

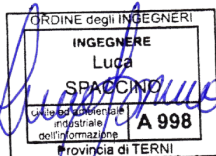
ATLAS SOLAR 13 SRL		CODE <b>FAB.ENG.REL.010.00</b>
		PAGE 1 di/of 46

**TITLE:** Relazione Idrologica – idraulica

**AVAILABLE LANGUAGE:** IT

## RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Progetto di un impianto fotovoltaico denominato “Fabbrico” di potenza pari a 16.806,24 kWp da realizzarsi nel comune di Fabbrico (RE) e delle relative opere di connessione da realizzarsi nei comuni di Fabbrico (RE), Rio Saliceto (RE) e Carpi (MO)



File: FAB.ENG.REL.010.00\_Relazione idrologica - idraulica

00	31/01/2025	Emissione definitiva	E.Barbiere	F. Trovati	L. Spaccino
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

### CLIENT VALIDATION

Name	Discipline	PE
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATE BY

### CLIENT CODE

IMP.			GROUP.			TYPE			PROGR.			REV	
F	A	B	E	N	G	R	E	L	0	1	0	0	0

**CLASSIFICATION** For Information or For Validation

**UTILIZATION SCOPE** Basic Design

This document is property of ATLAS SOLAR 13 SRL. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by ATLAS SOLAR 13 SRL.

## 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 .....	10
5. ANALISI IDROLOGICA .....	15
5.1. Obiettivi dello studio idrologico ed idraulico .....	15
5.2. Analisi probabilistica delle piogge .....	15
5.3. Parametri TCEV da rapporto VAPI.....	16
5.4. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA .....	19
5.5. BACINO IDROGRAFICO DI RIFERIMENTO .....	21
5.5.1. QUOTE CARATTERISTICHE E PENDENZE DEL BACINO .....	23
5.5.2. PENDENZA MEDIA DEL CORSO D'ACQUA .....	24
5.5.3. VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA' .....	24
5.5.4. CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	28
5.5.5. DETERMINAZIONE IETOGRAMMA DI PROGETTO .....	28
5.6. STIMA DELLE PORTATE .....	30
5.6.1. MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI SCS CN PER MOTO VARIO BIDIMENSIONALE.....	30
5.7. RISULTATI .....	33
5.7.1. MODELLO SCS CN.....	33
6. ANALISI IDRAULICA .....	35
6.1. IL MODELLO HEC RAS.....	35
6.2. DOMINIO DI CALCOLO E CARATTERISTICHE .....	36
6.3. CARATTERISTICHE MODELLO .....	38
6.4. CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO 2D .....	40
6.5. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI.....	41
7. CONCLUSIONI .....	46

## 1. PREMESSA

Lo scopo del presente documento è la definizione delle caratteristiche idrologiche e idrauliche relative al progetto proposto da ATLAS SOLAR 13 SRL, che prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico connesso alla rete di distribuzione nazionale della potenza di 16.806,24 kWp. denominato “Fabbrico”.

Complessivamente, la potenza totale è ottenuta mediante la connessione in serie e in parallelo di moduli fotovoltaici bifacciali con potenza nominale adeguate alle esigenze non solo di spazio, in termini di superficie occupata, ma anche di compatibilità con le strutture del tipo “Struttura tracker 1x48 Portrait”, “Struttura tracker 1x24 Portrait” e “Struttura tracker 1x12 Portrait” scelte dal Committente.

L'impianto installato a terra con potenza in AC utile ai fini della connessione pari 15.360,00 kW<sub>AC</sub> è destinato ad essere collegato alla RTN in antenna a 36 kV, come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita da Terna SpA (codice pratica: 202402359). La connessione prevista dalla STMG prevede infatti che l'impianto venga collegato in antenna a 36 kV su un ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV denominata “Carpi Fossoli”.

Le opere in progetto saranno site nei Comuni di Fabbrico (per l'impianto fotovoltaico) e Carpi (per il cavidotto) in Provincia di Reggio Emilia in Emilia-Romagna.



**Figura 1 –Sovrapposizione su ortofoto dell’area di impianto e del percorso del cavidotto di connessione alla rete (in blu).**

### 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 Fabbrico (RE), a circa 25 km a Nord del capoluogo reggiano.



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 dalla SP46 posta a est dell'area di impianto. Il perimetro di interesse risulta essere lambito da diversi canali di scolo delle acque di competenza del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, in particolare:

- Lungo il lato Ovest è presente il Canale denominato "Fosso Risaia";
- Lungo il Lato Nord sono presenti il Fosso Risaia, il Cavo denominato "C.C.A.B.M." e il Cavo "Cuscina";
- Lungo il Lato Est è presente il Canale "Ca' de Frati", mentre oltre la SP 46 è presente il Canale "Cantonazzo" il quale non verrà interessato da questa analisi.

Da un punto di vista topografico l'area si sviluppa su un terreno prevalentemente pianeggiante. Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico 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/MT.

L'impianto agrivoltaico sarà complessivamente costituito da moduli la cui potenza complessivamente installabile risulta essere pari a 16.806,24 kW<sub>p</sub>.

Le strutture di supporto dei moduli saranno poste con le strutture del tipo "Struttura tracker 1x48 Portrait", "Struttura tracker 1x24 Portrait" e "Struttura tracker 1x12 Portrait".



Figura 3 - Sovrapposizione su ortofoto dell'area di impianto (in rosso) e dei canali del Consorzio di Bonifica

dell'Emilia Centrale (in blu). (Fonte: Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale)

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

Tabella 1 – Descrizione sito

COORDINATE	
COMUNE	Fabbrico e Carpi (opere di connessione)
PROVINCIA	Reggio Emilia
LATITUDINE	44°51'51.92"N
LONGITUDINE	10°50'33.94"E
CLASSIFICAZIONE SISMICA	3
ZONA CLIMATICA	E
AREA DI IMPIANTO (IN ROSSO)	~17 ha
INDICAZIONE AREA DI PROGETTO	



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





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

In sede di sopralluogo, è stato effettuato un rilievo celerimetrico GPS grazie al quale è stato possibile modellare il DTM 1x1 già disponibile sul Sito del Ministero dell'Ambiente; inoltre, sono stati valutati i canali gestiti dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale che si sviluppano nei pressi dell'impianto.

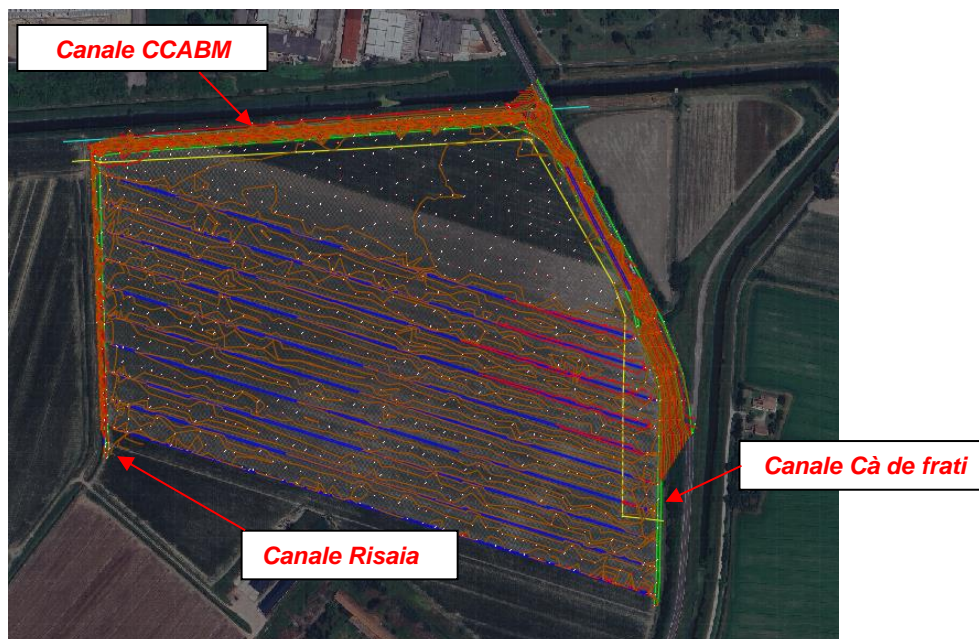
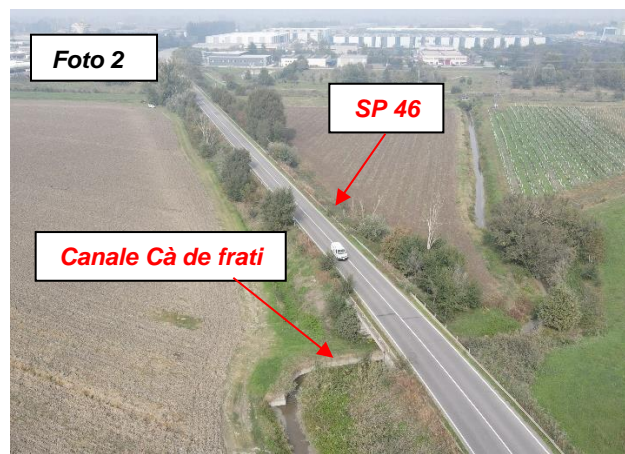
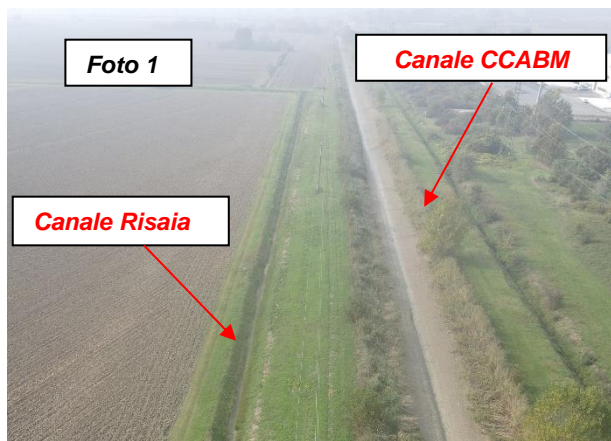


Figura 5 - Rilievo celerimetrico GPS effettuato nell'area di impianto



Figura 6 – Planimetria fotografie in sede di sopralluogo





**Figura 7 - 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, le pendenze del fondo agricolo derivano le acque sul lato Est del futuro impianto; tale configurazione consente di inserire una vasca di laminazione sul lato Est dell'impianto con relativo recapito nel Canale Ca' de Frati tramite manufatto di regolazione.

L'analisi di questo aspetto idraulico è descritta nello Studio di Invarianza Idraulica del presente progetto.

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

Il sito di intervento è ubicato in un contesto di pianura alluvionale nel Bassa Pianura Reggiana, a circa 25 km a Nord 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.

