
 <b>iCube Development 16 s.r.l.</b>		CODE: <b>VOG-PV001-R10_01</b>
		PROJECT: <b>VOGHIERA PV001</b>
		PAGE 1 di/of 32

**TITLE.** Relazione Idrologica Idraulica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

## RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Impianto agrivoltaico avanzato denominato “Voghiera PV 001” di potenza pari a 24,54 MW<sub>p</sub> e relative opere di connessione alla RTN nel Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)

“VOGHIERA PV 001”

**Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)**



File: VOG-PV001-R10\_01\_Relazione idrologica - idraulica

01	31/01/2025	Rev.01	E.Barbiere	F.Trovati	L.Spaccino
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
CLIENT CODE					
VOG-PV001-R10					
PROJECT		TYPE	PROGR.		REV
VOG		PV001	R10		01
CLASSIFICATION		UTILIZATION SCOPE			
Company		Emissione per procedura di PAUR ai sensi dell'art. 27bis D.Lgs. 152/2006			
Questo documento è di proprietà di iCube Development 16. È severamente vietato riprodurre questo documento, in tutto o in parte, e fornire ad altri qualsiasi informazione correlata senza il previo consenso scritto di iCube Development 16.					



iCube Development 16 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R10\_01**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGINA - PAGE  
2 di/of 32

## INDICE

1. PREMESSA .....	3
1.1. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	4
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	5
4. STATO DI FATTO E SOVRAPPOSIZIONE CON CARTOGRAFIA PAI .....	9
5. ANALISI IDROLOGICA .....	14
5.1. Obiettivi dello studio idrologico ed idraulico .....	14
5.2. Analisi probabilistica delle piogge .....	14
5.3. Parametri TCEV da rapporto VAPI.....	15
5.4. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA .....	17
5.5. BACINO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO .....	21
5.5.1. QUOTE CARATTERISTICHE E PENDENZE DEL BACINO .....	22
5.5.2. PENDENZA MEDIA DEL CORSO D'ACQUA .....	23
5.5.3. VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA' .....	23
5.5.4. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	27
5.6. STIMA DELLE PORTATE .....	27
5.6.1. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO .....	28
5.6.2. RISULTATI OTTENUTI.....	28
6. VERIFICHE IDRAULICHE .....	29
6.1. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO .....	29
6.2. IL MODELLO HEC RAS.....	29
6.2.1. LA MODELLAZIONE DI PROGETTO .....	29
6.2.2. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI .....	32
7. RISULTATI E CONCLUSIONI .....	32

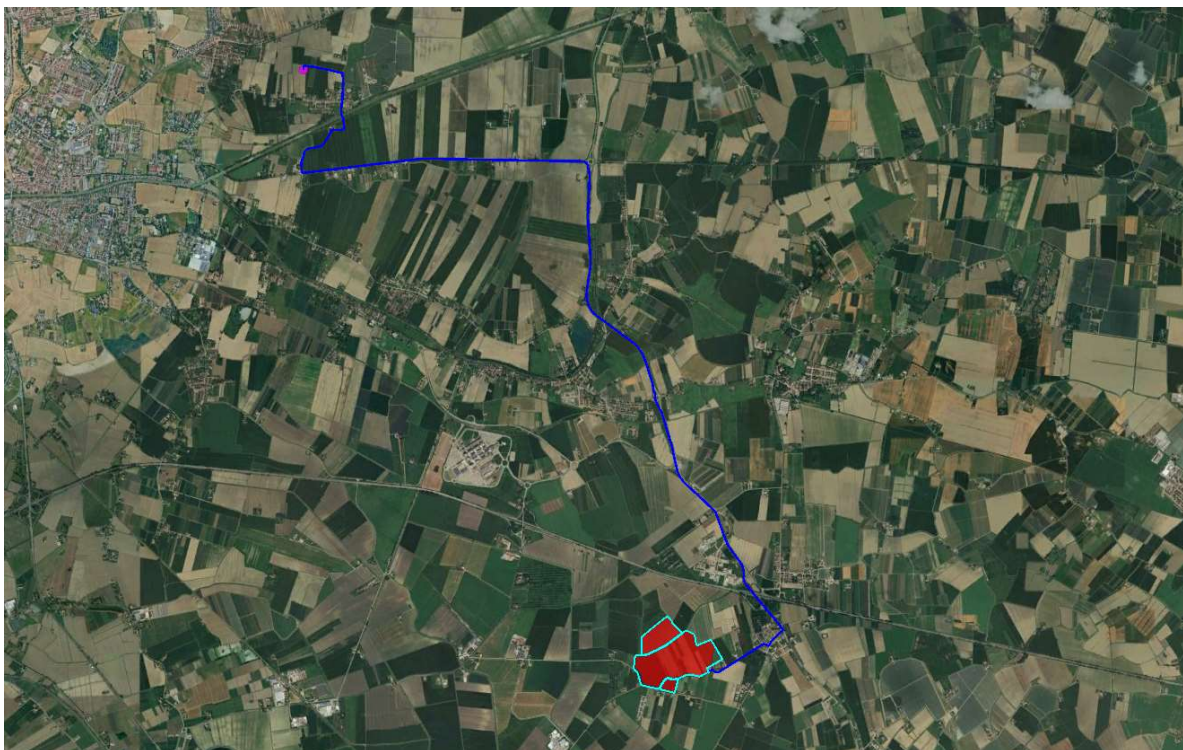


## 1. PREMESSA

Lo scopo del presente documento è la definizione delle caratteristiche idrologiche e idrauliche relative al progetto proposto da iCube Development 16, che prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato denominato “Voghiera PV-001”. Complessivamente, la potenza in immissione dell'impianto sarà pari a 23,10 MVA e sarà caratterizzato da una potenza nominale di 24,54 MWp. Le opere in progetto saranno site nei Comuni di Voghiera e Ferrara in Provincia di Ferrara in Emilia-Romagna.

Coerentemente alla STMG ottenuta con codice di rintracciabilità impianto n. 202400190 l'impianto verrà connesso in antenna a 36 kV su un ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV denominata “Ferrara Focomorto”.

Ai fini della connessione alla RTN, verranno previste due cabine da posizionare side-by-side nei pressi della SE. Tali cabine conterranno tutte le protezioni e i sezionatori necessari per potersi connettere alla SE Terna. Il loro posizionamento definitivo verrà individuato in una fase successiva di ingegneria in funzione delle indicazioni di Terna e dei diversi tavoli tecnici che si terranno.



**Figura 1 – Sovrapposizione su ortofoto dell'area di impianto (in rosso), del percorso del cavidotto di connessione alla rete (in blu), della cabina di consegna (in magenta).**



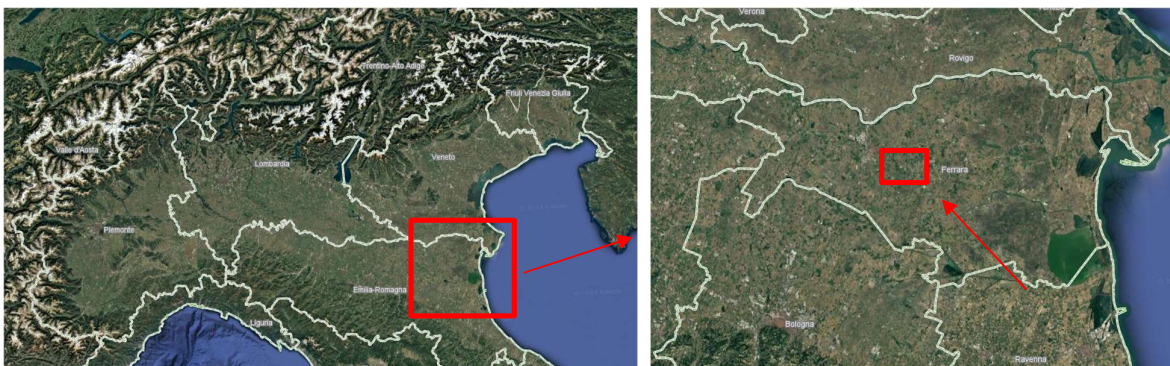
## 1.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nel presente studio si è fatto riferimento a:

1. NTA del PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) dell'Autorità Distrettuale di Bacino del Po
2. Deliberazione del Comitato Istituzionale Autorità di Bacino Fiume PO (Compartimento di Parma) n. 18 in data 26 aprile 2001.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è situata nel territorio comunale di Voghiera (FE), a pochi km a sud est del capoluogo ferrarese.



**Figura 2. Ubicazione dell'area di oggetto di intervento su Google Earth**





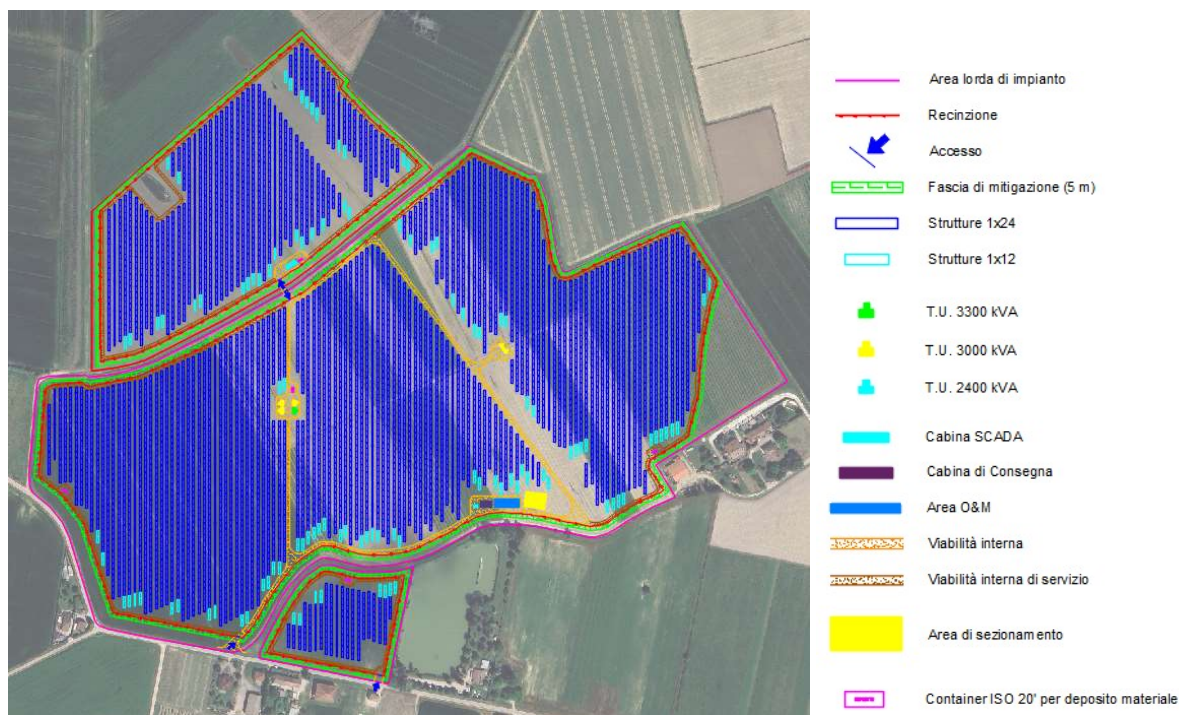
### 3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area di intervento, costituita da un'area agricola nella disponibilità della proponente, risulta essere facilmente raggiungibile grazie a Via Cesare Battisti raggiungibile a sua volta dalla SP29 posta a nord est dell'area di impianto. Il perimetro di interesse risulta essere lambito da canali di scolo delle acque, in particolare viene attraversato dal canale denominato "Condotto Galvano" in direzione Est-Ovest, mentre il lato Sud è lambito da un fosso minore trapezoidale in terra.

