	90,2
1959				20,4	21,4	34,4	39,6	75,2
1960				30,6	50,6	61,4	75,4	81,8
1961				14,6	23,8	28,8	33,2	36,2
1962				14,6	21,6	29,2	35,2	37
1963				40	43,4	43,4	43,4	43,4
1964				15,4	17,8	23,8	25	26,2
1965				18,8	26,8	29,2	32,2	39,8
1966				90	107,8	110,2	110,2	157,8
1967				29	32	32	33,4	34
1968				33,2	35,2	35,2	35,4	39,8
1969				31	31,2	42,6	47	47
1970				24	25,4	26,2	26,2	29,6



1971				18,4	20,4	20,6	23,2	24,6
1972				14,6	23	23,2	29,8	32,6
1973				22,8	36,4	47,8	58,8	84,4
1974				16	29	31,4	32,4	46,4
1975				28,6	34,6	34,8	35,2	42,8
1976				50,6	58	58,2	58,2	70
1977				26	37,4	40	42,6	42,8
1978				31,4	43,2	45	45,6	67
1979				22,2	39	52,6	70,6	122,2
1980				23,80	27,20	27,40	36,20	61,20
1981		31,40		31,40	44,20	48,40	55,60	59,40
1982	14,60	24,00		31,00	51,80	51,80	51,80	57,00
1983		16,00		23,00	27,80	28,60	36,00	53,20
1984		17,40		20,00	26,60	27,40	44,00	57,80
1985		17,20		17,20	17,20	17,20	31,60	33,60
1986		24,00		31,20	41,00	53,00	55,00	56,40
1987	15,60			18,20	18,40	20,40	28,80	42,00
1988	20,60			23,80	34,20	41,00	41,60	51,00
1989		28,20		32,60	46,20	56,40	56,40	63,60
1990	11,00	16,00	20,80	23,80	39,40	48,20	69,00	70,80
1991	21,60	42,80	48,00	51,20	53,40	53,40	53,40	53,60
1992	10,20	11,20	13,00	15,00	25,00	25,40	29,20	48,20
1993	5,00	8,40	11,20	13,40	27,00	32,00	42,40	42,40
1994	11,40	14,20	15,40	17,00	28,80	43,40	45,40	67,80
1995		15,80		16,40	20,20	25,40	34,20	46,40
1996		40,00		41,00	43,80	46,40	55,40	71,00
1997		33,40		38,60	39,80	39,80	46,20	66,00
1998		16,60		20,20	26,00	33,00	36,60	38,60
1999				22,80	36,20	36,60	44,20	50,20
2000		26,60		29,00	42,40	42,60	59,00	64,80
2001		20,40		36,60	60,80	65,00	75,20	81,00
2002		16,00		24,80	40,80	44,80	48,00	48,20
2003		23,00		45,80	46,60	46,60	51,00	52,00
2004	7,80	12,60	14,60	16,60	21,20	23,20	29,20	42,60
2005				28,80	31,40	31,40	36,20	58,00
2006								
2007	27,80	33,80	37,40	39,20	43,00	43,40	44,60	47,80
2008	17,80	30,40	35,80	38,60	45,60	52,20	52,40	72,00
2009	8,00	12,40	16,00	11,20	23,80	27,60	37,00	40,00
2010	14,80	26,60	32,00	37,00	60,00	69,20	91,20	109,60
2011	18,80	13,60	15,20	16,40	18,00	18,60	24,20	24,20
2012	18,60	31,00	41,40	53,80	56,80	57,40	57,40	57,40
2013	12,00	18,00	20,00	21,20	37,60	39,00	39,20	40,20
2014	20,60	23,20	25,60	25,80	41,60	49,40	55,00	63,80
2015	12,00	12,80	15,00	17,80	27,80	27,80	29,20	36,80
2016	15,40	24,00	25,40	25,40	29,60	40,60	52,80	64,40
2017	18,60	32,80	37,20	41,00	44,60	44,60	44,60	44,60
2018	15,80	21,80	28,60	35,20	41,60	41,80	43,40	43,60
2019	19,60	35,40	36,00	36,00	36,00	36,20	40,40	41,60
2020	17,60	20,80	21,80	22,00	22,80	30,40	39,20	39,20

I parametri della curva di possibilità pluviometrica risultano:



TR	piogge < 1ora		piogge 1-24 ore	
	a	n	a	n
2	27,79	0,454	25,48	0,216
5	39,59	0,510	36,05	0,203
10	47,42	0,533	43,05	0,197
25	57,33	0,554	51,87	0,193
50	64,69	0,566	58,42	0,190
100	71,99	0,576	64,92	0,188

Fig. 8 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica (Ferrara)

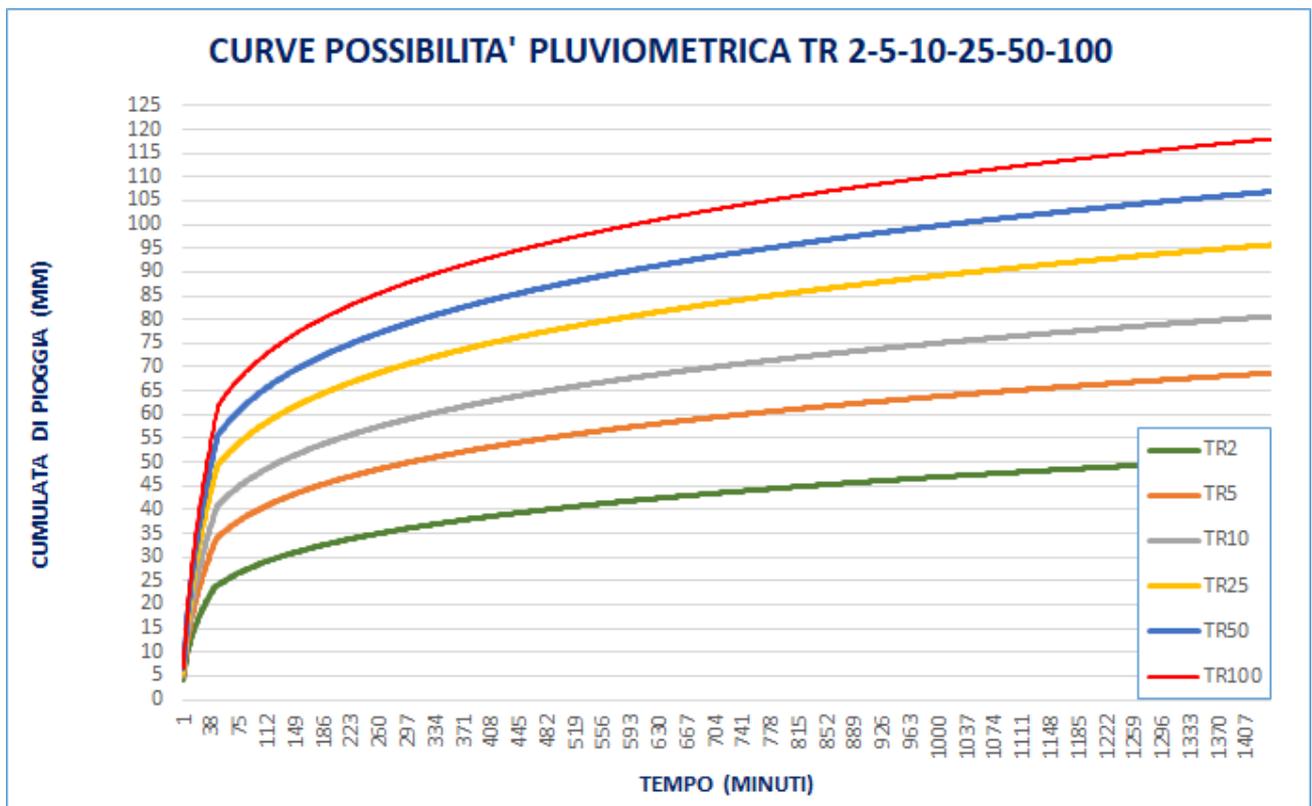
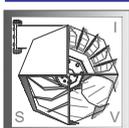
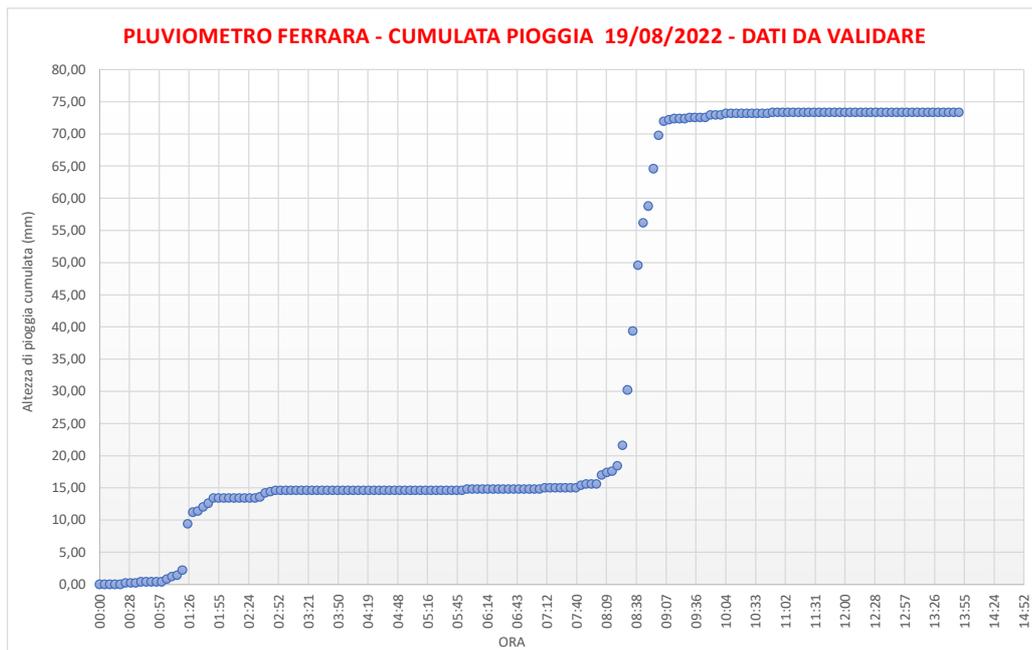


Fig. 9 – Grafico curve di possibilità pluviometrica (Ferrara)

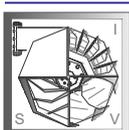
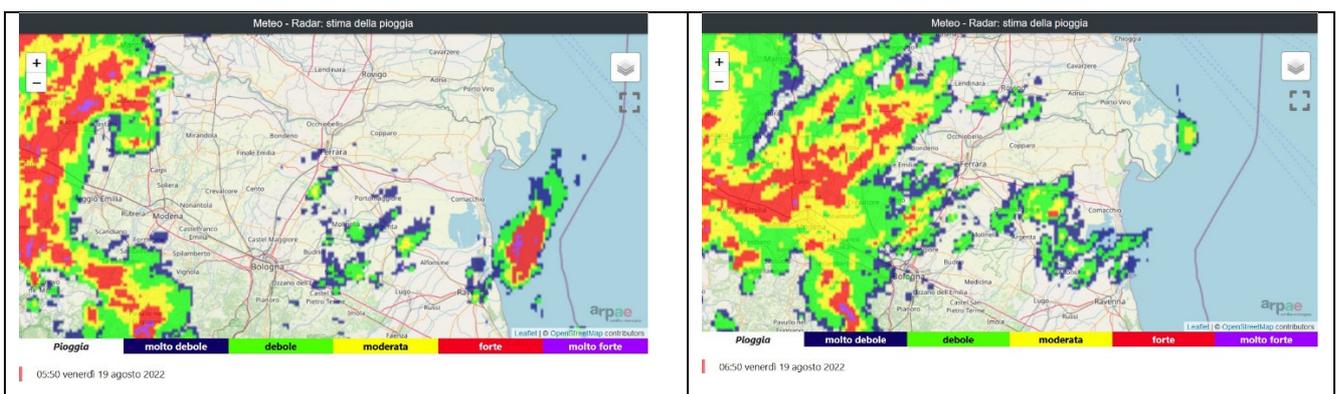
Oltre alle curve di possibilità pluviometrica precedentemente calcolate, nel presente studio si farà riferimento ai dati di pioggia dell'evento meteorico del 19.08.2022 che ha causato l'allagamento di vaste aree del capoluogo. Tali dati non sono reperibili dal pluviometro di ARPA e quindi si è fatto riferimento alla registrazione della stazione pluviometrica "Ortobotanico" di Ferrara (i dati non risultano però validati da ARPA). Si riporta di seguito il grafico elaborato dalla Scrivente relativo alla cumulata di pioggia.

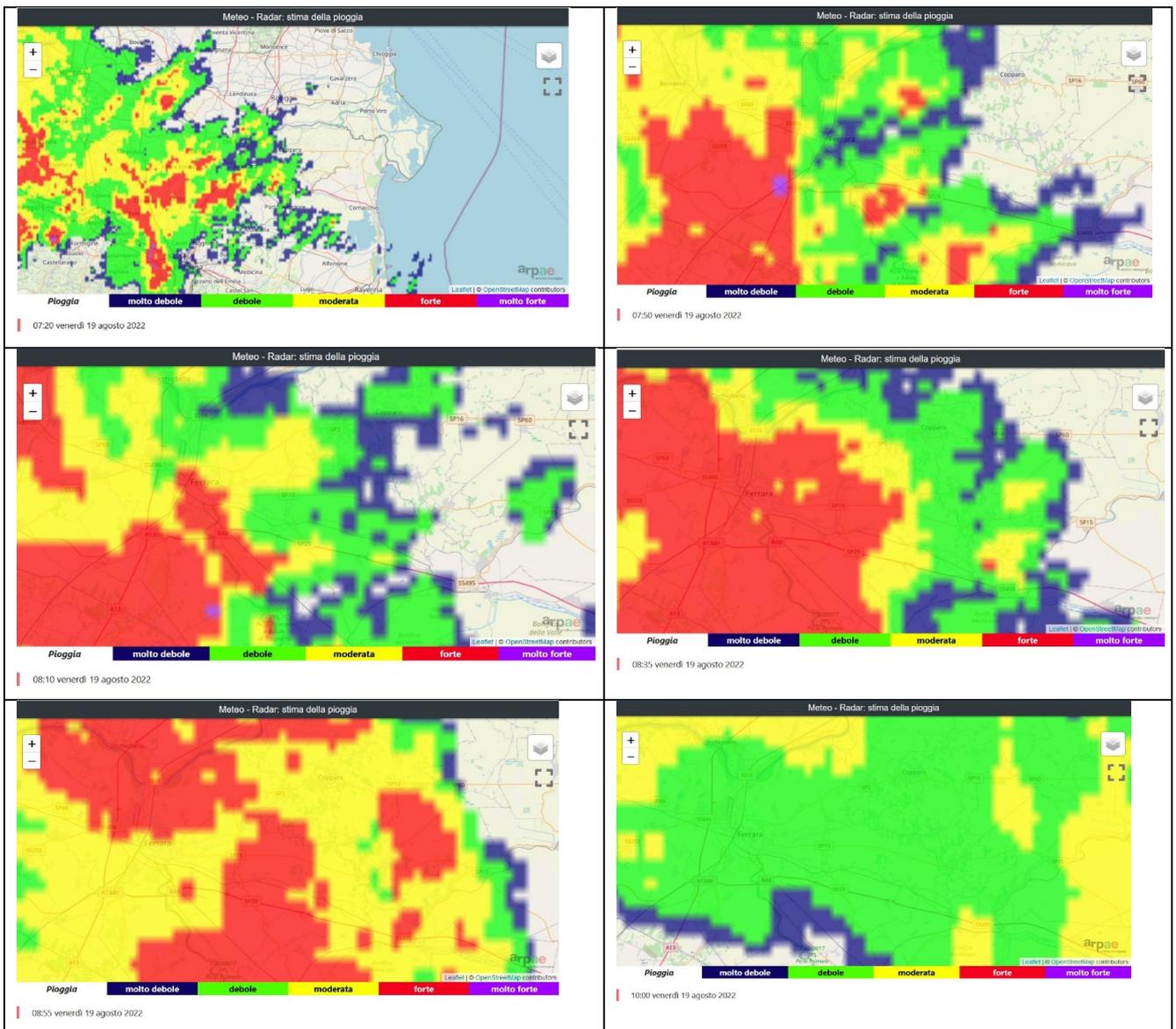




**Fig. 10 – Grafico cumulata di pioggia evento meteorico del 19.08.2022**

L'evento meteorico ha avuto inizio alle ore 01:00 ed è terminata alle ore 03:00 registrando una cumulata di pioggia pari a circa 15,6 mm. Una seconda perturbazione si è spostata dagli appennini verso il mare, raggiungendo Ferrara alle ore 8:00. Tale seconda perturbazione, a carattere di rovescio, è risultata molto piu' intensa della prima, registrando una cumulata di pioggia di oltre 56,4 mm tra le ore 8:05 e le ore 9:05. Con un'intensità media pari a 56,4 mm/h e un picco di intensità, alle ore 8:35 pari a circa 10,2 mm / 5 minuti. Tale seconda perturbazione ha provocato vasti allagamenti del centro storico del capoluogo e della zona oggetto del presente studio. Di seguito vengono riportate alcune immagini radar che dimostrano lo sviluppo temporale della seconda perturbazione del 19.08.2022.

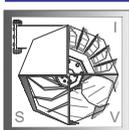




**Fig. 11 – Immagini radar evento meteorico del 19.08.2022**

Data l'intensità dell'evento e dati gli effetti al suolo registrati, la Committenza ha richiesto la simulazione idraulica del modello della rete fognaria dell'area industriale di Cassana, utilizzando quali dati di input le curve di possibilità pluviometrica calcolate in precedenza per i diversi tempi di ritorno e la cumulata di pioggia dell'evento del 19.08.2022.

Si riporta nei grafici seguenti, un confronto tra le curve di possibilità pluviometrica in precedenza calcolate per i diversi tempi di ritorno (2-5-10-25-50-100 anni), e la cumulata di pioggia registrata in data 19.08.2022.



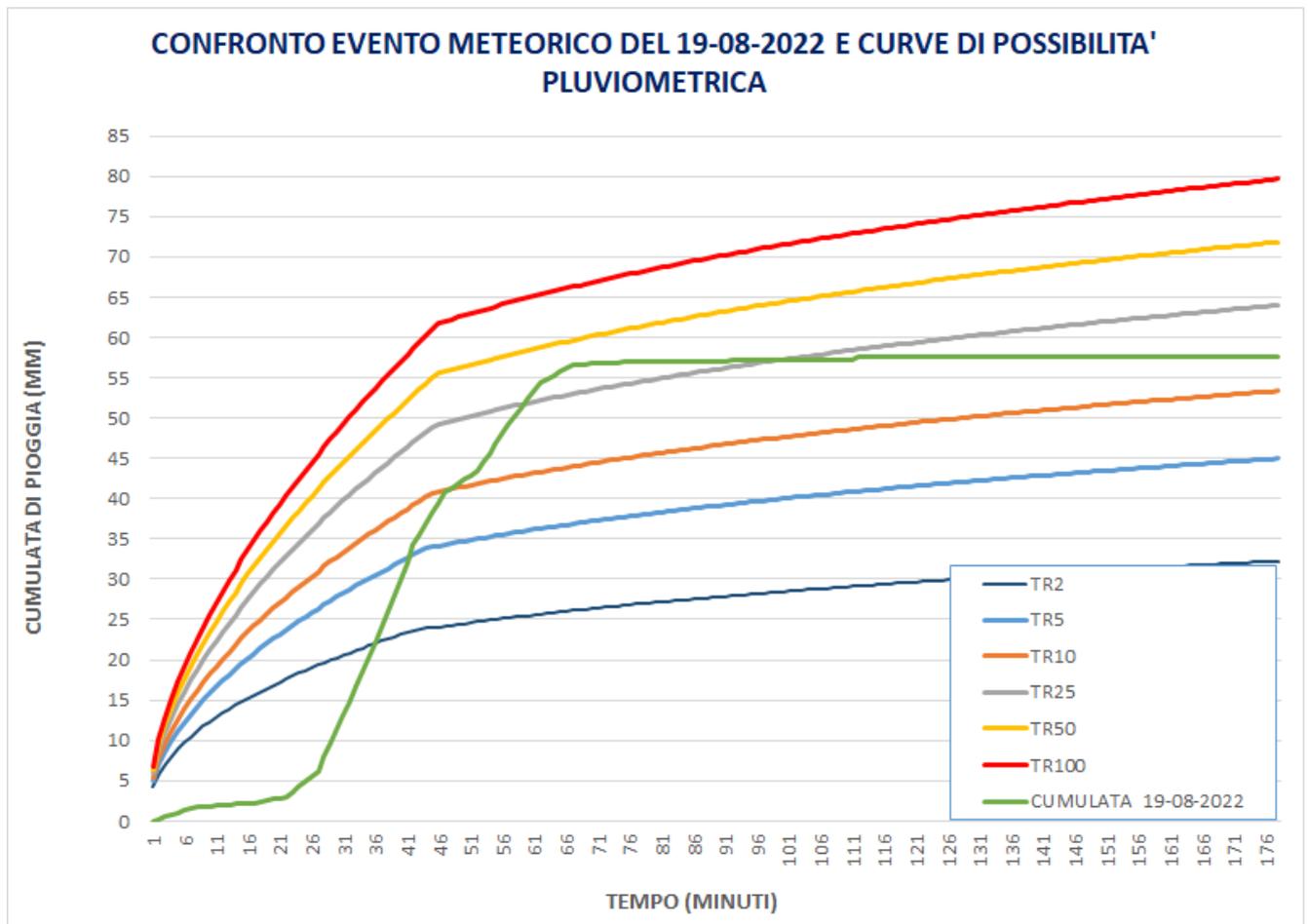
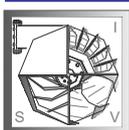


Fig. 12 – Grafico sovrapposizione evento meteorico – curve possibilità pluviometrica

Dalla sovrapposizione della cumulata di pioggia registrata in data 19.08.2022 si ottiene il superamento della curva di possibilità pluviometrica avente tempo di ritorno pari a 25 anni, raggiungendo un valore di picco compreso tra la curva TR 25 anni e la curva TR 50 anni.

### 3 ACQUISIZIONE DATI DELLA RETE FOGNARIA ESISTENTE

Il Gestore delle reti fognarie miste e bianche a servizio dell'area industriale, Hera S.p.a., ha fornito i dati relativi alle reti fognarie esistenti su supporto GIS. Il database delle reti fognarie fornito dal Gestore, risultava incompleto, pertanto è stato necessario effettuare un rilievo topografico delle reti fognarie. Grazie al prezioso supporto del Gestore è stato possibile rilevare i manufatti principali (in generale i pozzetti di ispezione d'angolo o di incrocio com econcordato con la Committenza) per un totale di n° 48 pozzetti di ispezione (su un totale di circa 226 manufatti) e le tubazioni ad essi connesse. Una parte dei pozzetti di ispezione rilevati, originariamente si trovava sotto asfalto, pertanto il Gestore ha provveduto al rialzo dei chiusini portandoli alla quota del piano campagna. Il rilievo ha riguardato l'individuazione della quota altimetrica dei chiusini dei pozzetti della rete fognaria, la quota



di fondo delle camerette di ispezione, i diametri e i materiali delle tubazioni in ingresso e uscita alle camerette, permettendo in tal modo di integrare il database GIS fornito dal Gestore e ottenere uno schema della rete fognaria piu' dettagliato. Il rilevamento completo di tutti i pozzetti di ispezione avrebbe permesso di ottenere maggiori informazioni sulla rete fognaria esistente ma non sulle reti fognarie interne degli stabilimenti. Per le reti interne agli stabilimenti, è stata condotta una campagna di indagine che ha portato al reperimento di circa 1/10 delle planimetrie di progetto delle reti private, in generale appartenenti alle attività produttive piu' recenti.



Fig. 13 – Pozzetti di linea fognari (sopra e sotto asfalto)



Fig. 14 – Pozzetti di linea fognari rilevati

A seguito dell'integrazione del database GIS con i dati reperiti (per i quali in futuro si potrà prevedere un ulteriore approfondimento in relazione al grado di dettaglio che la Committenza o il Gestore intendono raggiungere), è stato possibile realizzare lo schema della rete fognaria in un apposito software di simulazione idraulica agli afflussi - deflussi denominato EPASWMM5, con il quale simulare il funzionamento idraulico della rete fognaria e degli impianti per determinati eventi meteorici.

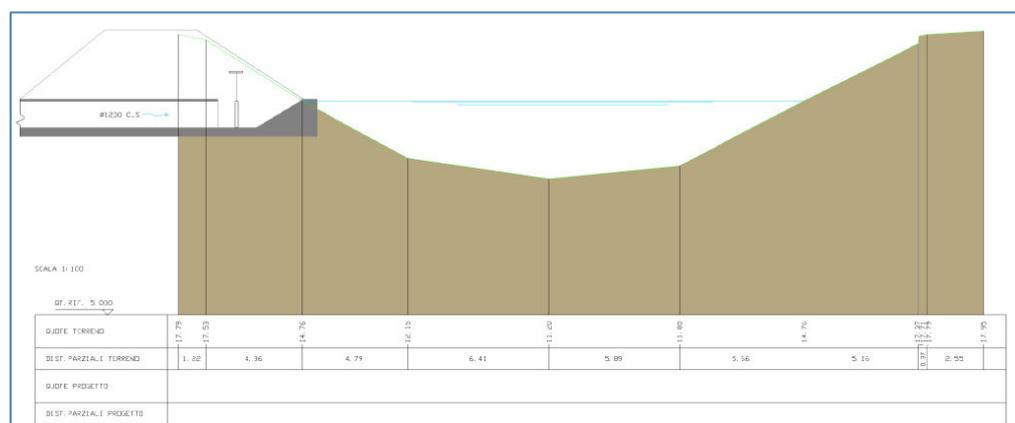
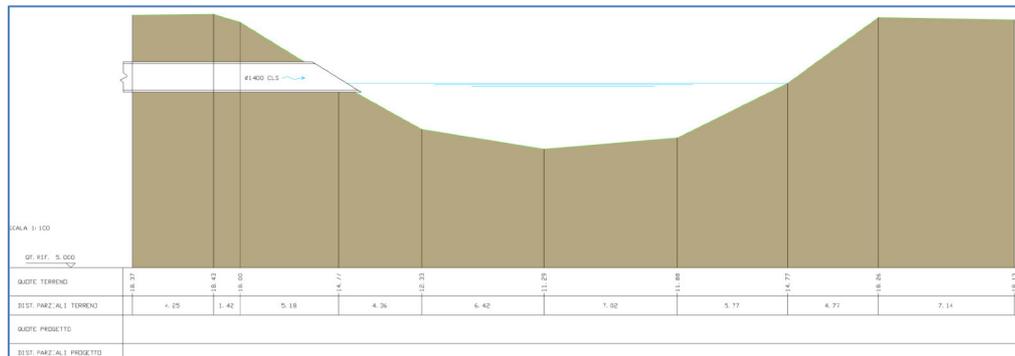


Il rilievo topografico ha inoltre riguardato il rilevamento del manufatto dell'impianto di sollevamento di via Sutter integrando in tal modo i dati originari forniti dal Gestore, con il rilevamento delle quote di fondo (e quindi dei livelli di accensione delle elettropompe) del manufatto, raffrontate alle quote altimetriche delle reti afferenti.

