



ENEL CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.12082.00.122.02

PAGE

1 di/of 57

TITLE: Relazione Idraulica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

# Impianto Fotovoltaico LA CASELLA 2 FV

## Relazione Idraulica

Il Tecnico  
Ing. Leonardo Splendido

02	19/07/2021	TERZA EMISSIONE	V.F.	E.S.	L.S.
01	23/06/2021	SECONDA EMISSIONE	V.F.	E.S.	L.S.
00	07/08/2020	PRIMA EMISSIONE	C.A. - V.F.	E.S.	L.S.
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED

### ENEL VALIDATION

	Centers of competence	PE
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT / PLANT

La Casella 2 FV  
(12082)

### ENEL CODE

GROUP	FUNCION	TYPE	ISSUER		COUNTRY		TEC	PLANT					SYSTEM		PROGRESSIVE			REVISION	
GR	EEC	R	2	1	I	T	P	1	2	0	8	2	0	0	1	2	2	0	2

CLASSIFICATION: COMPANY

UTILIZATION SCOPE

This document is property of Enel Produzione S.p.a. 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 Enel Produzione Spa.



ENEL CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.12082.00.122.02

PAGE

2 di/of 57

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. MOTIVAZIONI DELL'OPERA E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....</b>	<b>5</b>
<b>3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E METEOCLIMATICHE DELL'AREA .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1. Inquadramento geografico generale .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2. Inquadramento geologico e idrogeologico dell'area di intervento.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Caratterizzazione climatica dell'area di intervento.....</b>	<b>8</b>
<b>3.4. Rete di drenaggio esistente nell'intorno del sito di progetto e delimitazione del sottobacino interferente con il sito di progetto .....</b>	<b>9</b>
<b>3.5. Caratterizzazione morfometrica dei sottobacini imbriferi a monte del sito di progetto .....</b>	<b>13</b>
<b>4. DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Stazioni di riferimento.....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Dati di pioggia disponibili.....</b>	<b>15</b>
<b>5. ANALISI DEI DATI IDROLOGICI DISPONIBILI .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1. Distribuzione statistica di Gumbel.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2. Descrizione della metodologia VAPI.....</b>	<b>25</b>
<b>6. MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI ADOTTATO .....</b>	<b>32</b>
<b>6.1. Stima delle portate al colmo di piena con il Metodo Razionale .....</b>	<b>32</b>
<b>6.2. Stima delle portate al colmo di piena con il modello SCS-Curve Number .....</b>	<b>34</b>
<b>7. AREE ESONDABILI .....</b>	<b>38</b>
<b>7.1. Aree esondabili nel tratto di Asta del Fiume Po .....</b>	<b>38</b>
<b>7.2. Aree esondabili nel Bacino del Rio Cornaiola e dei Canali di Bonifica .....</b>	<b>42</b>
<b>7.3. SCHEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE E DIMENSIONAMENTO DRENAGGI .....</b>	<b>42</b>
<b>8. COMPATIBILITA' DELLE OPERE PROPOSTE CON GLI STRUMENTI URBANISTICI .....</b>	<b>54</b>
<b>9. CONCLUSIONI .....</b>	<b>56</b>



## 1. PREMESSA

Il presente studio idrologico-idraulico viene applicato al progetto di un lotto di impianti fotovoltaici a terra, comprensivo delle opere di connessione, proposto da Enel Produzione S.p.A. nei comuni di Sarmato (PC) e Castel San Giovanni (PC), su aree esterne alla Centrale Termoelettrica La Casella. Le aree scelte per l'installazione degli impianti risultano nella disponibilità di Enel Produzione e localizzabili dalle seguenti coordinate UTM – WGS84:

### Area Impianto 1:

- Area impianto 1 riferita alla Conversion Unit 1 (CU1), nella quale trovano ubicazione la cabina SCADA (SC1) e la cabina utente (UT1)),
- Cavidotto MT interno di impianto,

fuso 32N zona T, 538270E, 4992409N.

### Area Impianto 2 costituita da:

- Area impianto 2 riferita alla Conversion Unit 2 (CU2), nella quale trovano ubicazione la cabina SCADA (SC2) e la cabina utente (UT2)),
- Cavidotto MT interno di impianto,

fuso 32N zona T, 538308E, 4992141N.

Coordinate UTM-WGS84		
	E	N
Area 1	538270	4992409
Area 2	538308	4992141

Il singolo impianto per come descritto nei paragrafi a seguire, sarà caratterizzato da una potenza nominale superiore ad 1 MW e la potenza totale del lotto di produzione sarà pari a 4482.24 kWp.



Figura 1 – Localizzazione del layout di impianto su base catastale (Fonte: Google Earth)

Tale studio idrologico-idraulico ha per scopo:

- la stima delle portate di picco corrispondenti a diversi periodi di ritorno prevedibili nelle aste fluviali del reticolo idrografico esistente e potenzialmente interferente con il sito di progetto;
- la verifica delle eventuali interferenze tra il sito di progetto e le aree esondabili conseguenti a portate straordinarie (corrispondenti a periodi di ritorno di 200 anni) defluenti nelle aste fluviali presenti nell'area di studio, secondo uno schema di tipo bidimensionale in moto vario;
- determinare uno schema di regimazione delle acque interne all'area di impianto.