Da un punto di vista topografico l'area si sviluppa su un terreno prevalentemente pianeggiante. Il progetto prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato con moduli fotovoltaici in eterogiunzione di silicio e ciascuna stringa di moduli farà capo ad uno string inverter, a sua volta connesso a cabine di trasformazione BT/36 kV.

L'impianto agrivoltaico avanzato sarà complessivamente costituito da n. 37.176 moduli, la cui potenza complessivamente installabile risulta essere pari a 24.536,16 kW<sub>p</sub>.

Le strutture di supporto dei moduli, del tipo tracker a 1 modulo-portrait, consentiranno di poggiare su di essa 1x24 e 1x12 moduli fotovoltaici al silicio.



**Figura 3 - Sovrapposizione su ortofoto dell'area di impianto, degli elementi fotovoltaici (in blu) e delle mitigazioni ambientali (in verde). (Fonte: Google Earth)**

Di seguito vengono riportati i dati relativi all'ubicazione e alle caratteristiche climatiche dell'area interessata dall'impianto in oggetto:



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R10\_01**

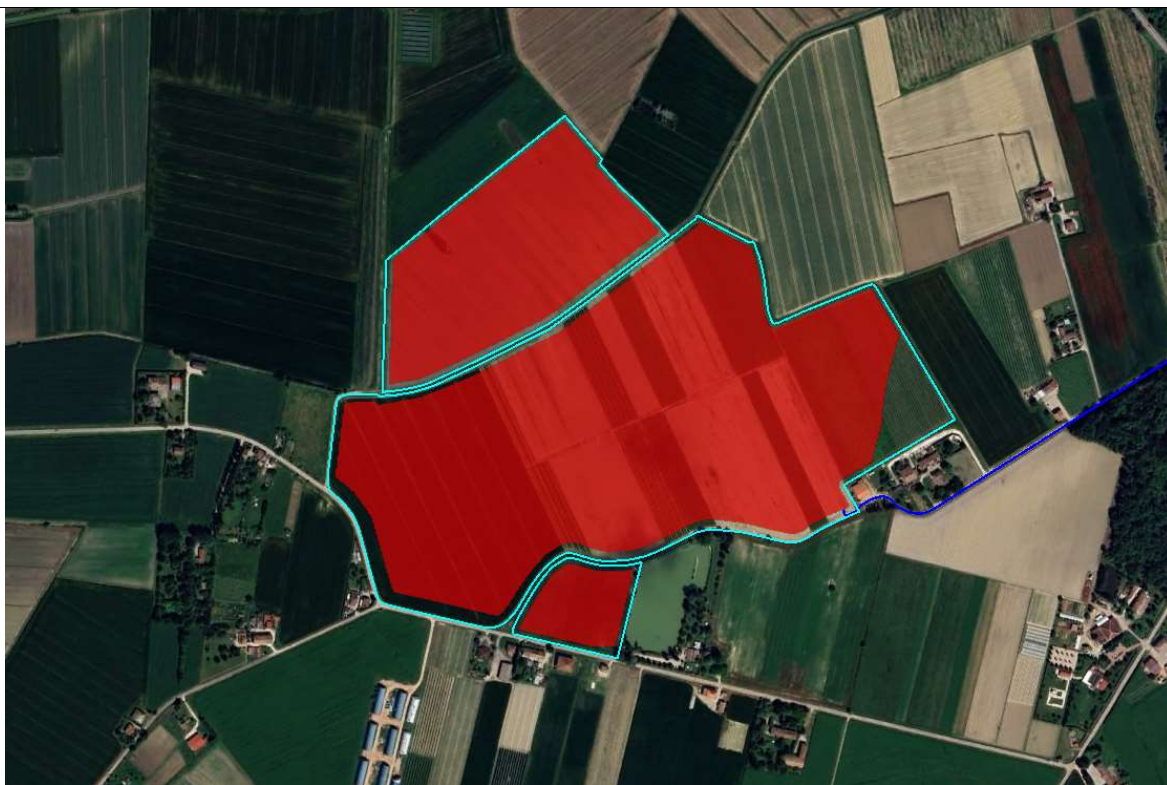
PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGINA - PAGE  
6 di/of 32

Tabella 1 – Descrizione sito

COORDINATE	
COMUNE	Voghiera e Ferrara (opere di connessione)
PROVINCIA	Ferrara
LATITUDINE	44°46'50.44"N
LONGITUDINE	11°43'20.35"E
CLASSIFICAZIONE SISMICA	3
ZONA CLIMATICA	C
AREA DI PROGETTO (IN CIANO)	~41 ha
AREA DI IMPIANTO (IN ROSSO)	~35,85 ha

INDICAZIONE AREA DI PROGETTO



Le opere in progetto saranno site nel Comune di Voghiera, con le opere di connessione che interesseranno anche il Comune di Ferrara.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati “VOG-PV001-T14\_ *Planimetria generale, quotata e descrittiva dell'intervento*” e “VOG-PV001-T23\_ *Planimetria dei cavidotti di connessione alla rete*”.

I centri abitati più vicini all'area di impianto risultano essere:

- a c.ca 500 m a nord-est è presente il centro abitato di Gualdo;
- a c.ca 3 km a sud-est è presente il centro abitato di Cisterna di Voghiera;
- a c.ca 2 km a nord è presente il centro abitato di Cona;





L'area della centrale, all'interno della quale ricade il sito interessato dall'impianto, è raggiungibile facilmente grazie a Via Cesare Battisti raggiungibile a sua volta dalla SP29 posta a nord est dell'area di impianto.



**Figura 4 – Inquadramento dell'area di impianto (in rosso) con indicazione della viabilità di accesso (Fonte: Google Earth)**



**Figura 5 – Planimetria fotografie in sede di sopralluogo**





iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R10\_01**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGINA - PAGE  
8 di/of 32

**Foto 3**



**Foto 6**



**Foto 9**



**Foto 14**



**Foto 15**



**Foto 23**



**Figura 6 - Fotografie da sopralluogo con aree di intervento e canale perimetrale**

Per quanto riguarda la gestione delle acque di pioggia all'interno dell'area del sito, la già esistente rete di canali di scolo delle acque meteoriche presenti all'interno dell'area sarà preservata il più possibile al fine di garantire e mantenere invariato il naturale deflusso delle acque meteoriche, agevolando i deflussi verso le linee di impluvio perimetrali esistenti (canali di scolo artificiali e/o fossi naturali).



#### 4. STATO DI FATTO E SOVRAPPOSIZIONE CON CARTOGRAFIA PAI

Il sito di intervento è ubicato in un contesto di pianura alluvionale nel cuore della provincia ferrarese, a pochi km ad ovest dal capoluogo. La zona è costituita da campi soggetti a pratiche agricole, per la maggior parte cereali. Così come rappresentato in Figura 8, in cui si riporta la sovrapposizione del reticolo idrografico con le opere in progetto, non sussistono interferenze tra l'area di impianto e la rete secondaria dei canali, in quanto essi restano al di fuori della superficie utilizzata con un franco di rispetto.

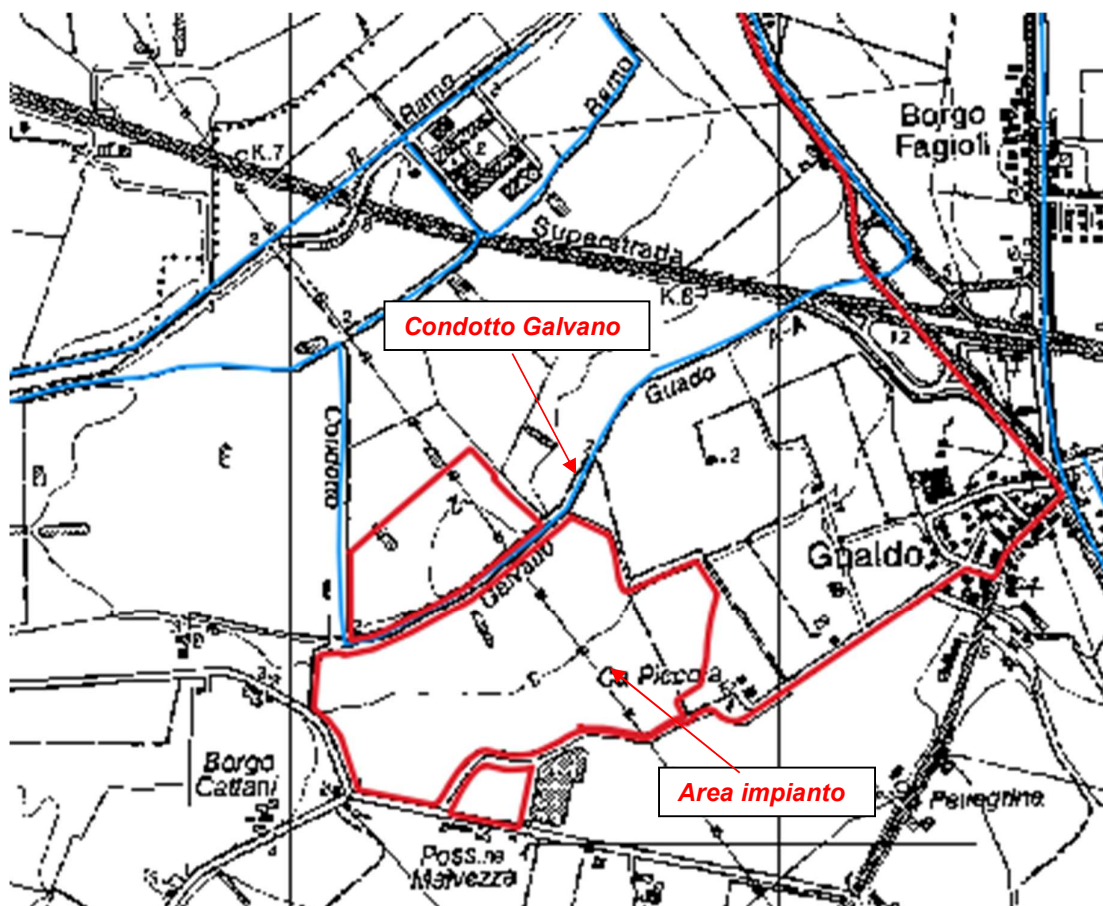


Figura 7- Stralcio da IGM con interferenza reticolo idrografico

Gli interventi ricadono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po. L'eventuale interferenza con le aree a rischio idraulico è stata verificata previa consultazione della cartografia della pericolosità/rischio idraulica/o messa a disposizione sul sito dell'Ente. Dalla Figura di seguito rappresentata si evidenzia come le aree oggetto di intervento **ricadono in aree a pericolosità/rischio idraulico.**