Si è inoltre proceduto al rilevamento dei due scarichi fognari della rete "sud" nel Canale Emissario di Burana e delle relative sezioni del canale ricettore nei punti di scarico dei collettori.



**Fig. 15 – Restituzione rilievo dell'impianto di sollevamento di via Sutter**



**Fig. 16 – Restituzione rilievo sezioni fluviali in corrispondenza degli scarichi nel Canale Emissario di Burana**



### 3.1 RETE FOGNARIA

La rete fognaria a servizio dell'area industriale presenta essenzialmente due distinti recapiti rappresentati, a nord dal Canale Cittadino, che scola la parte nord della superficie dell'area PMI di Cassana (per una superficie pari a circa 120 Ha equivalente al 75% dell'intera superficie) e a sud il Canale Emissario di Burana ricettore della rimanente quota parte dell'area industriale (per una superficie pari a circa 40 Ha equivalente al 25% dell'intera superficie). Il Canale Cittadino è un canale gestito dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara. Il Canale Emissario di Burana, nel tratto interessato dagli scarichi dell'area industriale, è in gestione alla Regione Emilia Romagna.

#### RETE FOGNARIA SUD

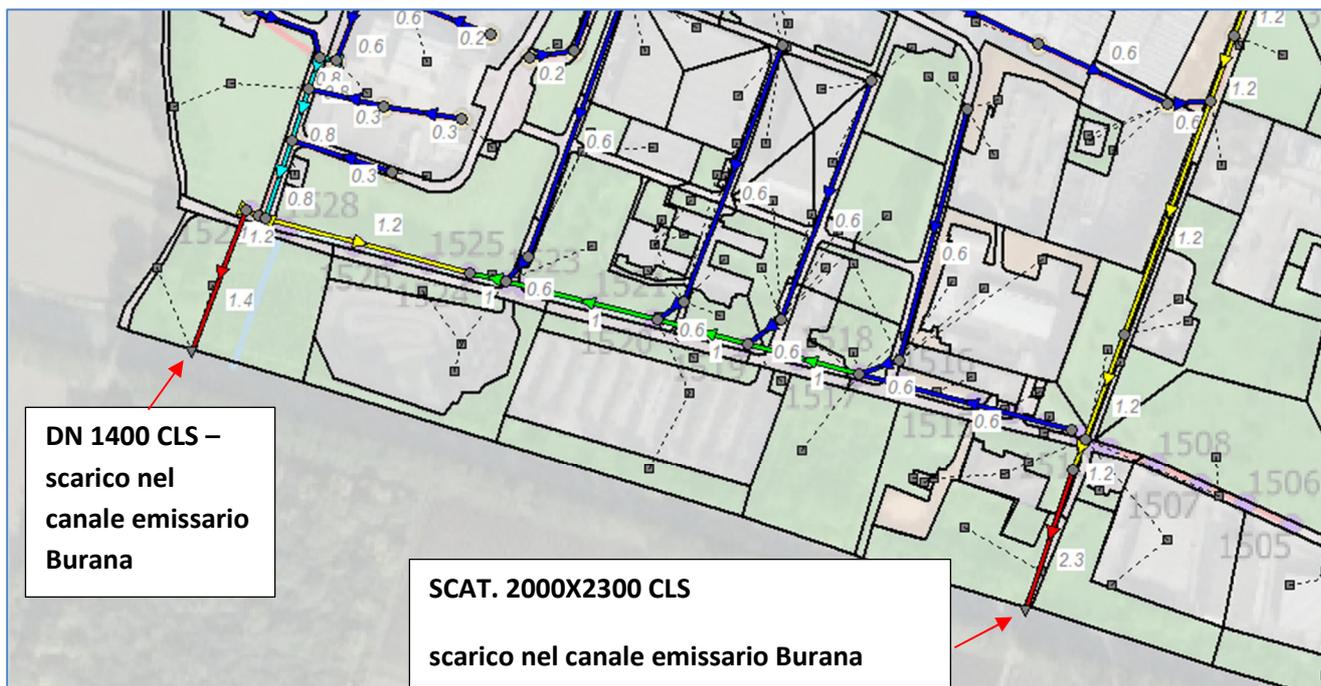
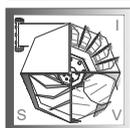


Fig. 17 – Estratto della cartografia delle reti fognarie rilevate – zona Sud via Cesare Diana - via Smeraldina

La rete fognaria posta nella zona a sud dell'area industriale è costituita da un collettore fognario principale posto in via Cesare Diana costituito da tubazioni in calcestruzzo aventi diametri che aumentano da est verso ovest dal DN 600 al DN 1400. Tale collettore scola le acque meteoriche recapitandole nel Canale Emissario di Burana attraverso una tubazione DN 1400. I livelli idrometrici del ricettore sembrano poter influenzare il funzionamento idraulico di tale rete fognaria in quanto il livello idrometrico del corso d'acqua risulta in molti tratti superiore alle quote di scorrimento delle tubazioni della rete fognaria, limitandone la sezione libera di efflusso, in tempo di pioggia. Il secondo collettore a servizio di tale area è ubicato in via Smeraldina, presenta origine all'incrocio tra via Smeraldina (nel tratto nord posto in proprietà privata) e via Finati, è costituito da tubazioni in calcestruzzo di diametro DN 1200 e presenta una modesta pendenza da nord verso sud (circa 1.5 per mille). All'incrocio tra via Smeraldina e via Cesare Diana è presente un sifone (probabilmente per consentire il passaggio dei sottoservizi in via Cesare Diana) che si immette nella parte terminale all'interno di un manufatto dove sono state installate n°2



elettropompe sommergibili che immettono su una tubazione DN 160 con scarico in pressione nel Canale Emissario di Burana. Attualmente l'impianto non risulta funzionante e da indicazioni del Gestore l'impianto era asservito al sifone DN 1200 per scaricare l'acqua in esso accumulata al termine degli eventi meteorici. Dal manufatto contenente le elettropompe sommergibili diparte verso sud un collettore scatolare di sezione 2000x2300 mm che presenta un scarico nel canale Regionale, la cui quota è regolata da una paratoia posta su una soglia di sfioro. Durante la campagna di rilievo topografico si è appurato che il pelo libero del canale risultava superiore alla quota di stramazzo della paratoia e della soglia, pertanto l'acqua del canale rientrava all'interno della rete fognaria per quasi la sua intera estensione. L'impianto di sollevamento posto a servizio del sifone avrebbe quindi presentato un funzionamento in continuo in quanto avrebbe sollevato l'acqua del sifone al Canale ricettore che tramite la soglia di sfioro sarebbe rientrata all'interno del collettore sino al sifone.

### **RETE FOGNARIA NORD**

La rete fognaria mista a servizio della parte nord e nord-est dell'area presenta come recapito principale un collettore di ampia sezione (DN 1400 in calcestruzzo e ovoidale 1700x1500 in calcestruzzo) ubicato in via Fedele Sutter. Tale collettore principale presenta modeste pendenze verso il recapito finale costituito dall'impianto di sollevamento di via Sutter e da qui il canale consortile Canale Cittadino. I collettori principali della rete fognaria derivanti da ovest e da est, in corrispondenza dell'impianto di sollevamento, si immettono in un unico manufatto scatolare di dimensioni interne pari a circa 1900 x 2100 mm che si innesta nella parete del sollevamento.

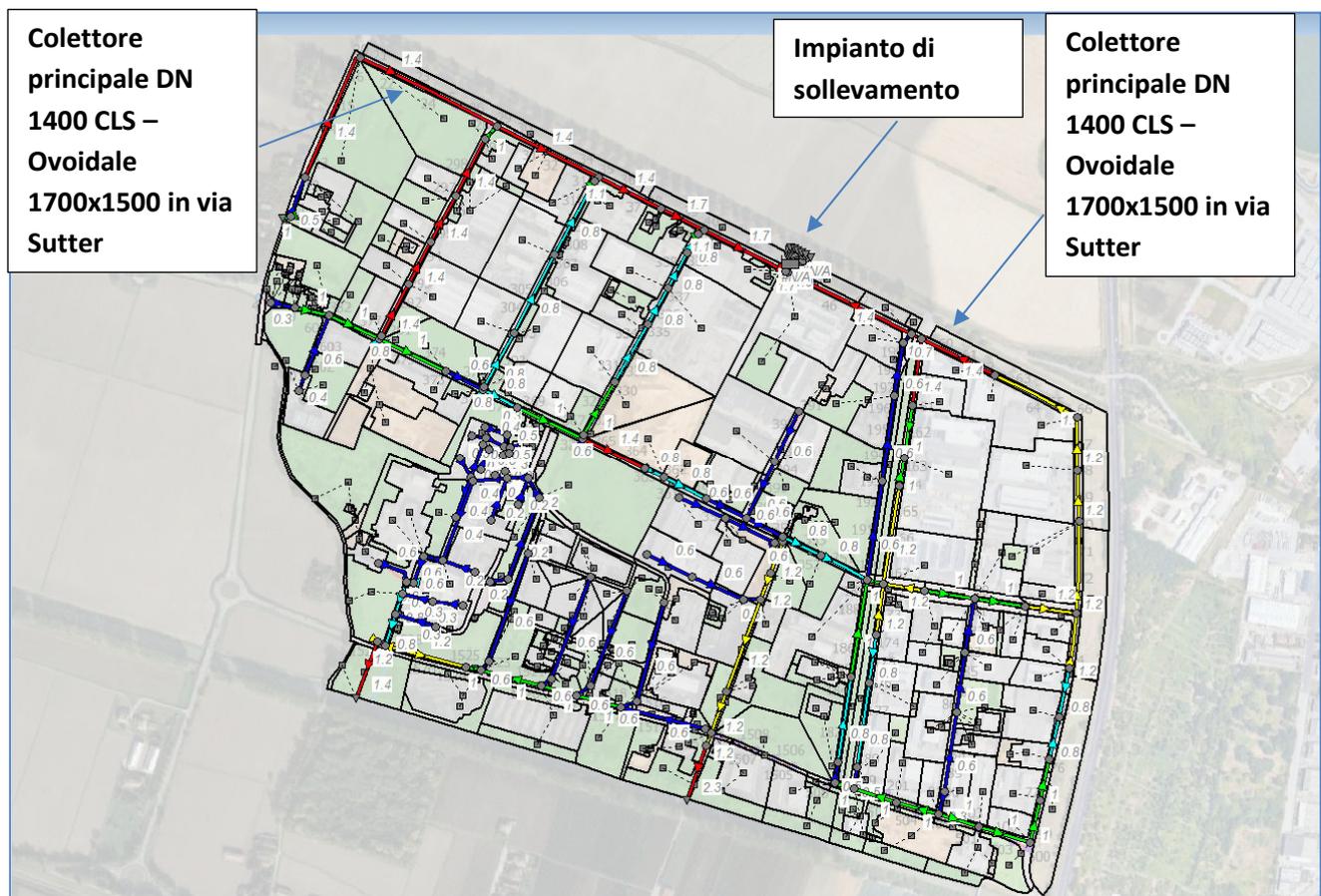


Fig. 18 – Estratto della cartografia delle reti fognarie rilevate – zona nord



Le reti fognarie delle vie limitrofe (via Canal Bianco – Monari – Gessi – Castelbolognesi – Colombo – Vespucci) immettono nel collettore principale di via Sutter. Sono state rilevate alcune contropendenze nei vari tratti secondari e variazioni di diametro che risulterebbero non corrette dal punto di vista idraulico considerando la direzione dei flussi, ovvero tubazioni di diametro maggiore poste a monte di tubazioni di diametro inferiore. L'area a sud-est, ricomprendente parte di via Vespucci e di via Diana, è asservita da una rete fognaria che presenta vistose contropendenze verso il punto di scarico posto a nord, dell'ordine della decina di centimetri.

### 3.2 IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DI VIA SUTTER

La rete fognaria a servizio dell'area PMI di Cassana, come già anticipato in precedenza, presenta due recapiti distinti. Il recapito a sud, è costituito dal Canale Emissario Burana e lo scarico della rete fognaria avviene a gravità, il recapito a nord è costituito dal canale consortile Canale Cittadino e lo scarico delle acque meteoriche (e/o miste) avviene tramite un impianto di sollevamento gestito da Hera. Il Gestore ha fornito i dati dell'impianto in seguito utilizzati per la modellazione idraulica dell'intero sistema idraulico oggetto di studio, integrati dal rilievo topografico del manufatto sviluppato a cura della Scrivente. Il manufatto, ubicato in un'area a verde posta tra via Sutter e via Diamantina, presenta una pianta trapezoidale come evidenziato dall'ortofoto seguente:

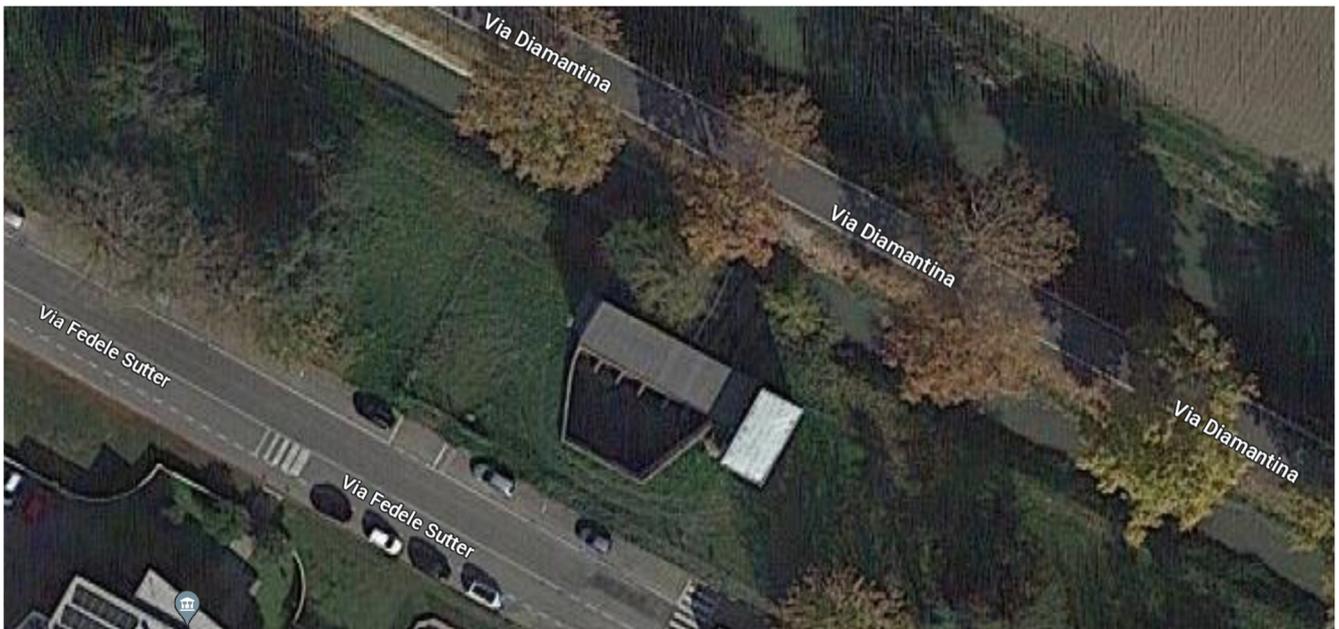
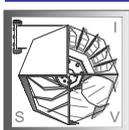


Fig. 19 – Ortofoto impianto di sollevamento di via Sutter – zona nord

La vasca in cemento armato costituente l'impianto di sollevamento risulta parzialmente interrata; la pianta trapezia presenta le seguenti dimensioni in pianta:

- lato maggiore circa 15 metri
- lato minore circa 8,8 metri
- larghezza circa 8,0 metri



pertanto la superficie in pianta del manufatto è pari a circa 95 metri quadrati. La profondità del manufatto è pari a circa 4,5-5,0 metri dal piano campagna. La tubazione fognaria in ingresso avviene sul lato più corto della vasca (lato lunghezza 8,8 metri) ed è costituita da elemento scatolare di dimensioni interne pari a circa 2100x1900 mm. All'interno della vasca sono presenti dei setti in cemento armato che separano, tra loro, le installazioni delle 6 elettropompe sommergibili. Due delle sei pompe, sono dedicate al pompaggio delle acque nere in ingresso alla vasca durante il periodo secco; le due pompe sommerse risultano marca ABS modello AFP1041.1-M30/4 e presentano una potenza nominale pari a 3,0 kW ciascuna. Nei rimanenti quattro scomparti sono installate le pompe per il sollevamento delle acque miste / meteoriche, marca Marelli. Due pompe per acque bianche sono indicate nel data base di Hera con codice PEN 350/ 54, potenza nominale =18 kW - RPM=1450 giri/min, le altre due pompe per acque bianche presentano codice PEN 700/135, potenza nominale 29.5 kW - RPM = 480 giri/min. La portata nominale delle pompe, è pari a:

- PEN 350/ 54 -  $Q_{max} = 350 \text{ l/s / cad}$

- PEN 700/135 -  $Q_{max} = 700 \text{ l/s / cad}$

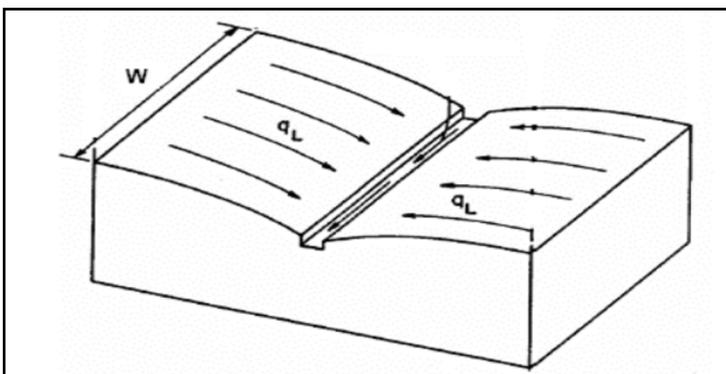
Tali macchine sono predisposte per lavorare in parallelo secondo la seguente configurazione:

n°1 Marelli PEN 350/54 (livello di accensione 2,35 m e spegnimento 1,95 m dal fondo) + n°1 Marelli PEN 750/135 (livello di accensione 2,65 m e spegnimento 2,15 m dal fondo). Le altre due macchine installate, aventi medesime caratteristiche delle precedenti, rappresentano la riserva attiva alle prime, e nel caso vi sia un'avaria vengono avviate in sostituzione della macchina in avaria.

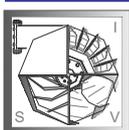
Su indicazioni del Gestore, in casi di particolare necessità, le quattro elettropompe per acque meteoriche possono essere attivate in parallelo. La potenza massima assorbita delle quattro elettropompe è pari alla potenza elettrica massima disponibile dalla rete elettrica di alimentazione del quadro di comando pertanto vi è il rischio di superamento della massima potenza disponibile in fase di accensione delle pompe con il rischio di interruzione della fornitura.

## 4 ANALISI MODELLISTICA

Al fine di verificare idraulicamente la rete fognaria di progetto e determinare le portate massime verso i bacini interrati di progetto e di sfioro verso la fognatura mista esistente, si è utilizzato il software denominato EPASWMM5. Tale software agli afflussi-deflussi, monodimensionale, è stato sviluppato dall'Ente Americano EPA



per lo studio delle reti scolanti e permette di simulare il comportamento di una qualsiasi rete (fognaria o di bonifica) con funzionamento a gravità, alla quale vengono associati i bacini scolanti asserviti sui quali si determinano gli eventi pluviometrici posti a base di calcolo. Il software opera con il metodo agli afflussi-deflussi permettendo di verificare le reti scolanti siano esse costituite da canali a cielo aperto



aventi sezioni irregolari o regolari, canali a sezione chiusa, reti fognarie costituite da elementi con perimetro chiuso (tubazioni circolari, scatolari, ovoidale, ellittiche, a sezione ribassata ecc....). Il software può essere implementato con ietogrammi storici e/o sintetici o curve di possibilità pluviometrica e permette la simulazione in continuo, per determinati intervalli temporali impostabili da software, dei fenomeni meteorologici e del loro deflusso, passando dalle superfici scolanti alle reti scolanti ricettrici. Il software permette di inserire l'eventuale variazione spaziale della pioggia potendo caricare diversi eventi meteorologici applicabili ai vari bacini idrografici di cui è composta l'area oggetto di studio, e di valutare l'eventuale infiltrazione meteorica nel sottosuolo secondo il metodo di Green e Ampt o la legge di Horton. Tale software trova impiego per tutte quelle reti idrauliche nelle quali il moto del fluido è a pelo libero o in pressione, consentendo di effettuare l'analisi dinamica dei fenomeni idraulici secondo le equazioni di Saint Venant relative al moto del fluido monodimensionale, riferite alla rete nel suo complesso con la simulazione della variazione della portata all'interno delle reti durante l'evento simulato. Il suo sviluppo è incentrato sul calcolo delle portate afferenti dai bacini alla rete scolante ricettrice costituita da reti fognarie.

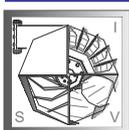
Tali portate vengono determinate per prefissati eventi pluviometrici i cui dati di input derivano dagli studi idrologici condotti sull'area in esame: La pioggia simulata su ciascun sottobacino scolante, asservito a ciascun ramo della rete, determina, sul sottobacino stesso, la formazione di una portata meteorica, variabile nel tempo e variabile da bacino a bacino, in funzione delle caratteristiche intrinseche delle superfici scolanti, che sono funzione non solo dell'estensione delle aree scolanti, ma anche del grado di impermeabilizzazione della singola superficie, della tipologia di impermeabilizzazione, delle dimensioni geometriche del sottobacino, della pendenza media delle superfici di scorrimento e ruscellamento, della scabrezza media dei suoli, del grado di infiltrazione nel sottosuolo della pioggia (secondo la legge di Horton), del volume dei piccoli invasi, del coefficiente di scabrezza delle superfici impermeabili e permeabili sulle quali avviene il deflusso superficiale dell'acqua meteorica per ruscellamento. La formazione della piena si propaga quindi all'interno della rete scolante con velocità e portata funzione delle sezioni, delle pendenze, delle scabrezze e lunghezze di ciascun tratto di rete scolante.

La rete idraulica di captazione e smaltimento delle acque meteoriche, è costituita da un insieme di elementi "modellabili" a piacere, in funzione dello stato reale della medesima: si possono quindi impostare la tipologia dei rami della rete, la loro morfologia (lunghezza, sezione, dimensioni, pendenza, franco idraulico) nonché la scabrezza di ogni singolo tratto a seconda del grado di mantenimento della rete scolante.

Di seguito si riporta una tabella di esempio dei parametri impostabili da software per un bacino scolante.

Table 1-1. Properties of the undeveloped subcatchment			
Property	Value	Property	Value
Area	28.94 ac	Depression storage, pervious areas	0.3 in.
Width	2521 ft	Depression storage, impervious areas	0.06 in.
Slope	0.5 %	% of impervious area without depression storage	25%
Imperviousness	5 %	Maximum infiltration rate	4.5 in./hr
Roughness coefficient, impervious areas	0.015	Minimum infiltration rate	0.2 in./hr
Roughness coefficient, pervious areas	0.24	Infiltration decay coefficient	6.5 hr <sup>-1</sup>

Fig. 19 – Parametri delle superficie scolanti

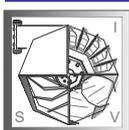


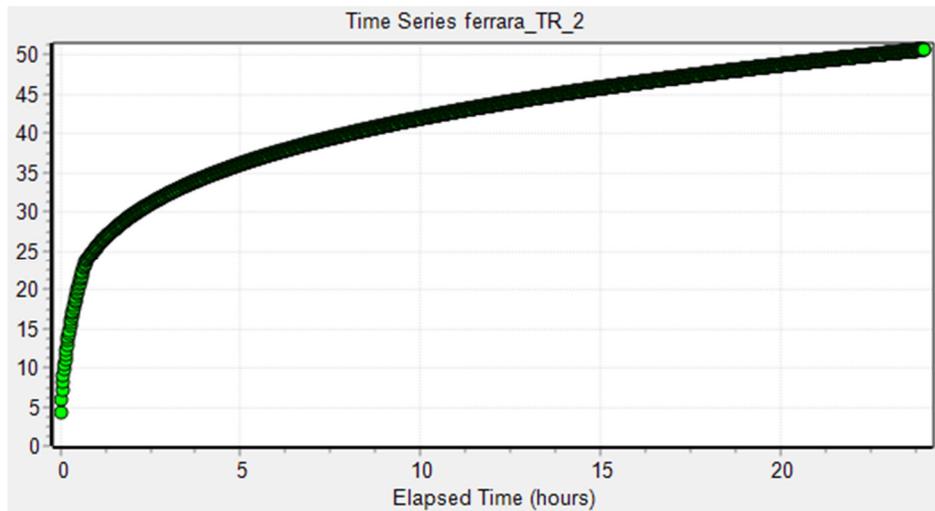
Definiti gli elementi geometrici dei rami, si passa a definire i nodi della rete nella quale verranno applicati i carichi idraulici (cioè il runoff dei vari bacini scolanti afferenti in ciascun nodo della rete idraulica). Con tali dati si realizza il modello idraulico come riportato nelle immagini seguenti. Il modello idraulico della rete scolante meteorica è costituito dai singoli tratti di rete suddivisi in tratte di determinata lunghezza e pendenza, aventi sezioni variabili e scabrezze variabili in relazione ai materiali utilizzati. Gli elementi della rete fognaria vengono modellati inserendo i vari nodi con le relative quote di fondo e i relativi rami con le sezioni dei singoli collettori, determinando in tal modo la pendenza di ciascun tratto. Il modello idraulico del sistema scolante e dei bacini idrografici afferenti, contiene tutte le informazioni necessarie per ottenere la simulazione, per una durata impostabile, dell'evento meteorico e degli effetti che questo produce sulla rete ricettrice. Ciascun sottobacino sarà caratterizzato da una superficie in ettari (Ha), da una lunghezza del fronte di ruscellamento, dalla pendenza del terreno (%), dal grado di impermeabilizzazione (variabile da bacino a bacino), dal coefficiente di scabrezza per le superfici impermeabili e per quelle permeabili, dal volume specifico di invaso, dai parametri di Horton per la definizione della legge di infiltrazione nel sottosuolo della pioggia. Si riporta lo schema della rete fognaria (collettori principali) e i sottobacini afferenti.