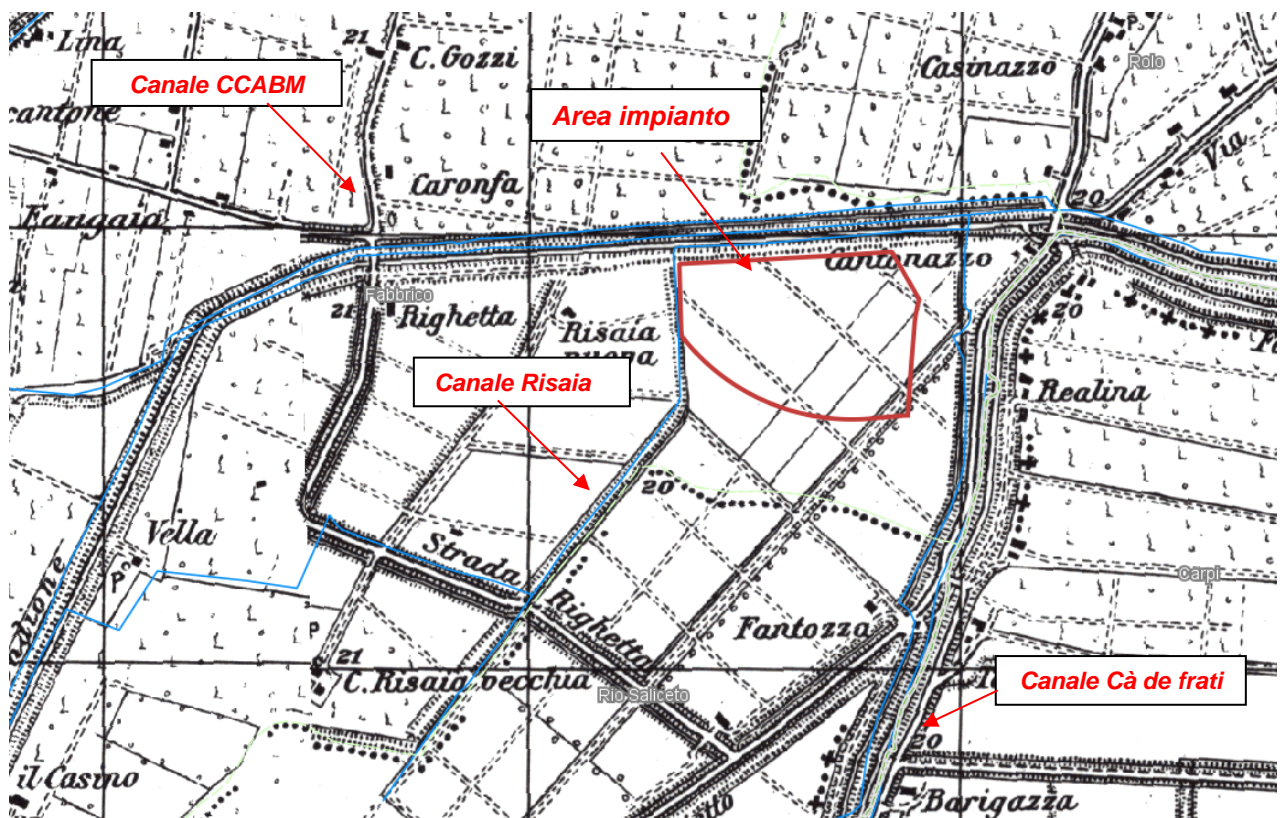


Figura 8- Stralcio da IGM con interferenza reticolo idrografico

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

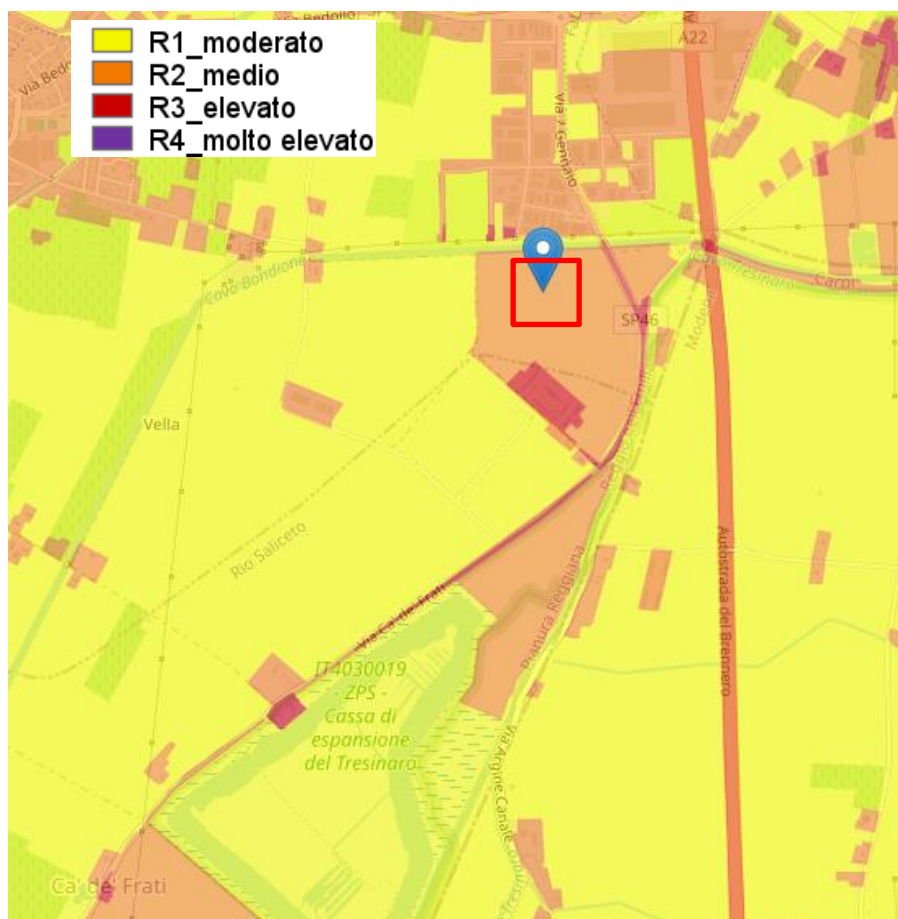


Figura 9- Sovrapposizione opere con cartografia PGRA



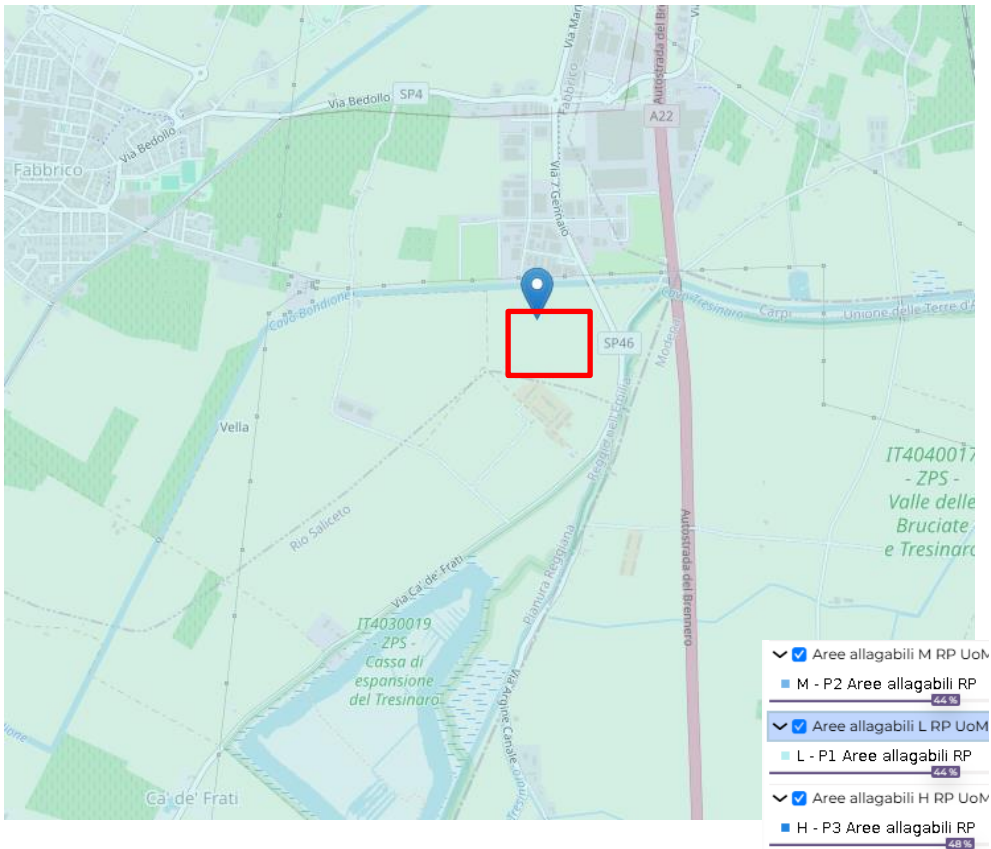


Figura 10- Sovrapposizione opere con cartografia PAI\_ Pericolosità RSP

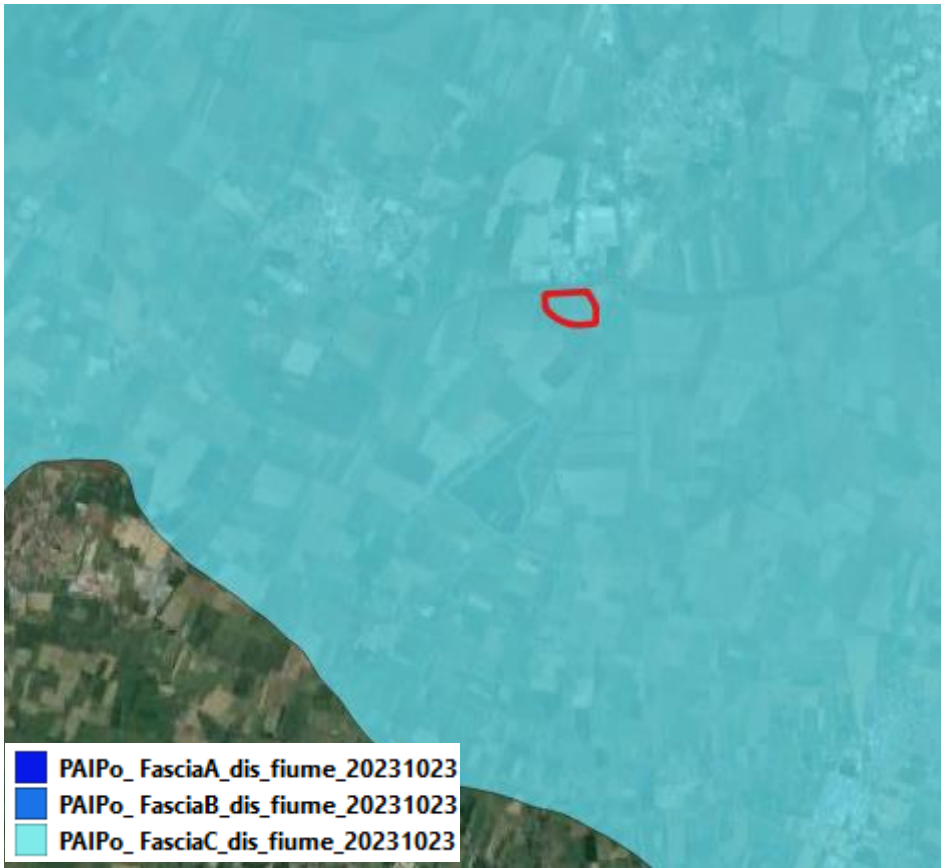


Figura 11 - Sovrapposizione opere con cartografia PAI\_ Fasce Fluviali

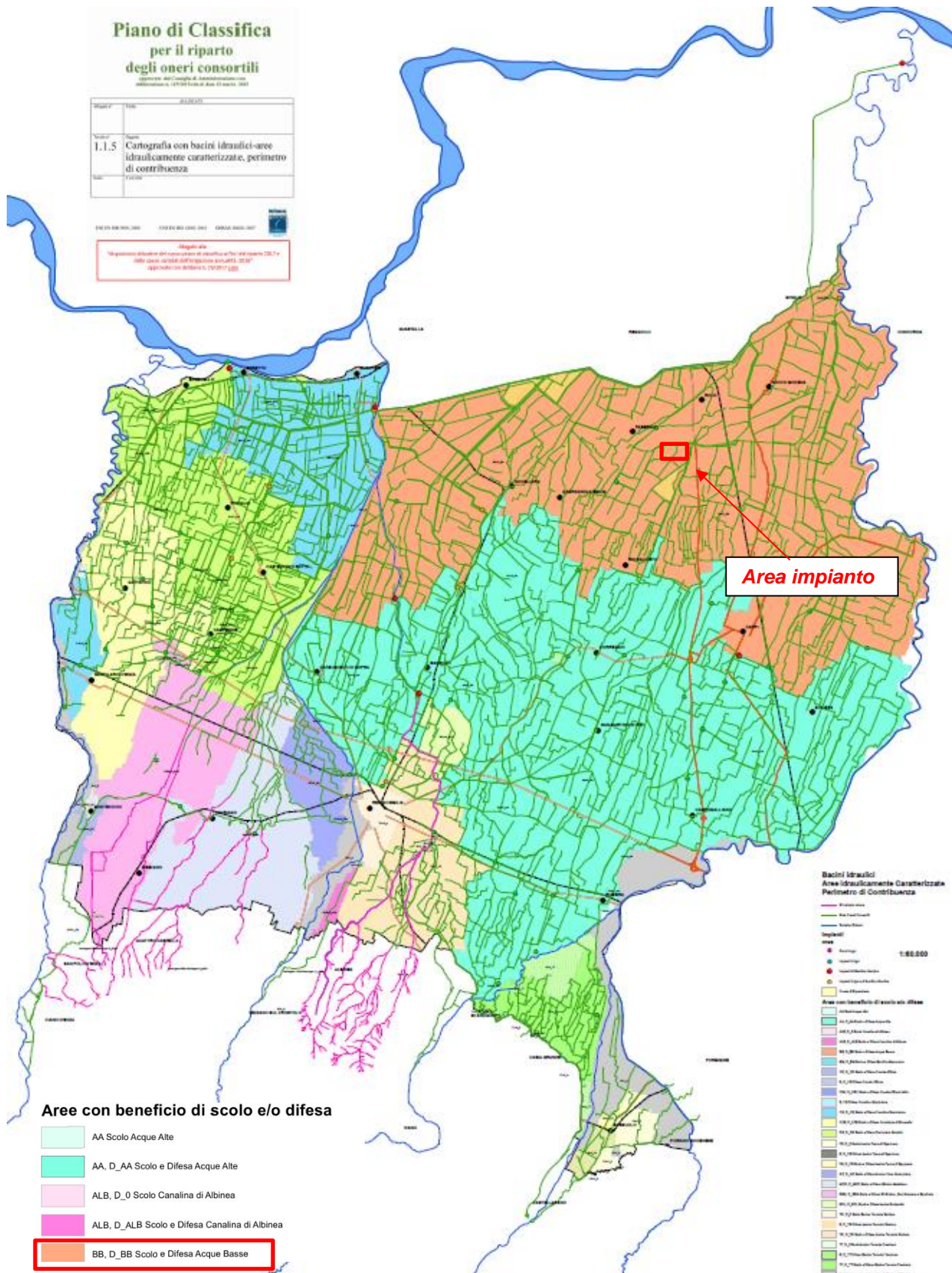


Figura 12- Zona di intervento nell'area del Consorzio di Bonifica



I tre canali di bonifica hanno funzioni e dimensioni differenti:

- Il Canale CCABM è un canale trapezoidale in terra di dimensioni  $b=12.00\text{m}$ ,  $h=1.80\text{m}$ ,  $B=20.00\text{m}$  che si sviluppa lungo il tratto settentrionale all'area di impianto;
- Il Canale Risaia è un canale trapezoidale in terra di dimensioni  $b=1.80\text{m}$ ,  $h=1.30\text{m}$ ,  $B=6.00\text{m}$  che si sviluppa lungo il tratto Ovest e Nord all'area di impianto;
- Il Canale Ca' de Frati è un canale trapezoidale in terra di dimensioni  $b=3.00\text{m}$ ,  $h=1.80\text{m}$ ,  $B=8.00\text{m}$  che si sviluppa lungo il tratto Est all'area di impianto; attraversa con una sezione rettangolare la SP46 come riportato nella foto 5 della Fig.7.

Inoltre, a monte dell'area di impianto è presente una vasca di espansione lungo il Ca' de Frati che non è stata considerata come presidio idraulico dell'area di impianto a vantaggio di sicurezza.