In particolare, sono state analizzate le cartografie relative ad

- Aree PGRA (le aree di intervento ricadono in aree a moderato rischio alluvione);
- Reticolo idrografico Principale – **RP** (le aree di intervento ricadono in aree a basso rischio);
- Reticolo idrografico Secondario di Pianura – **RSP**, (le aree di intervento ricadono in aree a medio rischio);
- Fasce fluviale C.

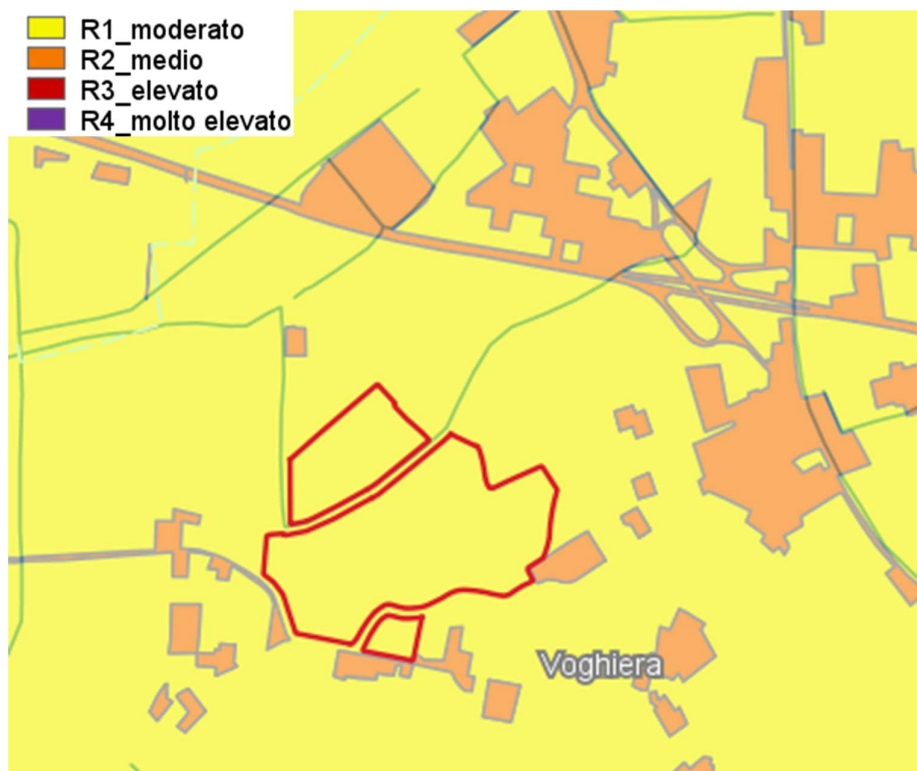


Figura 8- Sovrapposizione opere con cartografia PGRA



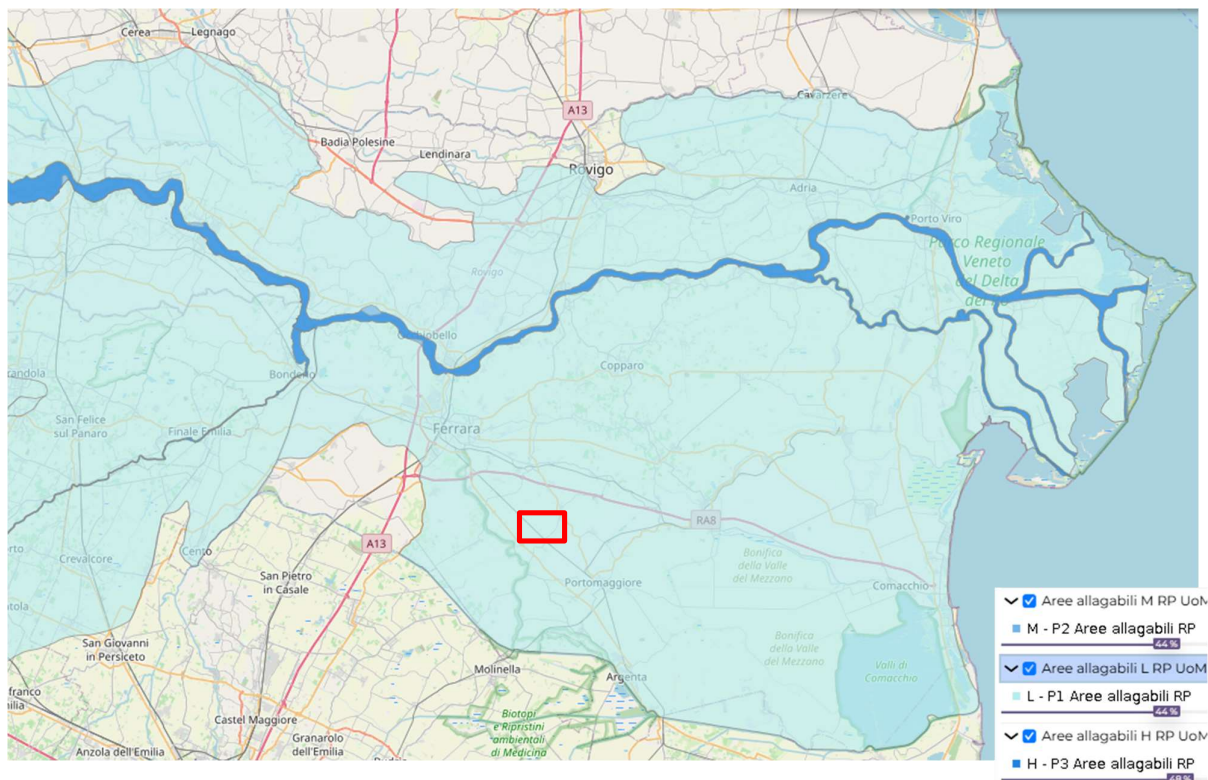
iCube Development 16 s.r.l.



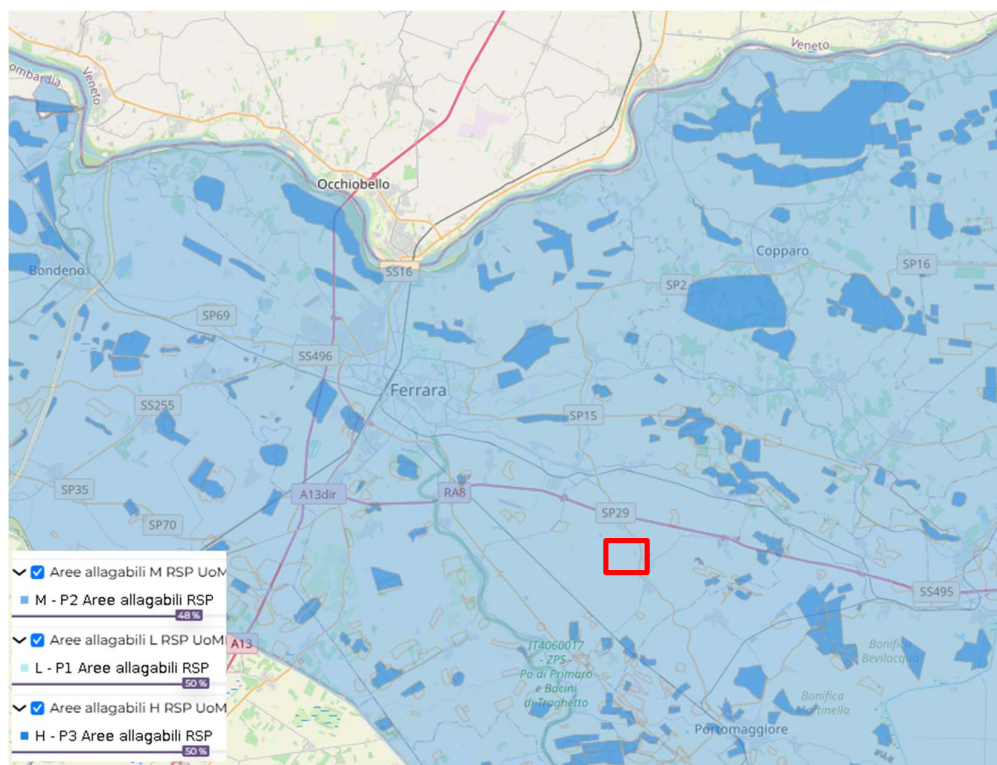
CODE: **VOG-PV001-R10\_01**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGINA - PAGE  
11 di/of 32



**Figura 9 - Sovrapposizione opere con cartografia PAI\_ Pericolosità RP**



**Figura 10- Sovrapposizione opere con cartografia PAI\_ Pericolosità RSP**





iCube Development 16 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R10\_01**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGINA - PAGE  
12 di/of 32