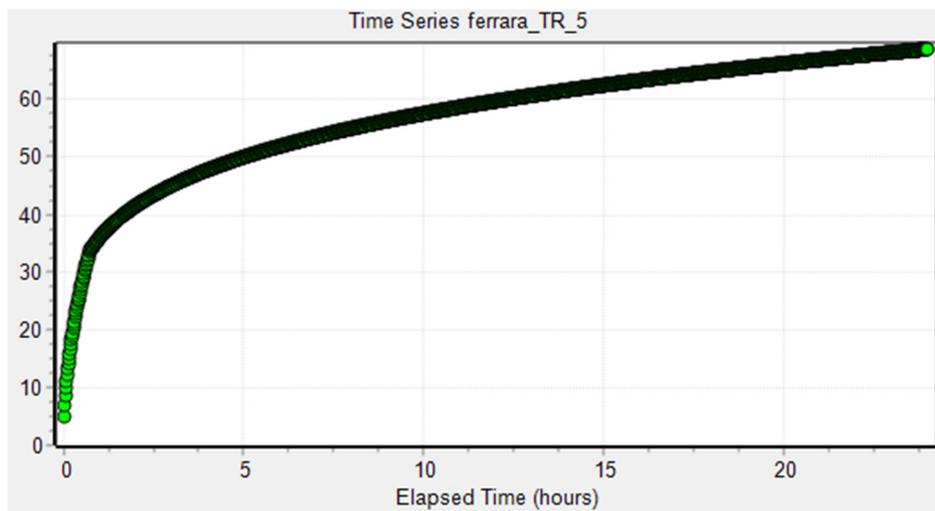
Fig. 20 – Implementazione della rete fognaria esistente e relative aree scolanti (EPASWMM5)

Nelle immagini successive si riportano la curva pluviometrica utilizzata, alcuni profili idraulici delle reti di progetto, e infine nelle ultime immagini, l'idrogramma di piena del di alimentazione dei bacini interrati e il grafico di riempimento dei bacini interrati nord e sud.

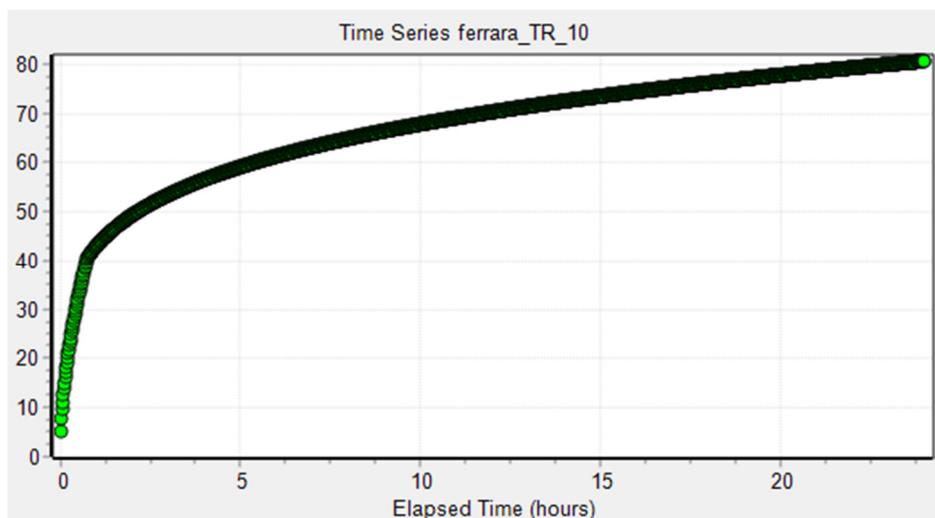




**Fig. 21– Curva di possibilità pluviometrica TR 2 ANNI**

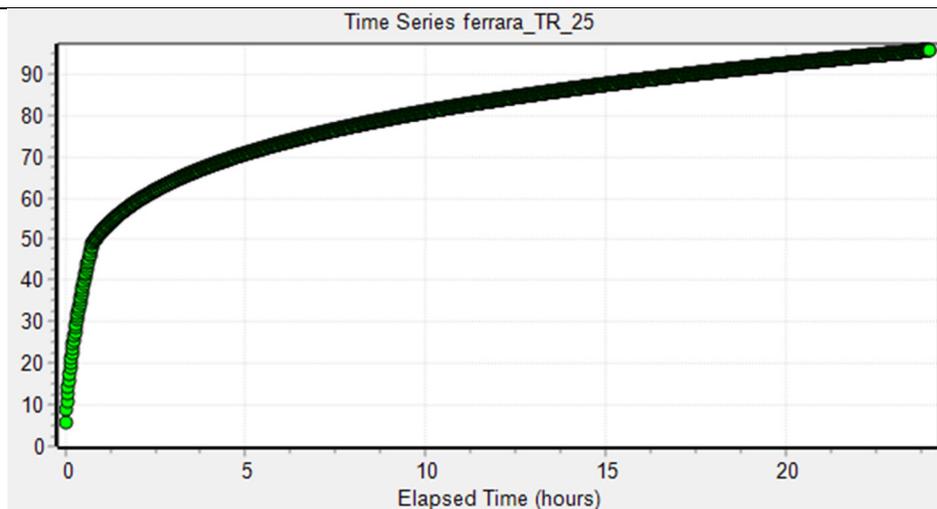


**Fig. 22– Curva di possibilità pluviometrica TR 5 ANNI**

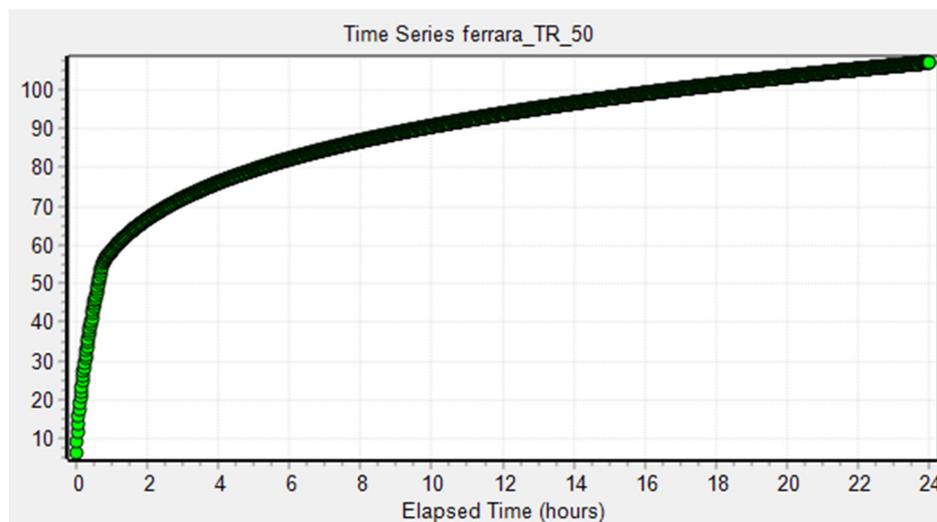


**Fig. 23– Curva di possibilità pluviometrica TR 10 ANNI**

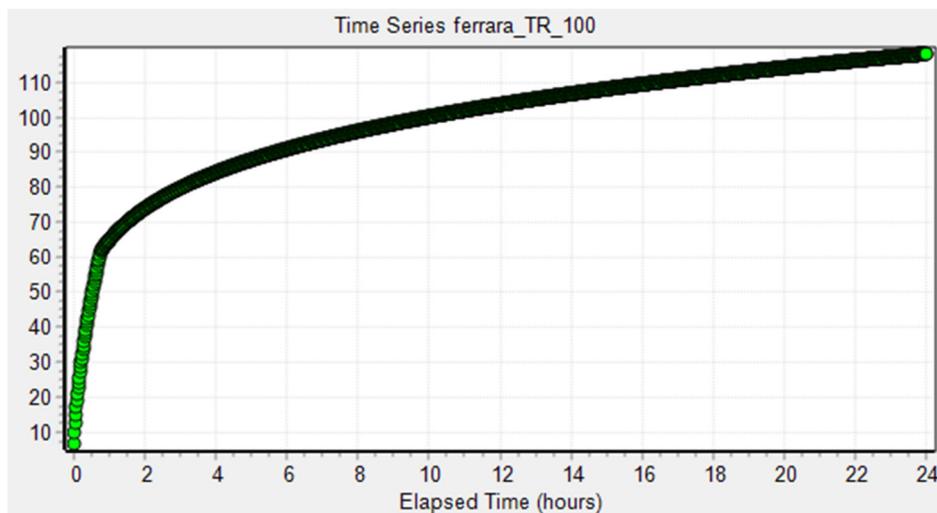




**Fig. 24– Curva di possibilità pluviometrica TR 25 ANNI**

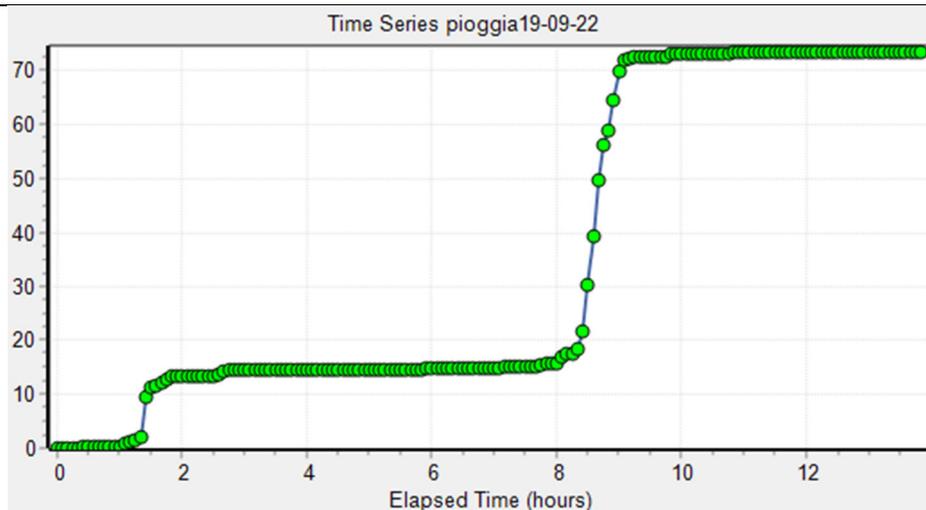


**Fig. 25– Curva di possibilità pluviometrica TR 50 ANNI**

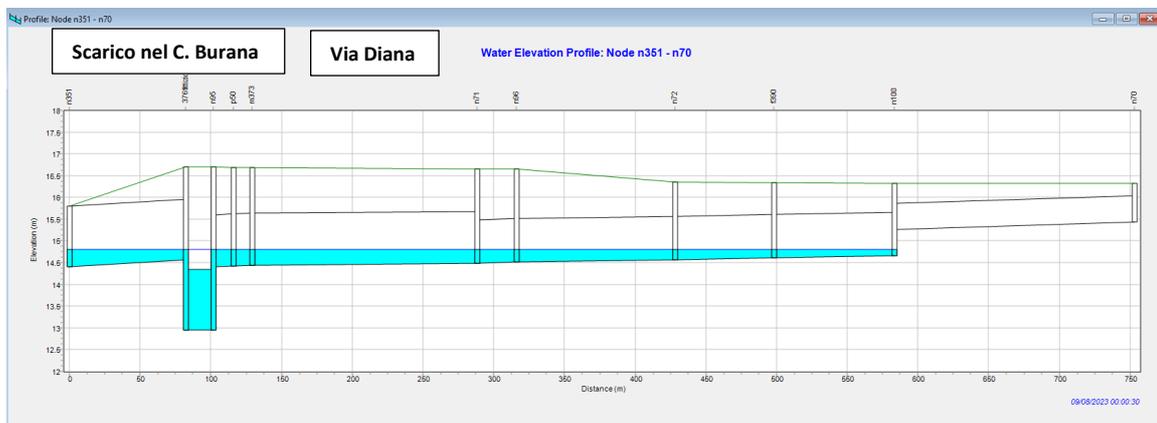


**Fig. 26– Curva di possibilità pluviometrica TR 100 ANNI**

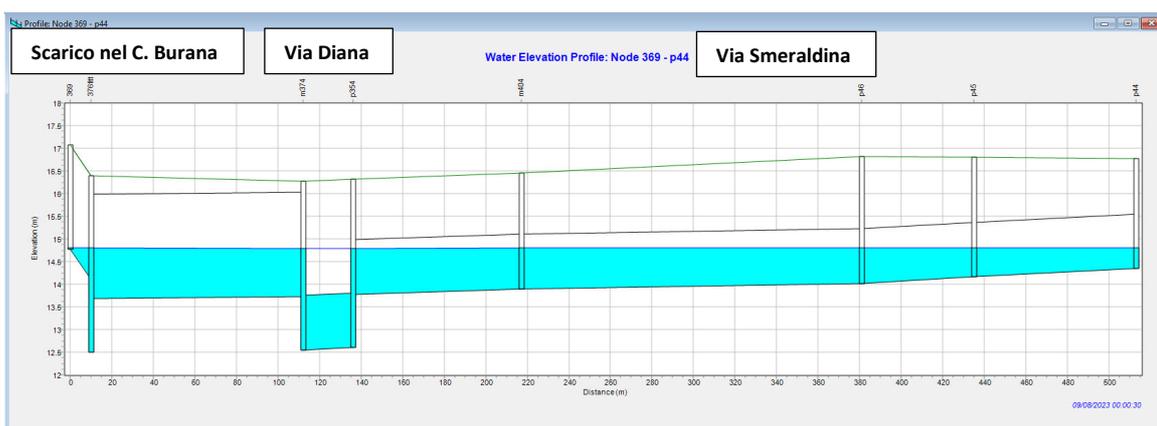




**Fig. 27– Cumulata di pioggia del 19.08.2022**

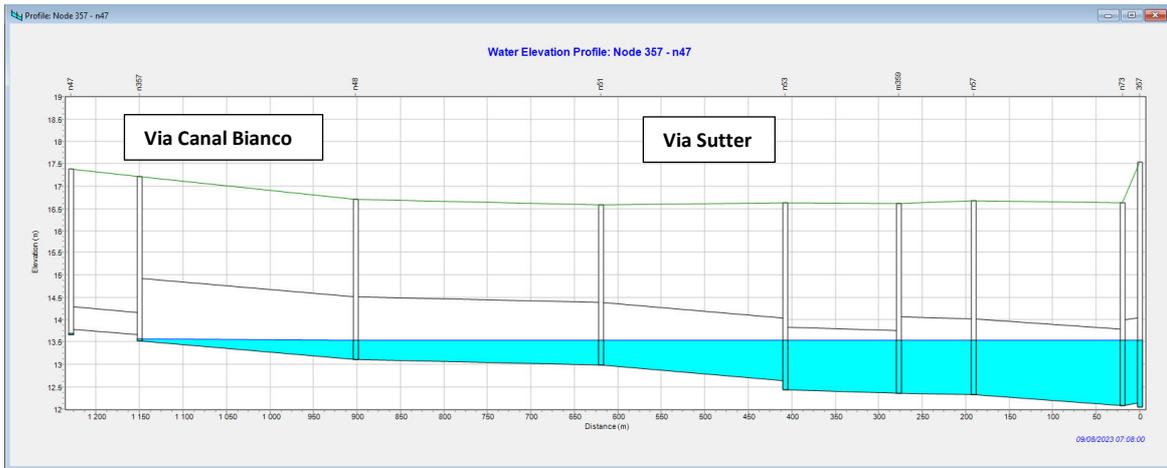


**Fig. 28– Profilo collettore principale via Cesare Diana – Scarico nel Canale Emissario Burana n°1**

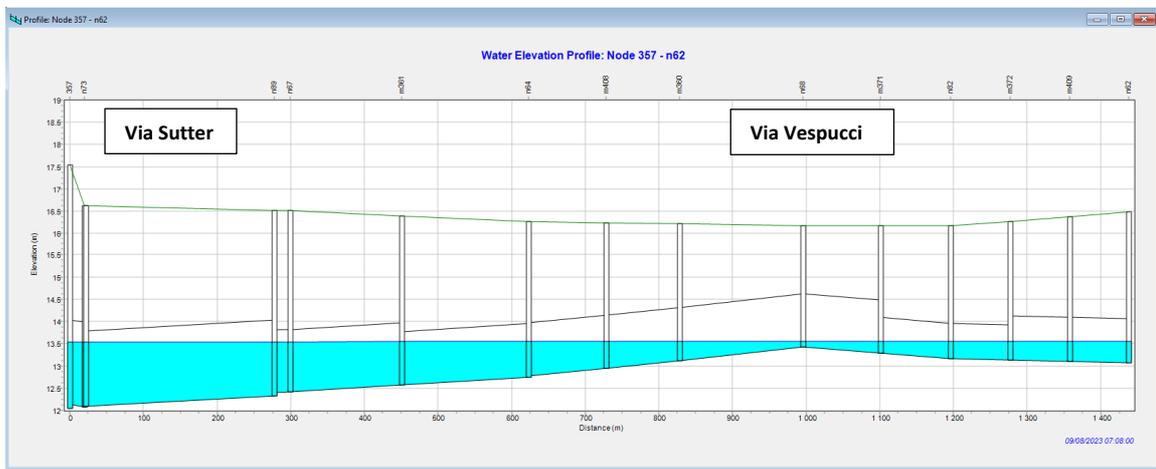


**Fig. 29– Profilo collettore principale via Smeraldina / Cesare Diana – Scarico nel Canale Emissario Burana n°2**

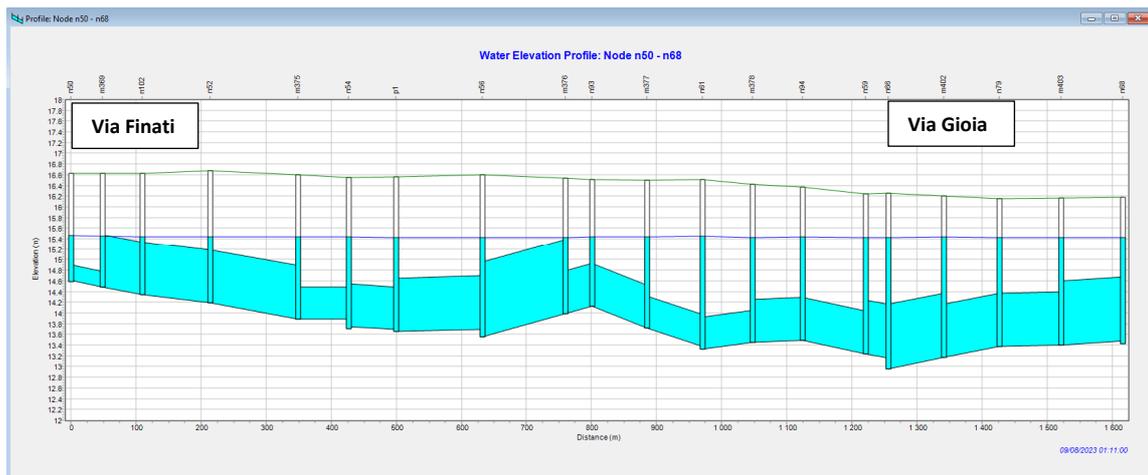




**Fig. 30– Profilo collettore principale via Sutter / tratto ovest – via Canal Bianco**

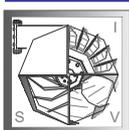
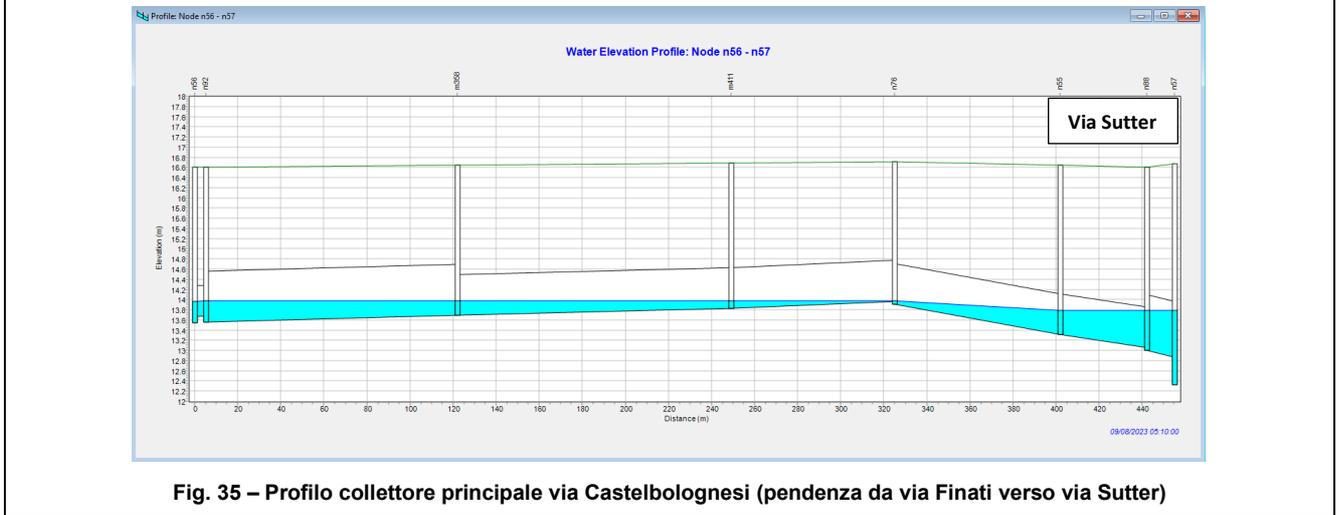
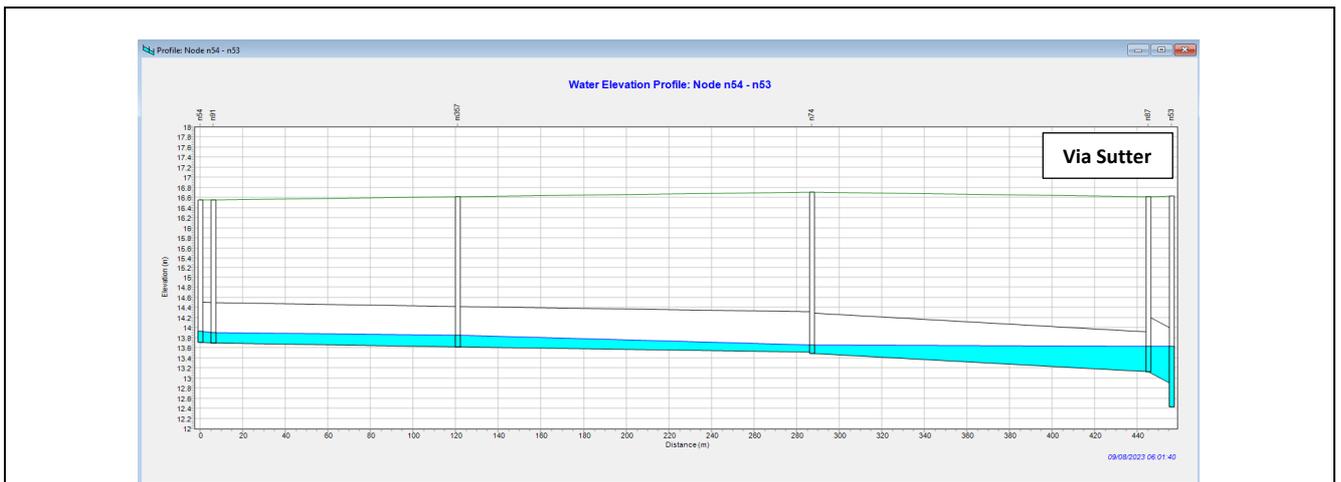
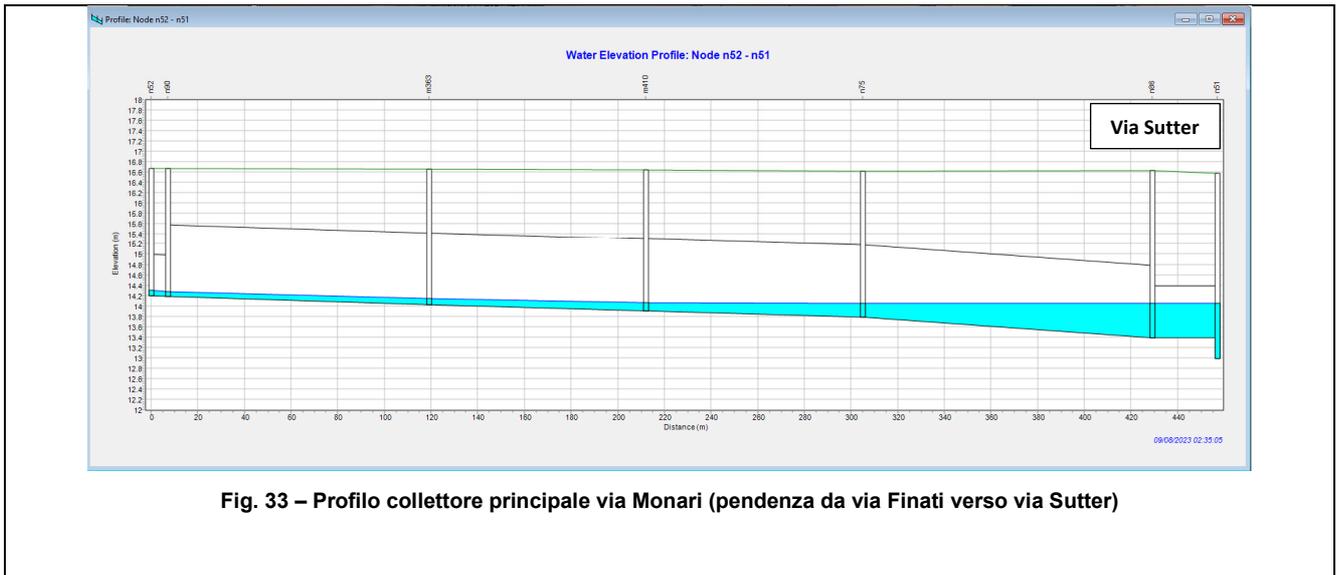