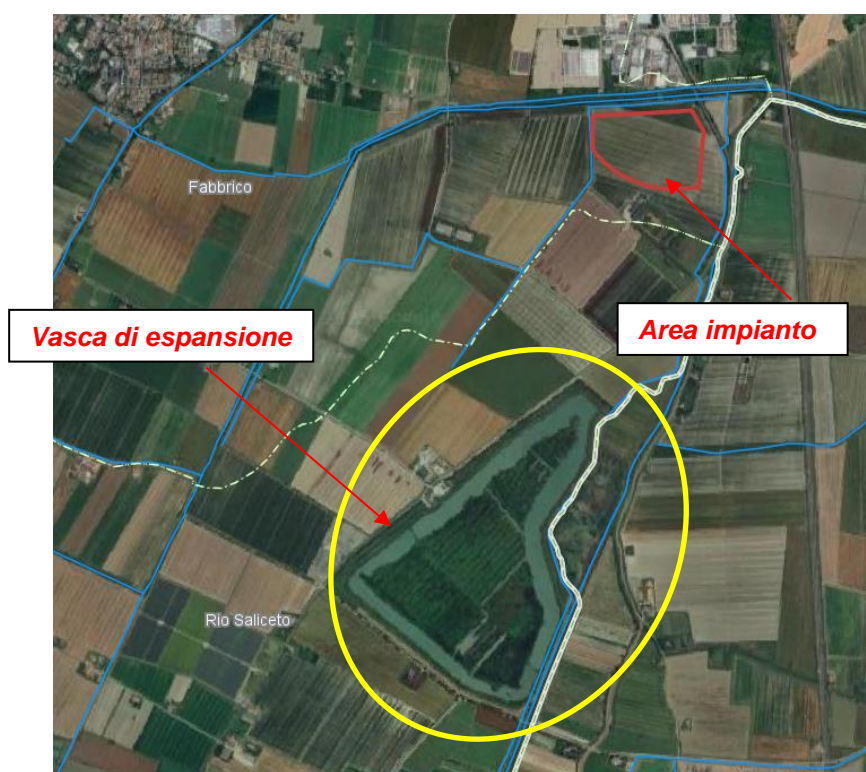


Figura 13 - Vasca di espansione Ca' de Frati



Tale vasca di espansione si estende per quasi 1 kmq e riesce a contenere 2,5 milioni di metri cubi garantendo sicurezza idraulica per un'area di 11.000 ettari, fu realizzata dall'ex consorzio di bonifica Parmigiana-Moglia per limitare le tracimazioni del cavo Tresinaro e i rigurgiti a monte che interessavano i territori di Correggio e San Martino in Rio.

## 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 tre canali, è stata applicata la Metodologia TCEV partendo dai dati di pioggia della stazione di misura di Carpi, posto a 5km 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

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

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

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

la funzione di probabilità diventa

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

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  $x_T$  adoperava 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  $K_T$

---

<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).

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

risultano completamente definite dai seguenti parametri:

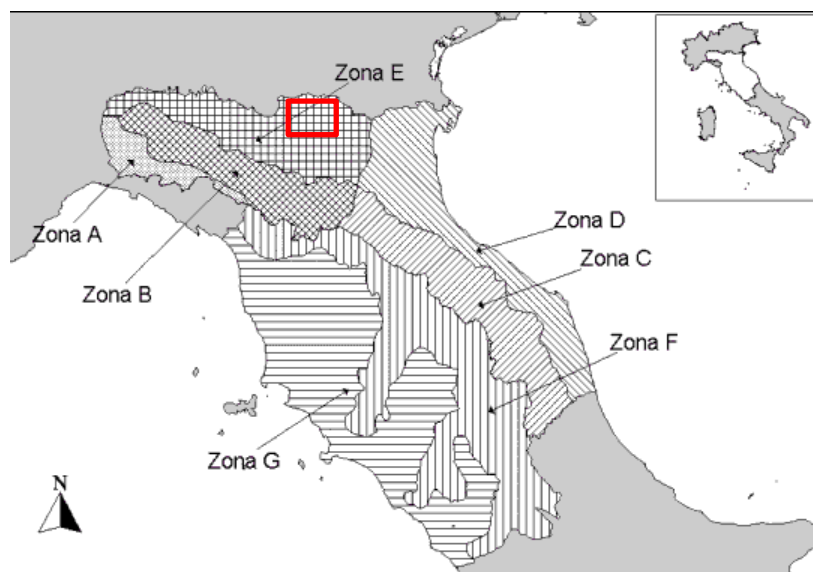
Sottozona	$\Lambda_*$	$\theta_*$	$\Lambda_1$	$\eta$
A	0.109	2.361	24.70	4.001
B	1.528	1.558	39.20	5.335
C	1.528	1.558	25.70	4.913
D	0.361	2.363	29.00	4.634
E	0.044	3.607	30.45	4.135
F	0.144	2.042	33.03	4.321
G	0.221	3.322	30.78	4.628

**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 E**.

#### 5.4. CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

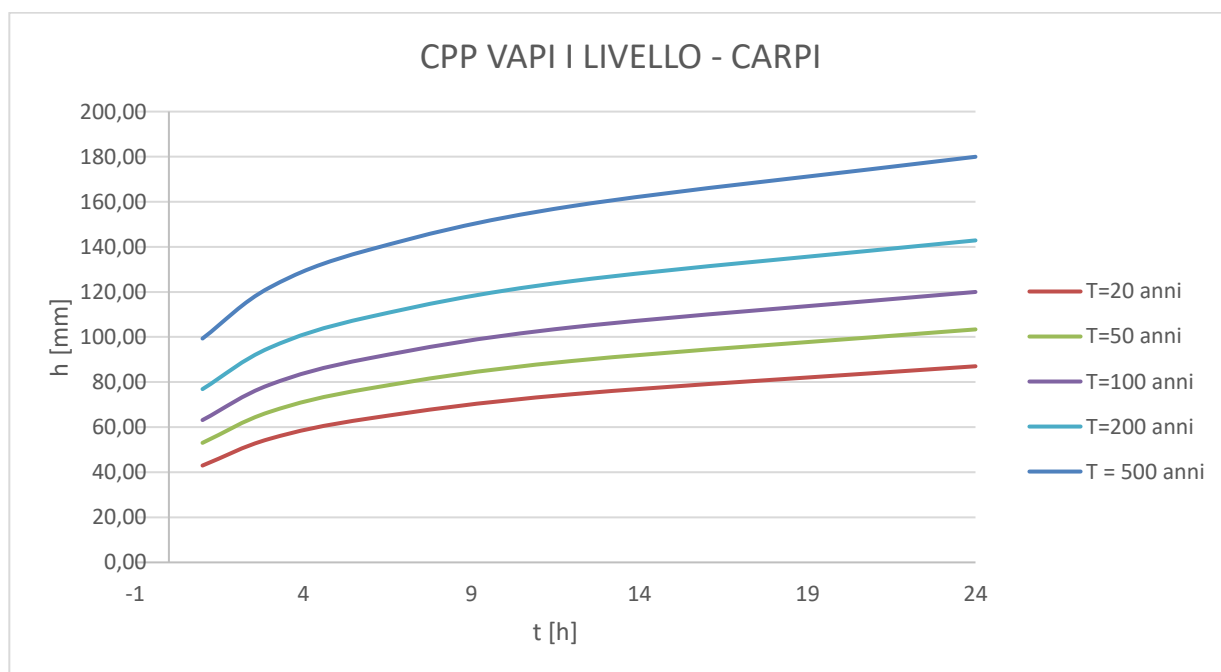
Il modello TCEV di I livello è stato applicato sul campione di dati pluviometrici della stazione di CARPI, la più vicina all'area di intervento, dalla quale sono state estrapolate 42 misurazioni dal 1943 al 2006.

CARPI					
42 [Misurazioni]	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE
ANNO	mm	mm	mm	mm	mm
1943	28	34	49	51	68
1944	24	29	35	46	84
1945	15	18	24	42	64
1946	15	25	31	39	53
1947	13.5	18	21	37	49.5
1948	22	29	33	41	55
1949	21	26	38	58	72
1950	18	22	29	41	46
1951	36	43.5	45	46	65.5
1952	27	32.5	42	60	84.7
1953	18.3	25.5	40	60	79.5
1954	14.4	14.6	19.5	30.8	36.9
1955	62.8	63.1	64.9	65.7	65.7
1958	18	29	36	66	86
1959	31.8	35	45	62.8	85.8
1960	35.2	35.2	41.2	44.2	44.4
1961	32.8	33.6	33.6	34.4	46.8
1962	13.6	29	44.8	68.8	72.6
1971	13.8	20.2	26	36.2	40.8
1972	21.6	21.6	35.6	43	62.4
1973	22	31	42.7	42.7	50.8
1974	22.2	24	24	26.2	26.6
1975	24	34.3	34.3	34.3	40.8
1976	5.2	10.2	19.8	35	42
1978	18.4	19.6	25.4	33.6	52.2
1979	19.6	24.6	40.6	69.6	106.2
1980	27.8	32.2	32.2	32.2	59.2
1981	35.6	44.2	44.4	44.4	55
1982	19.2	19.8	25.4	33	38.4
1983	39.2	40	40.2	40.2	40.4
1985	13	13	16.4	28.2	32.6
1987	25	36.8	42	42	42
1988	22.4	25.2	27.6	34.6	35
1989	21.2	24.6	28.8	44.4	53.4
1990	21.8	23.8	33.8	50.2	68.4
1991	15.2	25.2	31.6	51.4	64.2

### CARPI

<b>42</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>
1992	24	27.4	27.6	34.2	54
1993	50.8	56.4	57	57	57
1994	21.4	22.4	30	34.6	36.2
1996	38.8	60	77.6	77.6	77.6
2000	43.4	53.2	53.2	53.2	53.2
2006	21.8	28.8	30.6	33.8	38.2

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 della formulazione VAPI I livello attraverso l'utilizzo del software Runoff, che restituisce i seguenti valori delle CPP per differenti tempi di ritorno.



**Figura 5-2 – CPP procedura VAPI**



T [anni]	20		50		100		200		500	
t [h]	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
	42.97	0.22	53.03	0.21	63.14	0.20	76.87	0.20	99.32	0.19
1	42.97		53.03		63.14		76.87		99.32	
3	54.84		66.79		78.83		95.23		121.97	
6	63.96		77.26		90.68		109.02		138.85	
12	74.60		89.36		104.30		124.80		158.07	
24	87.01		103.36		119.98		142.86		179.94	

Tabella 5-4 - 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, è circondato da n. 3 canali di bonifica, pertanto non è semplice determinare un bacino di riferimento per tutti i canali; per questo motivo, tramite la planimetria dei canali fornito dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, 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.

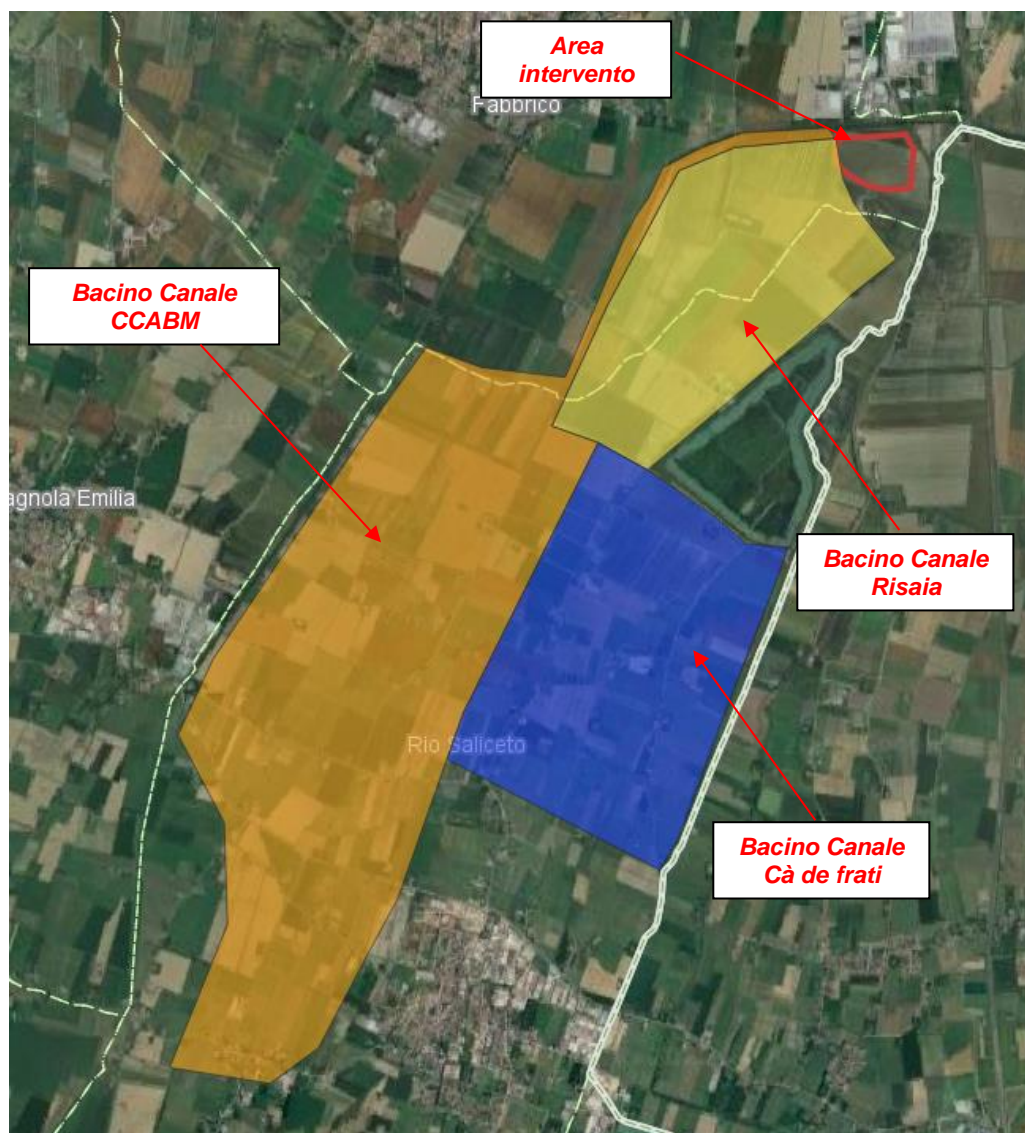


Figura 3- Bacino idrografico di riferimento

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	L[m]	L [Km]
id	Area del bacino	Area del bacino	Lunghezza asta fluviale	Lunghezza asta fluviale
<b>CCABM</b>	7762000	7.762	8500	8.5
<b>Ca' DE FRATI</b>	3967000	3.967	5600	5.6
<b>Risaia</b>	2950000	2.95	2600	2.6

Tabella 5 - 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.