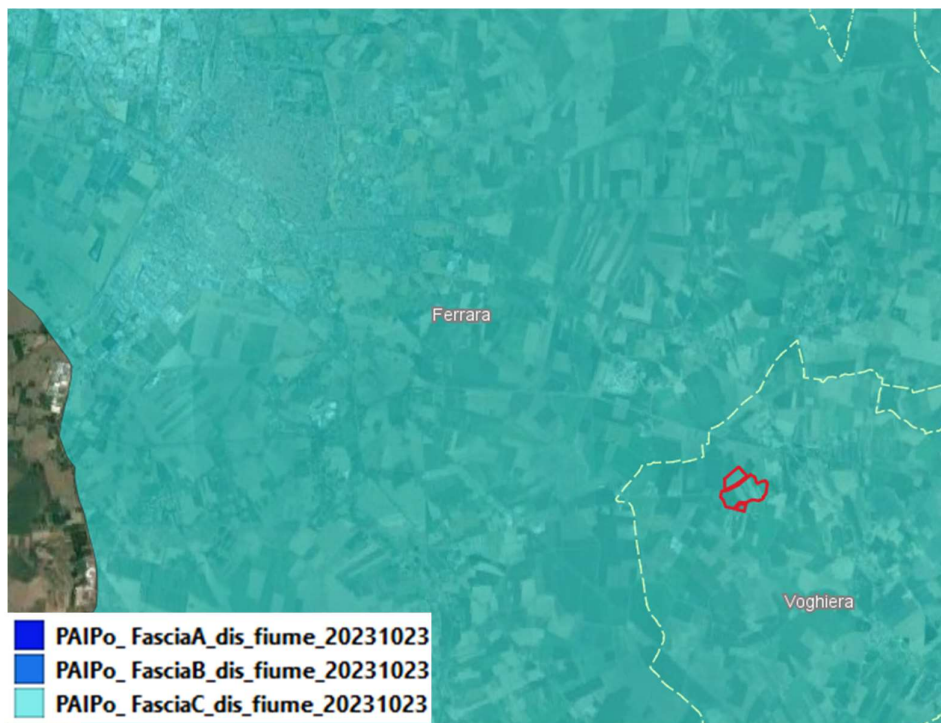


Figura 11 - Sovrapposizione opere con cartografia PAI\_ Fasce Fluviali

Nei pressi dell'impianto è presente un canale idrico artificiale utilizzato per la distribuzione delle acque provenienti dal fiume Po e gestita dal Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara – Bacino di Burana-Volano.

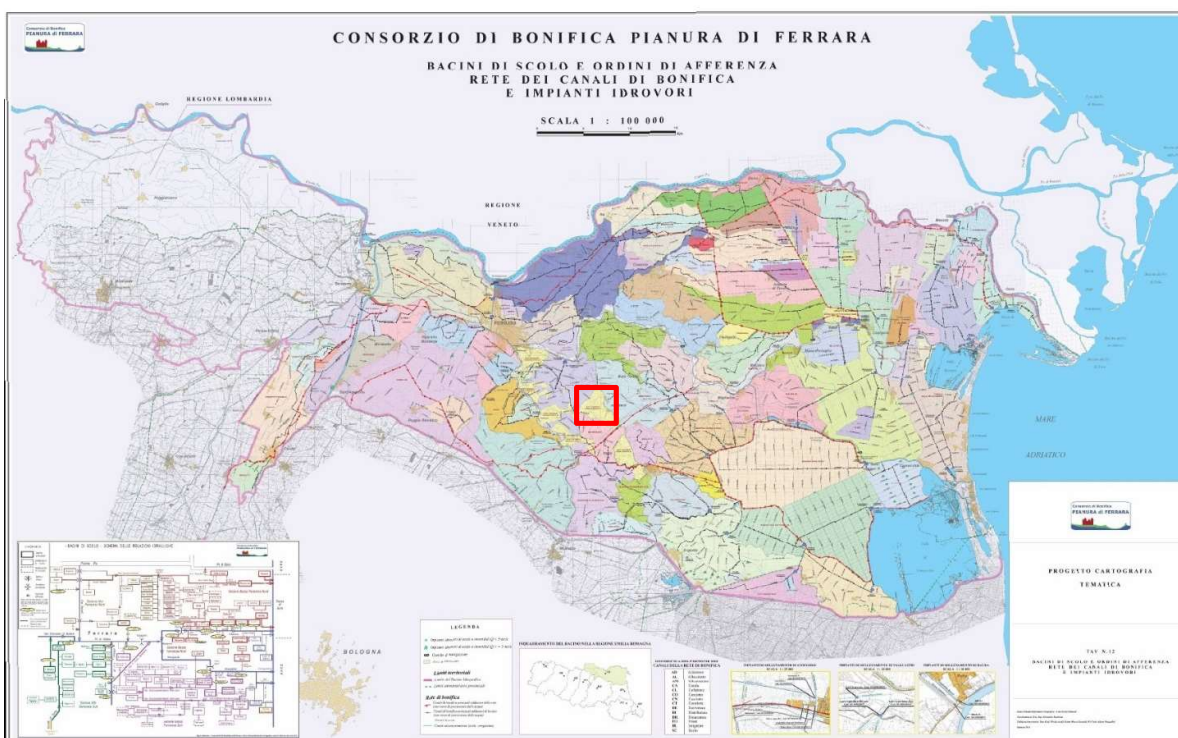


Figura 12- Zona di intervento nell'area del Consorzio di Bonifica



**iCube Development I 6 s.r.l.**



**CODE: VOG-PV001-R10\_01**

**PROJECT: VOGHIERA PV001**

**PAGINA - PAGE**  
**13 di/of 32**

Il condotto Galvano presenta le seguenti caratteristiche:

- Canale trapezoidale in terra di dimensioni  $b=80\text{cm}$ ,  $h=80\text{cm}$ ,  $B=300\text{cm}$ . Si sviluppa trasversalmente all'area di impianto;



**Figura 13- Canale denominato Condotto Galvano**



## 5. ANALISI IDROLOGICA

### 5.1. Obiettivi dello studio idrologico ed idraulico

Come descritto precedentemente, le aree di impianto ricadono in aree a rischio/pericolosità idraulica; pertanto si procederà ad uno studio idrologico ed idraulico, mirato alla definizione dei livelli idrici a differente tempo di ritorno, per quei tratti di reticolo idrografico che defluiscono in prossimità del sito di intervento.

In fase di analisi idrologica, si procederà a definire la pluviometria dell'area, da usare successivamente come base per i dimensionamenti e le verifiche idrauliche. Le analisi sono state effettuate attraverso metodi di stima indiretta che, a partire dalla definizione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP), esprimenti la relazione fra le altezze di precipitazione  $h$  e la loro durata  $t$ , e dalla perimetrazione dei bacini, hanno consentito la stima delle portate di progetto ad assegnato tempo di ritorno. Nei paragrafi a seguire verranno descritte nel dettaglio le varie fasi dello studio idrologico.

Per l'identificazione delle portate relative ai due canali, è stata applicata la Metodologia TCEV partendo dai dati di pioggia della stazione di misura di Montesanto, posto a 2km dall'area di intervento.

### 5.2. Analisi probabilistica delle piogge

Lo studio probabilistico delle piogge, necessario per la definizione delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), è stato effettuato sull'analisi delle curve di frequenza cumulata (CDF), costruite per le serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1,3,6,12,24 ore. Come modello è stato applicato il modello probabilistico TCEV (Two Component Extreme Value), la cui funzione di probabilità è del tipo

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \Lambda_2 \exp(-x/\theta_2)\right\} \quad x \geq 0$$

in cui è possibile distinguere una componente base (pedice 1), relativa agli eventi normali e più frequenti, ed una componente straordinaria (pedice 2), relativa ad eventi più gravosi e rari. La legge risulta essere funzione di 4 parametri  $\Lambda_1, \theta_1, \Lambda_2, \theta_2$ , esprimenti il numero medio di eventi indipendenti superiori ad una soglia delle due popolazioni ( $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$ ) e il loro valore medio ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ).

Ponendo

$$\theta_* = \theta_2/\theta_1 \quad \Lambda_* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta_*}$$

la funzione di probabilità diventa

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} \exp[-x/(\theta_*\theta_1)]\right\} \quad x \geq 0$$

e il valore della variabile casuale  $x$ , corrispondente al periodo di ritorno  $T$ , dipendente dai 4 parametri

$$\Lambda_* \theta_* \Lambda_1 \theta_1$$

la cui stima può essere effettuata con il metodo del massimo verosimiglianza o dei momenti.

Più in particolare è stato adottato il metodo indice che, in luogo della variabile casuale  $x_T$  adopera la variabile adimensionale  $x'_T = x_T / \mu$ , dove  $\mu$  (fattore indice) viene assunto pari al valore medio. Con tale approccio la





stima di  $x$  si ottiene con due passi distinti:

- 1) Stima del fattore di crescita  $x_T$  relativo al tempo di ritorno  $T$ , per cui è necessario conoscere i parametri  $\Lambda, \theta, \Lambda_1, \theta_1$ ;
- 2) Stima del valore indice  $\mu$ , direttamente dai dati campionari o da regressioni empiriche locali.

Per ridurre l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche disponibili, si utilizzano delle tecniche di analisi regionale che si basano sull'individuazione di vaste aree, indicate come zone o sottozone omogenee, all'interno delle quali è possibile assumere la costanza di alcuni parametri.

- Al 1° livello di regionalizzazione, i parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  del modello assumono un valore costante all'interno di ampie zone omogenee.
- Al 2° livello di regionalizzazione, oltre alle zone omogenee vengono identificate anche delle sottozone omogenee, per cui oltre ai valori costanti di  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  si può ritenere costante anche il parametro di scala  $\Lambda_1$ .
- Al 3° livello di regionalizzazione si persegue in modo regionale anche alla stima del 4° parametro, che, in dipendenza dal metodo che si vuole adottare, può essere  $\theta_1$  o  $\mu$ , quest'ultimo definito valore indice e rappresentante un valore caratteristico della distribuzione.

Le analisi idrologiche presentate all'interno del seguente studio verranno condotte adoperando l'approccio riportato nel rapporto VAPI PER I COMPARTIMENTI DI BOLOGNA, PISA, ROMA E ZONA EMILIANA DEL BACINO DEL PO.

### 5.3. Parametri TCEV da rapporto VAPI

Per i parametri del modello TCEV si è fatto riferimento a quanto riportato nella sintesi DEL RAPPORTO PER I COMPARTIMENTI DI BOLOGNA, PISA, ROMA E ZONA EMILIANA DEL BACINO DEL PO<sup>1</sup>, secondo il quale, il territorio di indagine può essere suddiviso in n.7 SZO (sottozone omogenee), le cui curve di crescita, che determinano in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno  $T$  e valore del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})}$$

risultano completamente definite dai seguenti parametri:

<sup>1</sup> Da un punto di vista pluviometrico, l'area interessata dagli studi comprende i bacini idrografici con foce in Adriatico compresi tra il fiume PO e il Reno (Compartimento SIMN di Bologna).