## 2. MOTIVAZIONI DELL'OPERA E DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

La progettazione dell'opera è stata sviluppata tenendo in considerazione una serie di criteri sociali, ambientali e territoriali che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell'ambito territoriale considerato nel pieno rispetto degli obiettivi di salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell'ambiente, della protezione della salute umana e dell'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

L'impianto fotovoltaico è stato studiato comparando le esigenze di pubblica utilità delle opere con gli interessi pubblici e privati coinvolti, cercando in particolare di:

- Contenere per quanto possibile la sua estensione, al fine di occupare la minor porzione possibile di territorio nell'ottica di una minore occupazione di suolo;
- Minimizzare l'interferenza con le zone di pregio ambientale, naturalistico, paesaggistico e archeologico ed evitare, per quanto possibile, l'interessamento di aree urbanizzate o di sviluppo urbanistico;
- Contenere l'impatto visivo, nella misura concessa dalle condizioni geomorfologiche territoriali e riducendo l'interferenza con zone di maggior visibilità;
- Minimizzare l'interessamento di aree soggette a dissesto geomorfologico;
- Assicurare la continuità del servizio, la sicurezza e l'affidabilità della fornitura di energia;
- Permettere il regolare esercizio e la manutenzione dell'impianto.

## 3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE E METEOCLIMATICHE DELL'AREA

### 3.1. Inquadramento geografico generale

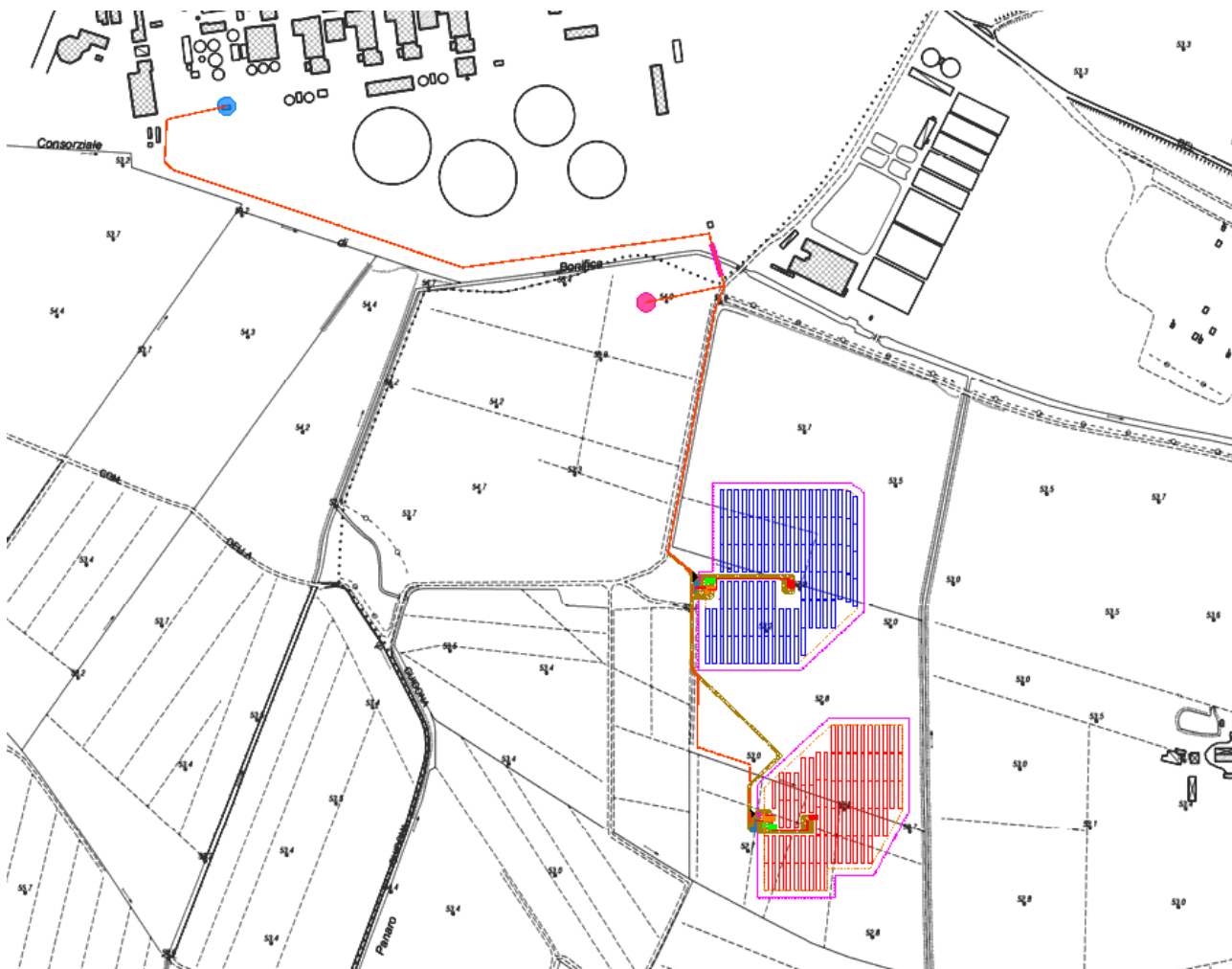
L'area di intervento consta di due aree ed è situata nel territorio comunale di Sarmato (PC), precisamente in aree che si trovano all'esterno della centrale termoelettrica di "La Casella".

In generale le aree di impianto sono delimitate a nord dal fiume Po, ad ovest dalla provincia di Pavia, a Sud dai comuni di Borgonovo Val Tidone e di Ziano Piacentino e ad Est dal comune di Sarmato.

Dal punto di vista della caratterizzazione del bacino di interesse, le aree di intervento ricadono all'interno del più ampio Bacino del Fiume Po e, più precisamente, nel sottobacino del Rio Corniola (o Cornaiola), in una zona intermedia tra il Bacino Idrografico dell'Asta del Fiume Po (a Nord e ad Ovest), il Bacino del Rio Bugaglio (ad Est) ed il Bacino del Torrente Tidone, afferenti tutti alla Provincia di Piacenza.