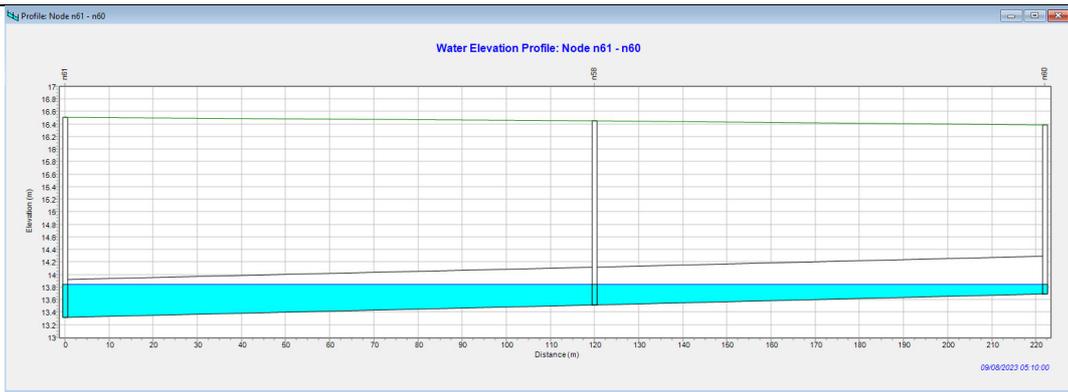
**Fig. 31 – Profilo collettore principale via Sutter / tratto est – Via Vespucci**



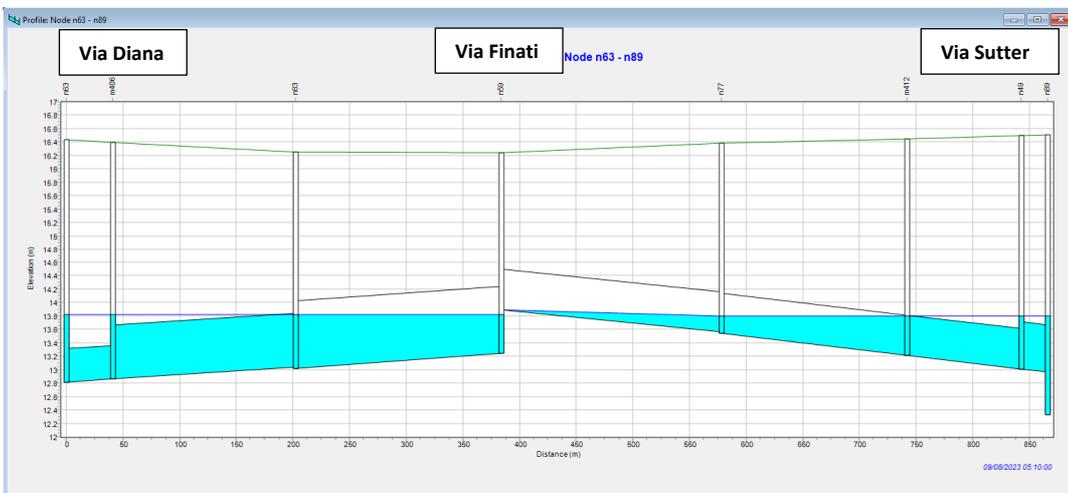
**Fig. 32 – Profilo collettore principale via Finati – via Gioia**



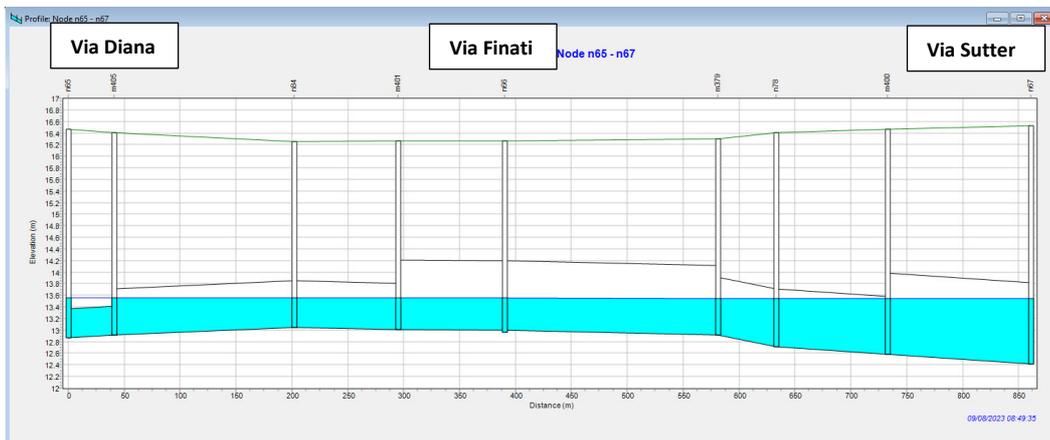




**Fig. 36 – Profilo collettore secondario laterale via Finati**



**Fig. 37 – Profilo collettore principale via Cristoforo Colombo “ovest” (contropendenza da via Diana verso via Sutter)**



**Fig. 38 – Profilo collettore principale via Cristoforo Colombo “est” (contropendenza da via Diana verso via Sutter)**



## 5 VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI A SEGUITO DI DIVERSI SCENARI DI PRECIPITAZIONE

Nel presente paragrafo si riportano e commentano i risultati della rete fognaria dell'area industriale considerando eventi meteorici aventi curve cumulate pari alle curve di possibilità pluviometrica aventi i diversi tempi di ritorno calcolati in precedenza e nel caso reale dell'evento meteorico verificatosi il 19.08.2022 sulla città di Ferrara. Nel proseguo si analizzerà il funzionamento della rete fognaria esistente considerando le portate defluite nei rami, il grado di riempimento dei collettori principali, il funzionamento dei diversi scarichi (gli scarichi nel Burana con funzionamento a gravità, lo scarico nel Canale Cittadino per mezzo del sollevamento di via Sutter considerando il funzionamento, a pieno regime, delle quattro elettropompe installate).

### 5.1 SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI

Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.

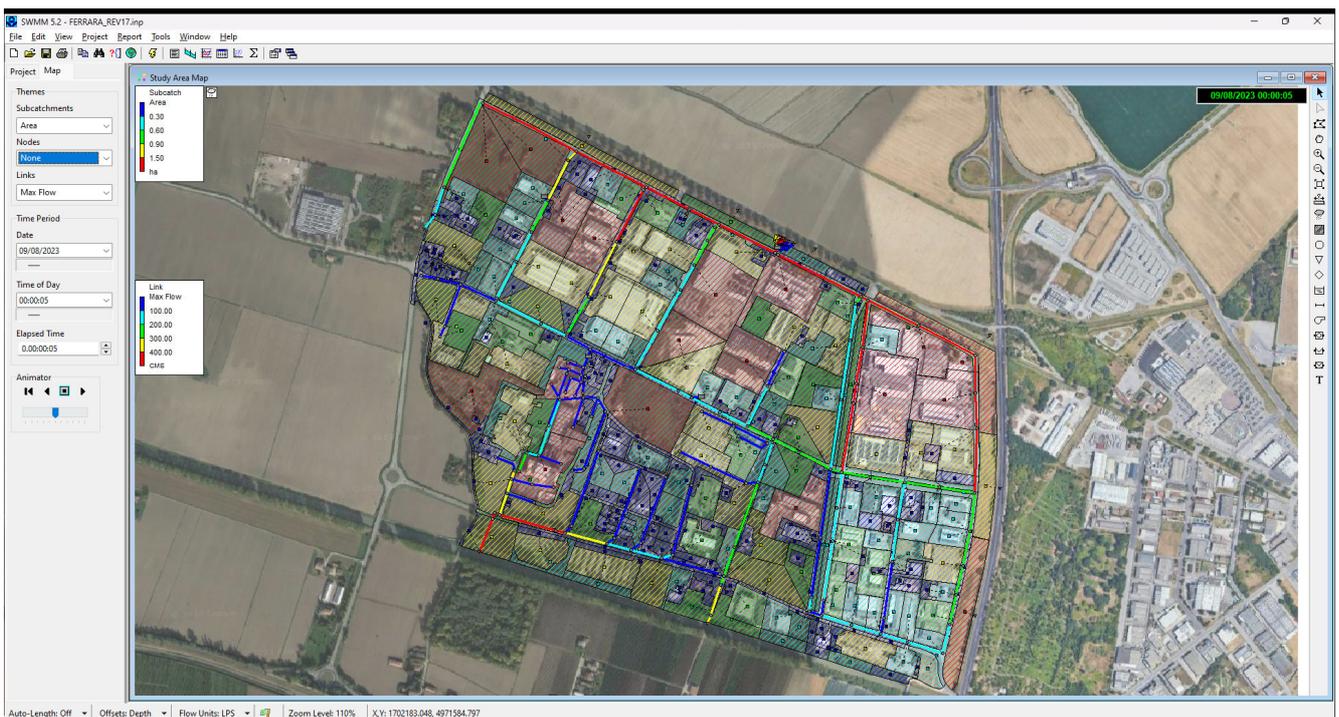
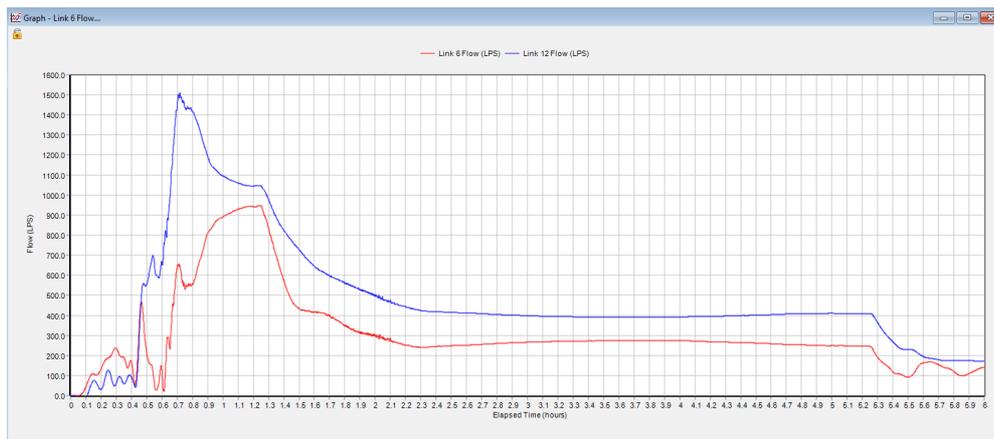


Fig. 39 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)

Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento:



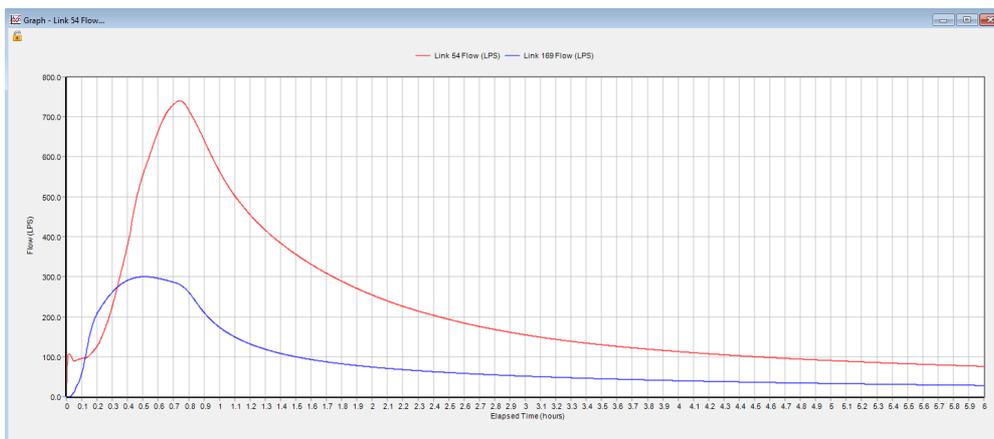


**Fig. 40 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell’impianto di sollevamento**

Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell’area piu’ a ovest riducendo i deflussi verso l’impianto di sollevamento.

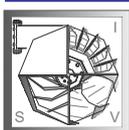


**Fig. 41 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 42 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**

Dall’analisi delle portate nei rami principali si evidenzia il corretto funzionamento della rete fognaria con eventi meteorici aventi tempo di ritorno di 2 anni. Non sono presenti punti di “flooding” ovvero non si verifica fuoriuscita

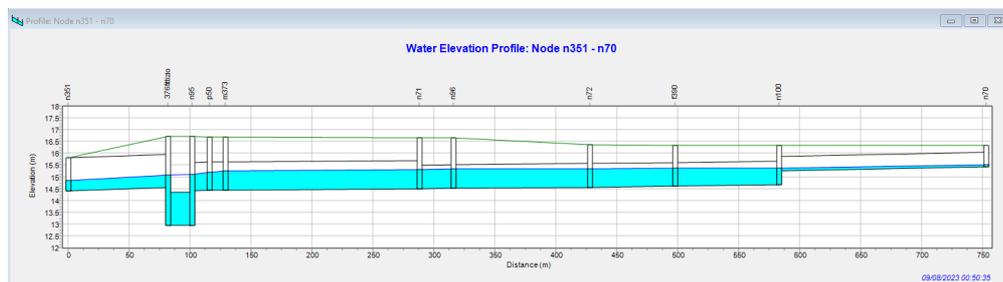


di acqua dai pozzetti di ispezione o di linea. L'impianto di sollevamento di via Sutter risulta in grado di scaricare la portata defluita dai due collettori principali che lo alimentano con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (pari alla portata di picco dell'impianto di sollevamento considerando le quattro pompe in funzione in parallelo).

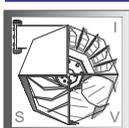


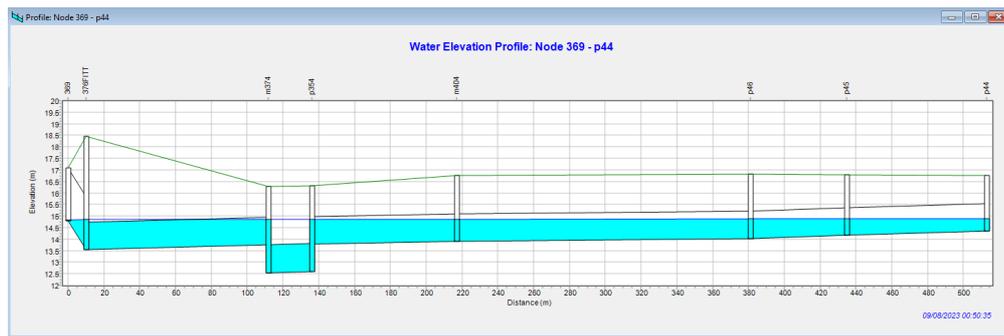
**Fig. 43 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”**

Nelle aree a sud di via Diana, nonostante i due collettori principali di scarico presentino al loro interno quota del pelo libero a +14.80 (corrispondente al livello idrometrico del Burana), non si verificano fenomeni di flooding e i collettori non presentano funzionamento in pressione. Si riportano di seguito i profili idraulici nel momento del loro massimo riempimento:



**Fig. 44a – Profili idraulici dei collettori principali area a sud con scarico nel Burana**

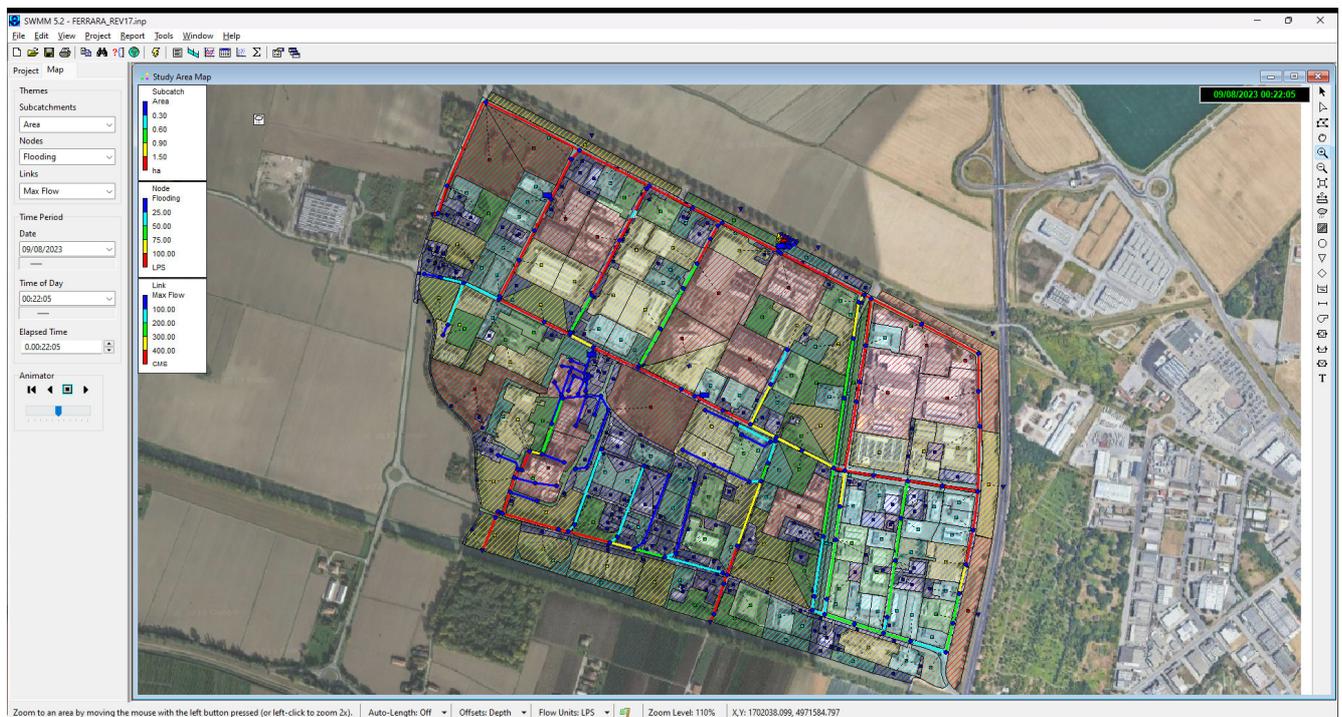




**Fig. 44b – Profili idraulici dei collettori principali area a sud con scarico nel Burana**

## 5.2 SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 5 ANNI

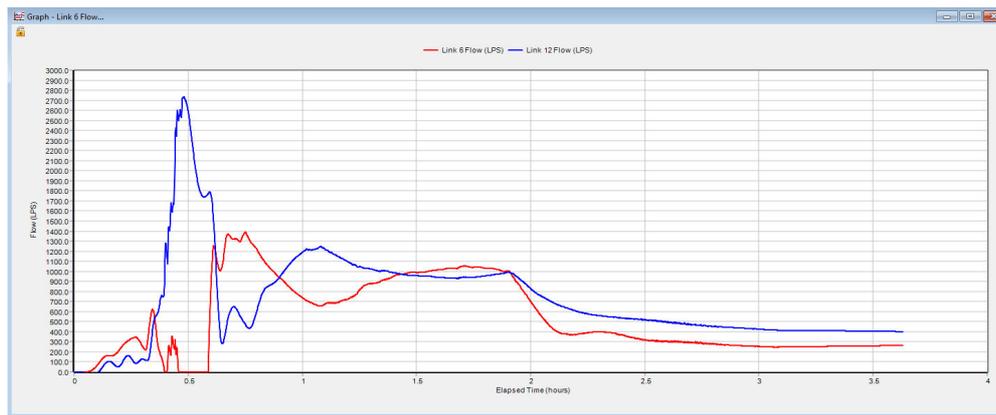
Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.



**Fig. 45 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)**

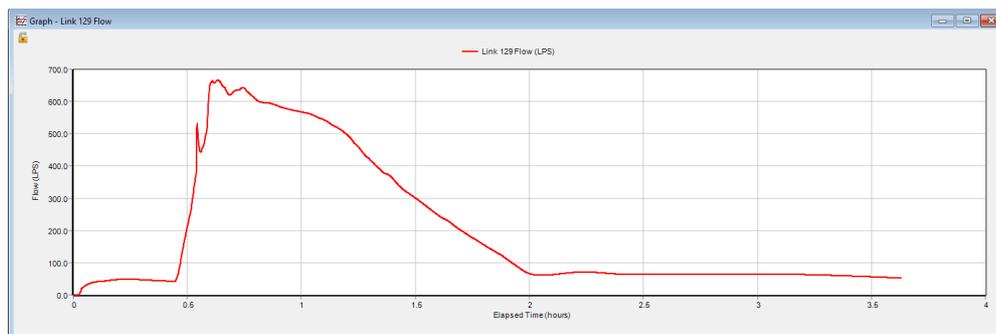
Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento:



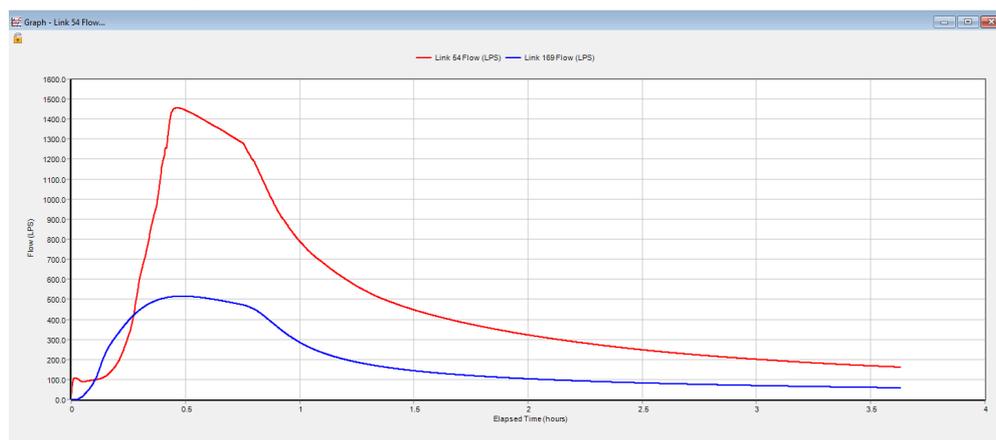


**Fig. 46 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell’impianto di sollevamento**

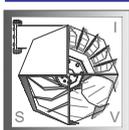
Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell’area piu’ a ovest riducendo i deflussi verso l’impianto di sollevamento.



**Fig. 47 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 48 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**





**Fig. 49 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”**

Il programma di simulazione idraulica utilizzato permette di ottenere un report dei risultati ottenuti. Il volume di flooding complessivo, per un evento avente TR = 5 anni, risulterebbe pari a circa 3000 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 71.000 mc; la maggior parte del volume fuoriuscito dalla rete fognaria è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci).

Dall'analisi delle portate nei rami principali si evidenzia un riempimento eccessivo di alcuni tratti di rete fognaria. Con tale evento meteorico si verifica la presenza di alcuni punti di “flooding” ovvero si verifica fuoriuscita di acqua da alcuni pozzetti di linea principalmente nell'area est (via Gioia – Via Vespucci). L'impianto di sollevamento di via Sutter, con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (considerando le quattro pompe in funzione in parallelo) non risulta in grado di smaltire le massime portate defluite dai due collettori principali di via Sutter che si immettono all'interno dell'impianto di sollevamento tramite un unico collettore di sezione scatolare 1900x2200.





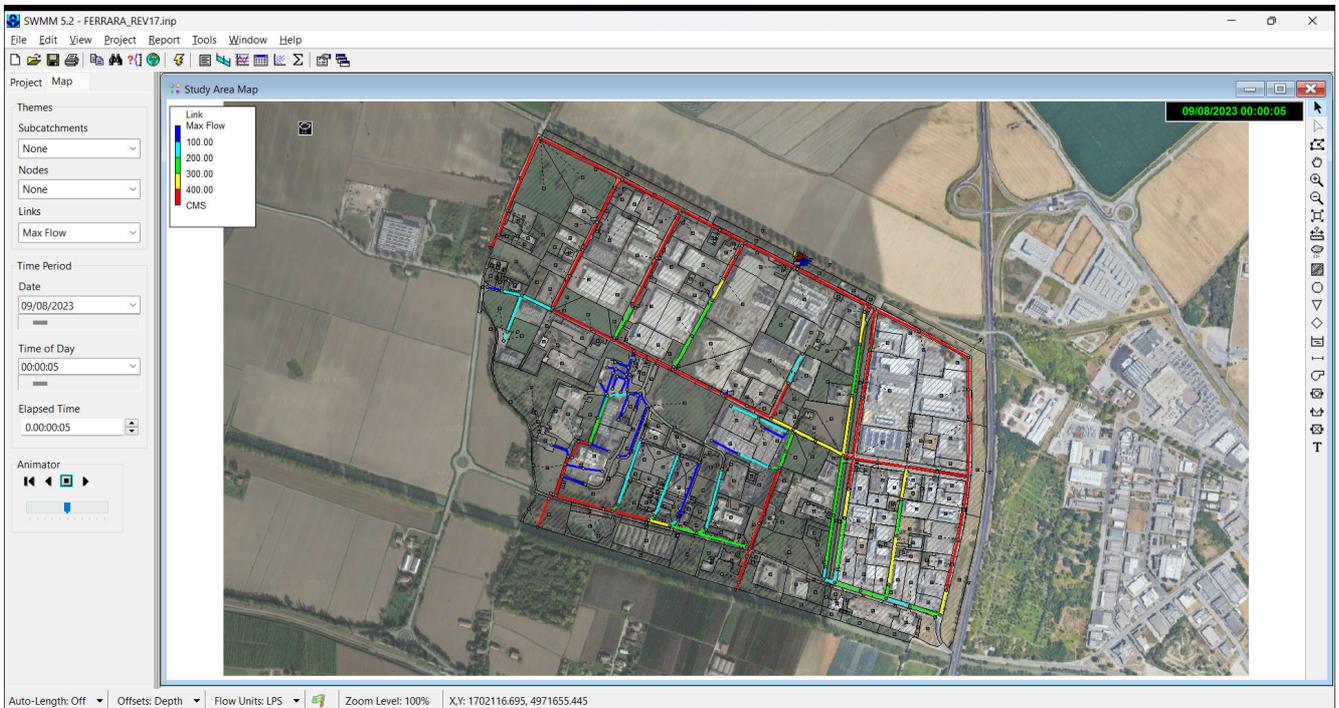
Fig. 50 – Impianto di sollevamento via Sutter e schema della rete fognaria afferente

Dall'analisi del diagramma delle portate defluite dai due collettori principali, denominati per semplicità collettore "ovest" e collettore "est" si evidenzia inoltre l'interazione dei due flussi contrapposti in ingresso all'elemento scatolare: la portata derivante da est sembrerebbe prevalere sulla portata derivante da ovest che per un breve periodo tende ad annullarsi. Con il diminuire della portata in uscita dal collettore est, al di sotto del valore di 1200 l/s, si registra l'aumento di portata in uscita dal collettore ovest. Tale fenomeno sembrerebbe legato non solamente alla conformazione geometrica dello scarico all'interno dell'impianto di sollevamento di via Sutter ma anche alla sua portata massima di pompaggio.