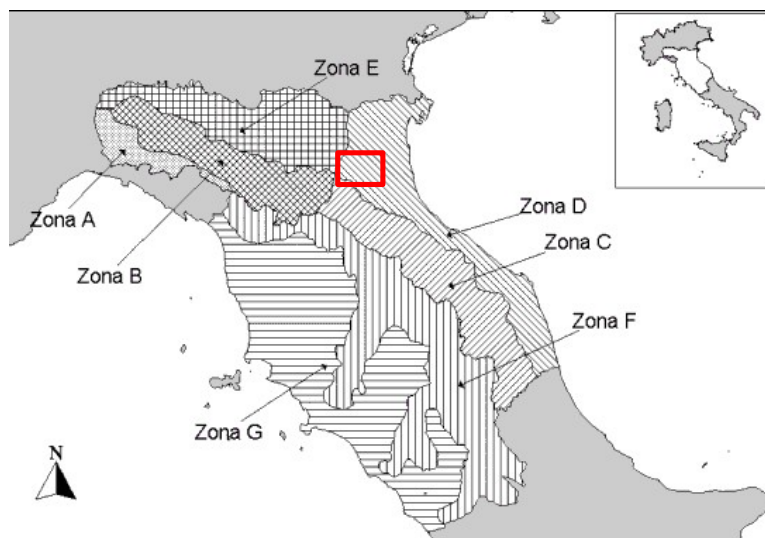
Sottozona	$\Lambda^*$	$\theta^*$	$\Lambda_I$	$\eta$
A	0.109	2.361	24.70	4.001
B	1.528	1.558	39.20	5.335
C	1.528	1.558	25.70	4.913
D	0.361	2.363	29.00	4.634
E	0.044	3.607	30.45	4.135
F	0.144	2.042	33.03	4.321
G	0.221	3.322	30.78	4.628

**Tabella 5-1- Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge giornaliere nelle 7 SZO**

che permettono di stimare il calcolo del coefficiente  $K_T$  di crescita a differente tempo di ritorno:

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
SZO A	0.93	1.24	1.46	1.70	1.78	1.95	2.04	2.34	2.68	3.18	3.57
SZO B	1.01	1.30	1.51	1.71	1.77	1.90	1.97	2.17	2.37	2.63	2.83
SZO C	1.01	1.33	1.55	1.77	1.84	1.98	2.05	2.27	2.48	2.77	2.99
SZO D	0.87	1.19	1.44	1.72	1.82	2.02	2.13	2.45	2.79	3.23	3.57
SZO E	0.93	1.22	1.43	1.64	1.72	1.89	1.98	2.32	2.78	3.53	4.13
SZO F	0.93	1.23	1.43	1.65	1.72	1.87	1.95	2.20	2.47	2.86	3.17
SZO G	0.88	1.22	1.50	1.87	2.01	2.32	2.47	2.96	3.46	4.12	4.61

**Tabella 5-2-Valori del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le piogge giornaliere, per i valori del periodo**



**Figura 5-1 – Zone Omogenee**

Le analisi dei massimi annuali delle piogge brevi (1-24 ore) rilevati alle 240 stazioni di misura disponibili hanno evidenziato che l'ipotesi solitamente assunta di un fattore probabilistico di crescita  $K_T$  costante al variare della durata di pioggia non risulta soddisfatta in 5 delle 7 SZO.

Basandosi sia su risultati di carattere statistico sia su considerazioni legate alla applicabilità, quali limitare il numero di parametri di stima e porsi comunque, nei casi incerti, in condizioni conservative, in queste 5 SZO sono stati stimati, per le diverse durate, tutti o alcuni dei parametri descrittivi delle relative curve di crescita.



I parametri ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

Sottozona	$\Lambda^*$	$\theta^*$	$\Lambda_I$	$\eta$	durata (ore)
A	0.109	2.361	24.70	4.001	Tutte
B	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			19.35	4.629	3
			26.20	4.932	6
			39.20	5.335	$\geq 12$ e 1g
C	1.528	1.558	13.65	4.280	1
			14.70	4.354	3
			20.25	4.674	6
			25.70	4.913	$\geq 12$ e 1g
D	0.361	2.363	29.00	4.634	Tutte
E	0.044	3.607	13.60	3.329	1
			19.80	3.704	3
			23.65	3.882	6
			30.45	4.135	$\geq 12$ e 1g
F	0.073	1.406	21.01	3.713	1
	0.144	2.042	33.03	4.321	$\geq 3$ e 1g
G	0.131	1.820	16.28	3.571	1
	0.770	2.391	24.71	5.140	3
	0.380	2.592	26.21	4.633	6
	0.303	2.799	30.01	4.680	12
	0.221	3.322	30.78	4.628	24 e 1g

**Tabella 5-3 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge di durata 1-24 ore nelle 7**

Come da figura 5-1, l'area oggetto di intervento ricadono nella **SZO D.**

#### 5.4. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Il modello TCEV di I livello è stato applicato sul campione di dati pluviometrici della stazione di MONTESANTO, la più vicina all'area di intervento, dalla quale sono state estrapolate 29 misurazioni dal 1990 al 2022.

MONTESANTO					
29 [Misurazioni]	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
ANNO	mm	mm	mm	mm	mm
1958	14.8	29	33	54.2	67.2
1959	49.8	50	50	56	80
1960	40	51	59	71.6	76.6
1961	23.4	25.4	34.4	38	38.4
1962	32	32.6	36.8	36.8	44.2
1963	47.6	49	54.2	54.4	55.2
1964	18.6	31.4	33.2	33.2	33.2
1965	16.8	20.2	36.2	42.8	48.6
1966	44.8	76.2	93.6	110.8	124
1967	31.4	34.4	52.2	55.6	56
1968	26.2	26.4	26.8	37.6	38.4
1969	17	29.2	39	45.2	45.4
1970	29.6	29.6	39.8	40.4	43.4



**MONTESANTO**

<b>29</b> <b>[Misurazioni]</b>	<b>1 ORA</b>	<b>3 ORE</b>	<b>6 ORE</b>	<b>12 ORE</b>	<b>24 ORE</b>
<b>ANNO</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>	<b>mm</b>
1971	30.2	30.2	30.2	31	31
1972	23.8	25.8	30	40.6	44.2
1973	24.4	33.6	39.4	52.4	61.2
1996	26.8	35.4	42	62.4	92.6
1997	16.8	22.8	34	38.8	41
2007	28	30.4	30.4	32.2	49.4
2008	31.2	36.8	44.2	48.8	50.6
2009	39.8	47.4	48.8	49.4	49.4
2010	39	44.6	51.2	51.6	51.8
2011	22.8	30.4	45.6	45.6	48
2012	34.4	34.4	34.4	38	62.6
2013	22.6	31.2	36.4	40.4	42.2
2014	35.4	39.2	39.2	41.4	51
2015	17.8	27	36.2	39.8	45.2
2016	30.2	36.4	36.4	40.2	47.4
2017	19.5	31.1	43.2	54.4	58.5

Per ottenere il valore della precipitazione indice di durata  $d$  cui fare riferimento per calcolare il valore della precipitazione di assegnata durata e tempo di ritorno per la regione in esame si propone l'utilizzo di una formulazione analoga alla classica curva di possibilità climatica del tipo:

$$\mu = m_1 \cdot d^{\frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}} \quad (3.2)$$

$m(h24)$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata  $d$ (24 ore);

$m_G$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;

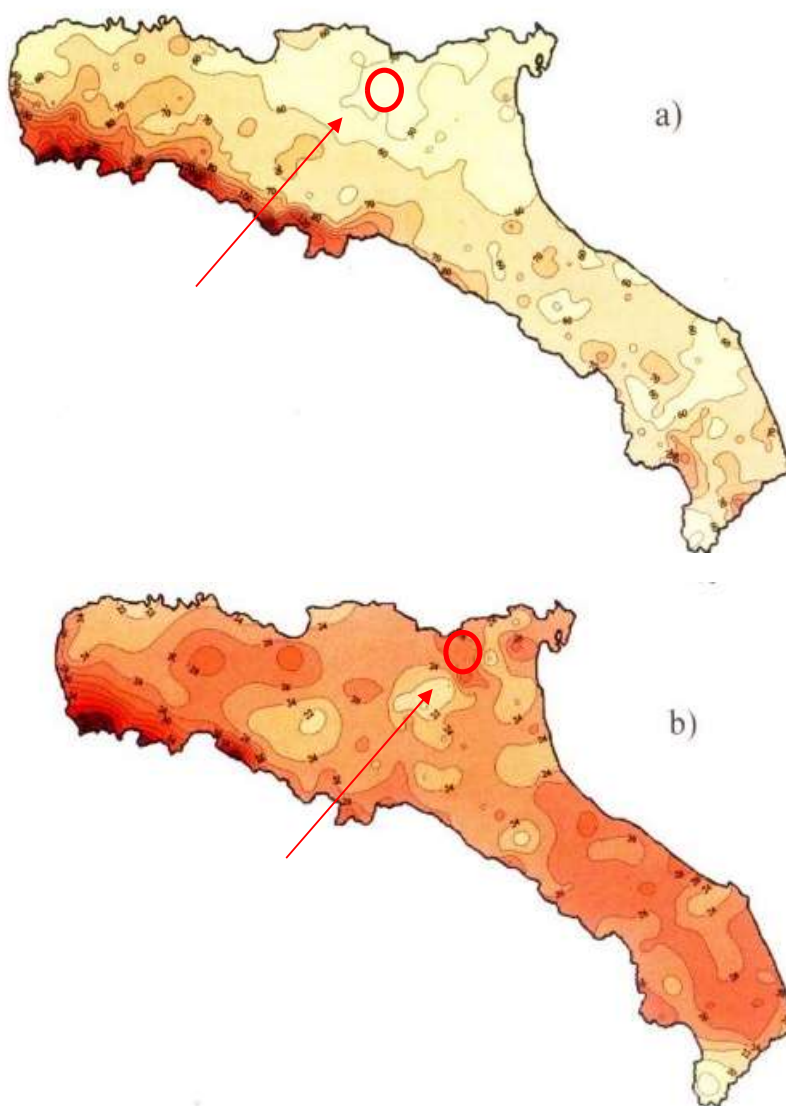
$m_1$  = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;

$\gamma = m_G / m(h24) = 0.89$  nella regione esaminata.