Di seguito si riporta l'inquadramento dell'intervento in progetto su base CTR:



LEGENDA DEI COLORI E SIMBOLI IN CARTA














	Struttura Tracker 2x28P
	CU1-CU2 Conversion Unit (fondazione di dimensione 8.25mx2.4m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Viabilità di impianto in progetto (Larghezza = 3m)
	Recinzione di impianto in progetto
	Buffer 8 m
	Accesso campo Fotovoltaico
	Cabina del Distributore DG2092 RE V03 D1 per Impianto 1, D2 per Impianto 2 (fondazione di dimensione 6.97mx2.46m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Cabina Utente UT1 per Impianto 1, UT2 per Impianto 2 (fondazione di dimensione 7.5mx2.9m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Cabina SCADA SC1 per Impianto 1, SC2 per Impianto 2 (fondazione di dimensione 5.7mx2.5m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Cavidotto MT interno di impianto
	Cavidotto MT di connessione
	Cavidotto MT di connessione in TOC
	Punto di Connessione alle Rete Elettrica ENEL CS CASELLAM
	Punto di Connessione alle Rete Elettrica ENEL Linea elettrica MT Aerea

Figura 2 – Inquadramento dell'intervento in progetto su base CTR (Fonte: Tavola "Inquadramento territoriale dell'intervento su base Carta Tecnica Regionale")

In generale, l'area di intervento è circondata da un reticolo idrografico piuttosto fitto in quanto, seppur molto vicino all'asta fluviale del Fiume Po, che scorre a Nord dell'area di impianto, ricade altresì all'interno del Bacino del Rio Cornaiola, che scorre a circa 2 km dall'area di intervento. Inoltre, è presente nell'intorno della stessa una fitta rete di canali artificiali, prevalentemente di bonifica, il più vicino dei quali scorre ad Est dell'area di impianto.





### 3.2. Inquadramento geologico e idrogeologico dell'area di intervento

L'area di intervento è inquadrata, all'interno della media pianura padana a Sud del Fiume Po, che si estende dal margine meridionale del pedeappennino fino alla bassa pianura ascrivibile alla sedimentazione padana. Inoltre essa è ubicata poco a Nord del capoluogo, ad una quota media di circa 60 m slm su di un'area corrispondente, dal punto di vista geomorfologico, ad un terrazzo impostato su depositi alluvionali postglaciali. Tale "terrazzo" impostato nelle "Alluvioni recenti" prograda con una pendenza media dello 0,5% verso Nord e risulta essere limitato, verso Nord-Est, dalla scarpata che fa da raccordo alle sottostanti "Alluvioni attuali" mentre verso Sud il limite è rappresentato dalla scarpata delimitante il terrazzo deposizionale impostato sulle "Alluvioni Medie" che alla periferia meridionale del Capoluogo sono limitate dalla fascia pedecollinare che, qualche chilometro a Sud del capoluogo, si immerge al di sotto dei citati depositi alluvionali.

La morfologia del versante è generalmente poco accidentata e vi sono poche o nulle variazioni di pendenza e numerose incisioni torrentizie: in particolare, nella zona in esame, la forma del rilievo originario risulta essere modificata dagli interventi antropici. La costituzione litologica è rappresentata da ghiaie e ghiaie sabbiose di colore grigio-nocciola, giallo-rossastro all'alterazione e da depositi fini dati da limi stratificati, grigio-nocciola, giallo-ocracei all'alterazione, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie.

Il reticolato idrografico superficiale è caratterizzato dalla presenza di alcuni corsi d'acqua aventi modeste dimensioni, come il Rio Sguazzo e il Rio Boriacco e da numerosi canali irrigui: dal punto di vista idrogeologico la realtà locale è caratterizzata dalla presenza di un acquifero con una modesta produttività ospitato entro la coltre dei depositi alluvionali descritti. Tale acquifero risulta essere interessato da elevate oscillazioni stagionali in funzione degli eventi meteorologici.

Per ulteriori approfondimenti e informazioni in merito, si rimanda alla Relazione Geologica.

### 3.3. Caratterizzazione climatica dell'area di intervento

Il clima di Sarmato, secondo quanto riportato da CLIMATE-DATA.ORG, è caratterizzato da un clima caldo e temperato e secondo la classificazione di Koppen e Geiger, il clima dell'area rientra nella categoria Cfa: clima temperato umido con estate calda. Le temperature medie sono di circa 13.1 °C mentre le precipitazioni annue raggiungono un valore medio pari a 858 mm. Luglio è il mese più caldo dell'anno, con una temperatura media di 23,5 °C mentre Gennaio risulta essere il mese con la più bassa temperatura di tutto l'anno con una temperatura media di circa 2.0 °C.



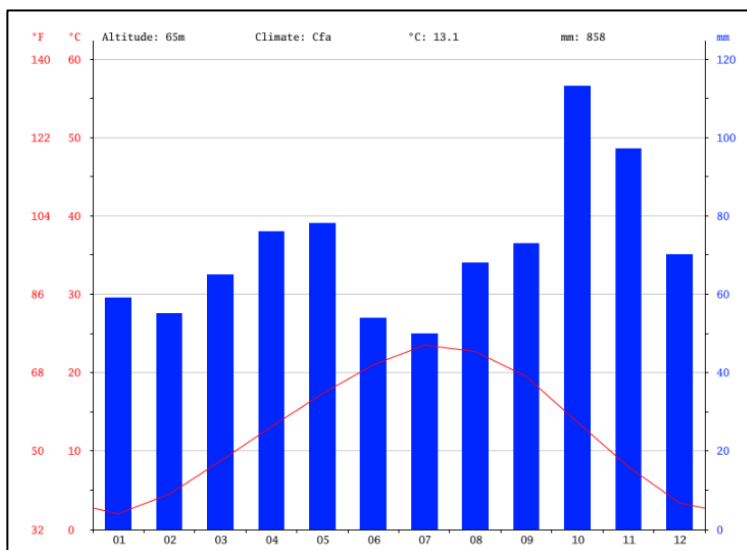


Figura 3 – Grafico del clima relativo al territorio di Sarmato (Fonte: CLIMATE-DATA.ORG)