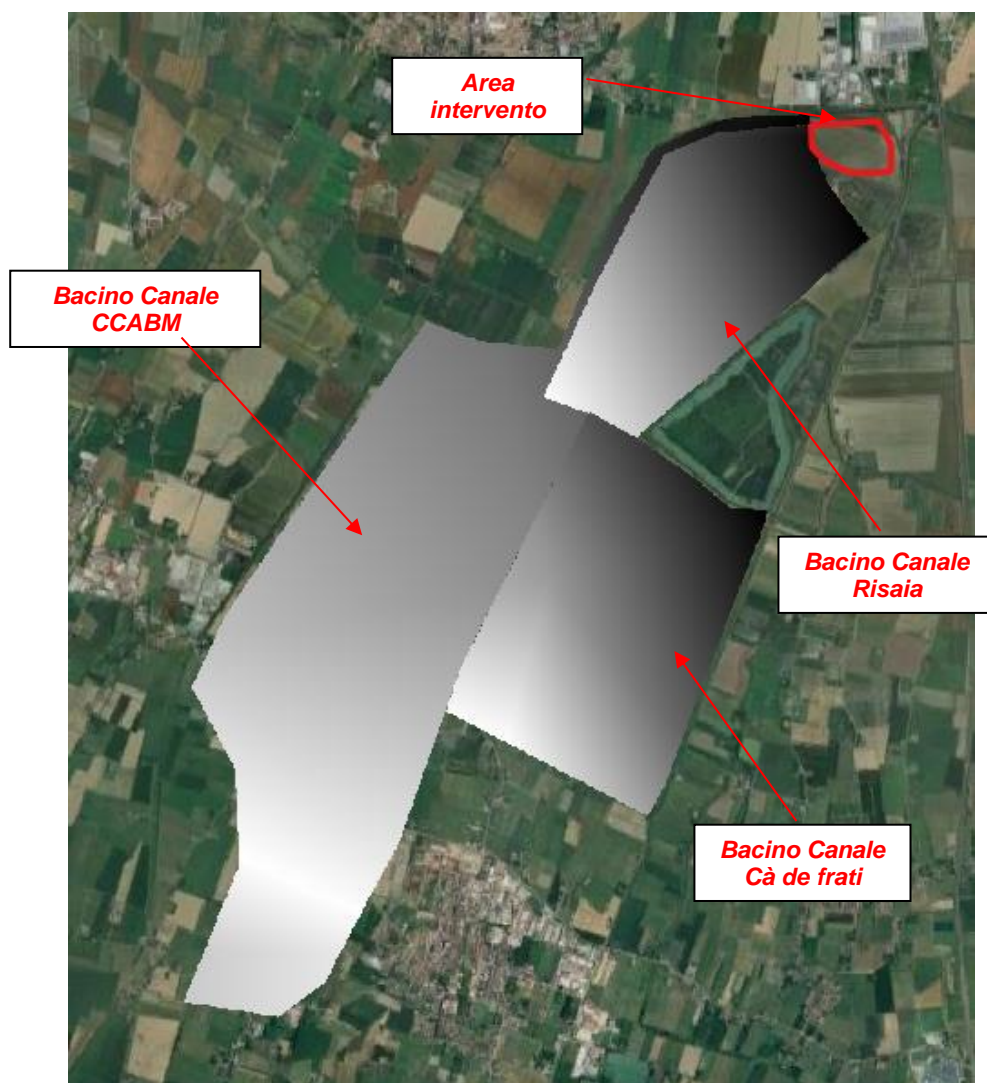


Figura 4 - Estrapolazione DTM del Bacino

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]	$i_v$ [%]
id	Area del bacino	Altitudine massima	Altitudine media	Altitudine minima	Pendenza media dei versanti
<b>CCABM</b>	7.762	25.0	22.0	19.5	0.1%
<b>Ca' DE FRATI</b>	3.967	25.0	23.0	21.2	0.1%
<b>Risaia</b>	2.95	20.7	20.2	19.8	0.1%

Tabella 6 - 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>CCABM</b>	7762000	7.762	8500	8.5	0.10%
<b>Ca' DE FRATI</b>	3967000	3.967	5600	5.6	0.10%
<b>Risaia</b>	2950000	2.95	2600	2.6	0.10%

**Tabella 7 - Calcolo pendenze medie delle aste fluviali**

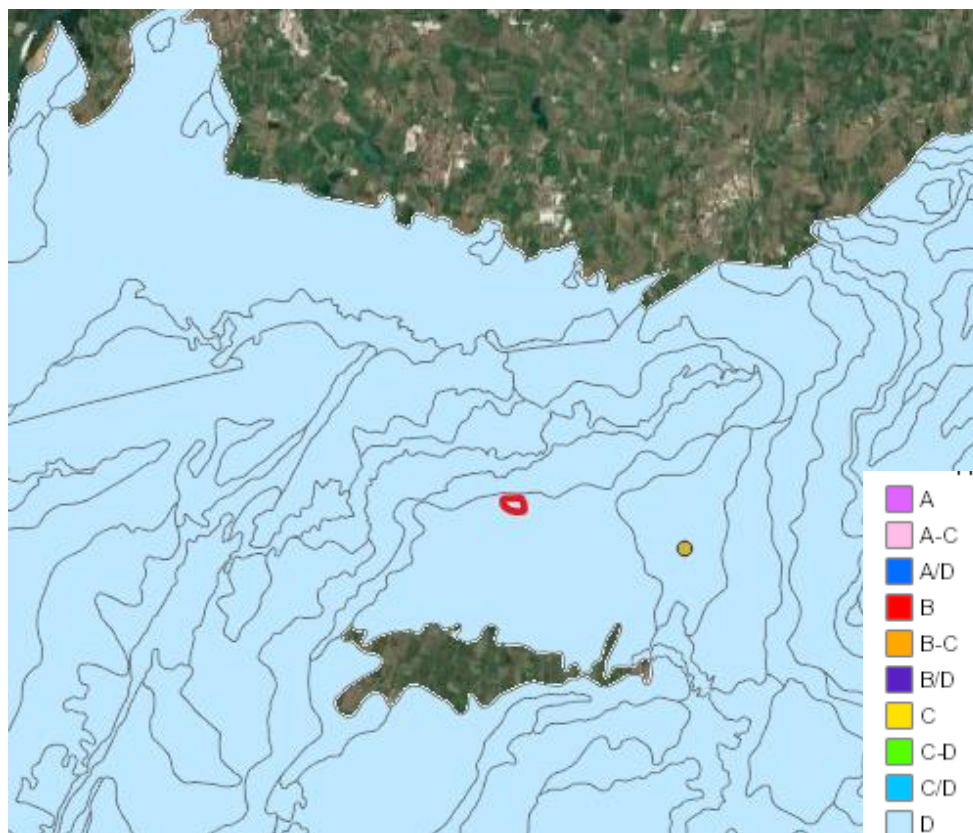
### 5.5.3. VALUTAZIONE DELLA PERMEABILITA'

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	Seminativi in aree non irrigue	70	80	86	90
212	Seminativi 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 colturali 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	Torbiere	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 8- 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.

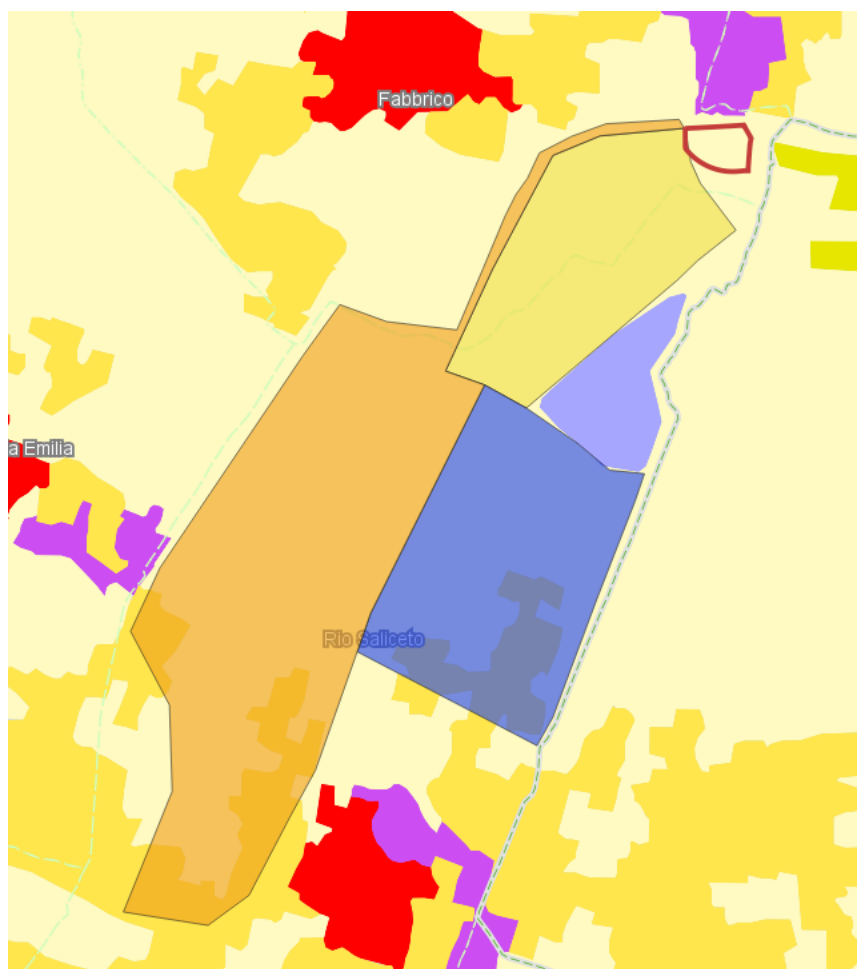


**Figura 5 - Carta dei gruppi idrologici con sovrapposizione dell'impianto**



**Figura 6 - Carta geolitologica con sovrapposizione dei bacini**





■ 1.1.2. Tessuto urbano discontinuo

■ 2.1.1. Seminativi in aree non irrigue

■ 2.4.2. Sistemi culturali e particellari complessi

Figura 7 - 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. Il calcolo delle portate è stato successivamente effettuato facendo riferimento ad un valore di CN III, relativo ad una condizione umida dei terreni nel periodo precedente l'evento di progetto, calcolato attraverso la seguente formula:

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

Bacino	CN(II)	CN(III)
CCABM	87	93.96
Ca' DE FRATI	87	93.96
RISAIA	87	93.96

Tabella 9- Valori ponderati di CNIII

#### 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
<b>CCABM</b>	<b>13.16</b>
<b>Ca' DE FRATI</b>	<b>12.58</b>
<b>Risaia</b>	<b>7.35</b>

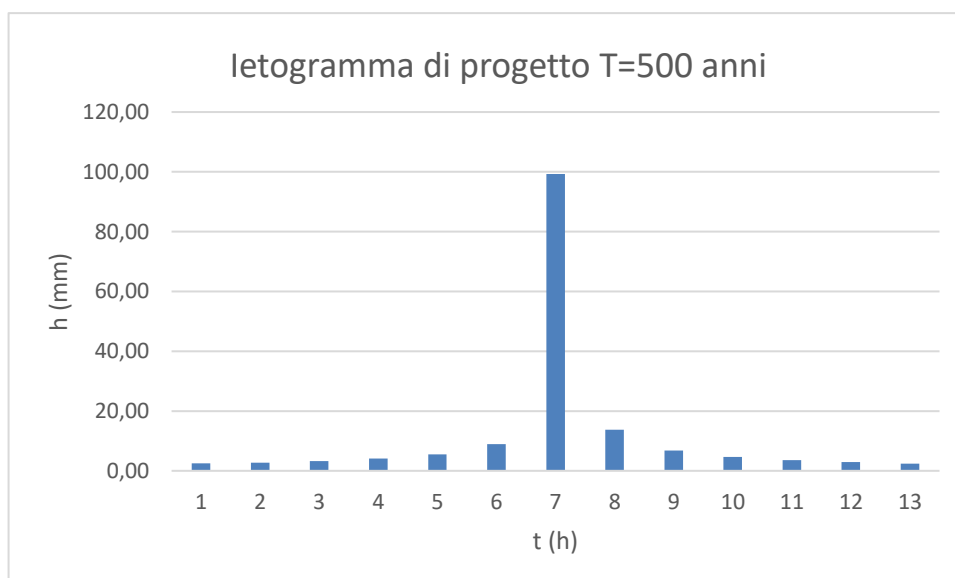
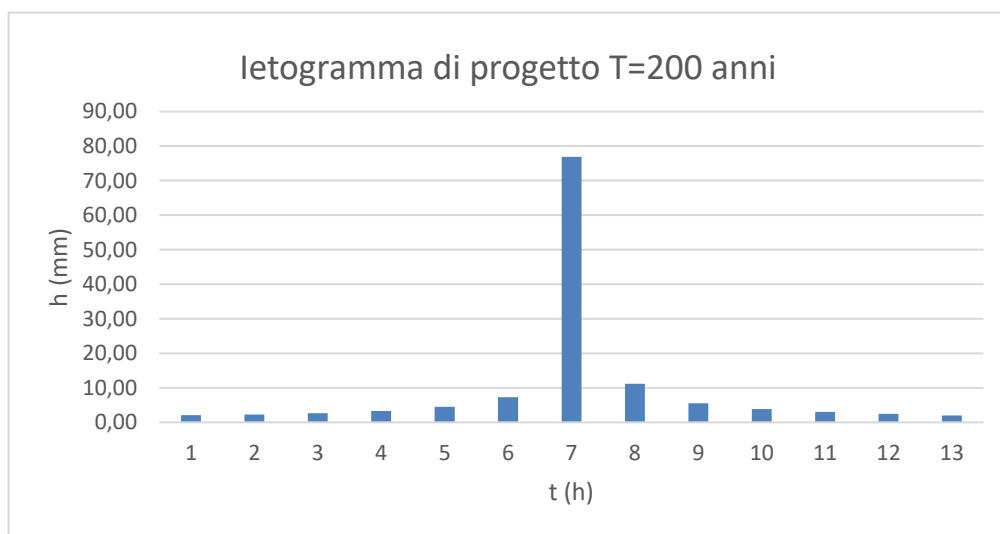
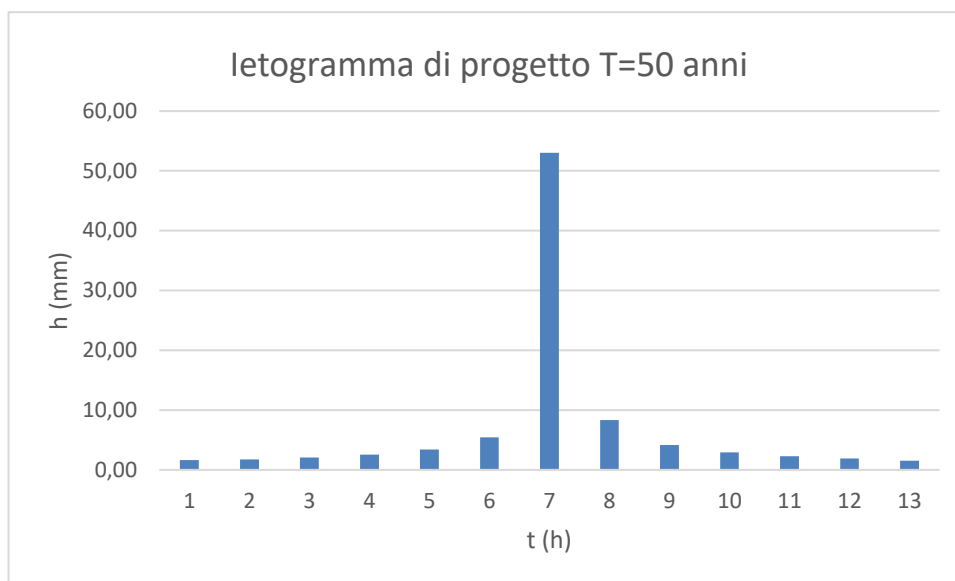
Tabella 10- Valori tempo di corrivazione espresso in ore