Il rapporto VAPI del Compartimento di Bologna (di cui fa parte Voghiera) suggerisce alcuni valori dei suddetti parametri attraverso l'interpolazione di diverse stazioni pluviometriche e le restituisce con le seguenti isolinee:

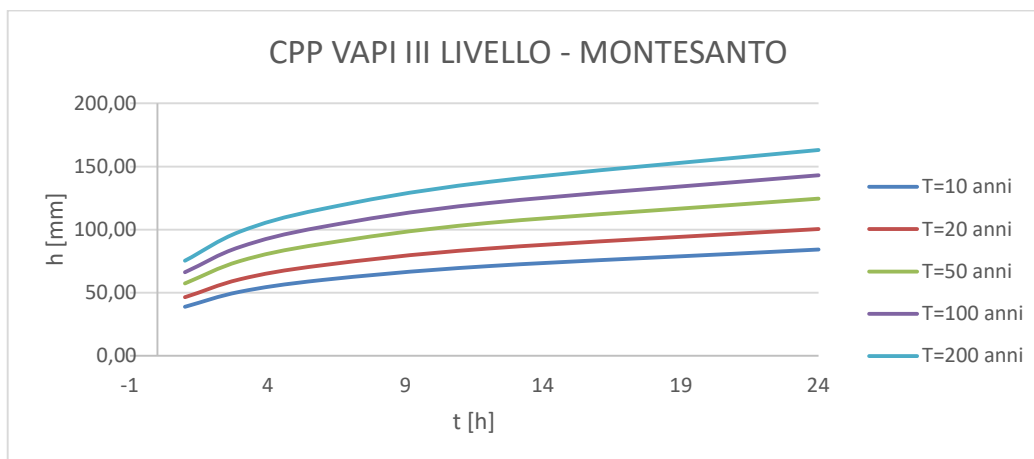
**Tabella 4 - Valori dei parametri caratteristici VAPI**

$m(hg)$	52
$m(h1)$	27
$r$	0.890
$n$	0.243



**Figura 5-2 – Valori di  $m(1)$  ed  $m(24)$  nella sottozona D dell'Appennino Settentrionale**

Attraverso i parametri riportati nel paragrafo precedente sono state ottenute le seguenti curve di pioggia:



**Figura 5-3 – CPP procedura VAPI**

T [anni]	10		20		50		100		200	
t [h]	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
	38.61	0.24	46.44	0.24	57.51	0.24	66.15	0.24	75.33	0.24
1	38.61		46.44		57.51		66.15		75.33	
3	50.42		60.64		75.10		86.38		98.37	
6	59.66		71.76		88.87		102.22		116.41	
12	70.60		84.92		105.17		120.97		137.75	
24	83.55		100.49		124.45		143.15		163.01	

**Tabella 5-5 - Curve di pioggia procedura VAPI**



## 5.5. BACINO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO

Le analisi idrologiche sono state condotte su un bacino la cui delimitazione è stata definita in funzione delle curve di livello estrapolate dal DTM 1x1, mediante strumentazione GIS, e successivamente rappresentate sulla ortofoto. L'area dell'impianto, come descritto precedentemente, fa parte di una rete di canali artificiali di scolo, pertanto non è semplice determinare un bacino di riferimento per il Condotto Galvano; per questo motivo si è proceduto a ricavare il bacino di riferimento che contiene la maggior parte dei canali facenti parte del sistema di bonifica e irrigazione che recapitano le acque nel luogo di impianto.

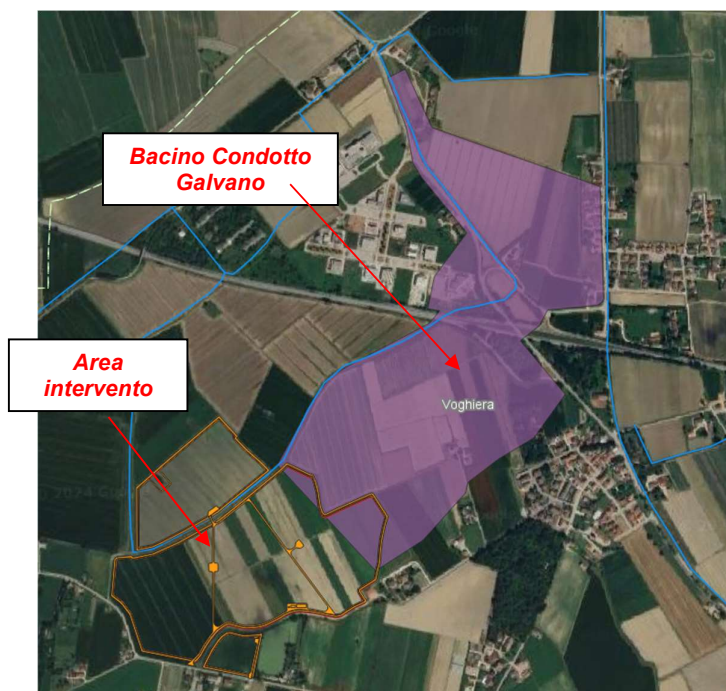


Figura 4- Bacino idrografico di riferimento

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	L[m]	L [Km]
id	Area del bacino	Area del bacino	Lunghezza asta fluviale	Lunghezza asta fluviale
<b>Bacino Condotta Galvano</b>	630000	0.63	1500	1.5

Tabella 6 - Caratteristiche dei bacini



### 5.5.1. QUOTE CARATTERISTICHE E PENDENZE DEL BACINO

Per i bacini idrografici rappresentati nel paragrafo precedente sono state ricavate le quote caratteristiche e la pendenza media dei versanti ( $i_v$ ), mediante strumentazione GIS, a partire dal DTM 1 X 1, sfruttando un plugin del software.

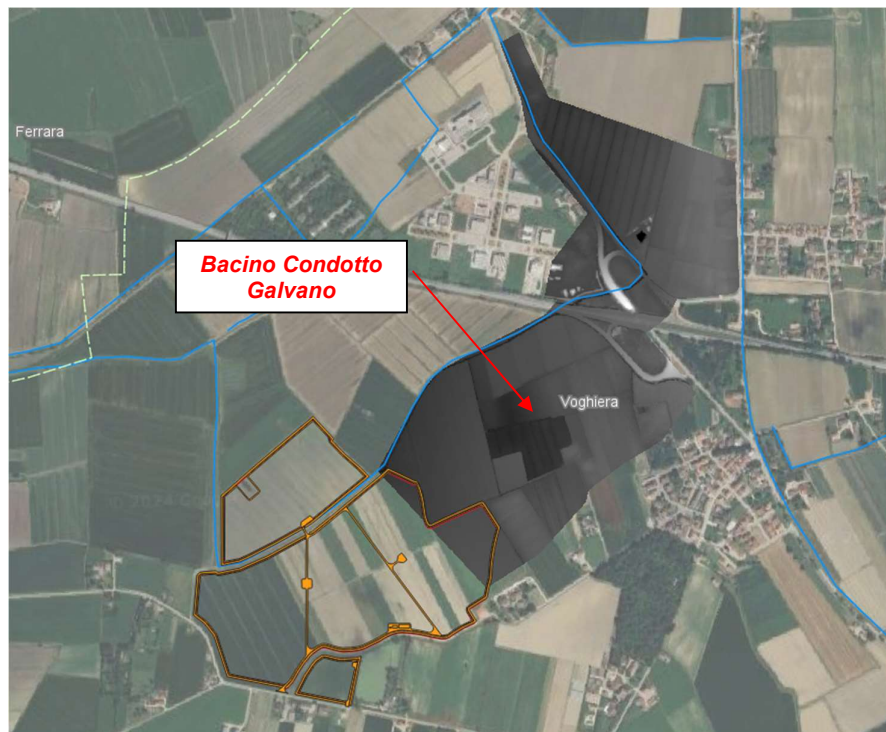


Figura 5 - Estrapolazione DTM del Bacino

I risultati ottenuti sono stati i seguenti:

BACINO	A [Kmq]	H <sub>max</sub> [m s.l.m]	H <sub>med</sub> [m s.l.m]	H <sub>min</sub> [m s.l.m]	i <sub>v</sub> [%]
id	Area del bacino	Altitudine massima	Altitudine media	Altitudine minima	Pendenza media dei versanti
<b>Bacino Condotta Galvano</b>	0.63	5.0	3.0	2.0	0.1%

Tabella 7 - Risultati Bacino di riferimento



### 5.5.2. PENDENZA MEDIA DEL CORSO D'ACQUA

Il profilo longitudinale dell'asta principale del bacino di riferimento è stato ottenuto suddividendo il corpo idrico in una serie di tratti di lunghezza  $L_j$  con pendenza  $i_j$ . L'andamento delle pendenze dell'asta principale e in particolare la pendenza media è stata definita mediante la formula di Taylor-Schwartz.

$$i_m = \frac{L^2}{\left(\sum_i \frac{L_j}{\sqrt{i_j}}\right)^2}$$

I risultati ottenuti sono stati i seguenti:

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	L[m]	L [Km]	i
id	Area del bacino	Area del bacino	Lunghezza asta fluviale	Lunghezza asta fluviale	Pendenza media asta fluviale
<b>Bacino Condotta Galvano</b>	630000	0.63	1500	1.50	0.3

Tabella 8 - Calcolo pendenze medie delle aste fluviali

### 5.5.3. VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA'

Ai fini delle successive elaborazioni idrauliche e idrologiche, è stata valutata la permeabilità del bacino considerato, definendo un valore del Curve Number a partire dalla copertura e dall'uso del territorio secondo Corine Land Cover 2018 e alla definizione del gruppo idrologico.