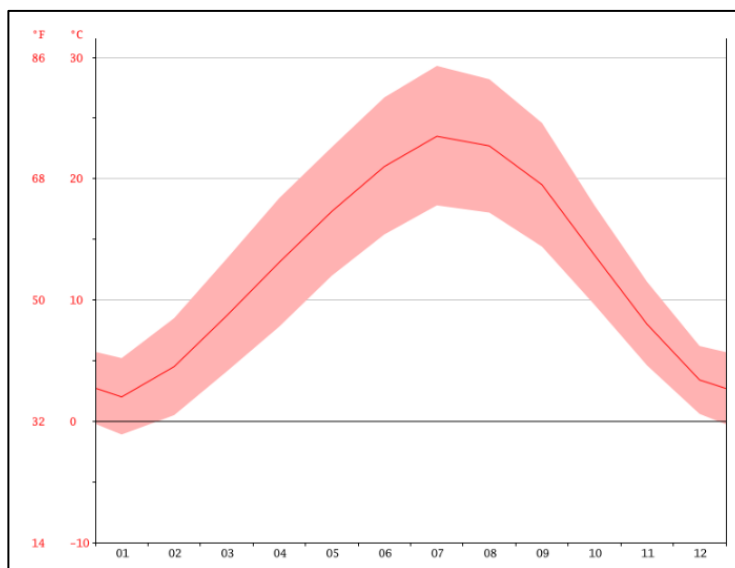


Figura 4 - Grafico della temperatura relativo al territorio di Sarmato (Fonte: CLIMATE-DATA.ORG)

Secondo quanto riportato nella Relazione Generale del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, il bacino padano nel suo complesso è caratterizzato da un clima che risente della vicinanza del Mar Mediterraneo e presenta infatti un'escursione termica inferiore rispetto a quella delle pianure dell'Europa centro-orientale.

### 3.4. Rete di drenaggio esistente nell'intorno del sito di progetto e delimitazione del sottobacino interferente con il sito di progetto

Il bacino idrografico (o bacino imbrifero), così come definito dalla Legge 183/89, è *“il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si*



*raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti"* pertanto rappresenta l'area topografica delimitata da uno spartiacque topografico (orografico o superficiale) di raccolta delle acque che scorrono sulla superficie del suolo e confluiscono verso un determinato corpo idrico recettore.

L'intera area sottesa dall'asta fluviale del fiume Po è suddivisa in sottoaree, secondo quanto riportato nelle *"Linee generali di assetto idraulico e idrogeologico"* del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico PAI nel bacino del Po piemontese.

Il Fiume Po è il principale fiume italiano sia per lunghezza, in quanto si sviluppa per circa 652 km, che per portata, in quanto quella massima ha raggiunto i 10300 m<sup>3</sup>/s durante l'evento di piena del Novembre 1951, a Pontelagoscuro. Il bacino del fiume Po è il bacino idrografico più grande d'Italia, con una superficie di circa 74000 km<sup>2</sup> e interessa per un quarto, sette regioni in Italia: Piemonte, Valle d'Aosta, Lombardia, Veneto, Liguria, Emilia-Romagna, Toscana e la provincia autonoma di Trento. Il resto è situato per la maggior parte in Svizzera e per una piccola parte in Francia.

Il distretto idrografico del fiume Po, così come riportato nella relazione "Aggiornamento delle caratteristiche del distretto – Stato delle risorse idriche" del Piano di Gestione delle Acque, aggiornato a Marzo 2016, coincide con il bacino idrografico del fiume Po: la rete idrografica naturale e artificiale che caratterizza questo bacino è molto sviluppata e si articola in 35 sottobacini principali. La dimensione complessiva di questo reticolo è pari a circa 55700 km di lunghezza complessiva ed in sintesi esprime la notevole estensione nonché la complessità del sistema idrico costituito dalle acque correnti superficiali di questo bacino. Nel corso del tempo, la complessità degli interventi di trasformazione e di sistemazione idraulica di questi corsi d'acqua ha portato alla creazione di un reticolo che si interconnette con la rete idrografica naturale formando un sistema che svolge diverse funzioni tra cui anche quella di alimentare la circolazione sotterranea.

In particolare, l'asta del Po dalla confluenza del Tanaro all'incile del Po di Goro ha una lunghezza complessiva di circa 375 km e i suoi affluenti principali, da monte verso valle, sono in sinistra l'Agogna, il Terdoppio, il Ticino, l'Olona, il Lambro, l'Adda, l'Oglio e il Mincio mentre in destra lo Scrivia, il Curone, il Tidone, il Trebbia, il Nure, l'Arda, il Taro, il Parma, l'Enza, il Crostolo, il Secchia e il Panaro.