#### 5.5.5.DETERMINAZIONE IETOGRAMMA DI PROGETTO

Per ogni tempo di ritorno di progetto (50, 100 e 200 anni) sono stati determinati i pluviogrammi di progetto utilizzando le curve di possibilità pluviometriche, i quali poi sono stati assegnati in HEC HMS ai bacini per la trasformazione Afflussi-Deflussi con il metodo SCS Curve Number.

Il principale dato d'ingresso del metodo è il pluviogramma di calcolo, che è stato costruito a partire dalle altezze di pioggia cumulate,  $h_{t,T}$ , e parziali,  $\Delta h_{t,T}$ , stimate attraverso le curve di probabilità pluviometrica (Fig.16); i ietogrammi sono stati suddivisi in intervalli di 60 minuti. Al fine di ottenere un pluviogramma a un solo picco, si è adottato il metodo di composizione, riordinando gli incrementi di pioggia,  $\Delta h_{t,T}$ , per ottenere un picco centrale e un andamento a campana.

La durata dell'evento di pioggia è pari al maggior tempo di corrivazione dei tre bacini ( $d=13$  ore) in modo da mettere in crisi tutti i corpi idrici.

**Figura 8– letogrammi di progetto dei bacini, per tempi di ritorno T=50,100 e 200 anni**



## 5.6. STIMA DELLE PORTATE

La stima delle portate si differenzia in base ai bacini considerati e al tipo di modellazione idraulica adottata; in particolare:

- Per tutti i bacini sopra descritti, è stata effettuata una modellazione in moto vario bidimensionale con calcolo delle portate attraverso il modello SCS CN Number;

### 5.6.1. MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI SCS CN PER MOTO VARIO BIDIMENSIONALE

L'analisi idrologica a scala di bacino richiede per l'uso del modello idraulico bidimensionale che vengano determinati gli idrogrammi di piena, per un assegnato tempo di ritorno, attesa nella sezione di chiusura esaminato. Il calcolo della portata di massima piena può essere condotto secondo vari metodi, tra i quali possono essere considerati:

- i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- i metodi semiempirici, che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi e deflussi.

Il metodo da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre, in quanto, se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo cinematico o razionale. Nel caso in esame sono stati determinanti gli idrogrammi di progetto ricorrendo al cosiddetto "metodo del Soil Conservation Service (SCS) – Curve Number (CN)", poiché la simulazione idrodinamica sarà in regime di moto vario.

Per la trasformazione degli afflussi meteorici (pluviogrammi di calcolo) in deflussi superficiali, si è utilizzato il programma di calcolo HEC-HMS *The Hydrologic Modeling System del US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center*.

Gli afflussi vengono considerati, a vantaggio di sicurezza, uniformemente distribuiti sull'intero bacino considerato. Dapprima essi vengono depurati per ottenere le piogge nette; infatti, non tutto il volume affluito si trasforma in deflusso, poiché parte di esso viene intercettato dalla vegetazione, parte evapotraspira, parte s'invasa nelle piccole depressioni superficiali del suolo e parte s'infiltra nel terreno.

Il calcolo delle piogge nette è stato effettuato col metodo del *Curve Number (CN)* del *Soil Conservation Service (SCS)*. Partendo dall'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

in cui, all'istante  $t$ ,  $R$  (mm) rappresenta l'altezza d'acqua complessivamente defluita,  $P$  (mm) l'altezza di pioggia affluita e  $S$  (mm) le perdite, si ipotizza la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite,  $S$ , e la massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione,  $S'$  (mm):

$$S/S' = R/P$$

ottenendo:

$$R = \frac{P^2}{P + S'}$$

Considerando una perdita iniziale,  $I_a$  (mm), *initial abstraction*, antecedente all'inizio dei deflussi, risulta:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S'}$$

Poiché l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione,  $S'$ , è ricavabile in funzione dell'indice  $CN$ , variabile tra 0 e 100 e tabulato dal SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

il deflusso  $R$  è ricavabile, nota l'altezza di pioggia, se si conoscono i valori di  $I_a$  e  $CN$ .

Per la stima di  $I_a$ , il SCS suggerisce la relazione empirica  $I_a=0.2S'$ , ma Wisner *et al.* (2002) ritiene più cautelativo porre  $I_a=2\div3$  mm.

La trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali è stata effettuata adoperando il metodo dell'idrogramma unitario del SCS, che richiede come unico parametro d'ingresso il tempo di ritardo,  $t_{lag}$  (ore), pari all'intervallo di tempo che separa i baricentri del pluviogramma efficace e dell'idrogramma. Si può porre  $t_{lag}=0.6 \cdot t_c$ , essendo  $t_c$  il tempo di corrivazione del bacino. L'istante e la portata di picco sono espressi come segue:

$$t_{picco} = 0.5\Delta t + t_{lag}$$

$$Q_{picco} = 0.208 \frac{A}{t_{picco}}$$

essendo  $t_{picco}$  (ore) il tempo cui si manifesta il picco dell'idrogramma,  $\Delta t$  (ore) la durata della pioggia netta,  $Q_{picco}$  (m<sup>3</sup>/s) la portata massima dell'idrogramma riferita all'unità di pioggia e  $A$  (km<sup>2</sup>) l'area del bacino.

La portata è ottenuta con la seguente espressione che rappresenta la discretizzazione dell'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1)$$

dove  $Q(i)$  è la portata alla fine dell'intervallo  $i$ -esimo,  $U(j)$  è la  $j$ -esima ordinata dell'idrogramma unitario e  $P(i)$  è l'afflusso netto all'intervallo  $i$ -esimo.

I dati d'ingresso di HEC-HMS, per le applicazioni presenti, sono stati i pluviogrammi di calcolo determinati per il tempo di ritorno  $T= 50, 200$  e  $500$  anni (Fig. 28), il tempo di ritardo  $t_{lag}= 0.6 \cdot t_c$ , la depurazione iniziale delle piogge  $I_a=3$  mm e il numero di curva  $CNIII$ .



**Figura 9- Suddivisione dei sottobacini in ambito HEC-HMS**

Il metodo SCS trova ormai larga diffusione nell'ambito delle applicazioni tecniche di questo tipo per qualunque tipologia di bacino ed è ampiamente diffuso anche in Italia. Il metodo consente sia la semplice valutazione del volume della piena, o della sua portata al colmo. La stima della portata al colmo generata da un bacino, a seguito di una determinata precipitazione caratteristica, avviene attraverso l'analisi geomorfologica e di uso del suolo del bacino.

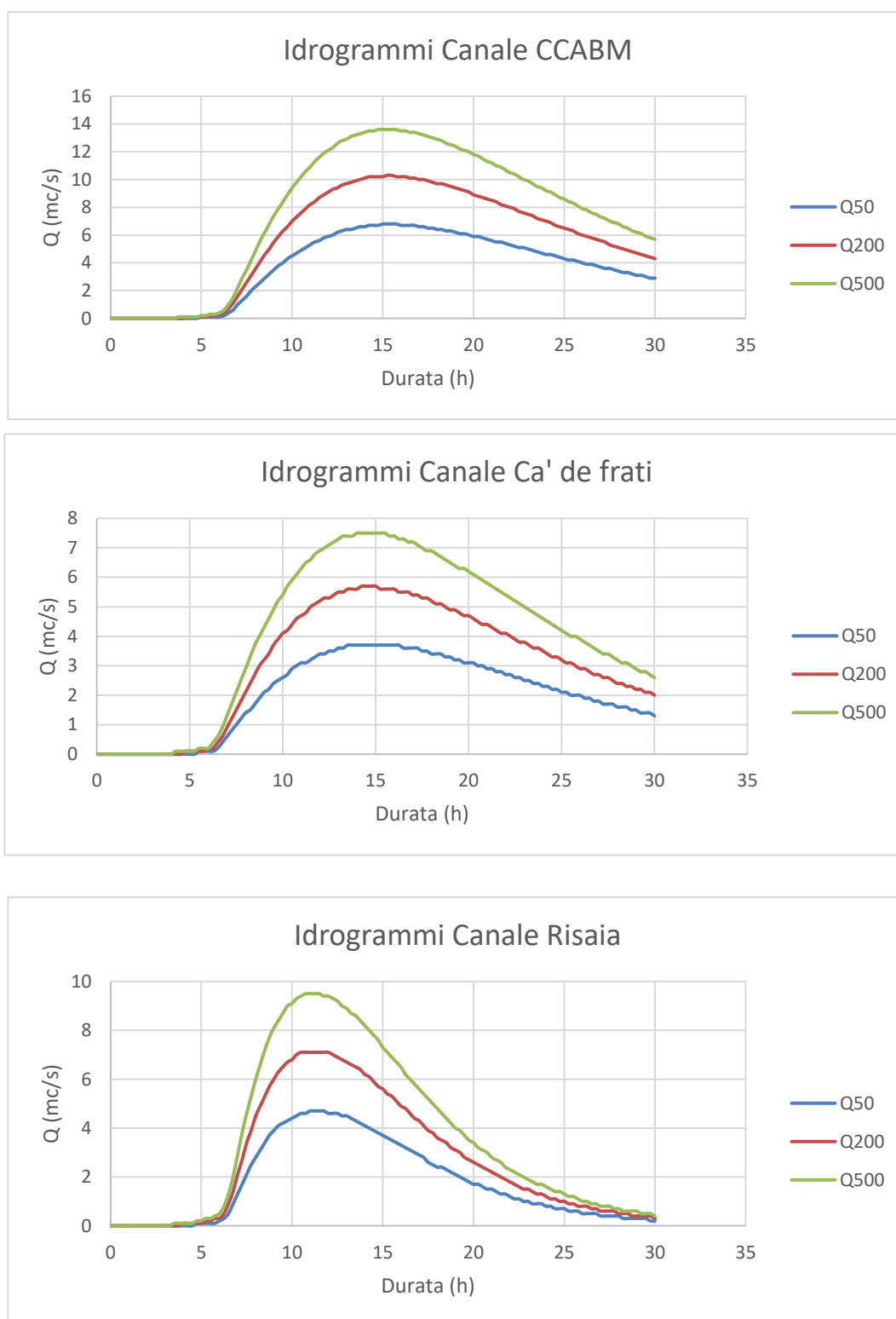
Pertanto, il software HEC-HMS riceve in input i pluviogrammi di progetto per differenti tempi di ritorno (Fig. 28) e, attraverso il metodo SCS Curve Number restituisce gli idrogrammi di piena a intervalli di 15 minuti (riportati nel prossimo paragrafo).



## 5.7. RISULTATI

### 5.7.1. MODELLO SCS CN

Sono stati ottenuti gli idrogrammi di piena dei bacini Risaia, CCABM e Ca' de Frati per i tempi di ritorno  $T=50$ , 200 e 500 anni e riportati di seguito; infine sono stati raccolti i valori massimi di piena nella Tab. 20.



**Figura 10 - Idrogrammi di piena dei tre bacini per tempi di ritorno  $T=50,200,500$  anni**

Tali idrogrammi saranno l'input delle simulazioni idrauliche in moto vario bidimensionale in ambiente HECRAS descritti nel prossimo capitolo.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti in termini di portata massima per tutti i sottobacini:

BACINO	A [mq]	A [Kmq]	tc [h]	Q <sub>MAX</sub> [mc/s]		
id	Area del bacino	Area del bacino	tempo di corrivazione	50	200	500
<b>CCABM</b>	7762000	7.762	<b>13.15</b>	<b>6.8</b>	<b>10.3</b>	<b>13.6</b>
<b>Ca' DE FRATI</b>	3967000	3.967	<b>12.09</b>	<b>3.7</b>	<b>5.7</b>	<b>7.5</b>
<b>Risaia</b>	2950000	2.95	<b>6.54</b>	<b>4.7</b>	<b>7.1</b>	<b>9.5</b>

Tabella 11- - Determinazione portate al colmo di piena tramite SCS Curve Number in ambito HEC HMS

## 6. ANALISI IDRAULICA

Nei paragrafi a seguire verranno mostrate le analisi idrauliche in moto vario bidimensionale effettuate per i tre tratti d'asta prossimi alle aree di impianto dei corpi idrici CCABM, Ca' de Frati e Risaia. Nello specifico, si è proceduto ad effettuare la modellazione dell'area di impianto e dei canali principali che defluiscono intorno all'area oggetto di intervento con idrogrammi di piena **T=50,200 e 500 Anni**;

### 6.1. IL MODELLO HEC RAS

Il software utilizzato per l'implementazione del modello idraulico è HEC RAS 6.5 sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'Esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC), utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali (River Analysis System, RAS).