CODICE	Descrizione	CN II			
		A	B	C	D
111	Tessuto urbano continuo	77	85	90	92
112	Tessuto urbano discontinuo	57	72	81	86
121	Aree industriali o commerciali	89	90	94	94
122	Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	98	98	98	98
123	Aree portuali	89	92	94	94
124	Aeroporti	81	88	91	93
131	Aree esrattive	46	69	79	84
132	Discariche	46	69	79	84
133	Cantieri	46	69	79	84
141	Aree verdi urbane	39	61	74	80
142	Aree sportive e ricreative	39	61	74	80
211	Seminitavi in aree non irrigue	70	80	86	90
212	Seminitavi in aree irrigue	85	90	92	94
213	Risaie	100	100	100	100
221	Vigneti	45	66	77	83
222	Frutteti e frutti minori	45	66	77	83
223	Uliveti	45	66	77	83
231	Prati stabili	30	58	71	78
241	Colture annuali associate e colture permanenti	58	73	82	87
242	Sistemi culturali e particellari permanenti	58	73	82	87
243	Aree prev. occup.da colture agrarie, con spazi nat.	52	70	80	84
244	Aree agroforestali	58	73	82	87
311	Boschi di latifoglie	36	60	73	79
312	Boschi di conifere	36	60	73	79
313	Boschi misti	36	60	73	79
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	49	69	79	84
322	Brughiere e cespuglieti	49	69	79	84
323	Aree a vegetazione sclerofilia	49	69	79	84
324	Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	36	60	73	79
331	Spiagge, dune, sabbie	76	85	89	91
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	77	86	91	94
333	Aree con vegetazione rada	49	69	79	84
334	Aree percorse da incendi	77	86	91	94
335	Ghiacciai e nevi perenni	100	100	100	100
411	Paludi interne	100	100	100	100
412	Torbiera	100	100	100	100
421	Paludi salmastre	100	100	100	100
422	Saline	100	100	100	100
423	Zone intertidali	100	100	100	100
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	100	100	100	100
512	Bacini d'acqua	100	100	100	100
521	Lagune	100	100	100	100
522	Estuari	100	100	100	100

**Tabella 9- Valori del CN II per differenti tipologie di copertura e di permeabilità**

Facendo riferimento alla carta geologica, le superfici di riferimento ricadono in terreni composti da Detriti alluvionali.

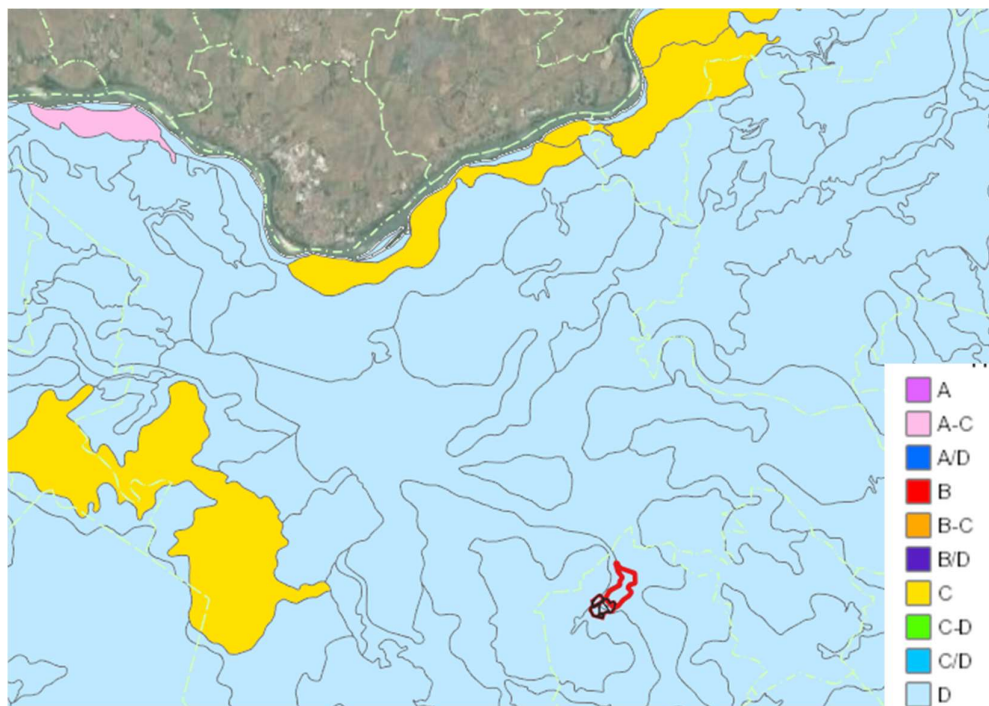


Figura 6 - -Carta dei gruppi idrologici con sovrapposizione dei bacini



Figura 7 - Carta geolitologica con sovrapposizione del bacino

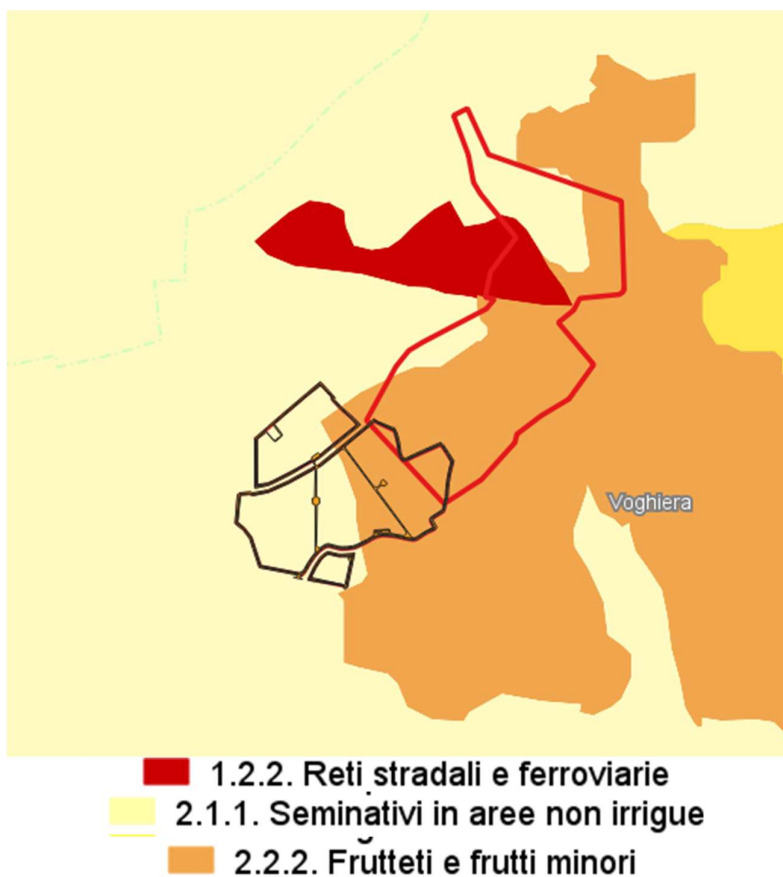


Figura 8 - Copertura del suolo secondo Corine Land Cover 2018

Per quanto riguarda invece la copertura del suolo, da quanto rappresentato nella classificazione del Corine Land Cover 2018, i bacini presentano quasi totalmente una copertura del suolo relativo alle aree seminate non irrigue e frutteti.

Bacino	CN(II)
<i>Bacino Condotta Galvano</i>	83

Tabella 10- Valori ponderati di CNII





#### 5.5.4. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Per procedere al calcolo della portata di piena ad assegnato tempo di ritorno è necessario valutare il tempo di corrivazione, inteso come il tempo impiegato da una goccia di acqua, caduta nel punto più sfavorito, per raggiungere la sezione di chiusura. La stima di tale parametro è stata effettuata facendo riferimento alla formula di Mockus Curve Number

##### Mockus Curve Number

$$t_c = 0.571 \frac{L^{0.8}}{i^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui  $t_c$  è misurato in ore,  $L$  (lunghezza dell'asta principale) in km,  $i$  (pendenza media del versante espresso in %),  $CN$  (valore del CN medio del singolo bacino).

BACINO	Tc (h)
id	SCS - CN
<i>Bacino Condotta Galvano</i>	3.89

Tabella 11- Valori tempo di corrivazione espresso in ore

#### 5.6. STIMA DELLE PORTATE

La stima delle portate ad assegnato tempo di ritorno è stata effettuata mediante la formula razionale, il cui approccio si basa sull'utilizzo della curva di possibilità pluviometrica e sull'ipotesi che a parità di tempo di ritorno, la portata al colmo maggiore è prodotta dall'evento la cui durata è identica al tempo di corrivazione.

$$Q = \frac{\Phi i_c A}{3.6}$$

in cui

- $\Phi$  è il coefficiente di deflusso, indicante il rapporto tra i deflussi e gli afflussi [ad]
- $i_c$  è l'intensità di pioggia di un evento avente durata  $d = t_c$  [mm/ora]
- $A$  è la superficie del bacino (o area scolante) [Km<sup>2</sup>]
- $Q$  è la portata al colmo di piena che defluisce alla sezione di chiusura in corrispondenza di un evento di durata  $t_c$  e tempo di ritorno  $T$  [m<sup>3</sup>/s].



### 5.6.1. COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Considerata la descrizione dei luoghi precedentemente riportata si è deciso di adottare cautelativamente un valore di  $\phi$  pari 0.60, a vantaggio di sicurezza maggiore del 20% rispetto a quello corrispondente a terreni poco permeabili, soggetti alle pratiche agricole, di cui alla tabella di seguito riportata.

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivi	Pascoli	Boschi
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0,20	0,15	0,10
Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla). Terreni di medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
Suoli poco permeabili Suoli fortemente argillosi o simili, con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile.	0,50	0,45	0,40

**Tabella 12- Coefficienti di deflusso da letteratura**

### 5.6.2. RISULTATI OTTENUTI

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di portata:

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	tc [h]	$\Phi$	Q <sub>T</sub> [mc/s]		
id	Area del bacino	Area del bacino	tempo di corrivazione	coeff. Deflusso	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>Bacino Condotta Galvano</b>	630000	0.63	3.89	0.60	<b>2.16</b>	<b>2.49</b>	<b>2.83</b>

**Tabella 13 - Calcolo portate con metodo razionale**

Con i valori di portata calcolati, sono state effettuate le simulazioni monodimensionali riportate nel prossimo paragrafo.



## **6. VERIFICHE IDRAULICHE**

Nei paragrafi a seguire verranno mostrate le analisi idrauliche in moto permanente monodimensionale, effettuate per i tratti d'asta prossimi alle aree di impianto. Nello specifico, si è proceduto ad effettuare la modellazione di un tratto del canale che defluisce intorno all'area oggetto di intervento.

### **6.1. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO**

I tempi di ritorno adottati sono i seguenti:

- 50,100,200 Anni per le verifiche idrauliche dei tratti del reticolo prossimi all'area di impianto.