Come è possibile evincere dall'immagine che segue, il sito di progetto ricade immediatamente a sud dell'asta fluviale del fiume Po e, secondo quanto riportato all'interno della Relazione Generale, in un'area non interessata da altri corsi d'acqua inclusi nella *rete idrografica principale*:

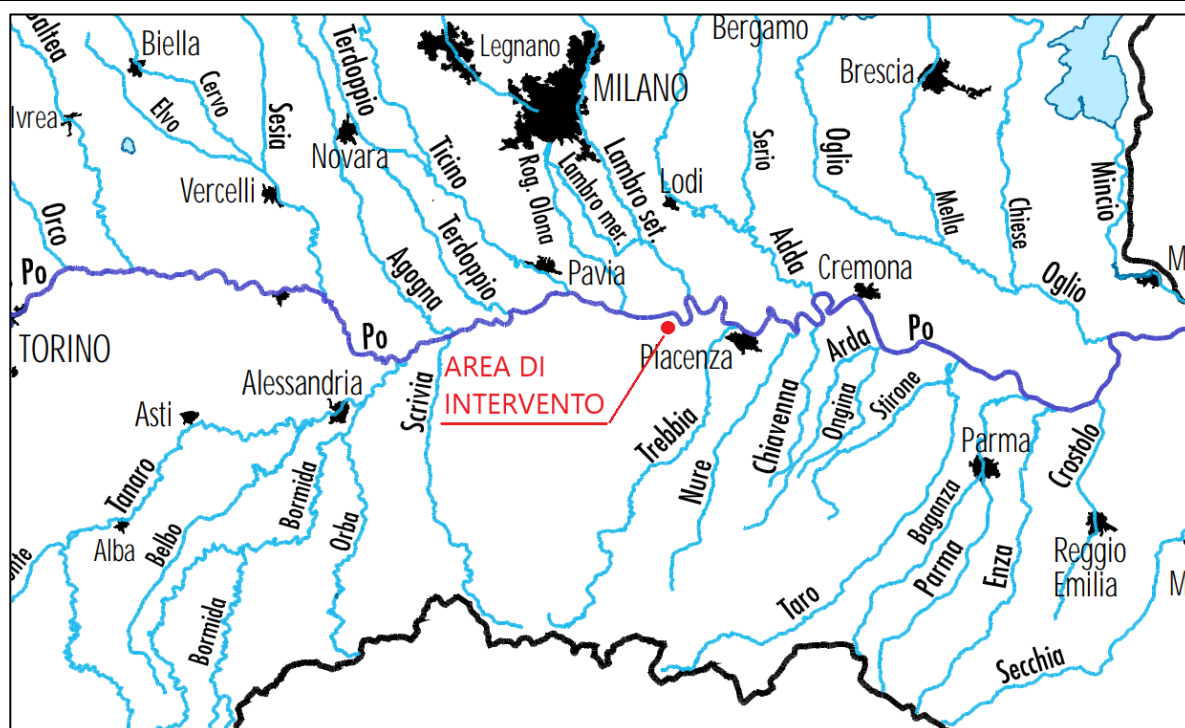


Figura 5 – Inquadramento dell'area di intervento (in rosso) nello stralcio della Tavola relativa ai corsi d'acqua costituenti la rete idrografica principale (Fonte: PAI – Autorità di Bacino del Fiume Po)

Tuttavia, le aree di intervento ricadono in un'area caratterizzata da una fitta rete di canali (naturali e artificiali) afferenti al reticolo idrografico secondario: infatti, secondo quanto indicato dal Geoportale del Consorzio di Bonifica di Piacenza, come appena accennato, seppur afferente al più ampio Bacino del Fiume Po, l'area di impianto risulta collocabile all'interno di un sottobacino idrografico delimitato denominato "Bacino del Rio Cornaiola". Lo stesso è evidente anche dalla consultazione del Geoportale dell'ARPA Emilia Romagna, che effettua una suddivisione in Bacini idrografici principali:

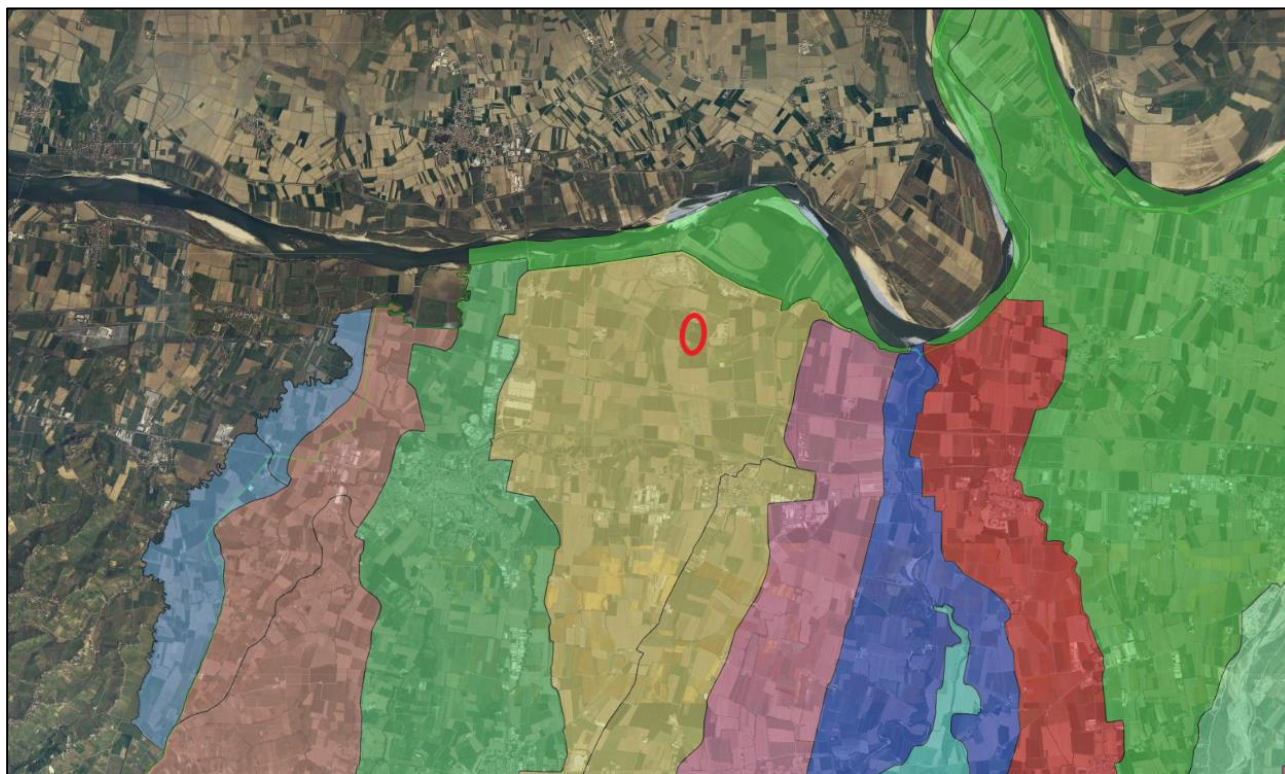


Figura 6 - Inquadramento delle aree di intervento (in rosso) nel sottobacino del Rio Cornaiola (Fonte: Geoportale del Consorzio di Bonifica di Piacenza - [http://www.cbpiacenza.it:84/cbpc\\_geoportale/](http://www.cbpiacenza.it:84/cbpc_geoportale/))

Dal punto di vista dell'uso del suolo, il bacino idrografico è dominato perlopiù da superfici agricole utilizzate e, in particolare, da seminativi in aree non irrigue a ridosso di un'area, quella del corpo idrico del Fiume Po, indicata come "corsi d'acqua, canali e idrovie".

Alla luce dell'attuale stato dei luoghi, lo studio idrologico-idraulico, oggetto della presente relazione e relativo alla previsione di eventuali interferenze tra il sito in progetto e aree esondabili per portate straordinarie defluenti in corsi d'acqua del reticolo idrografico, appare ragionevolmente applicabile ad un tratto del Rio Cornaiola ed in maniera cautelativa, ai Canali di bonifica ricadenti nella piana alluvionale.



### 3.5. Caratterizzazione morfometrica dei sottobacini imbriferi a monte del sito di progetto

Il sottobacino a cui afferisce l'area di intervento può essere caratterizzato, in forma tabellare, come di seguito proposto:

Sottobacino	Area [kmq]	Lunghezza asta principale [km]	Quota massima [m.s.l.m.]	Quota media [m.s.l.m.]	Quota minima [m.s.l.m.]
Rio Cornaiola	36	12,85	128	76	48

Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche del bacino e del sottobacino di interesse

## 4. DATI IDROLOGICI DISPONIBILI

L'analisi statistica degli estremi idrologici è stata condotta partendo innanzitutto dalla ricerca e dalla modellazione dei dati idrologici disponibili, effettuata innanzitutto scegliendo le stazioni di riferimento e analizzando le serie storiche collezionate. In particolare, come sarà possibile vedere nel seguito, tra le stazioni presenti all'interno dell'area, le serie storiche a cui si è fatto riferimento sono quelle che contenevano le altezze massime di pioggia cadute ogni anno in occasione di eventi di durata pari a 1h, 3h, 6h, 12h e 24h, per il bacino di interesse.



#### 4.1. Stazioni di riferimento

Le stazioni di riferimento sono state individuate considerando, tra le stazioni operative in capo all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente dell'Emilia Romagna (ARPAE), le stazioni prossime al sottobacino di interesse ed aventi serie storiche statisticamente significative, per come desumibile dagli Annali Idrologici della citata Agenzia Regionale.

Le stazioni più prossime all'area di intervento sono state dunque scelte sulla base di diversi criteri:

- Un criterio discriminante è stata la consistenza delle serie storiche al fine di ottenere una maggiore affidabilità nell'elaborazione statistica dei dati (come nel caso della Stazione di Sarmato);
- Un ulteriore criterio è stato quello di considerare stazioni rappresentative del bacino di interesse;
- Un ultimo criterio è stato quello di scegliere stazioni che, seppure con un quantitativo di dati meno cospicuo, fosse più rappresentativo, in termini di caratteristiche morfologiche e quota della stazione, a quelle dell'area di intervento (nel caso di Piacenza Urbana e San Nicolò).

Sono quindi risultate come stazioni di riferimento ai fini del presente studio le seguenti stazioni:

- Stazione di **Pianello Val Tidone**, nel Comune di Sarmato (PC);
- Stazione di **Bobbiano**, nel Comune di Travo (PC);
- Stazione di **San Nicolò**, nel Comune di Rottofreno (PC);
- Stazione di **Piacenza Urbana**, nel Comune di Piacenza (PC);
- Stazione di **Sarmato**, nel Comune di Sarmato (PC).

Le aree di intervento, come specificato in precedenza, risultano ricadere all'interno del Bacino del Rio Cornaiola ma nella parte immediatamente superiore alla delimitazione del sottobacino in questione, risulta essere presente una porzione del sub bacino del Fiume Po, che si estende dal Ponte Stradale Martiniana Po (in provincia di Cuneo) fino a raggiungere l'incile Po di Goro, al confine tra il Veneto e l'Emilia Romagna e che costituisce la diramazione più estesa del delta del fiume Po compiendo un percorso lungo circa 600 km.