Il software HEC RAS permette di:

- effettuare simulazioni in condizioni stazionarie (steady flow) in corrente lenta, veloce o mista, calcolando i corrispettivi profili di corrente;
- effettuare simulazioni in condizioni non stazionarie (unsteady flow);
- effettuare simulazioni per la classificazione e quantificazione di processi di idrodinamica del trasporto solido relativi a fenomeni di erosione o deposizione generalizzata e/o localizzata.

Con la versione di HEC RAS 6.5. vi è la possibilità di effettuare simulazioni idrauliche bidimensionali all'interno dell'analisi in regime di moto vario. Si possono eseguire simulazioni secondo modelli sia monodimensionali e bidimensionali in moto vario, sia monodimensionali integrati con modelli 2D nelle aree inondabili.

La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software HEC RAS 6.5 è riassunta di seguito:

#### Conservazione della massa

$$\frac{\partial H}{\partial t} + u \frac{\partial H}{\partial x} + v \frac{\partial H}{\partial y} + q = 0$$

#### Conservazione della quantità di moto

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + v_t \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v \quad (\text{direzione } x)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + v_t \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot v + f \cdot u \quad (\text{direzione } y)$$

in cui H è la cosiddetta "water surface elevation" ( $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ ); h, il tirante idrico della corrente; u, v le componenti della velocità lungo le direzioni x e y; q, la portata immessa per unità di superficie; g,



l'accelerazione di gravità;  $\nu$ , il coefficiente di viscosità cinematica turbolenta;  $c_f$ , il coefficiente di attrito sul fondo;  $f$ , il parametro di Coriolis.

La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (gradually varied flow e rapidly varied flow). Le equazioni di moto bidimensionale sono risolte mediante un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di risoluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti è più affidabile in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.

Il software è progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le celle computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito da un poligono.

All'interno di HEC-RAS, le caratteristiche delle celle (e delle facce delle celle) dipendono dai dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia computazionale è pre-elaborata per sviluppare dei grafici dettagliati delle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale in corrispondenza della quale vengono valutate le variabili idrauliche. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molto grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minore numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.

## 6.2. DOMINIO DI CALCOLO E CARATTERISTICHE

Le caratteristiche geometriche dell'area di interesse (ossia del dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico tramite una discretizzazione del territorio attraverso elementi poligonali (mesh). Primariamente è stata definita la geometria utilizzata, quindi è stato creato il Modello del Terrain utilizzando il DTM a disposizione (Lidar Ministero Ambiente con definizione 1mx1m). Successivamente è stato creato il dominio di calcolo 2D, con adeguata estensione dell'area interessata dall'impianto considerando il bacino, al fine di poter far sviluppare completamente le dinamiche di ruscellamento. Il dominio di calcolo così creato è composto da circa 184k celle.

Il dominio è stato impostato con dimensione delle celle pari a quadrati di lato 5m x 5m, mentre la zona occupata dai canali principali, dalle arginature e dai canali secondari è stato infittito con celle di lato 1mx 1m.

Default Manning's n Value:	0.035	<b>2D Flow Area Computation Points</b>
Edit Land Cover to Manning's n...		
Cell Volume Filter Tol (0=OFF)(m):	0.003	Mesh contains: 184085 cells max cell(74972) = 127.05(m2) min cell = 1.10(m2) avg cell = 23.62(m2)
Cell Minimum Surface Area Fraction (0=OFF):	0.01	
Face Profile Filter Tol (0=OFF)(m):	0.003	Generate Computation Points on Regular Interval with All Breaklines...
Face Area-Elev Filter Tol (0=OFF)(m):	0.003	
Face Conveyance Tol Ratio (min=0.0001):	0.02	Enforce Selected Breaklines (and internal Connections) ...
Face Laminar Depth (0=OFF)(m):	0.06	
		View/Edit Computation Points ...

Tabella 12- - Caratteristiche del dominio di calcolo

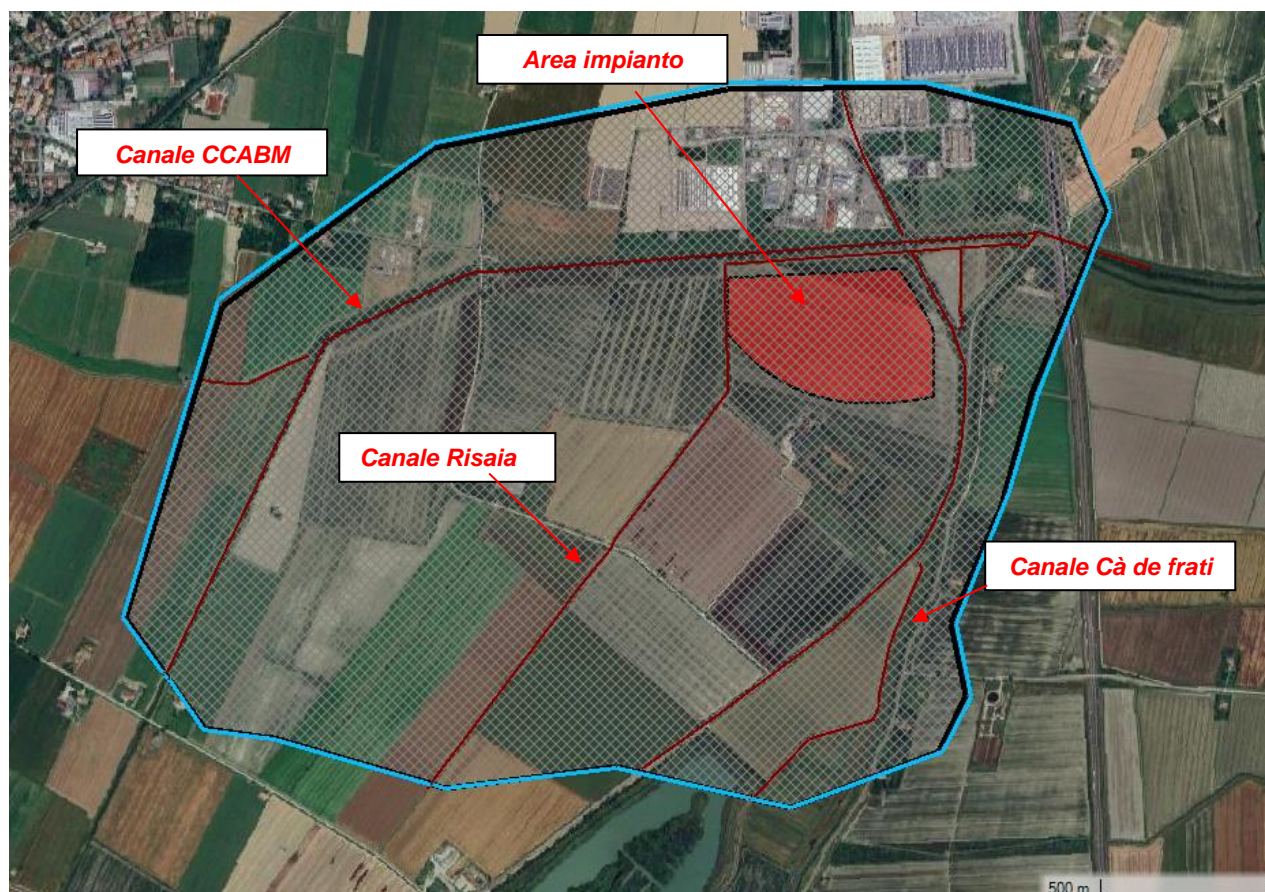
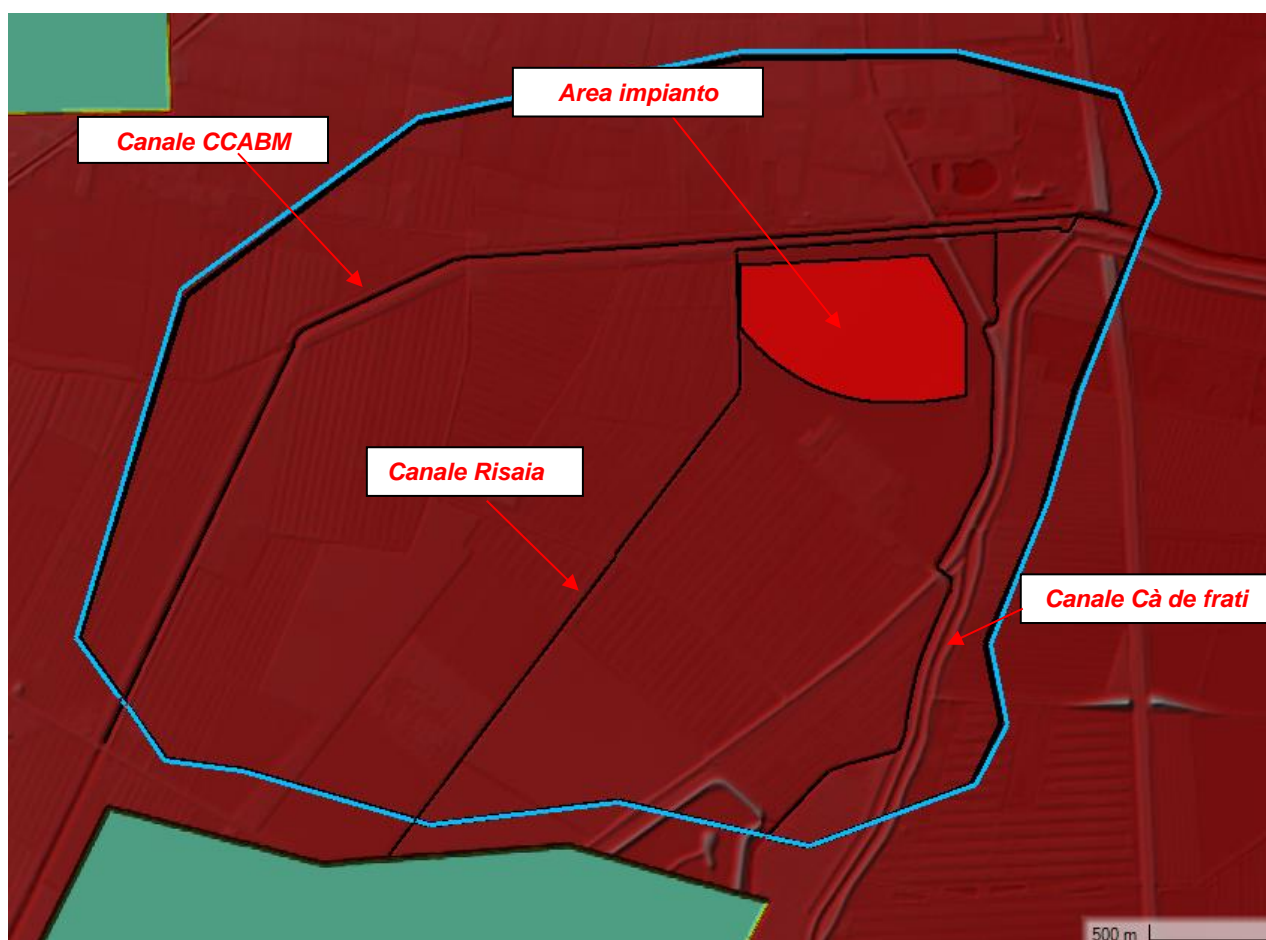


Figura 11 - Estensione dominio 2D su base Ortofoto

### 6.3. CARATTERISTICHE MODELLO

La configurazione del modello consiste nella rappresentazione dello stato dei luoghi attraverso l'utilizzo del DTM Lidar 1x1m fornito dal Ministero dell'Ambiente; nel dettaglio, si possono notare i canali di scolo interni ai singoli lotti.

Inoltre, sono stati ricostruiti i canali laddove il DTM creava degli sbarramenti non veritieri (passerelle o ponticelli), al fine di garantire la reale continuità idraulica.



**Figura 12- Estensione dominio 2D su base DTM– Fabbrico**

In seguito, sono state assegnate caratterizzazioni in merito al coefficiente di scabrezza; si è fatto riferimento alla seguente tabella

tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
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 molienti 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, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
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
GOLENE E PIANE INONDABILI			
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
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture 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 ciotoli 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 valori **cautelativi dei coefficienti di Manning pari a 0.06.**



#### 6.4. CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO 2D

Le condizioni al contorno di monte e di valle nel modello bidimensionale sono:

- I tre idrogrammi di progetto relativi a i canali CCABM, Risaia e Ca' de Frati per tempo di ritorno  $T=50,200$  e  $500$  anni, derivante dal modello idrologico,
- Una Normal Depth, che equivale all'inserimento della pendenza della linea dell'energia. Quest'ultima in mancanza di osservazioni può essere posta, con errori trascurabili, pari alla pendenza di fondo alveo nell'intorno delle sezioni considerate. Nel caso in esame, presenta una pendenza finale di circa il 1%.