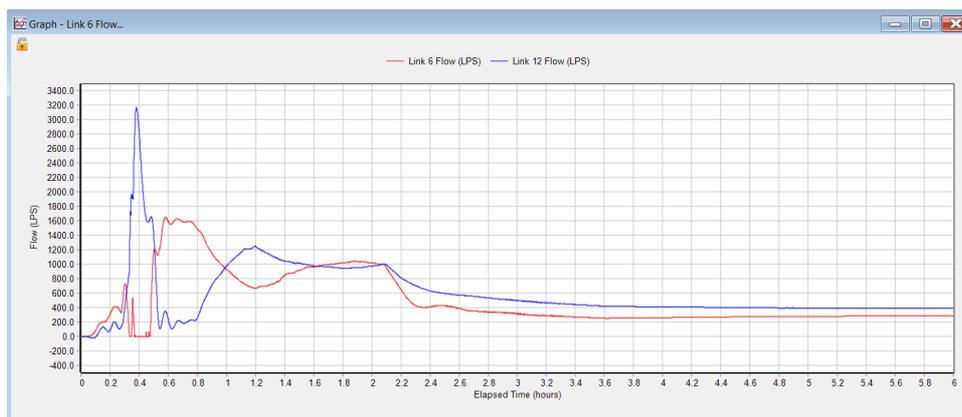
### 5.3 SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI

Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.



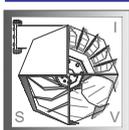
**Fig. 51 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)**

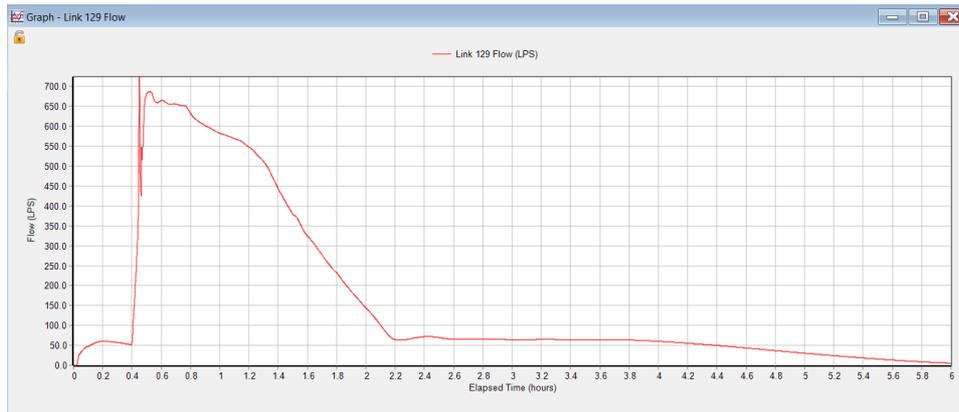
Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento:



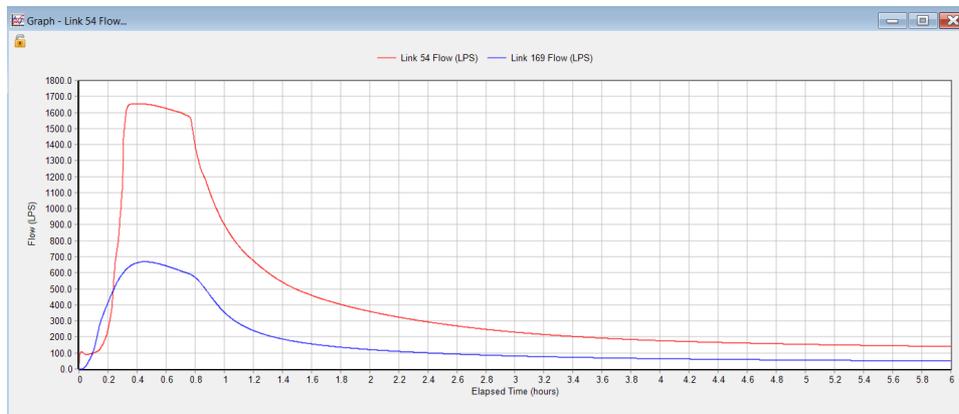
**Fig. 52 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento**

Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell'area piu' a ovest riducendo i deflussi verso l'impianto di sollevamento.





**Fig. 53 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 54 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**



**Fig. 55 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”**



Il programma di simulazione idraulica utilizzato permette di ottenere un report dei risultati ottenuti. Il volume di flooding complessivo, per un evento avente TR = 10 anni, risulterebbe pari a circa 7450 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 93.800 mc; la maggior parte del volume fuoriuscito dalla rete è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci); si evidenziano fenomeni di flooding anche nella rete fognaria di via Finati. Dall'analisi delle portate nei rami principali si evidenzia un riempimento eccessivo di alcuni tratti di rete fognaria. Con tale evento metorico si verifica la presenza di alcuni punti di “flooding” ovvero si verifica fuoriuscita di acqua da alcuni pozzetti di linea principalmente nell'area est (via Gioia – Via Vespucci – Via Finati). L'impianto di sollevamento di via Sutter, con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (considerando le quattro pompe in funzione in parallelo) non risulta in grado di smaltire le massime portate defluite dai due collettori principali di via Sutter che si immettono all'interno dell'impianto di sollevamento tramite un unico collettore di sezione scatolare 1900x2200. Valgono le medesime considerazioni riportate al caso precedente.

## 5.4 SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 25 ANNI

Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.

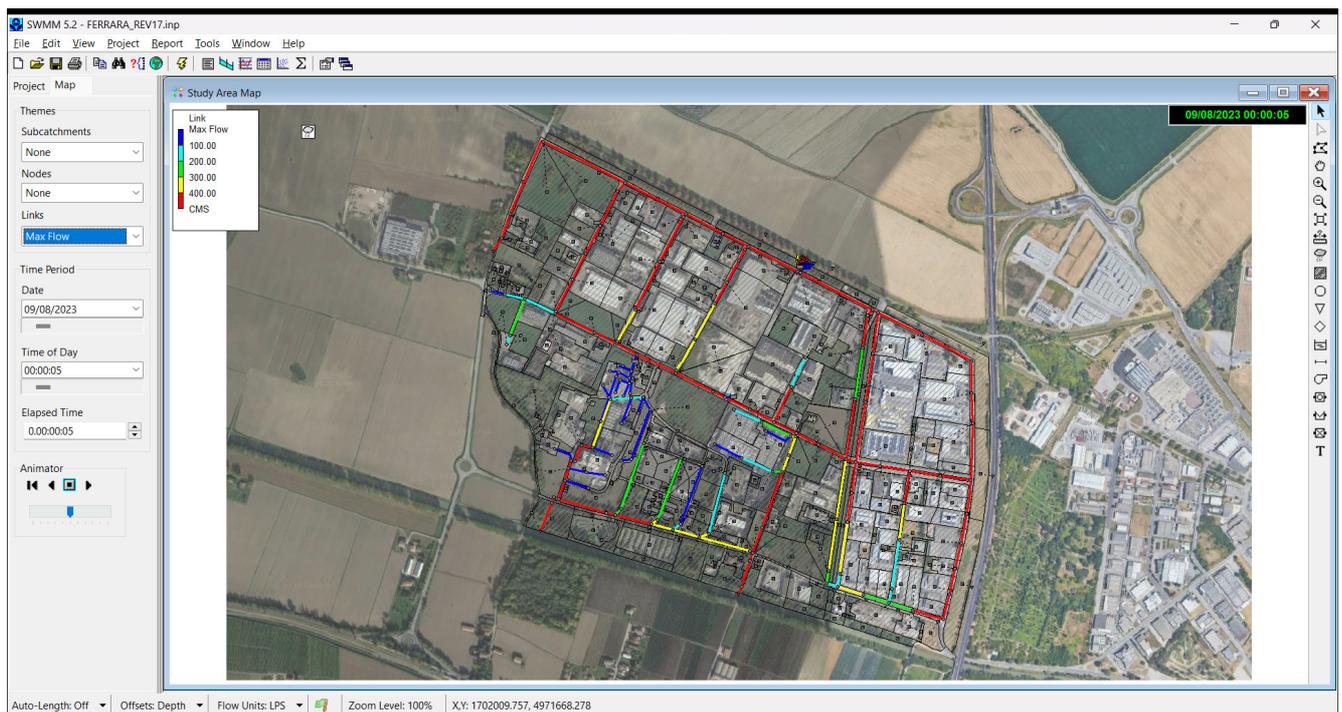
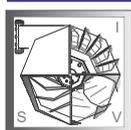
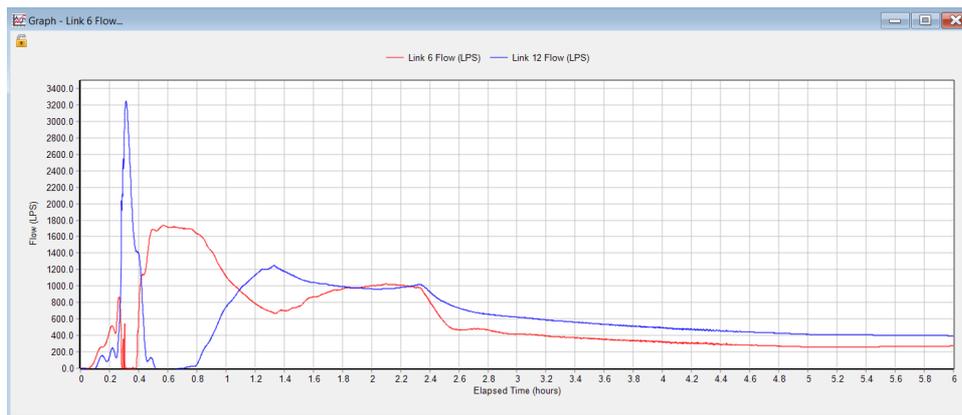


Fig. 56 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)

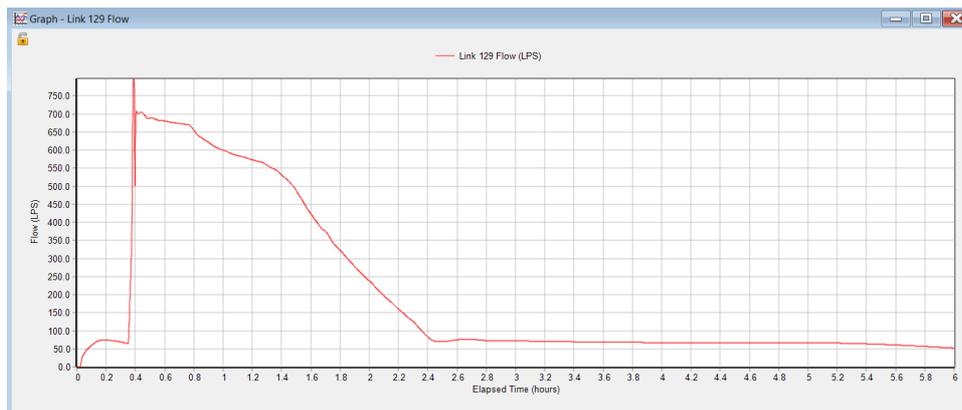
Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento:



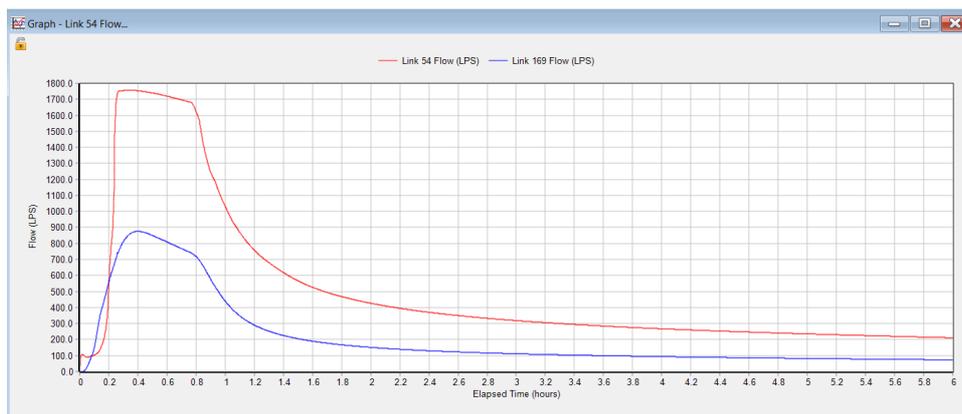


**Fig. 57 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell’impianto di sollevamento**

Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell’area piu’ a ovest riducendo i deflussi verso l’impianto di sollevamento.



**Fig. 58 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 59 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**

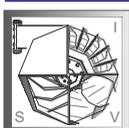


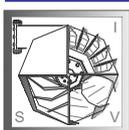


Fig. 60 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”

Il programma di simulazione idraulica utilizzato permette di ottenere un report dei risultati ottenuti. Il volume di flooding complessivo, per un evento avente TR = 25 anni, risulterebbe pari a circa 14.000 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 122.800 mc; la maggior parte del volume fuoriuscito dalla rete è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci); si evidenziano fenomeni di flooding anche nella rete fognaria di via Finati e via Diana nel tratto terminale ove le sezioni delle condotte risultano piu' ridotte. Dall'analisi delle portate nei rami principali si evidenzia un riempimento eccessivo di alcuni tratti di rete fognaria. Con tale evento meteorico si verifica la presenza di alcuni punti di “flooding” ovvero si verifica fuoriuscita di acqua da alcuni pozzetti di linea principalmente nell'area est (via Gioia – Via Vespucci – Via Finati) e nell'area nord-ovest di Via Monari. L'impianto di sollevamento di via Sutter, con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (considerando le quattro pompe in funzione in parallelo) non risulta in grado di smaltire le massime portate defluite dai due collettori principali di via Sutter che si immettono all'interno dell'impianto di sollevamento tramite un unico collettore di sezione scatolare 1900x2200. Valgono le medesime considerazioni riportate al caso precedente.

## 5.5 SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI

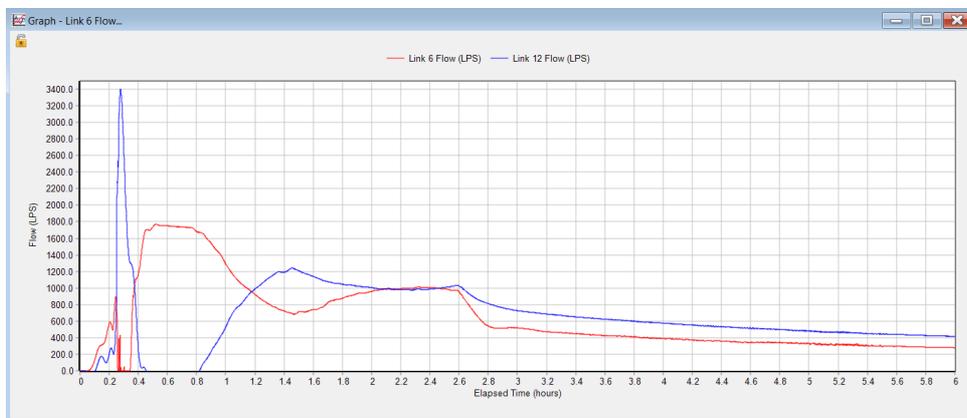
Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.





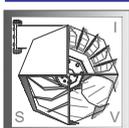
**Fig. 61 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)**

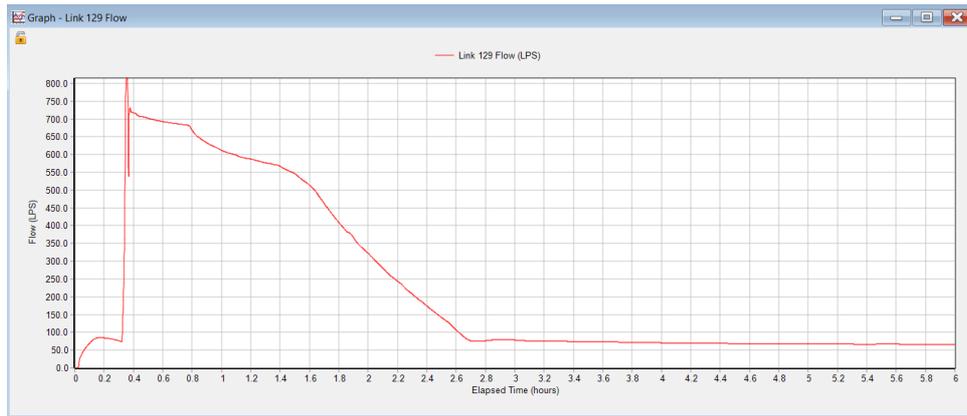
Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento:



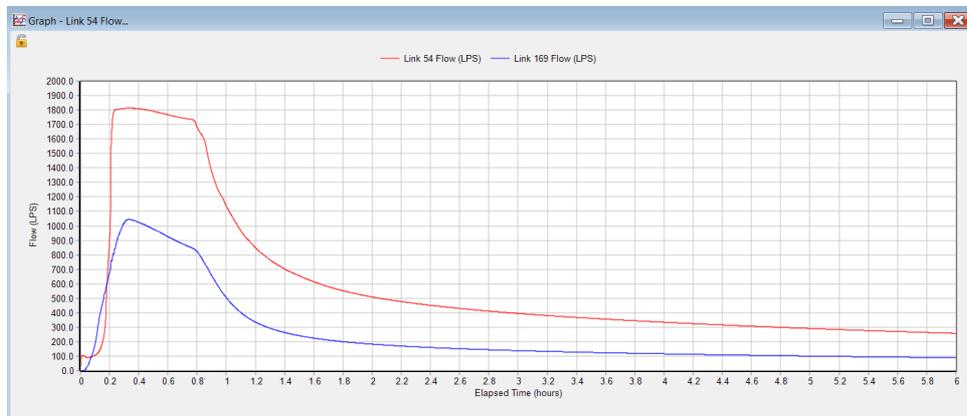
**Fig. 62 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento**

Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell'area piu' a ovest riducendo i deflussi verso l'impianto di sollevamento.





**Fig. 63 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 64 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**



**Fig. 65 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”**



Il programma di simulazione idraulica utilizzato permette di ottenere un report dei risultati ottenuti. Il volume di flooding complessivo, per un evento avente TR = 50 anni, risulterebbe pari a circa 19.800 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 144.000 mc; la maggior parte del volume fuoriuscito dalla rete è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci); si evidenzia l'aumento di fenomeni di flooding anche nella rete fognaria di via Finati e via Diana.

Dall'analisi delle portate nei rami principali si evidenzia un riempimento eccessivo di alcuni tratti di rete fognaria. Con tale evento meteorico si verifica la presenza di alcuni punti di "flooding" ovvero si verifica fuoriuscita di acqua da alcuni pozzetti di linea principalmente nell'area est (via Gioia – Via Vespucci – Via Finati) e nell'area nord-ovest di Via Monari e parte di via Gessi. L'impianto di sollevamento di via Sutter, con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (considerando le quattro pompe in funzione in parallelo) non risulta in grado di smaltire le massime portate defluite dai due collettori principali di via Sutter che si immettono all'interno dell'impianto di sollevamento tramite un unico collettore di sezione scatolare 1900x2200. Valgono le medesime considerazioni riportate al caso precedente.

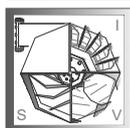
## 5.6 SIMULAZIONE CON TEMPO DI RITORNO 100 ANNI

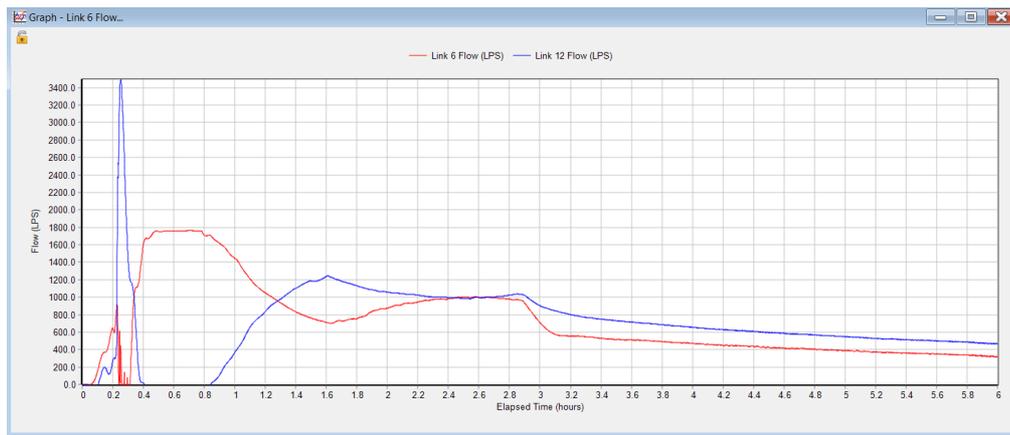
Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.



Fig. 66 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)

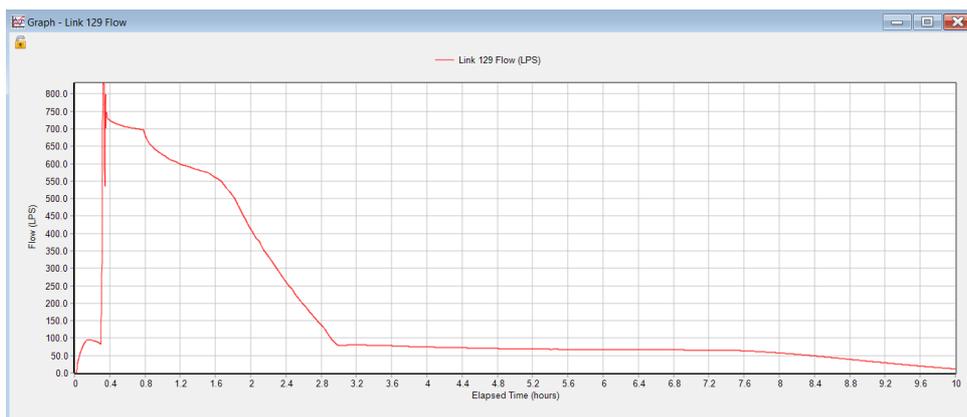
Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell'impianto di sollevamento:



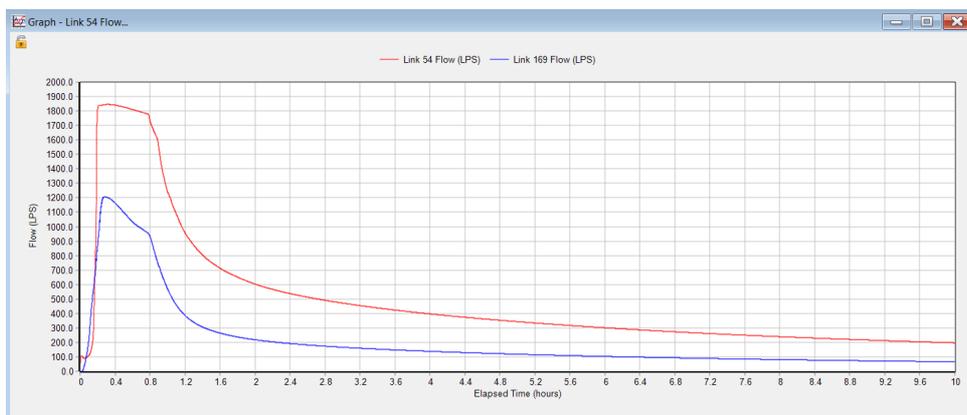


**Fig. 67 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell’impianto di sollevamento**

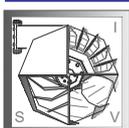
Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell’area piu’ a ovest riducendo i deflussi verso l’impianto di sollevamento.



**Fig. 68 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 69 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**





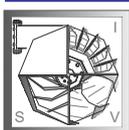
**Fig. 70 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”**

Il programma di simulazione idraulica utilizzato permette di ottenere un report dei risultati ottenuti. Il volume di flooding complessivo, per un evento avente TR = 100 anni, risulterebbe pari a circa 26.000 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 166.000 mc; la maggior parte del volume fuoriuscito dalla rete è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci); si evidenzia l'aumento di fenomeni di flooding anche nella rete fognaria di via Finati, via Monari e parte di via Gessi. Si evidenziano fenomeni di flooding in via Diana.

Dall'analisi delle portate nei rami principali si evidenzia un riempimento eccessivo di alcuni tratti di rete fognaria. Con tale evento meteorico si verifica la presenza di alcuni punti di “flooding” ovvero si verifica fuoriuscita di acqua da alcuni pozzetti di linea principalmente nell'area est (via Gioia – Via Vespucci – Via Finati). L'impianto di sollevamento di via Sutter, con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (considerando le quattro pompe in funzione in parallelo) non risulta in grado di smaltire le massime portate defluite dai due collettori principali di via Sutter che si immettono all'interno dell'impianto di sollevamento tramite un unico collettore di sezione scatolare 1900x2200. Valgono le medesime considerazioni riportate al caso precedente.

## 5.7 SIMULAZIONE CON EVENTO METEORICO DEL 19.08.2022

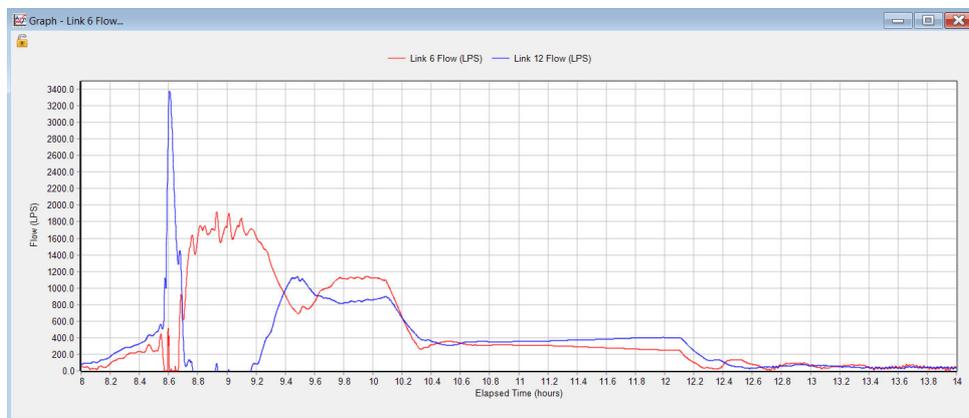
Nell'immagine successiva si riporta la simulazione della rete con evidenziati in rosso i rami nei quali si verifica portata superiore a 400 l/s.