Le informazioni idrologiche per questo Bacino, e le relative portate di piena per il tratto in parola, sono state ampiamente trattate nel PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e, in particolare, nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", come riportato di seguito:



Tabella 3: portate di piena per il Po nel tratto da Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro) al Delta (incile Po di Goro)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie	Q20	Q100	Q200	Q500	Idrometro
		Progr.(km)	Cod.	Denomin.	km²	m³/s	m³/s	m³/s	m³/s	Denominazione
Asta Po	Po	264.855	82	Becca	36770	9290	12190	13600	15050	Po a Becca
Asta Po	Po	322.250	67	Piacenza	42030	8970	11550	13000	14100	Po a Piacenza
Asta Po	Po	367.640	57	Cremona	50726	10090	13000	14300	15870	Po a Cremona
Asta Po	Po	428.545	41	Boretto	55183	9380	12060	13700	14720	Po a Boretto
Asta Po	Po	457.560	36	Borgoforte	62450	9600	12260	13100	14890	Po a Borgoforte
Asta Po	Po	548.805	10	Pontelagoscuro	70091	9470	12070	13000	14650	Po a Pontelagoscuro

Figura 7 - Tabella delle portate di piena per il Po nel tratto da Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro) al Delta (incile Po di Goro) (Fonte: Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - AdBPO)

Per quanto concerne il sottobacino del Rio Cornaiola, ai fini del presente studio si è ritenuto statisticamente significativo ed idrologicamente cautelativo, considerare i dati di pioggia di tutte le stazioni precedentemente citate, al fine di aumentare la dimensione del campione di dati che, rispetto ad una media di 30 anni, è aumentata fino ad ottenere un campione di dati pari a circa 70 anni quindi più significativo.

## 4.2. Dati di pioggia disponibili

Le tabelle seguenti riportano le serie storiche rilevate presso le stazioni di riferimento e registrate negli annali idrologici (per come consultabili nella sezione "idro-meteo-clima" reperibili nella Sezione dedicata alla ricerca nell'archivio documentale on-line di Arpa Emilia Romagna), in relazione ad eventi di pioggia di massima intensità, registrati in termini di altezze massime di pioggia cadute negli anni di cui si dispone la registrazione, in occasione di eventi di durata pari a 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.

Le serie storiche riportate di seguito sono state scelte sulla base dei criteri precedentemente definiti e sono riferibili al Sottobacino del Rio Cornaiola (in cui ricadono le aree di impianto):

ANNO	PIANELLO VAL TIDONE (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
<b>1999</b>	9,6	19,8	35,6	43,2	45,8
<b>1998</b>	22,0	31,2	32,6	33,8	38,8
<b>1997</b>	15,0	22,8	28,8	37,0	48,0
<b>1996</b>	22,2	33,2	33,2	36,0	52,4
<b>1995</b>					





ANNO	PIANELLO VAL TIDONE (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
1994					
1993	23,0	34,0	59,6	68,6	88,4
1992					
1991	10,0	20,2	25,2	36,0	43,4
1990					
1989					
1988					
1987					
1986	17,4	30,0	33,0	58,0	86,2
1985	16,0	29,4	31,2	32,0	49,4
1984	82,0	103,4	104,4	129,6	130,6
1983	16,6	21,2	38,0	51,4	94,2
1982	21,2	21,2	26,4	47,8	55,4

Tabella 2 – Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Pianello Val Tidone (PC), consultabili negli annali idrologici dell'archivio documentale in capo all'ARPA Emilia Romagna

ANNO	BOBBIANO (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
2017	35,8	38,2	38,4	38,4	47,6
2016	19,0	25,0	25,0	33,8	42,0
2015	18,4	32,4	42,2	59,2	65,0
2014	27,0	41,0	52,4	65,0	67,6
2013	16,4	27,0	29,6	35,8	54,0
2012	30,6	31,6	33,2	37,8	52,8
2011	37,8	53,6	54,2	63,0	68,8
2010	15,2	21,2	35,2	52,0	60,4
2009	16,0	28,8	47,0	58,4	77,4
2008	18,2	27,2	33,6	38,0	44,2
2007	14,8	24,2	38,8	53,8	70,8
2006	16,8	30,8	49,6	73,4	87,2
2005	20,0	25,8	37,4	48,0	73,0
2004	13,0	22,0	31,2	53,4	76,2



ANNO	BOBBIANO (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
2003	24,2	25,4	29,0	35,8	44,8

Tabella 3 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Bobbiano (PC), consultabili negli annali idrologici dell'archivio documentale in capo all'ARPA Emilia Romagna

ANNO	SAN NICOLÒ (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
2017	31,6	36,0	42,4	44,2	55,2
2016					
2015	37,8	38,2	38,2	40,6	40,8
2014	22,0	28,0	45,4	53,8	58,0
2013	18,6	24,6	26,4	28,6	46,0
2012	14,6	20,4	26,2	35,0	46,6
2011	38,6	44,4	44,4	52,6	58,6
2010	25,4	26,4	42,6	57,2	91,4
2009	22,2	32,0	32,0	35,0	52,0
2008	15,4	17,8	26,6	35,4	46,2
2007	21,4	25,2	39,0	49,0	69,8

Tabella 4 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di San Nicolò (PC), consultabili negli annali idrologici dell'archivio documentale in capo all'ARPA Emilia Romagna

ANNO	PIACENZA URBANA (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
2017	37,8	43,4	49,2	66,6	74,6
2016	16,2	17,0	23,6	34,4	48,2
2015	23,0	36,0	52,2	52,8	53,4
2014	20,4	37,6	58,2	72,2	83,6
2013	13,2	27,6	41,4	48,8	61,0
2012	8,8	17,2	26,8	34,0	45,0
2011	31,2	38,6	38,8	38,8	41,6
2010	31,8	31,8	33,0	50,0	91,4
2009	16,4	18,6	23,8	30,2	47,2
2008	20,2	25,0	33,0	33,4	39,4



<b>2007</b>	25,0	32,8	46,2	56,6	80,4
-------------	------	------	------	------	------

Tabella 5 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Piacenza Urbana (PC), consultabili negli annali idrologici dell'archivio documentale in capo all'ARPA Emilia Romagna