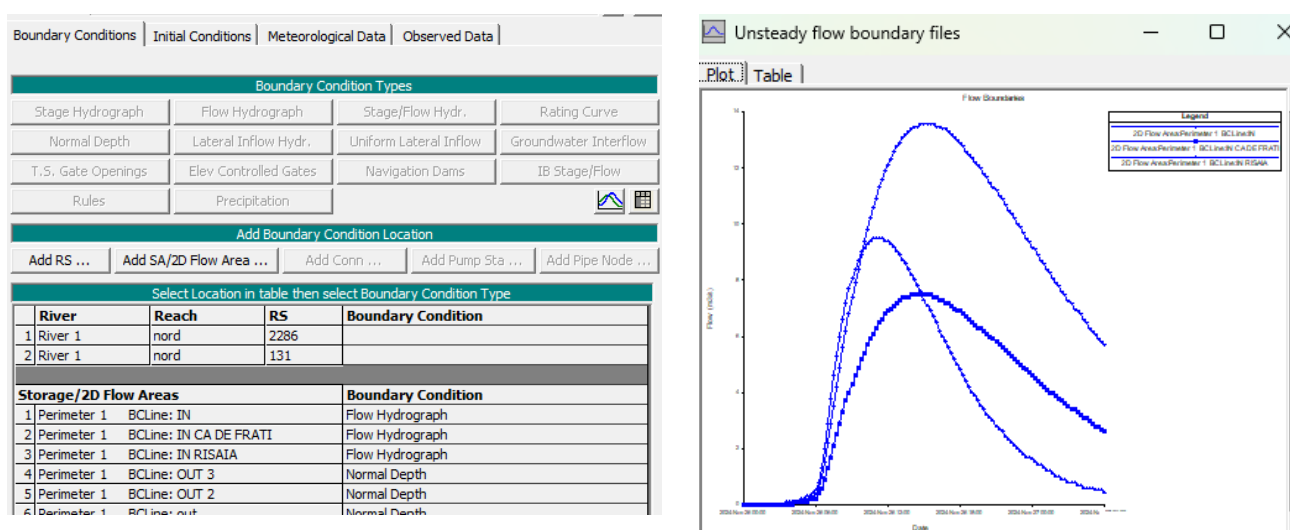


Figura 13– Condizioni al contorno nel software HECRAS

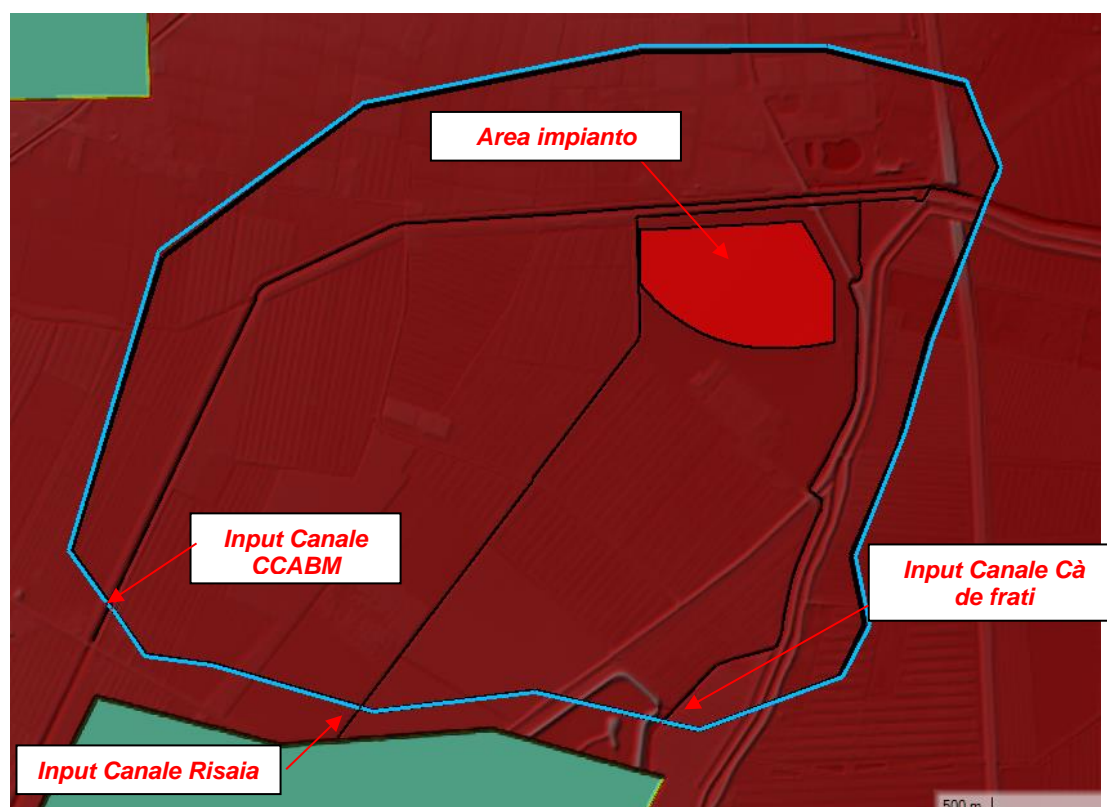


Figura 14 - Posizione degli input nel modello 2D

## 6.5. RISULTATI DELLE MODELLAZIONI

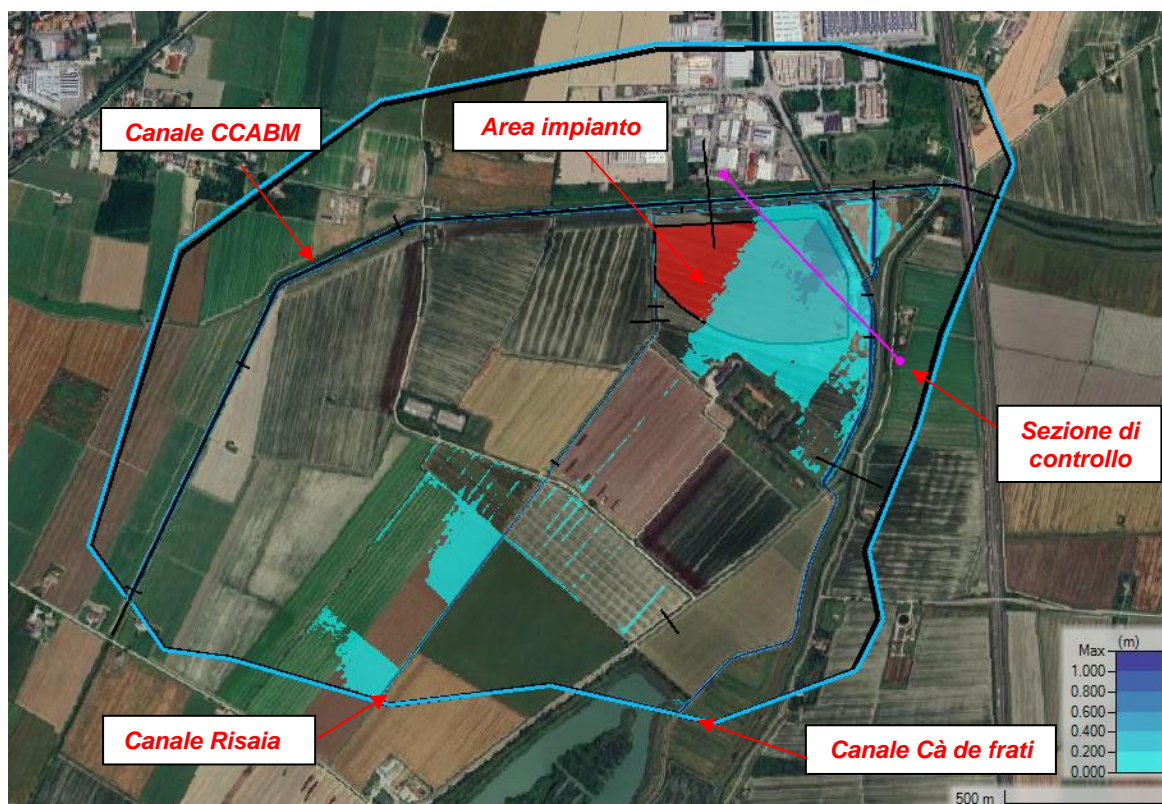
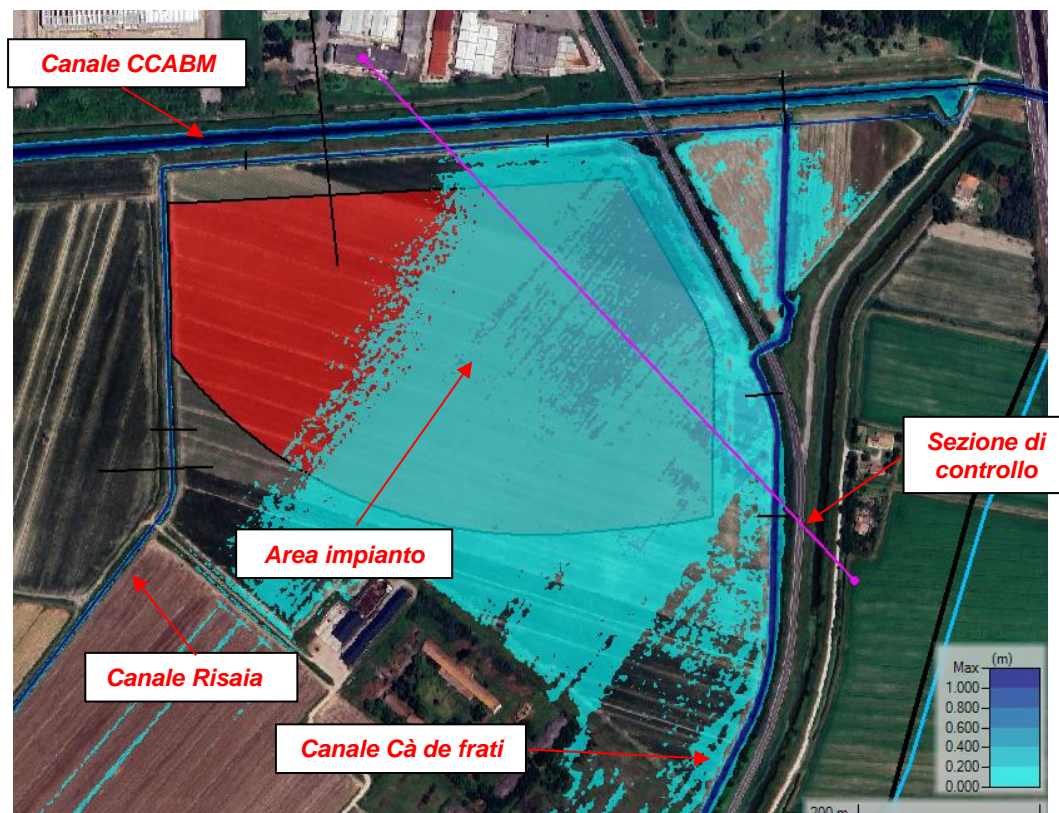
Le modellazioni idrauliche in moto vario bidimensionale sono state effettuate nei seguenti scenari:

1. Modellazione per tempi di ritorno:

- a.  $T=50$  anni
- b.  $T=200$  anni
- c.  $T=500$  anni

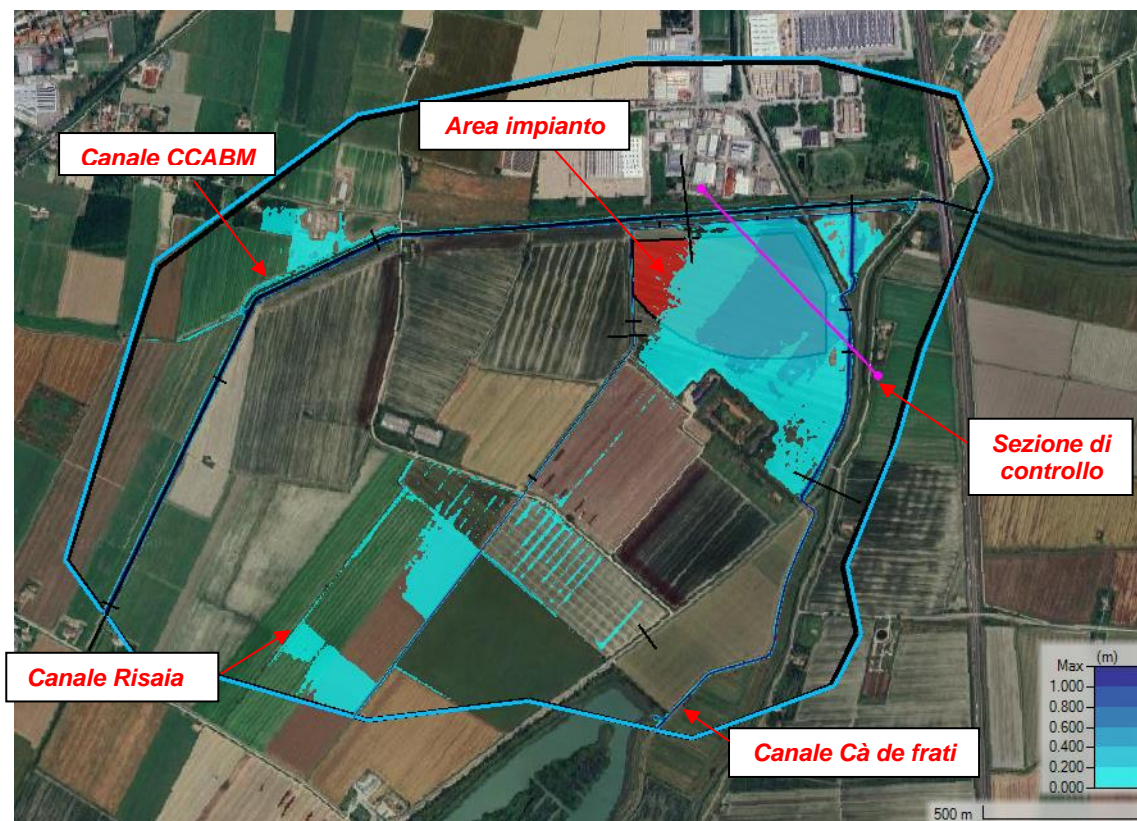
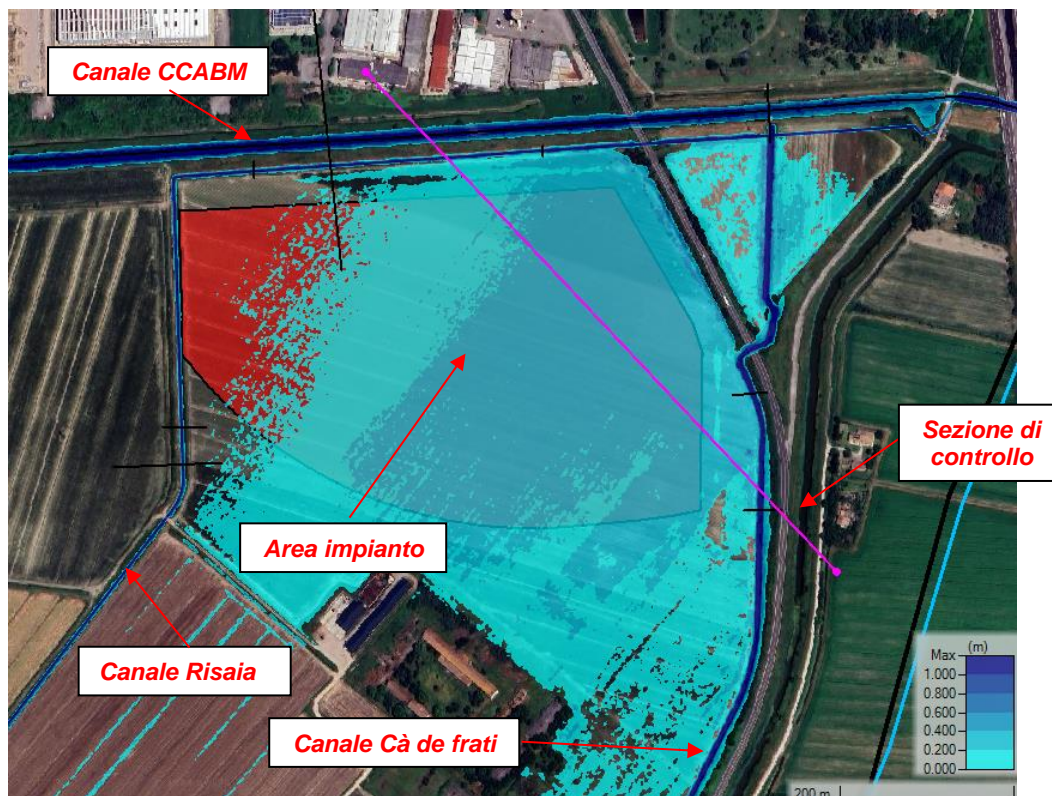
Ogni simulazione ha previsto che tutta la portata dell'intero idrogramma di piena confluisce all'interno del dominio di studio, trascurando pertanto tutti i volumi che eventualmente vengono dispersi lungo l'intero sviluppo a monte dei canali (allagamenti aree, bacini di laminazione). Ciò rappresenta quindi un'assunzione fortemente cautelativa.