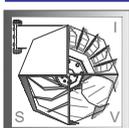
**Fig. 71 – Rete fognaria – Portate massime nei singoli rami (l/s)**

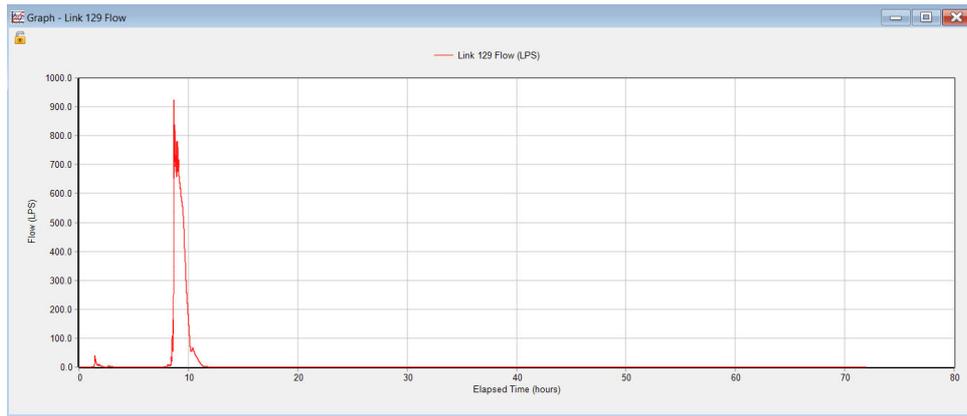
Di seguito si riporta il grafico delle portate nei due rami principali di via Sutter a monte dell’impianto di sollevamento:



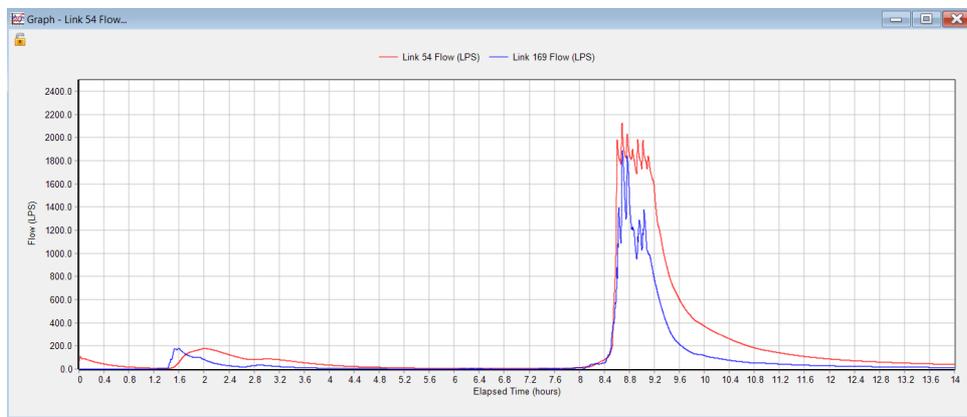
**Fig. 72 – Portata nei rami terminali di via Sutter a monte dell’impianto di sollevamento**

Le portate derivanti dalla rete posta a est risultano superiori a quelle derivanti dalla rete dei bacini ovest: si denota il funzionamento dello sfioro in via Canal Bianco che consente di sfiorare una parte della portata meteorica dell’area piu’ a ovest riducendo i deflussi verso l’impianto di sollevamento.





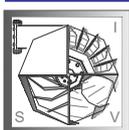
**Fig. 73 – Portata di scarico sfioratore DN 1000 di via Canal Bianco**



**Fig. 74 – Portata di scarico dei collettori principali di via Diana nel Canale Emissario Burana**



**Fig. 75 – Nodi idraulici nei quali si potrebbe verificare il fenomeno del “flooding”**



Il programma di simulazione idraulica utilizzato permette di ottenere un report dei risultati ottenuti. Il volume di flooding complessivo, per l'evento meteorico del 19.08.2022, risulterebbe pari a circa 28.000 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 84.000 mc; la maggior parte del volume fuoriuscito dalla rete è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci); si evidenzia l'aumento di fenomeni di flooding anche nella rete fognaria di via Finati, via Monari e parte di via Gessi. Si evidenziano fenomeni di flooding in via Diana.

Dall'analisi delle portate nei rami principali si evidenzia un riempimento eccessivo di alcuni tratti di rete fognaria. Con tale evento meteorico si verifica la presenza di alcuni punti di "flooding" ovvero si verifica fuoriuscita di acqua da alcuni pozzetti di linea principalmente nell'area est (via Gioia – Via Vespucci – Via Finati) e nell'area ovest in via Monari da via Finati sino a via Sutter e nella parte di via Gessi lato via Finati. L'impianto di sollevamento di via Sutter, con una portata di picco pari a circa 2.100 l/s (considerando le quattro pompe in funzione in parallelo) non risulta in grado di smaltire le massime portate defluite dai due collettori principali di via Sutter che si immettono all'interno dell'impianto di sollevamento tramite un unico collettore di sezione scatolare 1900x2200. Valgono le medesime considerazioni riportate al caso precedente.

## 5.8 CONSIDERAZIONI SUL FUNZIONAMENTO DELLA RETE FOGNARIA

La rete fognaria a servizio dell'area industriale presenta un corretto funzionamento in occasione di eventi meteorici di limitato tempo di ritorno, quindi non particolarmente gravosi. Le criticità maggiori sono evidenziate, dalle simulazioni idrauliche, nella rete scolante dell'area nord e nord-est con i primi fenomeni di flooding (ovvero di rigurgiti di acqua meteorica dalla rete fognaria) a partire da eventi con tempo di ritorno 5 anni, mentre la rete fognaria per acque meteoriche a servizio dell'area sud (via Diana e Smeraldina) presenta minori criticità con i primi fenomeni di flooding a partire da eventi meteorici aventi tempo di ritorno 25 anni.

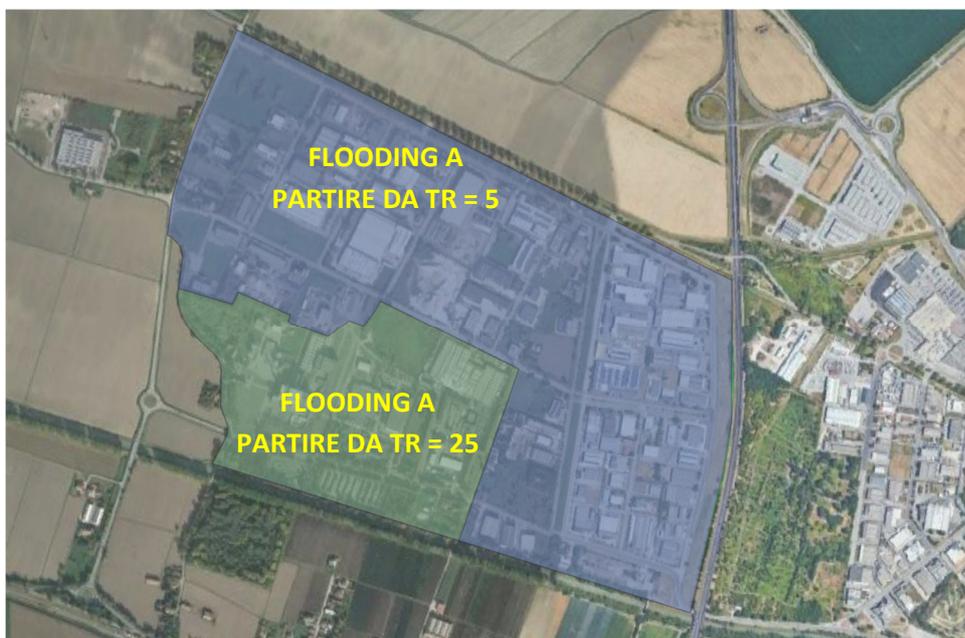
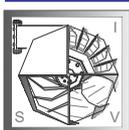


Fig. 76 –Tempo di ritorno critico per il bacino nord - nord/est e per il bacino sud



Le due reti fognarie presentano diverso sistema di scolo: la rete fognaria dei bacini nord e nord-est è asservita ad un impianto di sollevamento avente potenzialità di sollevamento di una portata pari a circa 2100 l/s (nel caso di accensione di tutte le quattro pompe per acque bianche), mentre la rete fognaria a servizio dei bacini sud, risulta più contenuta in estensione e con scarico a gravità del Burana quindi le limitazioni di portata massima allo scarico sono determinate dal livello idrometrico nel canale ricevitore e dalla geometria dei collettori di scarico che, come evidenziato nella tabella seguente, determinano un limite alla portata inferiore rispetto al limite di portata allo scarico determinato dall'impianto di sollevamento di via Sutter.

TR	Portata massima scarico			Superficie scoltante		Coefficiente udometrico		
	NORD	Imp. Sutter	SUD	NORD	SUD	NORD		SUD
	l/s		l/s	Ha	Ha	l/s x Ha		l/s x Ha
2	2 645	2 100	1040	120	40	22,0	17,5	26,0
5	4 790	2 100	1972	120	40	39,9	17,5	49,3
10	5 505	2 100	2345	120	40	45,9	17,5	58,6
25	5 716	2 100	2632	120	40	47,6	17,5	65,8
50	5 990	2 100	2859	120	40	49,9	17,5	71,5
100	6 097	2 100	3054	120	40	50,8	17,5	76,4
<b>evento 19/08/2022</b>	5 971	2 100	3656	120	40	49,8	17,5	91,4

Come è evidente dalla tabella sopra riportata, la portata di pompaggio dell'impianto di via Sutter presenta medesimo ordine di grandezza della portata di scarico della rete nord solo in occasione di eventi meteorici aventi tempo di ritorno pari a 2 anni, mentre a partire da eventi con tempo di ritorno di 5 anni, la portata dell'impianto di scarico risulta sottodimensionata di un fattore 2 che aumenta sino a 3 nel caso di eventi meteorici con tempo di ritorno 100 anni. Il coefficiente udometrico determinato dalla portata dell'impianto di via Sutter rispetto alla superficie afferente è stimabile pari a  $(2100 \text{ l/s} / 120 \text{ Ha}) = 17,5 \text{ l/s x Ha}$ , inferiore rispetto al coefficiente udometrico determinato dalle effettive portate che la rete, a servizio delle aree nord e nord-est, potenzialmente scaricherebbe in assenza di sollevamento terminale.

La rete nord e nord-est presenta inoltre alcune anomalie quali restrizioni di diametro, da monte verso valle (vedasi i collettori di via Monari, Castelbolognesi, Gioia, Vespucci) e sono presenti contropendenze di qualche decina di centimetri tra la rete di via Diana est e via Vespucci / Sutter e la rete di via Finati direzione via Sutter. Tali anomalie sicuramente incidono sul ridotto funzionamento della rete fognaria a servizio dei bacini nord-ovest e nord-est rispetto al funzionamento della rete fognaria a servizio della zona sud dell'area industriale.

## 5.9 CONSIDERAZIONI SULL'EVENTO METEORICO DEL 19.08.2022

Si riportano di seguito ulteriori considerazioni sull'evento meteorico del 19.08.2022 desunte dall'analisi dei risultati delle simulazioni idrauliche e dello studio idrologico sviluppato.

Come anticipato nei paragrafi precedenti, sovrapponendo la curva cumulata dell'evento meteorico del 19.08.2022 alle curve di possibilità pluviometrica con diversi tempi di ritorno, si evidenzia che l'evento meteorico raggiunge e supera la curva pluviometrica con TR = 25 anni. Dall'analisi del funzionamento della rete fognaria in occasione



delle diverse curve pluviometriche si evidenzia che i volumi di flooding ottenuti con l'evento meteorico del 19.08.2022 risultano superiori alla curva pluviometrica con TR = 100 anni.

TR	Runoff complessivo	Flooding complessivo	Percentuale flooding su runoff
	mc	mc	%
5	71 000	3 000	4,2%
10	93 800	7 450	7,9%
25	122 800	14 229	11,6%
50	144 470	19 839	13,7%
100	166 000	26 000	15,7%
<b>evento 19/08/2022</b>	84 000	28 000	33,3%

Comparando il volume complessivo di flooding con il volume di acqua meteorica defluita dall'intero bacino, l'evento meteorico del 19/08/22 presenta il maggior rapporto percentuale in quanto tale evento è risultato estremamente impulsivo. Nella tabella successiva si riportano le portate massimo di scarico per i diversi tempi di ritorno.

TR	Portata massima scarico
	l/s
2	3 685
5	6 762
10	7 850
25	8 348
50	8 849
100	9 151
<b>evento 19/08/2022</b>	9 627

L'evento meteorico del 19/08/2022 presenta la maggior portata di scarico ottenuta dalla somma delle singole portate di scarico.

## 6 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Nell'ambito del progetto USAGE, è stato effettuato volo con laser scanner ottenendo la restituzione del modello digitale del terreno. Per quanto riguarda l'area industriale oggetto del presente studio idraulico, si riporta di seguito da discretizzazione delle quote del terreno comprese tra +5.00 e +7.00 metri sul livello del mare per individuare visivamente le superfici piu' depresse (colore blu) e quelle meno depresse (verde).



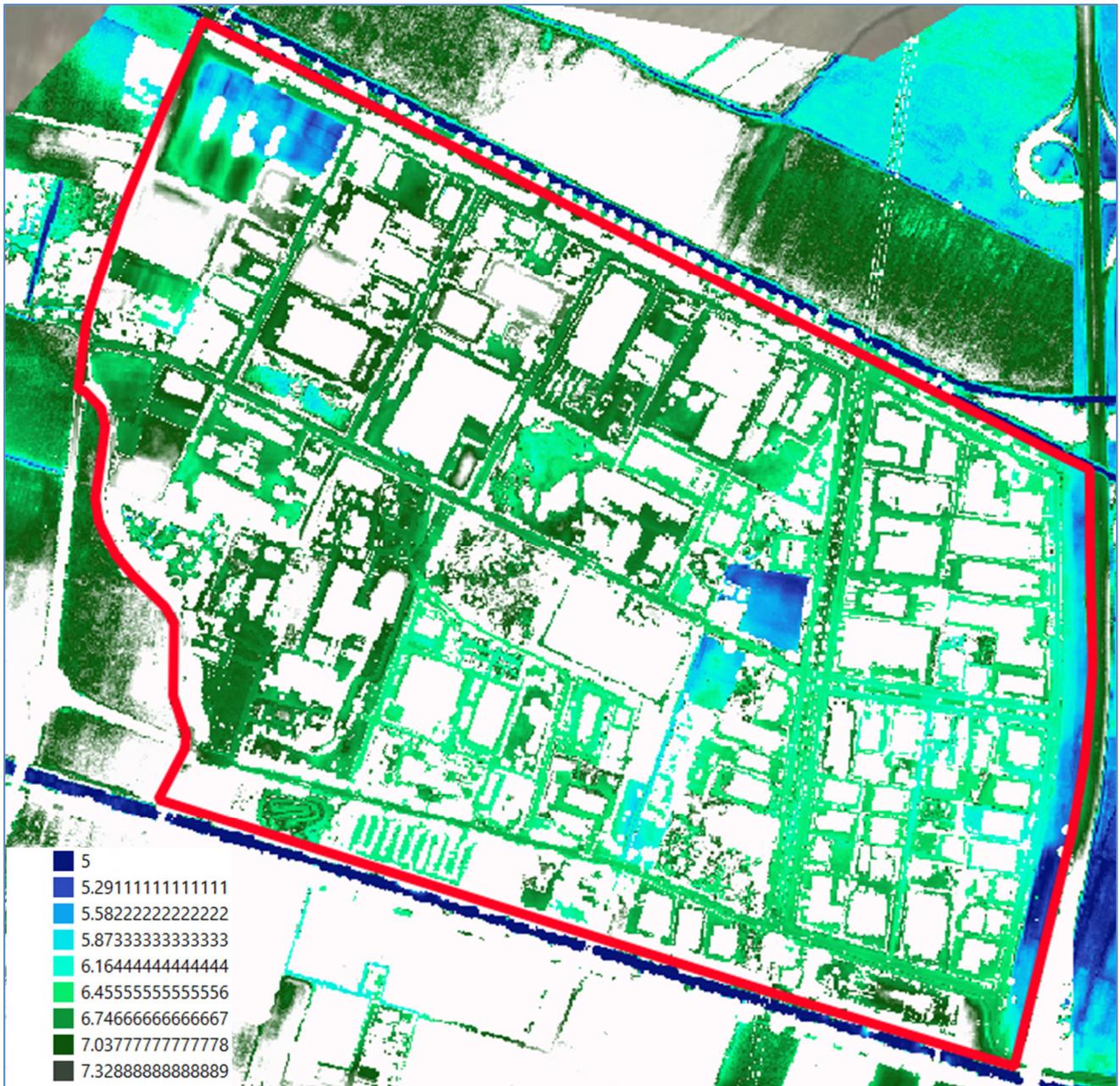


Fig. 77 – DTM area industriale

Dall'analisi della mappa DTM è possibile individuare nelle vie Smeraldina, Giogia e Vespucci le zone a minor quota altimetrica. Sono evidenti le aree a verde a minor quota altimetrica di via Canal Bianco – Via Sutter, di via Finati incrocio con via Smeraldina e con via Colombo e l'area a verde tra via Vespucci e il rilevato stradale A13.



## 7 ZONE A MAGGIORE CRITICITA'

Dalle simulazioni idrauliche effettuate sono emerse alcune criticità idrauliche delle reti fognarie esistenti, in particolare per il comparto nord-nord/est asservito all'impianto di sollevamento di via Sutter. A partire da eventi pluviometrici aventi curve di possibilità pluviometrica di 5 anni, tale comparto presenta le maggiori criticità idrauliche concentrate in via Finati, via Gioia e via Vespucci con interessamento anche di via Colombo. A partire da TR 25 si evidenziano criticità idrauliche anche in via Monari e via Gessi, via Colombo e in particolare via Bottego.

Nelle successive mappe si riportano le aree di allagamento ottenute dalla sovrapposizione dei volumi di flooding ottenuti con le diverse simulazioni per le varie curve di possibilità pluviometrica aventi tempi di ritorno da 2 a 50 anni. Non è stato riportato il caso con TR = 100 anni in quanto, per quanto riguarda i volumi di acqua meteorica fuoriuscita dalla rete fognaria per flooding, ha presentato valori inferiori rispetto ai volumi di flooding ottenuti dalla simulazione dell'evento meteorico del 19.08.2022.

### 7.1 ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA TR 5 ANNI

Per un evento meteorico avente TR = 5 anni, il volume di flooding risulterebbe pari a circa 3.000 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 71.000 mc (pari al 4,2 % del volume totale defluito); la maggior parte del volume di acqua meteorica fuoriuscito dalla rete fognaria è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia – Via Vespucci) come evidenziato dalle aree con retino azzurro nell'immagine seguente.



Fig. 78 – Flooding evento TR 5 anni



## 7.2 ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA TR 25 ANNI

Per un evento meteorico avente  $TR = 25$  anni, il volume di flooding risulterebbe pari a circa 14.230 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 122.800 mc (pari al 11,6 % del volume totale defluito); la maggior parte del volume di acqua meteorica fuoriuscito dalla rete fognaria è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia, Via Vespucci, Via Colombo, Via Bottego e Via Finati) come evidenziato dalle aree con retino azzurro nell'immagine seguente.

Si evidenziano anche alcuni allagamenti in via Monari e via Gessi. Le zone allagate presentano maggiore estensione rispetto al caso precedente e ricomprendono aree attualmente a verde, con piano campagna più depresso rispetto al piano stradale. Le zone di allagamento, oltre alla sede stradale delle vie sopra citate, ricomprendono anche i piazzali interni di alcune attività industriali.

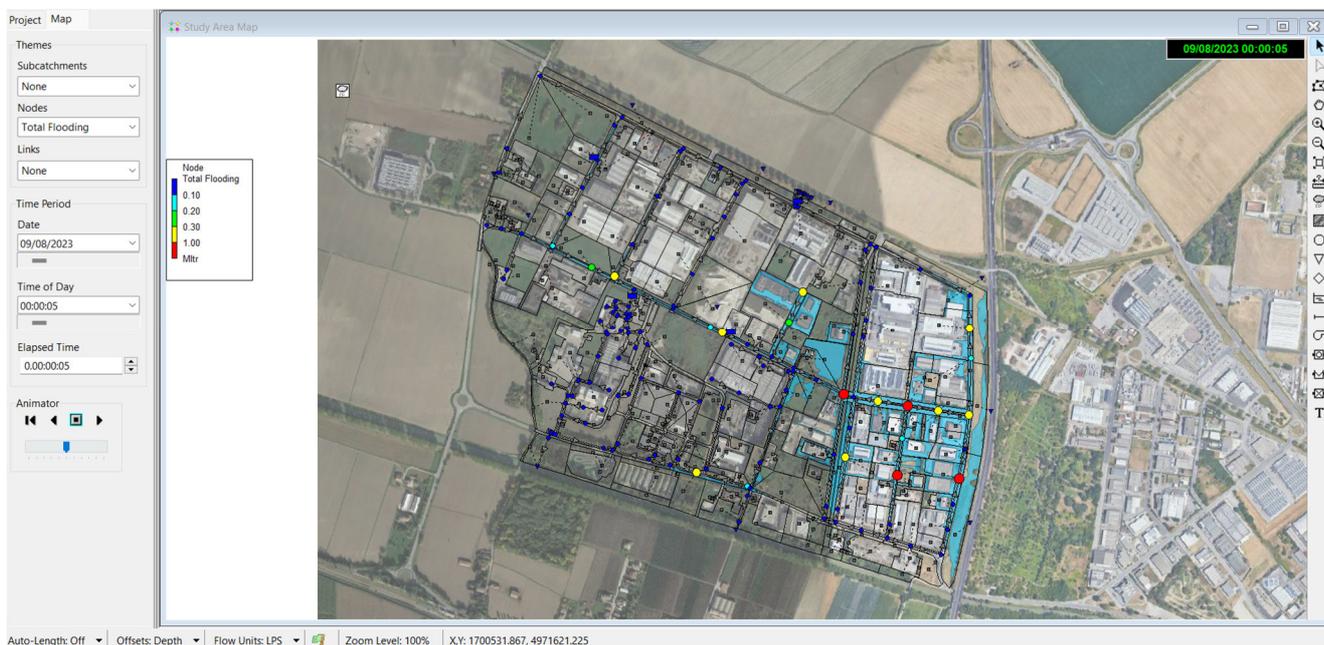


Fig. 79 – Flooding evento TR 25 anni

## 7.3 ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA TR 50 ANNI

Per un evento meteorico avente  $TR = 50$  anni, il volume di flooding risulterebbe pari a circa 19.800 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 144.470 mc (pari al 13,7 % del volume totale defluito); la maggior parte del volume di acqua meteorica fuoriuscito dalla rete fognaria è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia, Via Vespucci, Via Colombo, Via Bottego e Via Finati) come evidenziato dalle aree con retino azzurro nell'immagine seguente. Si evidenziano anche allagamenti in via Monari (per l'intera estensione) e parte di via Gessi. Le zone allagate presentano maggiore estensione rispetto al caso precedente e ricomprendono aree attualmente a verde, con piano campagna più depresso rispetto al piano stradale. Le zone di allagamento, oltre alla sede stradale delle vie sopra citate, ricomprendono anche i piazzali interni di alcune attività industriali.

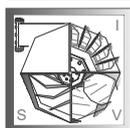




Fig. 80 – Flooding evento TR 50 anni

## 7.4 ALLAGAMENTI CON CURVA CUMULATA EVENTO METEORICO DEL 19.08.2022

Come anticipato nei paragrafi precedenti, sovrapponendo la curva cumulata dell'evento meteorico del 19.08.2022 alle curve di possibilità pluviometrica con diversi tempi di ritorno, si evidenzia che l'evento meteorico raggiunge e supera la curva pluviometrica con TR = 25 anni. Dall'analisi del funzionamento della rete fognaria in occasione delle diverse curve pluviometriche si evidenzia che i volumi di flooding ottenuti con l'evento meteorico del 19.08.2022 risultano superiori alla curva pluviometrica con TR = 100 anni. Per tali motivi si riporta nel presente paragrafo i risultati della simulazione idraulica ottenuti con dati di input la curva cumulata dell'evento meteorico registrato in data 19.08.2022.

Il volume di flooding risulterebbe pari a circa 28.000 mc su un volume defluito dall'intera area industriale pari a circa 84.000 mc (quindi il volume di acqua meteorica fluiuscita dalla rete risulterebbe pari al 33,3 % del volume totale defluito dall'area industriale); la maggior parte del volume di acqua meteorica fuoriuscita dalla rete fognaria è concentrato nella zona est dell'area (via Gioia, Via Vespucci, Via Colombo, Via Bottego e Via Finati) come evidenziato dalle aree con retino azzurro nell'immagine seguente; Si evidenziano anche allagamenti in via Monari (per l'intera estensione) e parte di via Gessi, come evidenziato dalle aree con retino azzurro nell'immagine seguente. Le zone allagate presentano maggiore estensione rispetto al caso precedente e ricomprendono aree attualmente a verde, con piano campagna piu' depresso rispetto al piano stradale. Le zone di allagamento, oltre alla sede stradale delle vie sopra citate, ricomprendono anche i piazzali interni di alcune attività industriali.





Fig. 81 – Flooding evento del 19.08.2022

## 8 SCHEMATIZZAZIONE DEL LIVELLO DI IMPERMEABILITÀ

Dall'analisi delle ortofoto sull'area oggetto di studio è stato possibile perimetrare le aree a diverse permeabilità del suolo. Tale analisi è stata condotta su modello GIS dell'area, suddividendo le aree scolanti asservite alla rete fognaria in tre categorie:

- Aree impermeabili (superfici a tetto, superfici asfaltate, superfici impermeabilizzate con platee e solette): per tali superfici scolanti il coefficiente di deflusso considerato è stato posto pari a: 1,0 per i tetti e 0,9 per tutte le altre superfici; Dall'elaborazione dei dati si è ottenuto che circa il 50% delle aree impermeabili è costituito da tetti di edifici, pertanto il coefficiente di deflusso medio per le aree impermeabili è assunto pari a 0,95 (media pesata tra le superfici con coefficiente pari a 1,0 e quelle con coefficiente pari a 0,9).
- Aree impermeabili costituite dalla viabilità pubblica: per tali superfici scolanti il coefficiente di deflusso considerato è stato posto pari a: 1,00.
- Aree semi-impermeabili (superfici di transito con finitura in stabilizzato o ghiaio compattato): per tali superfici scolanti il coefficiente di deflusso considerato è stato posto pari a 0,6.
- Aree permeabili (aree a verde quali giardini) per tali superfici scolanti il coefficiente di deflusso considerato è stato posto pari a 0,2.





Fig. 82 – Suddivisione delle aree scolanti in impermeabili-semiimpermeabili-permeabili

Dall'estratto planimetrico GIS sopra riportato si evidenzia come la zona nord e nord-est dell'area artigianale presenti la maggior percentuale di aree impermeabilizzate rispetto alla parte sud e sud est.