### **6.2. IL MODELLO HEC RAS**

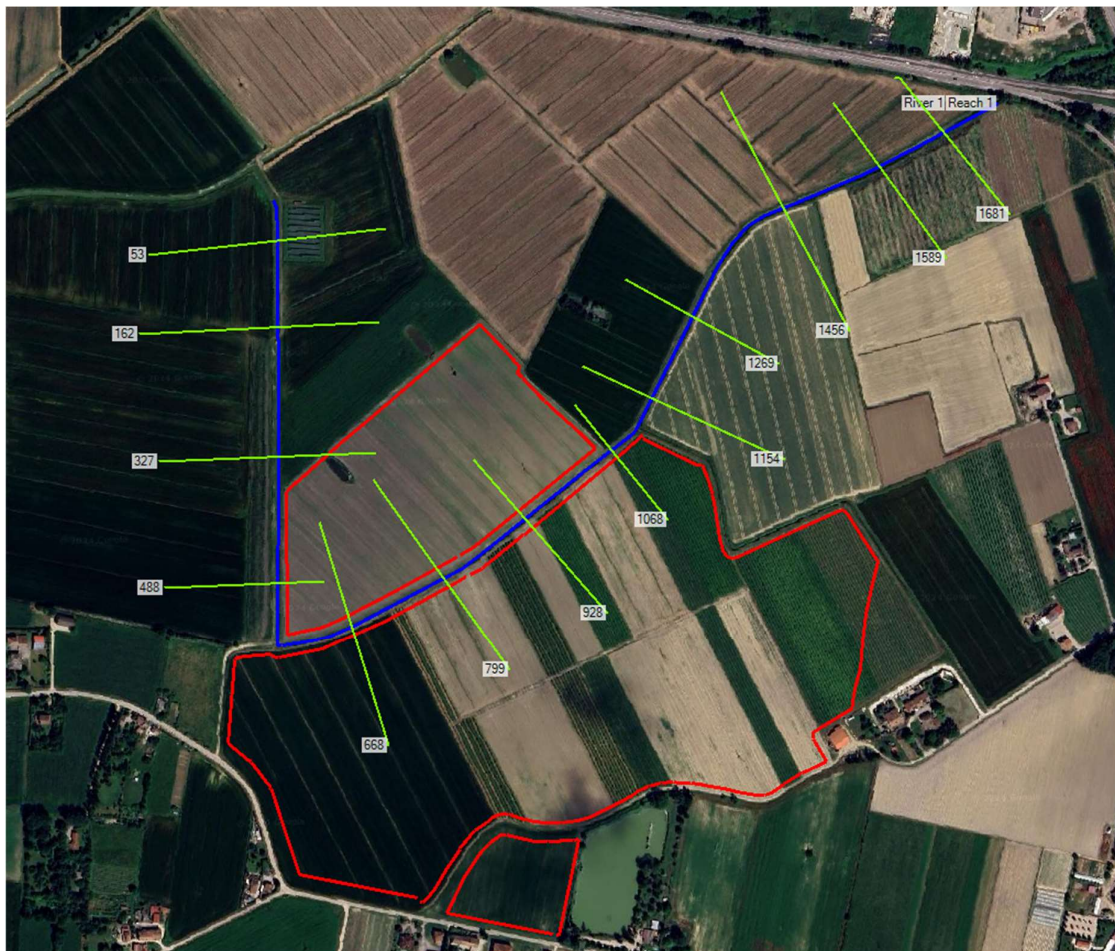
La definizione dei profili di corrente è stata condotta in moto permanente monodimensionale, utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 6.5, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. Attraverso il software possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto. Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti, non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione (ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale). Esso consente inoltre di modellare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, indicando differenti lunghezze del tratto che separano due sezioni adiacenti, sia per la golena in sponda sinistra, che per la golena in sponda destra, che per il canale principale. Nello specifico il calcolo dei profili di corrente viene effettuato all'interno del software attraverso la risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive, mediante un processo iterativo (standard step method).

#### **6.2.1. LA MODELLAZIONE DI PROGETTO**

- **GEOMETRIA DELLO STATO DI FATTO**

La geometria dello stato di fatto è stata modellata sulla base del DTM 1X1 messo a disposizione dai geoportali nazionali e da rilievo in campo, attraverso il quale è stato possibile estrapolare le curve di livello tridimensionali e procedere alla modellazione del tratto d'asta esistente, previa importazione delle geometrie nel software HEC RAS.





**Figura 9– Modellazione HEC RAS – Condotto Galvano**

Come mostrato in figura 23, si è proceduto alla modellazione del Condotto Galvano suddiviso in sezioni.

- **SCABREZZE DEI CORSI D'ACQUA**

Per la determinazione del coefficiente di scabrezza, si è fatto riferimento alla seguente tabella

tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
<b>ALVEI DI PIANURA</b>			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molenti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molenti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
<b>ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)</b>			
sul fondo: ghiaia, ciotoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciotoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
<b>GOLENE E PIANE INONDABILI</b>			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
<b>Soluzioni a filari</b>	<b>0.025</b>	<b>0.035</b>	<b>0.045</b>
culture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

CANALI CON FONDO IN GHIAIA E SPONDE IN lastre di calcestruzzo	0.017	0.020	0.025
pietrame con giunti stilati	0.020	0.023	0.026
scogliera	0.023	0.033	0.036
CANALI IN TERRA NON RIVESTITI			
rettilinei, non vegetati, buona manutenzione	0.016	0.018	0.020
rettilinei, non vegetati, mediocre manutenzione	0.018	0.022	0.025
rettilinei, non vegetati, con ghiaia	0.022	0.025	0.030
rettilinei, poco inerbiti, rare alghe	0.022	0.027	0.033
ALVEI IN TERRA REGOLARIZZATI O ROGGE			
non vegetati	0.023	0.025	0.030
poco inerbiti, rare alghe	0.025	0.030	0.033
molto vegetati, molte alghe	0.028	0.030	0.035
con sponde in pietrame	0.028	0.030	0.035
con sponde ben inerbite	0.025	0.035	0.040
con fondo in ciottoli e sponde non vegetate	0.030	0.040	0.050
CANALI MANTENUTI CON DRAGAGGIO			
non vegetati	0.025	0.028	0.033
poco inerbiti, rare alghe	0.035	0.050	0.060
ALVEI IN ROCCIA			
con sezione ben regolarizzata	0.025	0.035	0.040
irregolari	0.035	0.040	0.050
CANALI IN TERRA RINATURALIZZATI (CON ALGHE E CESPUGLI)			
con sezione interamente occupata da alghe	0.050	0.080	0.120
con rare alghe e sponde mediamente cespugliate	0.045	0.070	0.110
con alghe e sponde fortemente cespugliate	0.080	0.100	0.140

Considerati lo stato di fatto e le soluzioni progettuali sopra riportate, l'analisi è stata svolta adottando i seguenti coefficienti di Manning:

MODELLAZIONE	CANALE CENTRALE	SPONDE DX,SX
n Manning	0.035 m <sup>1/3</sup> /s	0.035 m <sup>1/3</sup> /s

- CONDIZIONI AL CONTORNO

Come condizioni al contorno si è deciso di definire sia a monte che a valle una "normal depth" ovvero un valore noto di pendenza dell'energia, approssimativamente assunto pari alla pendenza di fondo alveo nelle sezioni più a monte e più a valle del tratto oggetto di intervento.

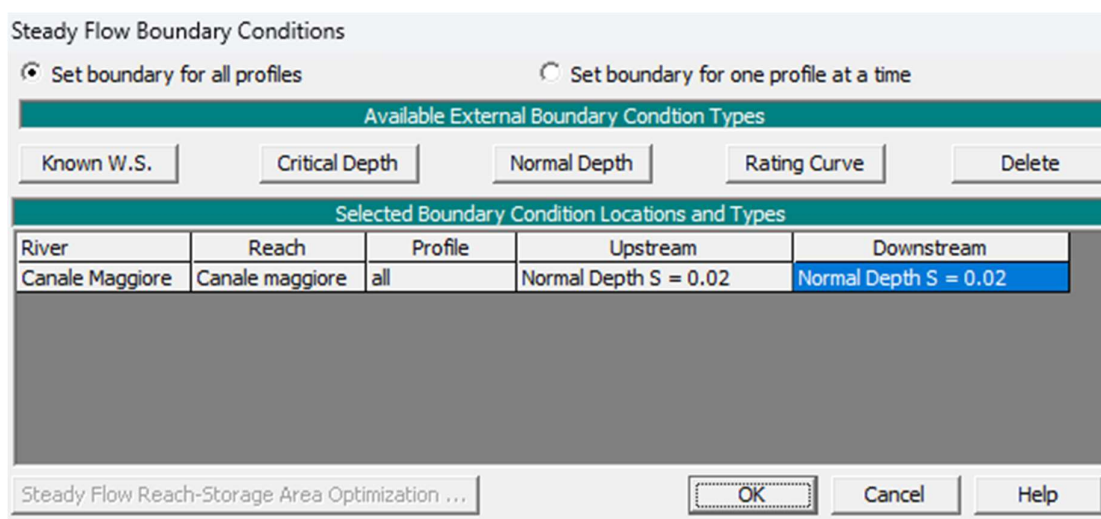


Figura 10- Condizioni al contorno stato di fatto e di progetto



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R10\_01**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGINA - PAGE  
32 di/of 32

- PORTATE STATO DI FATTO E DI PROGETTO

Come portate di riferimento sono state adottate quelle di cui al paragrafo 5.4.2.

### 6.2.2. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI

I risultati delle modellazioni sono riportati nella sezione allegati dello Studio di Compatibilità.

## 7. RISULTATI E CONCLUSIONI

Come meglio descritto all'interno della seguente relazione, l'impianto di progetto è ubicato nel Comune di Voghiera in provincia di Ferrara, in un contesto prettamente pianeggiante e ad uso agricolo, all'interno del Bacino del Po e nell'area di Competenza del Consorzio di Bonifica della Pianura di Ferrara – Bacino di Burana-Volano.

Il reticolo idraulico è costituito da un canale di bonifica denominato Condotto Galvano in terra, che si sviluppa planimetricamente tra le aree di intervento del futuro impianto. Considerato ciò, si è proceduto ad effettuare la modellazione monodimensionale per un tratto d'asta che defluisce ai lati del sito oggetto di intervento (v. allegati dello Studio di Compatibilità Idraulica). Da quanto emerso dalle modellazioni in moto permanente monodimensionale, i deflussi con tempo di ritorno 50, 100 e 200 anni non interferiscono con le aree di impianto.

In fase di realizzazione dell'opera, dovranno essere effettuati tutti gli studi necessari per poter definire le attività di cantiere in modo da non comportare incrementi delle condizioni di pericolosità/rischio durante l'esecuzione dei lavori.

Il Progettista

Ing. Luca Spaccino