Si riporta anche una sezione di controllo che interseca tutti i canali oggetto di studio e la zona di intervento così da valutare i tiranti idrici

**Simulazione T=50 anni****Figura 15- Planimetria tiranti idrici - T=50 anni****Figura 16 - Tiranti idrici a T=50 anni per l'area di impianto**

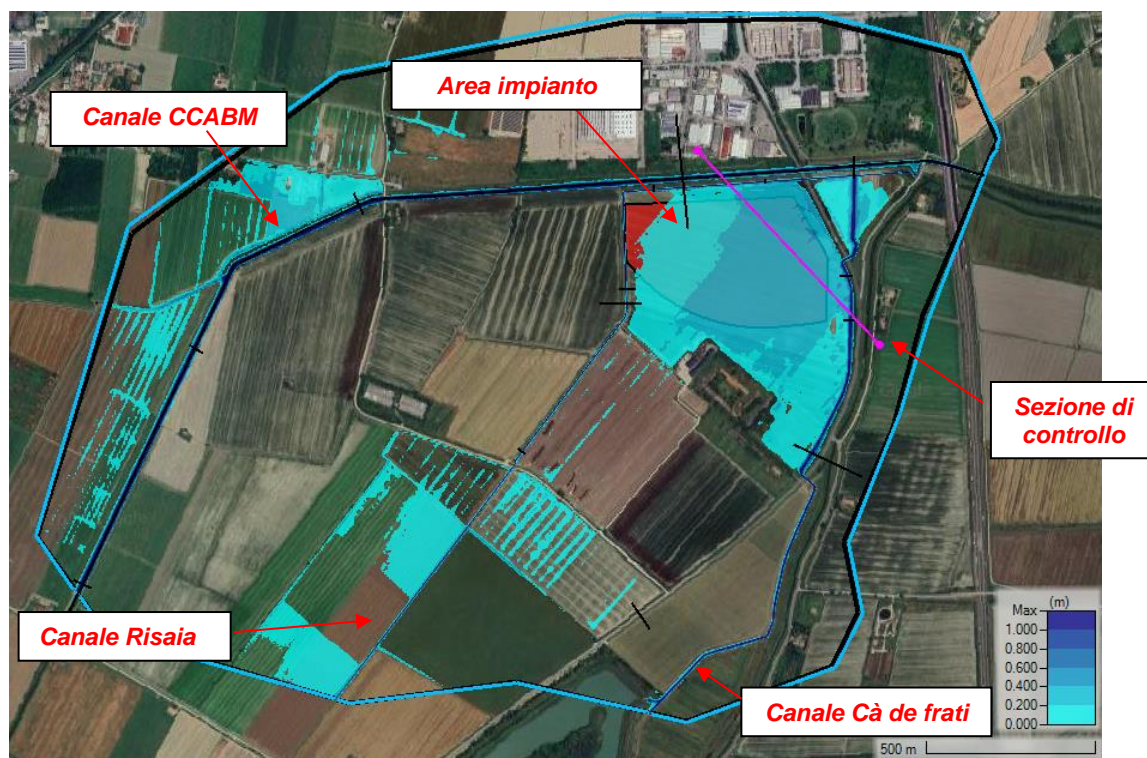
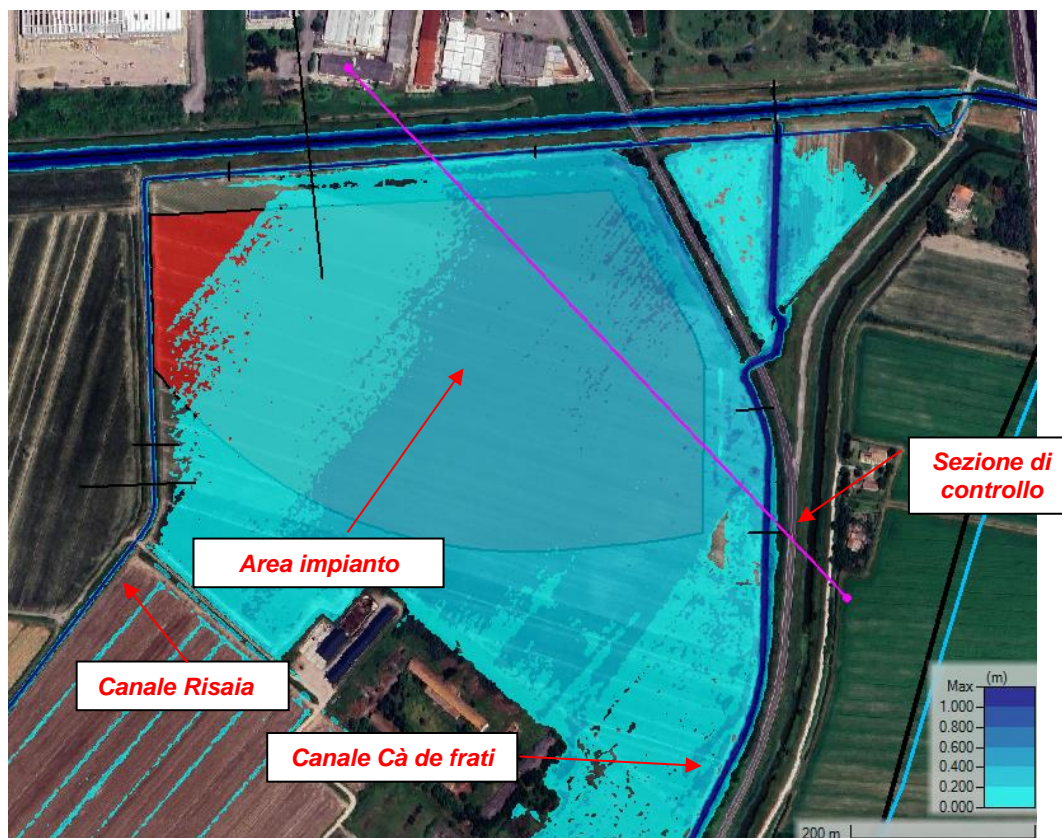
**L'area oggetto di interesse risulta essere occupata da tiranti compresi tra 0.15m e 0.24m.**



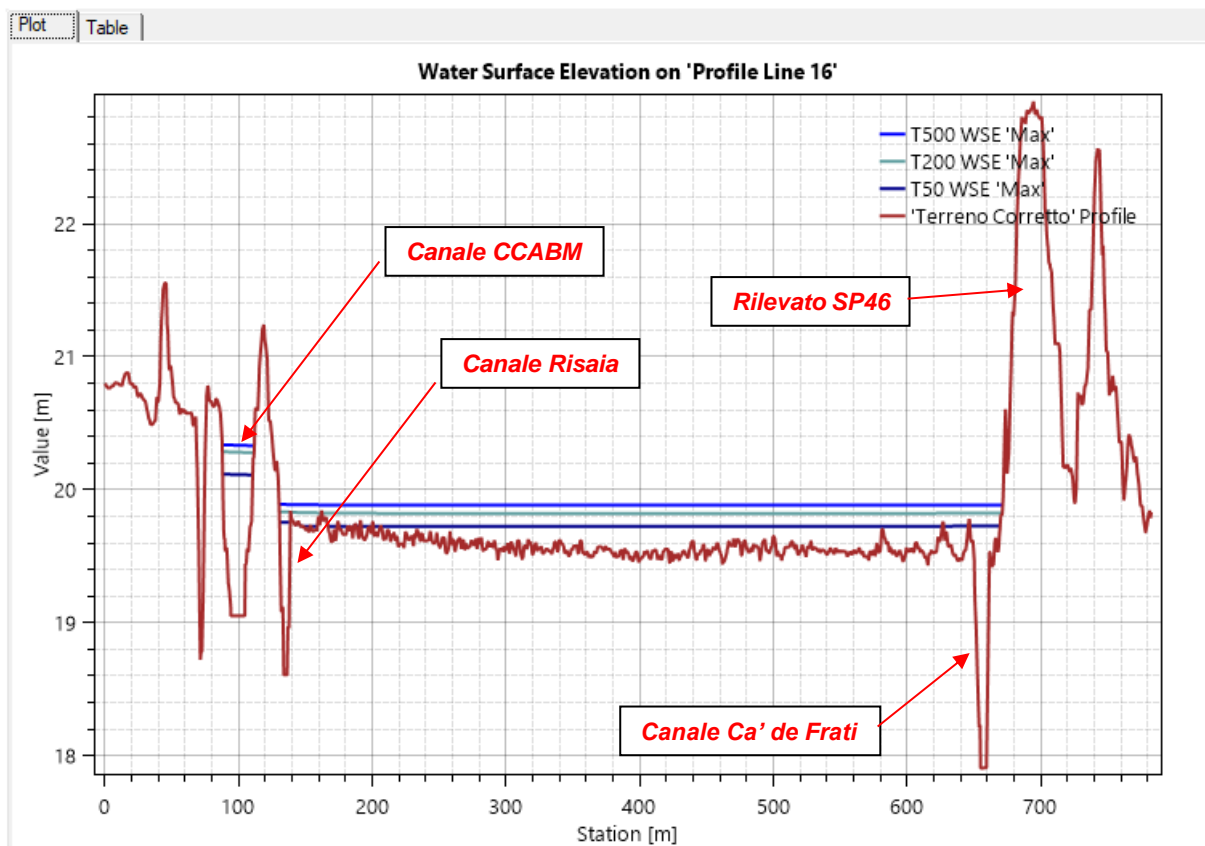
**Simulazione T=200 anni****Figura 17 - Planimetria tiranti idrici - T=200 anni****Figura 18 - Tiranti idrici a T=200 anni per l'area di impianto**

**L'area oggetto di interesse risulta essere occupata da tiranti compresi tra 0.22m e 0.33m.**



**Simulazione T=500 anni****Figura 19 – Planimetria tiranti idrici - T=500 anni****Figura 20 - Tiranti idrici nell'area di impianto - T=500 anni**

**L'area oggetto di interesse risulta essere occupata da tiranti compresi tra 0,20m e 0,38m.**



**Figura 21 - Sezione idraulica di controllo con rappresentazione dei tiranti idraulici per differenti tempi di ritorno e dei canali oggetto di studio**

Le simulazioni mostrano la stessa dinamica idraulica per tutti i tempi di ritorno, in quanto le arginature del canale Ca' De Frati non riescono a trattenere le portate di progetto, presentando fenomeni di allagamento in sinistra idraulica nei pressi dell'impianto.

D'altronde, il livello dei tiranti non supera mai i 40 cm e non vi sono modifiche dello stato Ante Operam.

Le aree di impianto vengono interessate dalle portate per T=50,200 e 500 anni.

## 7. CONCLUSIONI

Come meglio descritto all'interno della seguente relazione, l'impianto di progetto è ubicato nel Comune di Fabbro in provincia di Reggio Emilia, in un contesto prettamente pianeggiante e ad uso agricolo, all'interno del Bacino del Po e nell'area di Competenza del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale.

Il reticolo idraulico nei pressi dell'impianto fotovoltaico è costituito da n.3 canali di bonifica in terra denominati CCABM, Risaia e Ca' De Frati, che si sviluppa planimetricamente lungo il perimetro del futuro impianto. Considerato ciò, si è proceduto ad effettuare la modellazione in moto vario bidimensionale per un'area sufficientemente grande da considerare gli eventuali allagamenti che possano interessare l'area oggetto di studio.

Da quanto emerso dalle modellazioni, i deflussi con tempo di ritorno 50,200 e 500 anni interferiscono con le aree di impianto con tiranti compatibili con le strutture fotovoltaiche e non vengono aggravate dalla presenza di tali strutture.

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