## 8.1 INDIVIDUAZIONE GRADO DI IMPERMEABILIZZAZIONE MASSIMO

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle diverse superfici a diverso coefficiente di deflusso e il coefficiente di deflusso medio dell'area industriale che risulta pari a 0,67.

SUPERFICI	Ha	COEFF. DEFL.	PERCENTUALE
SUPERFICI IMPERMEABILI	80,00	0,95	50%
SUPERFICI STRADE	15,00	1,00	9%
SUPERFICI SEMI IMPERMEABILI	9,00	0,60	6%
SUPERFICI PERMEABILI	56,0	0,20	35%
<b>TOTALE</b>	<b>160,00</b>		<b>100%</b>
<b>COEFF. DEFL. MEDIO</b>		<b>0,67</b>	

Si denota che allo stato attuale il 59% dell'area è costituita da superfici impermeabili (di cui circa il 50% è determinato dalla somma delle superfici impermeabili delle singole attività industriali e il 9% dalla viabilità pubblica) e il 35% da superfici permeabili; le superfici semi-impermeabili ricoprono solo il 6% dell'intera superficie.

## 8.2 INDIVIDUAZIONE DEFICIT VOLUME DI LAMINAZIONE

Dai dati forniti da Hera S.p.a. sono presenti 10 attività industriali, sull'intera area industriale oggetto del presente studio idraulico, dotate di vasche di prima pioggia a servizio di piazzali e/o depositi. Altresì dai dati ottenuti dal Gestore, sia dalla campagna di indagine effettuata, non è stato possibile individuare Ditte dotate anche di sistemi di laminazione delle portate di picco meteoriche defluite dalle superfici scolanti verso la rete fognaria pubblica.



Pertanto, secondo i dati raccolti alla data dell'emissione della presente relazione, non risultano presenti, all'interno dell'area industriale, Ditte che abbiano applicato il principio di l'invarianza idraulica alle proprie reti scolanti interne.

Su tali considerazioni è stato sviluppato il calcolo dei volumi di laminazione necessari al rispetto del principio di invarianza idraulica per ciascuna attività (industriale e artigiana) presente all'interno dell'area oggetto di studio.

Tali volumi di laminazione sono stati calcolati applicando il regolamento del Gestore delle reti fognarie Hera S.p.a. Il regolamento del Gestore riprende le procedure per l'applicazione del principio di invarianza idraulica approvate con deliberazione n°61 del 04.12.2009 del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara, che prevedono:

Le nuove opere di nuova urbanizzazione nel territorio consortile devono essere realizzate perseguendo l'invarianza idraulica attraverso interventi di mitigazione delle portate in ingresso alla rete Consorziale:

### 1. Superfici urbanizzate da 0 a 0,50 Ha:

- Q max accettabile = 15 l/s \* Ha
- Volume minimo invasabile = massimo tra 150 mc/Ha urbanizzato e 215 mc/Ha impermeabilizzato

### 2. Superfici urbanizzate da 0,5 a 1,00 Ha:

- Q max accettabile = 12 l/s \* Ha
- Volume minimo invasabile = massimo tra 200 mc/Ha urbanizzato e 285 mc/Ha impermeabilizzato

### 3. Superfici urbanizzate oltre 1,00 Ha:

- Q max accettabile = 8 l/s \* Ha
- Volume minimo invasabile = massimo tra 350 mc/Ha urbanizzato e 500 mc/Ha impermeabilizzato

Dall'analisi delle singole superfici scolanti di pertinenza di ciascuna attività industriale presente nell'area industriale oggetto di studio, si ottengono i seguenti volumi di accumulo e laminazione specifici espressi in mc/Ha:



Fig. 83 –Volume di accumulo e laminazione specifico



Il volume di accumulo e laminazione specifico, dato atto che è stato ottenuto applicando il principio di invarianza idraulica allo stato di fatto, e quindi in maniera retroattiva, viene definito come deficit di volume di invaso specifico. Dal prodotto del deficit del volume di invaso specifico, espresso in mc/Ha, e le superfici delle pertinenze di ciascuna attività industriale presente, si ottiene il volume minimo di invaso che ciascuna attività avrebbe dovuto realizzare all'interno delle proprie pertinenze, per rispettare il principio di invarianza idraulica.

La somma dei volumi di invaso derivanti dal calcolo precedente risulta pari a circa 40.000 mc. La somma complessiva delle superfici di ciascuna attività industriale ammonta a circa 116 Ha, pertanto il deficit medio dei volumi di invaso delle attività presenti nell'area industriale è pari a circa  $40.000 \text{ mc} / 116 \text{ Ha} = 344 \text{ mc/Ha}$ .

Considerando che la viabilità pubblica presenta una superficie impermeabile pari a circa 15 Ha e considerando di applicare il principio di invarianza idraulica anche a tali superfici si otterrebbe un deficit di volume di invaso pari a 7.500 mc, che sommato al precedente determinerebbe un deficit complessivo pari a circa 47.500 mc.

### 8.3 CALCOLO SPEDITIVO DEL DEFICIT DEL VOLUME DI LAMINAZIONE

Si propone un secondo metodo per il calcolo del volume di laminazione per il mantenimento del principio di invarianza idraulica, ovvero l'applicazione del metodo razionale alla somma delle superfici urbanizzate delle diverse attività industriali e del sedime stradale, considerando una portata massima di scarico pari a  $8 \text{ l/s} \times \text{Ha}$  (valore di calcolo derivante dal regolamento del Consorzio di Bonifica) e una curva di possibilità pluviometrica con  $TR = 50$  anni. Questo metodo consiste nel determinare i volumi entranti e uscenti nel sistema al variare del tempo di pioggia, dalla cui differenza si ottiene il valore del volume di invaso cercato. La portata generata dalla superficie totale di progetto viene stimata tramite il metodo razionale:

$$Q = C \cdot j \cdot S$$

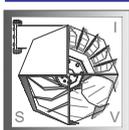
in cui:

- Q portata allo scarico in mc/h
- C coefficiente di afflusso
- S superficie di raccolta in mq
- J intensità di pioggia in m/h determinata secondo le curve di possibilità pluviometrica con tempo di ritorno pari a 50 anni per scrosci e piogge intense superiori all'ora.

Moltiplicando questa relazione per il tempo si ottiene il volume in ingresso cercato. Nel caso del volume uscente, esso è dato esclusivamente dall'aliquota dovuta allo scarico nei corpi idrici superficiali non considerando perciò l'aliquota dovuta alla filtrazione nel fondo dell'invaso.

La portata in uscita dall'area in esame viene calcolata considerando una portata meteorica massima accettabile allo scarico pari a  $8 \text{ l/s} \times \text{Ha}$ ). La stima del volume di invaso risulterà quindi essere pari a:

$$V_{\text{invaso}} = V_{\text{in}} - V_{\text{out}} = (C \cdot j \cdot S) \cdot t - [Q_{\text{scarico}}] \cdot t$$



In tali ipotesi si calcola la quantità, in termini volumetrici, di pioggia caduta secondo la curva pluviometrica per tempi di ritorno pari a 50 anni precedentemente calcolata. In seguito si riporta in un grafico “Volume / tempo” la precedente relazione esplicitata per l’area di studio. In tale grafico viene mostrata la curva caratteristica dei bacini, in cui il massimo rappresenta il valore cercato del volume da invasare.

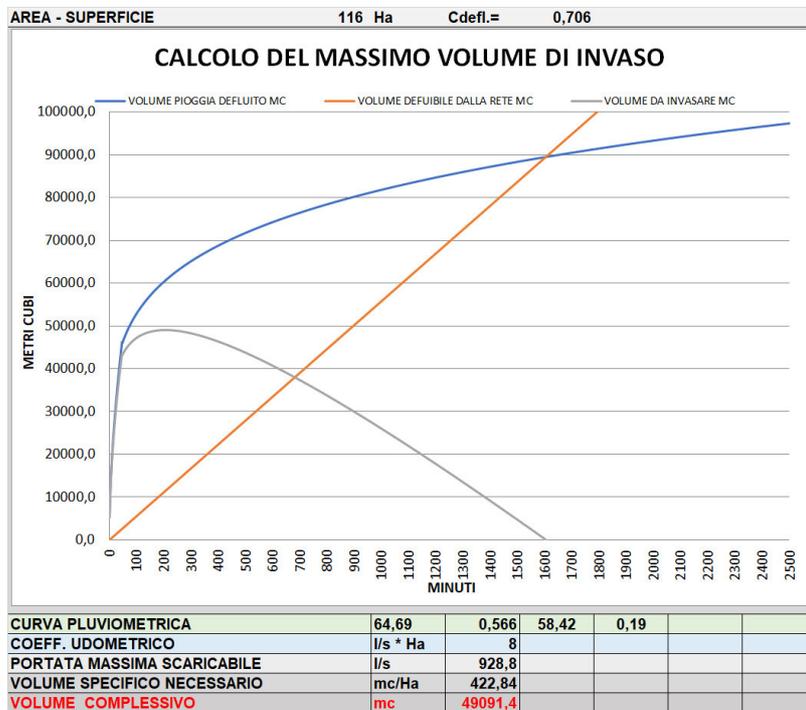


Fig. 84 – Calcolo del volume di laminazione metodo razionale (superfici interne alle ditte)

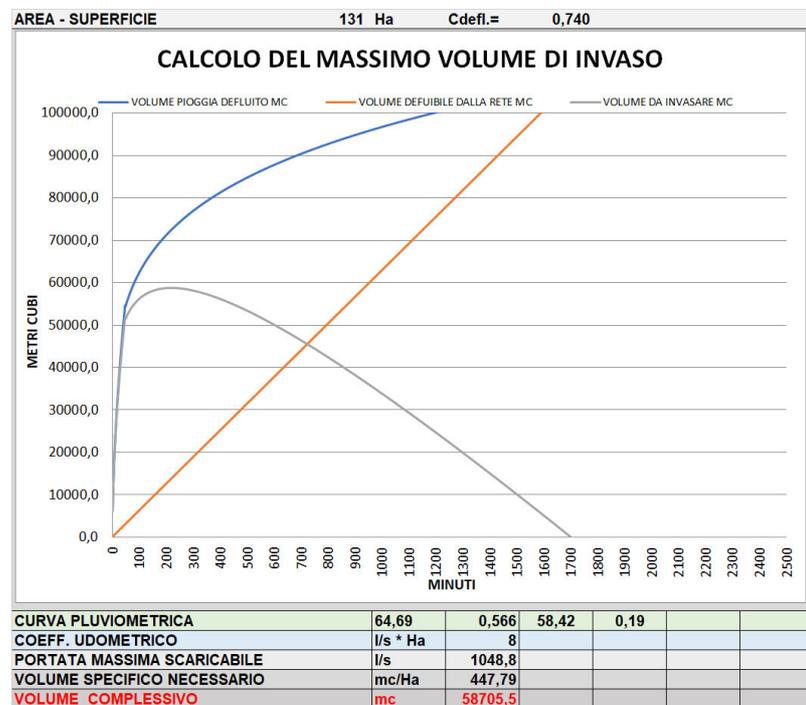


Fig. 85 – Calcolo del volume di laminazione metodo razionale (superfici interne alle ditte+viabilità pubblica)



Il volume minimo di invaso calcolato con il metodo razionale, per l'area industriale avente superficie scolante pari a 116 Ha, risulterebbe pari a circa 49.000 mc, quindi superiore al valore precedentemente calcolato, secondo i parametri del regolamento consortile, pari a 40.000 mc.

Considerando nel calcolo dei volumi anche le superfici a viabilità pubblica, il volume di invaso calcolato con il metodo razionale risulterebbe pari a 58.700 mc, superiore al valore precedentemente calcolato, secondo i parametri del regolamento consortile, pari a 47.500 mc.

Tali differenze tra i due metodi derivano essenzialmente dalle diverse modalità di calcolo: il metodo razionale, in primis, non differenzia il volume specifico di laminazione in funzione del valore della superficie a cui viene applicato, al contrario, il regolamento consortile prevede una differenza notevole di volume specifico in relazione al valore della superficie scolante a cui viene applicato (secondo tre step di calcolo da 0 a 0.5 Ha, da 0.5 a 1.0 Ha e superiore a 1.0 Ha).

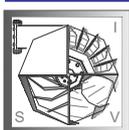
Con il metodo razionale si calcola il volume di laminazione minimo mediante una funzione della curva di possibilità pluviometrica avente tempo di ritorno 50 anni, variabile da zona a zona, in relazione dei diversi coefficienti delle curve biparametriche o triparametriche e in funzione del coefficiente di deflusso medio dell'area oggetto di trasformazione, mentre il regolamento consortile non presenta tale funzione specifica.

Il regolamento Consortile pertanto potrebbe portare a risultati diversi, a parità di superficie complessiva e grado di impermeabilizzazione, a seconda dell'ampiezza delle superfici dei sottobacini scolanti con riferimento ai tre step previsti nel regolamento consortile.

## **8.4 ANALISI DEL DEFICIT DEL VOLUME DI LAMINAZIONE**

Dall'analisi del deficit del volume di accumulo e laminazione delle portate meteoriche si evince che la zona a maggior sofferenza idraulica in termini di funzionamento della rete fognaria per lo smaltimento delle acque meteoriche è la parte nord - orientale compresa tra le vie Vespucci, Gioia, Colombo e Finati. Il deficit del volume di accumulo e laminazione delle acque meteoriche per tale comparto ammonterebbe a circa 19.740 mc su una superficie complessiva pari a circa 46 Ha (ottenendo un volume specifico pari a circa 368 mc/Ha come da calcolo effettuato applicando il regolamento consortile / Hera S.p.a.).

Analizzando i dati dei volumi di flooding precedentemente riportati, il valore del deficit del volume di accumulo e laminazione ottenuto applicando il regolamento di Hera S.p.a. (derivante dal regolamento del Consorzio di Bonifica) all'area industriale soggetta a sofferenza idraulica, risulta del medesimo ordine di grandezza del volume di acqua meteorica di flooding calcolato con le simulazioni idrauliche condotte per eventi aventi tempo di ritorno pari a 50 anni. Si riporta di seguito tabella comparativa.



TR	Runoff complessivo	Flooding complessivo	Percentuale flooding su runoff		Deficit volume di invaso aree a sofferenza idraulica	Deficit volume di invaso complessivo
	mc	mc	%		mc	mc
5	71 000	3 000	4,2%		19 740	47 500
10	93 800	7 450	7,9%		19 740	47 500
25	122 800	14 229	11,6%		19 740	47 500
50	144 470	19 839	13,7%		19 740	47 500
100	166 000	26 000	15,7%		19 740	47 500
evento 19/08/2022	84 000	28 000	33,3%		19 740	47 500

## 9 ANALISI DEL GRADO DI SOFFERENZA DEL COMPARTO PRODUTTIVO

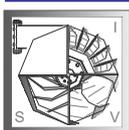
Dall'analisi delle elaborazioni effettuate ai precedenti paragrafi emergono i seguenti aspetti idraulici:

- Le reti fognarie che presentano scarico a gravità su corpo idrico superficiale presentano maggiore efficienza in termini di portata massima smaltibile, rispetto alle reti afferenti all'impianto di sollevamento di via Sutter;
- L'impianto di sollevamento di via Sutter per lo sfioro delle acque meteoriche nel Canal Bianco risulterebbe sottodimensionato rispetto alla portata massima dei collettori ad esso afferenti;
- La geometria dei due collettori principali afferenti all'impianto di via Sutter determina la contrapposizione dei flussi idraulici aumentando le perdite di carico concentrate all'imbocco dell'impianto di sollevamento;
- In diversi tratti indagati tramite rilievo topografico, si sono evidenziate alcune anomalie costruttive come ad esempio la riduzione di diametro nella direzione del flusso di alcuni tratti, contropendenze di qualche decina di centimetri nella direzione del flusso, presenza di acqua e depositi all'interno dei collettori;
- Molte aree a verde poste all'interno della sede stradale presentano quote del piano campagna superiori alle quote del manto stradale (perdendo in tal modo la possibilità di asservire quali bacini di laminazione diffusi a servizio della viabilità stradale);
- La rete fognaria dell'area nord e nord-est è costituita da collettori fognari per acque miste, rendendo difficoltosa la realizzazione di sfioratori di troppo pieno in bacini di laminazione a cielo aperto delle portate meteoriche di picco (gli sfioratori necessitano di impianti di filtrazione fine a monte dello scarico), pertanto eventuali volumi di laminazione a servizio di reti miste dovranno essere realizzati con vasche interrato, economicamente più costose dei bacini a cielo aperto;
- Quasi la totalità delle aziende esistenti non risulterebbe dotata di bacini di laminazione delle portate di picco meteoriche ai fini dell'applicazione del principio di invarianza idraulica.

Per fornire un quadro sul grado di sofferenza idraulica del comparto produttivo di Cassana, si è ritenuto utile riportare le elaborazioni di alcuni dei parametri che determinano le criticità idrauliche sopra riportate.

### Coefficiente di deflusso

Il comparto produttivo presenta un coefficiente di deflusso medio pari a circa 0,67: sono presenti sottocomparti con coefficiente di deflusso inferiore a tale valore (comparto sud di via Diana e comparto nord-ovest di via Canal



Bianco-Finati ovest e Sutter ovest) e sottocomparti con coefficienti di deflusso superiori alla media calcolata per l'intera macroarea industriale. Si riporta di seguito un estratto delle elaborazioni GIS.



Fig. 86 – Estratto GIS con indicazione coefficienti medi di deflusso suddivisi per comparto

E' possibile notare i valori maggiori del coefficiente di deflusso medio per l'area nord-nord/est, la zona che presenta le maggiori criticità idrauliche.

### Deficit del volume di invaso e laminazione



Fig. 87 – Estratto GIS con indicazione del deficit del volume medio di invaso (metodo razionale)



Dall'analisi del deficit dei volumi di invaso specifici riportata nei paragrafi precedenti, si è passati all'individuazione del deficit specifico medio calcolato per comparti. Al fine di ottenere un risultato numerico indipendente dall'estensione areale delle singole particelle in cui ciascun comparto è suddiviso, si è applicato il metodo razionale per il calcolo del deficit dei volumi di invaso specifici. Anche nella suddetta elaborazione appare evidente il maggior deficit per l'area nord nord/est.

### **Tempi di ritorno eventi meteorici critici**

Dall'analisi delle mappe relative al flooding è possibile individuare, all'interno dell'area industriale, zone a maggior o minore sofferenza idraulica, che come detto in precedenza, risulterebbe legata a più fattori. Nell'immagine seguente si riportano i tempi di ritorno degli eventi meteorici definiti "critici" per i diversi sottobacini: le aree a maggior criticità sono rappresentate con colore rosso e presentano tempo di ritorno più basso relativamente all'evento che determina il fenomeno del flooding (ovvero maggiore frequenza di flooding); al contrario, maggiore è il tempo di ritorno dell'evento critico, minore risulterebbe la sofferenza idraulica di una determinata zona.

Le zone che presentano tempi di ritorno più bassi, ovvero a maggiore sofferenza idraulica, sono quelle dell'area nord/est con le vie Vespucci, Colombo, Gioia e in corrispondenza della parte centrale dell'area industriale corrispondente alla zona di via Finati, come tra l'altro già evidenziato dalle simulazioni idrauliche riportate nei precedenti paragrafi.

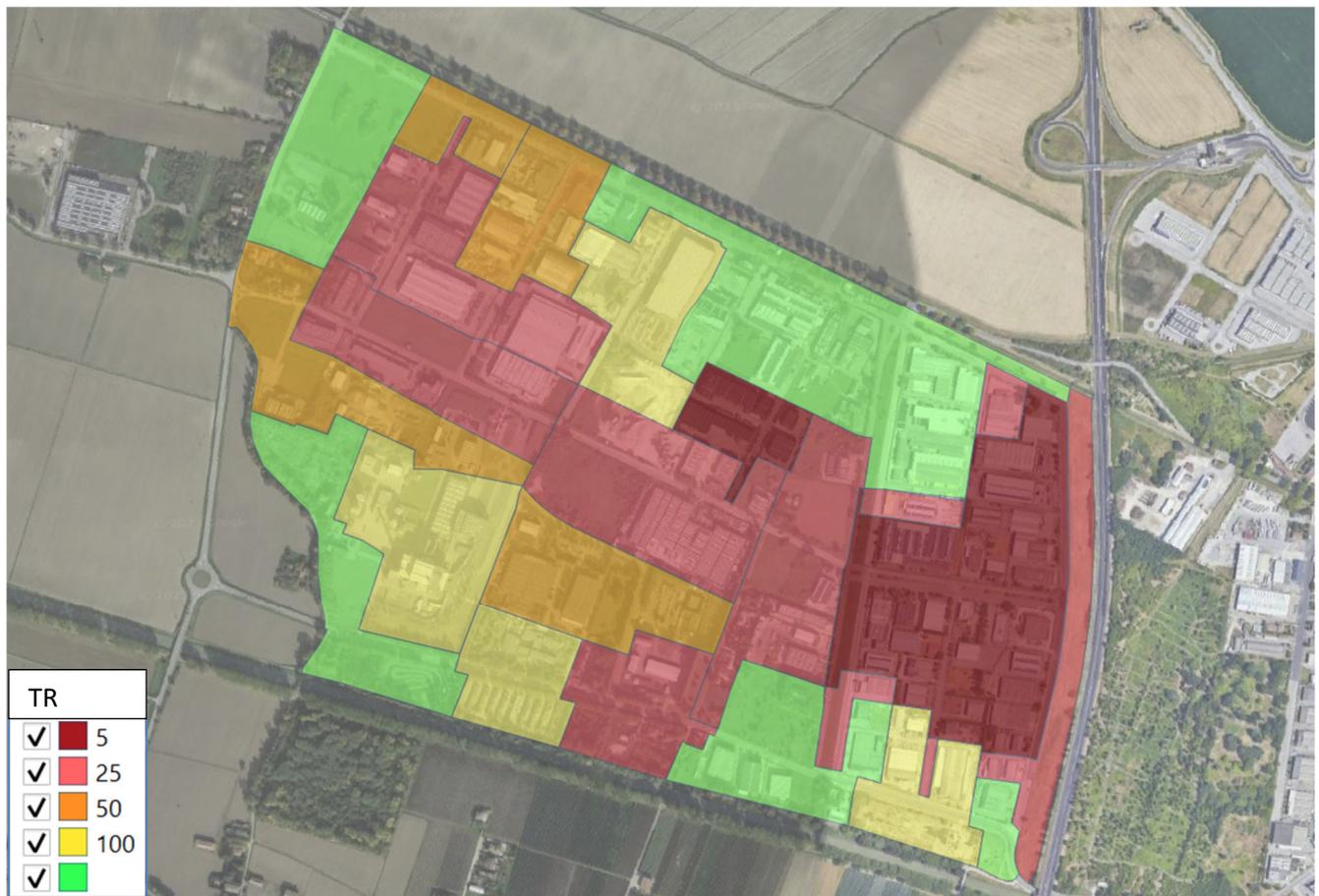
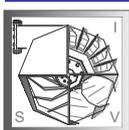


Fig. 88 – Estratto GIS con indicazione del grado di sofferenza idraulica dei diversi comparti



## 10 PROPOSTE PROGETTUALI

Come richiesto dalla Committenza, nel presente paragrafo si sviluppano le tematiche inerenti alcune proposte progettuali per il perseguimento della riduzione del rischio idraulico e del grado di sofferenza idraulica dell'area industriale. Le proposte di seguito proposte, dovranno essere vagliate con i diversi Enti interessati.

Le proposte progettuali vertono essenzialmente su tre aspetti principali:

- Reti fognarie esistenti ed eventuale loro upgrade
- Impianti di sollevamento ed eventuale upgrade
- Volumi di invaso e di laminazione delle portate di picco meteoriche

Il primo aspetto riguarda la conformazione geometrica delle reti fognarie esistenti con particolare riguardo ad alcune anomalie costruttive (contropendenze, variazioni non usuali di diametro, direzione dei flussi). La logica seguita è quella di apportare alcune correzioni alla rete sostituendo tratti di collettori aventi sezioni palesemente insufficienti al normale deflusso a gravità delle acque meteoriche e al contempo cercare di correggerne le contropendenze.

### 10.1 IMPLEMENTAZIONE DELLA RETE DI FOGNATURA

La rete fognaria, così come rilevata dalla campagna di rilievo topografico, sembrerebbe presentare alcune anomalie in termini di geometria dei collettori e di pendenze dei collettori verso i punti di scarico. Pertanto una eventuale azione correttiva per il miglioramento del funzionamento della rete fognaria potrebbe essere quello di sostituire, per taluni tratti, i collettori fognari con tubazioni di adeguata sezione idraulica e con le corrette pendenze verso i punti di scarico, al fine, non tanto di aumentare le portate verso i punti di scarico, ma ridurre le perdite di carico e quindi i fenomeni di rigurgito. La logica è stata quella di operare con sostituzioni mirate al fine di ottimizzare le sezioni idrauliche dei collettori e al contempo correggere, ove possibile le contropendenze, cercando di ridurre al minimo tali tipologie di intervento.

Il miglioramento della rete fognaria esistente prevede la sostituzione dei collettori ubicati in:

- via Finati (lato ovest) sostituzione collettore esistente DN 800 con collettore di diametro pari a DN1000 per un'estensione di circa 160 m.
- via Finati (lato est) sostituzione collettore esistente DN 600 con collettore di diametro pari a DN800 per un'estensione di circa 160 m.
- via C. Colombo (lato nord) sostituzione collettore esistente DN 1000 con collettore di diametro pari a DN1400 per un'estensione di circa 150 m.
- via C. Colombo (lato est) sostituzione di due collettori esistenti DN 600 con due collettori di diametro pari a DN800 per un'estensione di circa 40 m ciascuno.
- via A. Vespucci (lato sud-est) sostituzione collettore esistente DN 800 con collettore di diametro pari a DN1000 per un'estensione di circa 160 m.
- via C. Diana (lato est) sostituzione collettore esistente DN 600 con collettore di diametro pari a DN1000 per un'estensione di circa 150 m

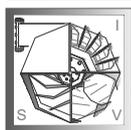




Fig. 89 – Estratto GIS con indicazione dei tratti di rete fognaria per i quali è prevista la sostituzione / miglioramento

Oltre alla sostituzione di alcuni tratti di collettore della rete esistente, risulterebbe opportuna la realizzazione di un nuovo collegamento tra il collettore principale 1700x1500 di via Sutter – tratto est (ovvero del collettore principale posto a est dell'impianto di sollevamento) e il manufatto dell'impianto di sollevamento in oggetto, mantenendo il collegamento idraulico tra il collettore principale 1700x1500 di via Sutter ovest con l'elemento scatolare esistente che immette direttamente nella vasca di raccolta e pompaggio delle acque meteoriche al Canal Bianco. La modifica di tracciato presenterebbe un'estensione pari a circa 40 metri. Tale modifica consentirebbe di ridurre le perdite di carico concentrate all'imbocco del collettore scatolare 1900x2100 di alimentazione dell'impianto di sollevamento e favorire in tal modo le portate defluite alla camera pompe.



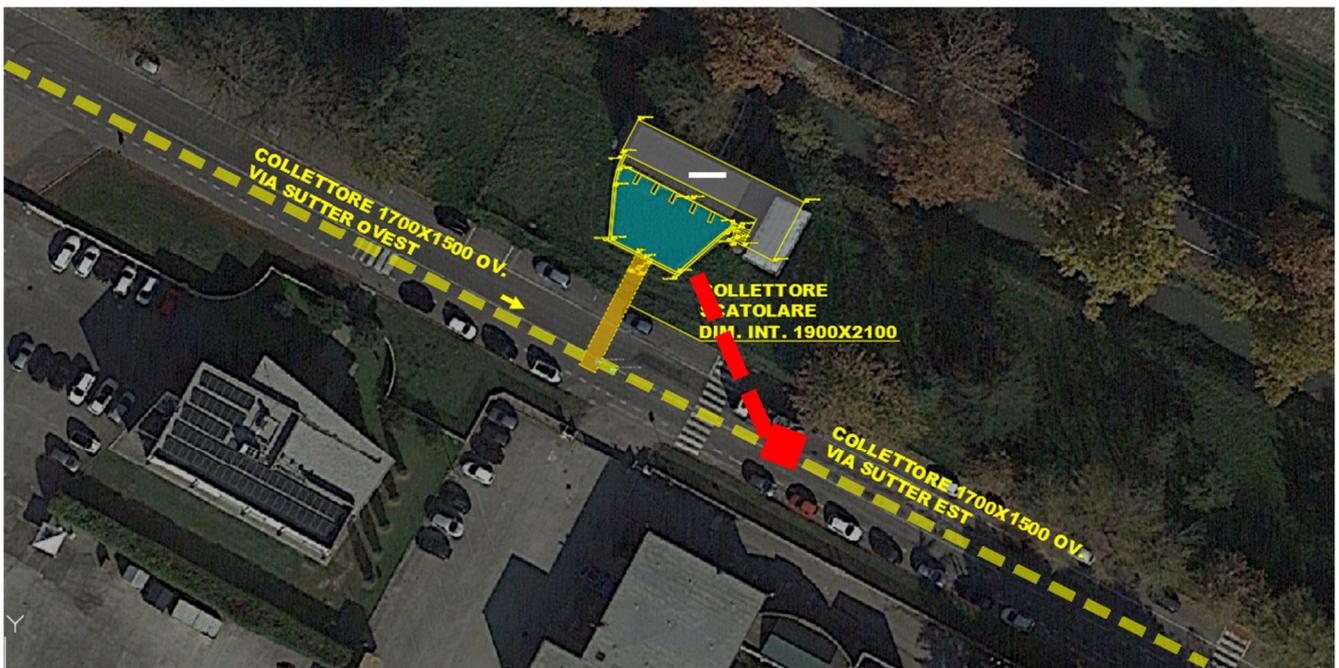


Fig. 90 – Estratto della planimetria dell'impianto di sollevamento e del nuovo collegamento con il collettore di via Sutter (est)

Tutti gli interventi sulla rete fognaria dovranno essere valutati e approvati dal Hera S.p.a. Gestore delle reti fognarie dell'area industriale oggetto di studio.

## 10.2 IMPLEMENTAZIONE DELL'IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DI VIA SUTTER

L'impianto di sollevamento di via Sutter, come visto in presenza, presenta una portata di scarico inferiore rispetto alla massima portata in ingresso al manufatto dai due collettori fognari di via Sutter. La proposta progettuale, previa approvazione del Gestore HeraS.p.a. e approvazione del Consorzio di Bonifica, gestore del Canale Cittadino ricettore finale dello scarico dell'impianto di sollevamento in questione, riguarderebbe la sostituzione di due delle quattro elettropompe esistenti mediante l'installazione di due nuove elettropompe per acque miste aventi potenzialità pari a 1300 l/s, portando la portata massima sollevabile a:  $(1.300+1.300+700+700) = 4.000$  l/s, oppure nel caso in cui il manufatto lo consenta, l'affiancamento alle attuali elettropompe, di due nuove elettropompe al fine di ottenere la portata massima sopra indicata. Tale modifica dovrà prevedere il contestuale adeguamento dei collettori di scarico, il rifacimento/potenziamento/ampliamento dei quadri elettrici di comando, il probabile aumento di potenza di fornitura elettrica (eventualmente mediante installazione di cabina MT/BT) e/o l'installazione di un gruppo elettrogeno. Dato l'aumento di portata di scarico, si dovrà valutare con il Consorzio di Bonifica la necessità/possibilità di scaricare la maggiore portata meteorica nel Canal Bianco attraversando con le tubazioni sia il Canale Cittadino che via Diamantina.





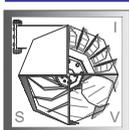
Fig. 91 – Estratto planimetrico dell'impianto di sollevamento e delle opere di potenziamento gruppo di pompaggio

### 10.3 INDIVIDUAZIONE DI POSSIBILI AREE PER VOLUME DI LAMINAZIONE

Dai dati forniti da Hera S.p.a. e dai dati ricavati dalle varie ditte presenti all'interno dell'area industriale sono presenti circa 10 attività, sull'intera area industriale oggetto del presente studio idraulico, dotate di vasche di prima pioggia a servizio di piazzali e/o depositi. Le vasche di prima pioggia consentono di fornire una lieve laminazione del picco di portata, inconsistente dal punto di vista idraulico rispetto ai bacini di laminazione, deputati a tale effetto. Dai dati ottenuti alla data dell'emissione della presente relazione, risulterebbe che le varie ditte presenti nell'area industriale oggetto di studio, non siano dotate di sistemi interni per la laminazione delle portate meteoriche defluite dalle superfici scolanti interne verso la rete fognaria pubblica.

Su tale riscontro si è calcolato il valore del deficit del volume complessivo di invaso / laminazione che risulterebbe pari a circa 40.000 mc se calcolato secondo le indicazioni di Hera S.p.a. e pari a circa 49.000 mc se calcolato sulle medesime superfici con il metodo razionale (non considerando nel computo dei volumi, il deficit del volume di invaso determinato dalla viabilità pubblica in quanto non imputabile alle singole attività presenti, ma che porterebbe il deficit complessivo del volume di invaso rispettivamente pari a 47.500 e 58.700 mc).

Tra le varie ipotesi progettuali, vi è la formazione di invasi a cielo aperto a servizio delle reti fognarie bianche e di invasi interrati a servizio delle reti fognarie miste, che potrebbero essere realizzati all'interno di aree di proprietà



pubblica, attualmente adibite a verde a servizio dell'intera area industriale; tali bacini, se correttamente dimensionati, ubicati e connessi alla rete fognaria, consentirebbero di laminare le portate meteoriche transitanti all'interno della fognatura esistente e quindi ridurre / annullare i fenomeni di flooding.

Il volume complessivo di invaso da realizzarsi all'interno di alcune aree pubbliche risulterebbe pari a circa 26.000 mc suddivisi in più vasche, ubicate quanto più prossime ai tratti di rete fognaria che risultano in sofferenza idraulica. Per lo scarico delle acque miste, seppur in bacini interrati, sarebbe opportuno prevedere preventivamente una grigliatura fine ottenuta mediante l'installazione di apposite griglie per sfioratori in appositi manufatti posti a monte dei bacini, e un eventuale comparto di dissabbiatura per il trattenimento delle particelle più grossolane. I bacini interrati dovrebbero essere inoltre dotati di sistemi di pulizia automatizzati in modo tale da favorire il deflusso verso la rete fognaria, al termine dell'evento meteorico e in fase di scarico, degli eventuali depositi. Per la realizzazione di bacini di laminazione a cielo aperto a servizio di reti fognarie bianche è necessario individuare l'area di ubicazione, mentre per i bacini di laminazione interrati a servizio di reti fognarie miste, per le problematiche sopra evidenziate, sono necessarie valutazioni tecnico – economiche approfondite al fine di individuare le scelte realizzative più appropriate. Di seguito alcuni esempi di invasi interrati, carrabili, realizzati mediante vasche in cemento armato e elementi di sostegno interni della soletta di copertura e mediante scatolari:



Fig. 92 – Vasca dimensioni 150 m x 27 m x H 1,4 metri – Volume utile pari a 4.800 mc (area industriale di Cadoneghe - Padova)



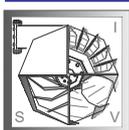


**Fig. 93 – Elementi scatolari – Volume utile pari a 600 mc (ambito urbano di Cadoneghe - Padova)**

Si riporta di seguito l'estratto della planimetria GIS dell'ubicazione ottimale dei volumi di invaso e relativa volumetria.



**Fig. 94 – Estratto planimetria GIS posizionamento volumi di laminazione**



Nell'estratto della planimetria GIS precendete sono evidenziati i volumi di laminazione che potrebbero essere realizzati in aree pubbliche e private, previa verifica della fattibilità per le aree private e verifica delle varie autorizzazioni da parte degli Enti competenti (Società Autostrade per fascia di rispetto A13, Comune di Ferrara, Consorzio di Bonifica per fascia di rispetto Canale Cittadino, Regione Emilia Romagna per fascia di rispetto Canale Burana, ecc..). In ogni caso, i volumi di invaso che si dovessero realizzare, dovrebbero essere ubicati quanto piu' prossimi ai tratti fognari a maggior sofferenza idraulica, al fine di garantire l'effetto di laminazione delle portate: le volumetrie necessarie risultano inferiori al deficit complessivo del volume di invaso, in quanto sono state ottimizzate in relazione all'ubicazione dei bacini di invaso, dipendente dalla disponibilità delle aree.

## **10.4 INDIVIDUAZIONE DEI VOLUMI MINIMI DI LAMINAZIONE PER LE FUTURE TRASFORMAZIONI DEL SUOLO**

Dato il grado di sofferenza idraulica dell'area industriale sarebbe opportuno che, per tutte le future trasformazioni del suolo che comportino un aumento del grado di impermeabilizzazione, venisse garantita l'applicazione del principio di invarianza idraulica secondo i dettami del Regolamento Consortile e di Hera S.p.a., assumendo per qualsiasi valore di superficie trasformata, senza distinzione in relazione alla dimensione della superficie interessata dalla trasformazione, i seguenti parametri di riferimento:

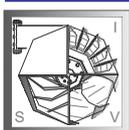
- $Q$  max accettabile = 8 l/s \* Ha
- Volume minimo invasabile = massimo tra 350 mc/Ha urbanizzato e 500 mc/Ha impermeabilizzato

Al volume minimo di invaso ottenuto con l'applicazione del Regolamento sopra citato, si propone di sommare il deficit di volume di invaso di cui la superficie oggetto di intervento di trasformazione risulta deficitaria in riferimento al comparto in cui è ubicata, ottenendo in tal modo il volume complessivo di invaso da realizzare a servizio di una determinata superficie trasformata.

## **10.5 VERIFICA DELLE PROPOSTE PROGETTUALI**

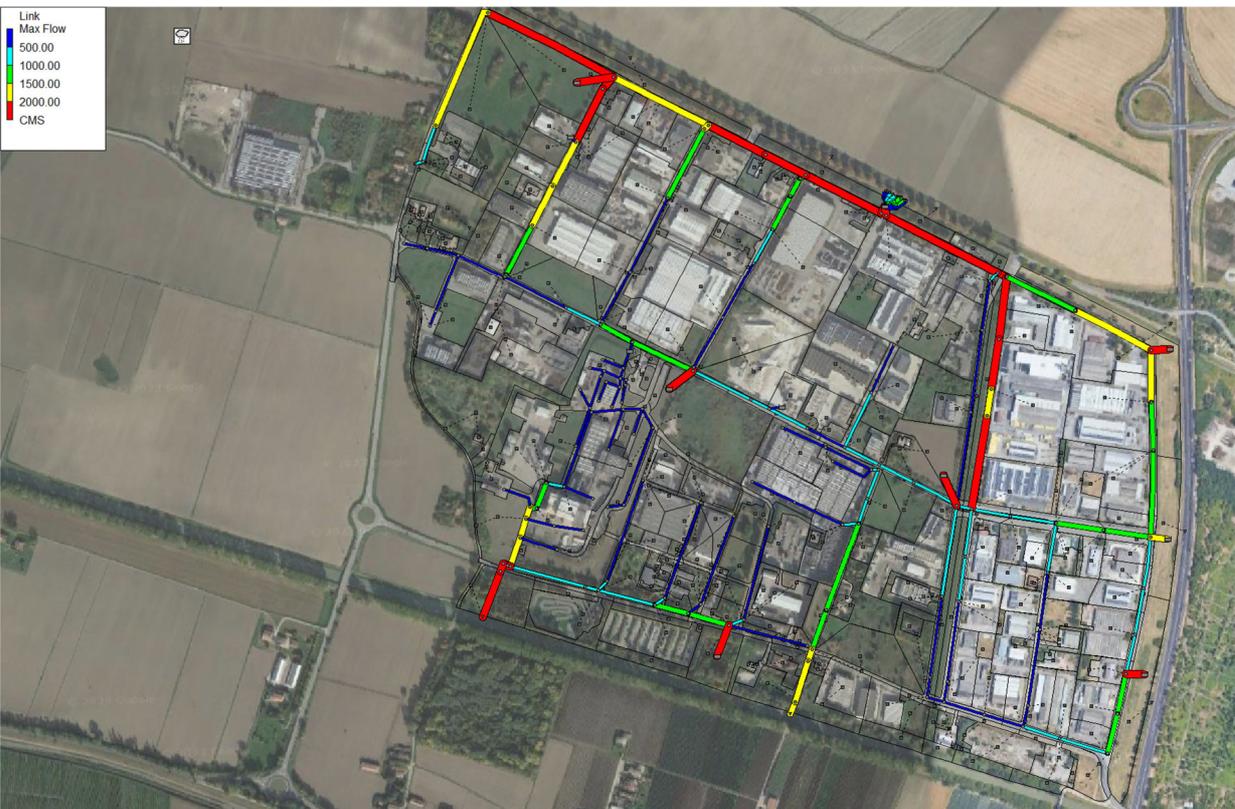
Si riporta di seguito un'estratto della simulazione idraulica nelle ipotesi di poter realizzare le opere di progetto prospettate al presente paragrafo, con la sostituzione e rettifica di alcuni collettori fognari, il potenziamento dell'impianto idrovoro e la realizzazione dei bacini di laminazione. Grazie a tali interventi si ottiene un netto miglioramento del funzionamento della rete scolante, visibile in particolar modo nella simulazione dell'evento meteorico del 19.08.2022.

Si analizzano pertanto nel proseguo i risultati delle varie mappe ottenute dal programma di simulazione. La prima mappa è relativa alla visualizzazione dei nodi della rete che presentano fenomeni di flooding: si denota la quasi totale assenza di flooding se non in un paio di casi limitati in termini di volume d'acqua fuoriuscita dalla rete, con una marcata riduzione dei fenomeni visti in precedenza con le medesime condizioni di input. La seconda mappa riporta le massime portate defluite in ciascun ramo: i valori risultano compatibili con i diametri e le pendenze dei collettori esistenti e quelli di progetto. A tal fine si riportano, di seguito, alcuni profili dei tratti principali della rete.



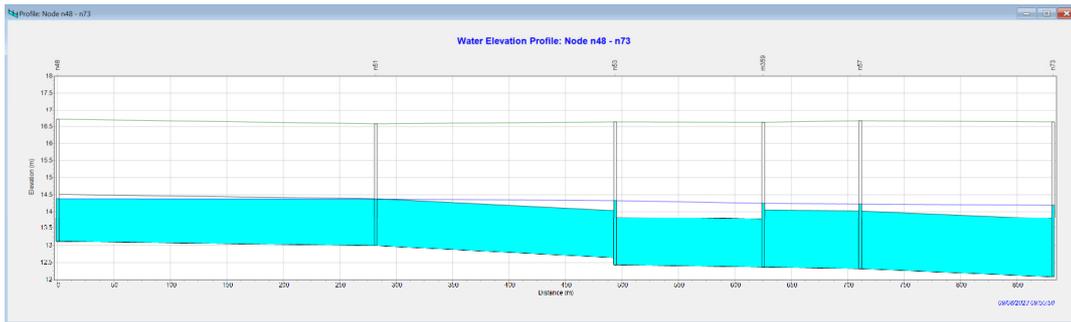


**Fig. 95 – Verifica idraulica delle opere di progetto con evento meteorico del 19.08.2023 – riduzione dei volumi di flooding**

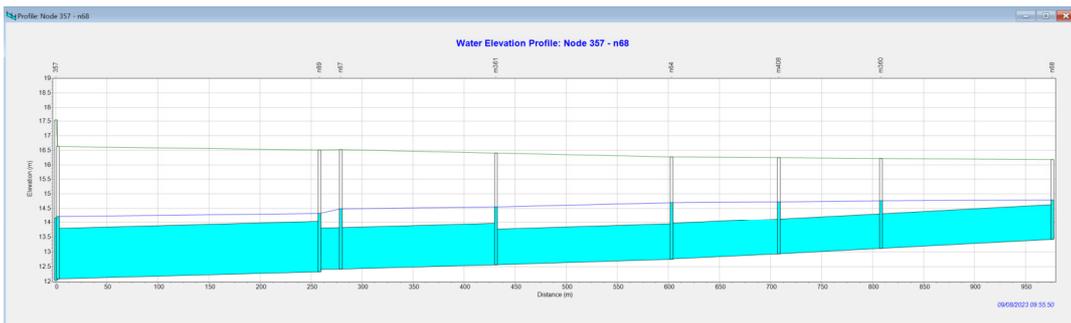


**Fig. 96 – Verifica idraulica delle opere di progetto con evento meteorico del 19.08.2023 – massima portata nei rami**

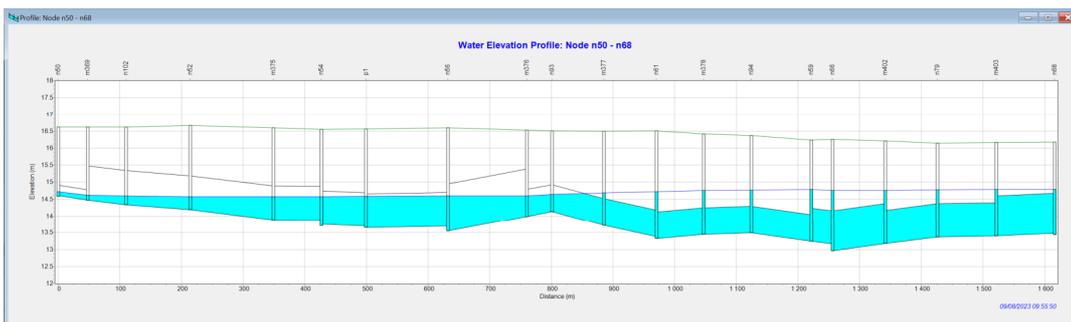




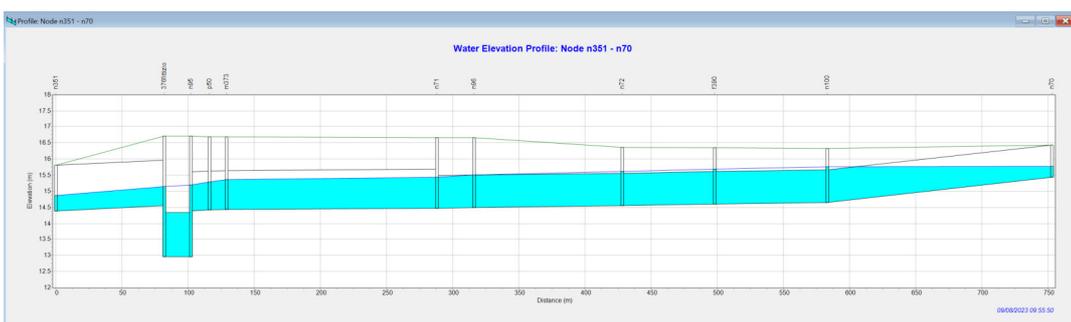
**Fig. 97 – Verifica idraulica delle opere di progetto con evento meteorico del 19.08.2023 – Profilo via Sutter ovest**



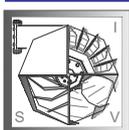
**Fig. 98 – Verifica idraulica delle opere di progetto con evento meteorico del 19.08.2023 – Profilo via Sutter est**



**Fig. 99 – Verifica idraulica delle opere di progetto con evento meteorico del 19.08.2023 – Profilo via Finati**



**Fig. 100 – Verifica idraulica delle opere di progetto con evento meteorico del 19.08.2023 – Profilo via Diana**



## 11 CONCLUSIONI

Il presente studio idraulico relativo all'area industriale di Cassana nel Comune di Ferrara, è stato commissionato dalla società S.I.PRO Agenzia Provinciale per lo Sviluppo s.p.A. con sede legale in Ferrara – Castello Estense, nell'ambito del progetto denominato "UsaGE – Urban Data Space for Green Deal" finanziato dalla C all Horizon CL6-2021 Governance-01. Con lo studio idraulico dell'area produttiva PMI nel Comune di Ferrara sono state prese in esame le diverse tematiche inerenti la sofferenza idraulica del territorio, in particolare quelle riferite all'idrologia della zona, mediante l'analisi statistica dei dati di pioggia riferiti alla stazione pluviometrica di Ferrara e all'analisi dell'evento meteorico verificatosi in data 19.08.2022 che causò importanti allagamenti non solo del centro storico ma anche delle aree limitrofe quale l'area industriale di Cassana. Si è proceduto con la rilevazione della rete fognaria esistente e del sistema di smaltimento delle acque meteoriche, mediante una campagna di rilievi topografici volti ad individuare le quote di scorrimento delle camerette principali di ispezione e i diametri dei collettori principali; sono stati inoltre rilevati i punti di scarico delle reti fognarie all'interno dei due recapiti principali (Canale Emissario di Burana e Canale Cittadino), il manufatto costituente l'impianto di sollevamento per acque miste di via Sutter a servizio del comparto nord – nord/est della rete. I dati raccolti dal rilievo topografico hanno permesso di realizzare un modello idraulico della rete scolante mediante il software agli afflussi deflussi EpaSwmm5, implementato con i dati elaborati tramite GIS relativi alla tipologia delle superfici dei bacini scolanti afferenti alla rete, con le quote altimetriche del piano campagna ricavate dal DTM fornito nell'ambito del progetto USAGE, con i dati ricavati da una campagna di indagine esplorativa sull'esistenza di sistemi di laminazione delle portate meteoriche all'interno delle attività presenti nell'area industriale.

Si è inoltre provveduto al calcolo dei coefficienti di deflusso per i diversi comparti nei quali l'area industriale può essere suddivisa, al calcolo del deficit del volume di invaso secondo le modalità riportate da Hera S.p.a. Gestore delle reti fognarie dell'area industriale e secondo il metodo razionale, individuando valori specifici medi suddivisi nei diversi comparti.

Dall'analisi dei dati raccolti ed elaborati si possono fornire le seguenti conclusioni:

1. Evento meteorico del 19.08.2022: tale evento presenta una curva cumulata che si interpone fra le curve di possibilità pluviometrica aventi tempo di ritorno compreso tra 25 e 50 anni. In ogni caso, gli effetti al suolo e sulla rete fognaria dell'area industriale oggetto di studio, risultano molto più intensi, eguagliando in termini di portate massime e superando in termini di volume di flooding simulato, gli effetti della curva di possibilità pluviometrica avente tempo di ritorno pari a 100 anni.
2. L'area industriale, in relazione alle reti scolanti, è suddivisibile in due macro comparti: il primo macro comparto è configurabile con la zona sud ed è costituito dagli insediamenti gravanti su via Diana e via Smeraldina, presenta reti separate, la rete fognaria bianca scarica a gravità nel Canale Emissario di Burana (Regionale) tramite due collettori distinti; il secondo macro comparto è costituito dalla zona nord/ovest e nord/est, presenta rete mista asservita all'impianto di sollevamento di via Sutter e scarica nel Canale Cittadino (Consortile).
3. L'area industriale presenta un coefficiente di deflusso medio pari a circa 0,67: la suddivisione in diversi comparti omogenei per tipologia di impermeabilizzazione del suolo, porta ad evidenziare comparti con coefficienti di deflusso superiori alla media, in particolare l'area nord/est di via Colombo e Vespucci.



4. Le reti fognarie esistenti presentano alcune anomalie costruttive in termini di diametro dei collettori e contropendenze verso i ricettori finali. Sono presenti zone di ristagno di acqua nei punti a quota piu' bassa, determinati dalle contropendenze. Nella zona sud la rete fognaria bianca presenta livelli idrometrici pari a quelli del Canale Emissario Burana.
5. Dall'applicazione del principio di invarianza idraulica con due metodi di calcolo, si è verificato un deficit globale per l'intera area industriale compreso tra 47.500 mc e 58.700 mc a seconda del metodo di calcolo considerato, di cui circa 40.000 mc (e 49.000 mc a seconda del metodo di calcolo considerato) determinati dalla mancanza di volumi di invaso e laminazione delle acque meteoriche defluite dalle superfici interne alle singole attività industriali. I comparti a maggior deficit di volume di invaso sono rappresentati dalle zone interessate da via Finati, via Gioia, via Colombo e via Vespucci.
6. Gli interventi per la riduzione del grado di sofferenza idraulica potrebbero essere di due tipi: interventi strutturali atti a migliorare il funzionamento della rete fognaria e dell'impianto di sollevamento mediante rettifica di alcuni tratti di rete con collettori di sezione adeguata e correzione delle contropendenze, potenziamento dell'impianto di sollevamento di via Sutter (previo parere del Consorzio di Bonifica ricettore delle acque meteoriche sollevate) e realizzazione di volumi di invaso a servizio della rete pubblica; il secondo tipo di intervento riguarda la gestione delle future trasformazioni del suolo all'interno dei singoli comparti, con l'applicazione del principio di invarianza idraulica o mediante il metodo razionale o secondo i dettami del Regolamento Consortile considerando, indipendentemente dall'estensione della superficie trasformata, i parametri volumetrici piu' elevati, e al volume ottenuto si dovrebbe sommare il volume derivante dall'applicazione del deficit del volume di invaso del comparto in cui ricade la superficie trasformata.

Rovigo li, 12.10.2023

Ing. David Voltan