ANNO	SARMATO (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
<b>2008</b>	23,4	24,8	26,2	33,6	41,8
<b>2007</b>	19,0	22,4	33,4	40,0	58,8
<b>2006</b>	15,0	32,2	40,6	62,4	74,2
<b>2005</b>	17,6	32,2	33,0	41,0	44,2
<b>2004</b>	15,2	21,6	26,6	31,8	60,6
<b>2003</b>	22,6	32,8	47,0	48,2	48,2
<b>2002</b>	19,2	31,2	46,8	52,0	54,0
<b>2001</b>	32,4	41,8	41,8	45,8	46,6
<b>2000</b>	21,8	26,0	38,8	55,2	60,2
<b>1999</b>	22,4	37,4	47,0	66,2	96,4
<b>1998</b>	39,6	44,2	44,2	44,2	45,6
<b>1997</b>	43,6	67,0	69,0	69,2	69,2
<b>1996</b>	16,6	22,8	37,6	57,2	71,2
<b>1995</b>	16,0	30,0	30,0	33,8	35,0
<b>1994</b>	11,0	11,6	11,6	11,6	11,6
<b>1993</b>					
<b>1992</b>					
<b>1991</b>					
<b>1990</b>					
<b>1989</b>	16,2	16,4	24,8	37,6	40,4
<b>1988</b>					
<b>1987</b>	9,2	15,8	23,6	40,4	53,0
<b>1986</b>	24,2	25,4	32,0	42,0	62,8
<b>1985</b>	10,0	17,8	19,8	30,0	38,6
<b>1984</b>	17,0	32,4	34,2	34,2	41,4
<b>1983</b>	24,0	29,8	33,8	43,2	78,2
<b>1982</b>	25,8	25,8	25,8	27,4	44,6
<b>1981</b>	14,0	15,0	18,0	28,8	39,0



ENEL CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.12082.00.122.02

PAGE

19 di/of 57

ANNO	SARMATO (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
1980	30,0	31,4	35,0	35,0	52,0
1979					
1978					
1977					
1976					
1975	23,0	25,4	42,0	67,0	95,8
1974	15,2	22,2	30,2	30,2	35,8
1973					
1972	8,4	15,0	23,4	32,0	39,4
1971	12,6	20,0	34,0	42,8	42,8
1970	21,0	23,6	35,4	46,6	70,0
1969	21,6	33,0	44,0	52,8	95,0
1968	14,6	18,2	25,0	34,8	45,0
1967	22,2	26,0	26,0	29,8	45,0
1966	25,2	27,2	31,2	46,8	75,2
1965	16,4	20,2	24,4	26,8	38,8
1964	23,0	30,0	32,0	33,2	33,2
1963	18,2	20,6	27,2	54,2	54,8
1962	14,6	17,0	25,0	41,0	56,0
1961	30,0	34,0	51,0	74,0	81,6
1960	18,8	25,0	33,0	46,0	50,0
1959	19,0	20,2	28,0	53,0	83,0
1958	16,0	21,0	32,0	48,0	61,0
1957	21,0	29,0	35,6	48,0	75,6
1956	16,0	27,0	37,4	49,0	53,4
1955	19,2	30,4	30,4	35,6	43,0
1954	13,0	17,0	21,0	27,7	41,0
1953	55,0	90,3	93,3	95,0	95,0
1952					
1951					
1950					
1949	22,0	26,0	32,0	35,0	42,0
1948					

ANNO	SARMATO (PC)				
	1h	3h	6h	12h	24h
<b>1947</b>					
<b>1946</b>					
<b>1945</b>	15,0	26,0	35,0	58,5	80,0
<b>1944</b>					
<b>1943</b>	12,0	14,5	23,0	27,0	35,0

Tabella 6 - Altezze di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi di pioggia di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h registrate presso la stazione di Sarmato (PC), consultabili negli annali idrologici dell'archivio documentale in capo all'ARPA Emilia Romagna

Per poter ottenere una serie storica consistente e quindi utilizzabile ai fini della modellazione idrologica e al fine di tenere in debita considerazione tutti i dati di pioggia disponibili, si è fatto ricorso al *Metodo delle Distanze Inverse Pesate* in cui il valore stimato in un punto è influenzato dalle stazioni più vicine di conseguenza la stima risulta essere inversamente proporzionale alla distanza dei punti di misura attraverso la relazione proposta di seguito. Pertanto, dalle serie storiche disponibili per eventi di intensità massima corrispondente a durate di 1h, 3h, 6h, 12h e 24h, sono state ricavate altezze di pioggia risultanti da medie pesate come nella formula che segue:

$$P = \frac{\sum_1^N \left( \frac{P_i}{d_i^2} \right)}{\sum_1^N \left( \frac{1}{d_i^2} \right)}$$

dove,

- P = altezza di pioggia ottenuta da media pesata sulle distanze inverse [mm];
- P<sub>i</sub> = altezza di pioggia della stazione "i-esima" [mm];
- D<sub>i</sub> = distanza della stazione "i-esima" dal sito di progetto [m].

A valle dell'applicazione del metodo delle distanze inverse pesate alle stazioni di riferimento sono state ottenute le serie di dati riportate nella seguente tabella per ciascuna durata e per ogni annata interessata dai campioni statistici:



ENEL CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.12082.00.122.02

PAGE

21 di/of 57

ANNO	Dati di pioggia derivanti da "metodo distanze inverse"				
	1h	3h	6h	12h	24h
2017	33,8	38,3	43,8	49,7	59,7
2016	17,0	19,4	24,0	34,2	46,4
2015	31,5	36,9	42,5	46,1	47,0
2014	22,1	32,1	49,7	60,1	66,1
2013	16,9	25,7	30,9	35,0	51,0
2012	14,8	20,8	27,2	35,0	46,9
2011	36,5	43,9	44,0	50,0	55,1
2010	26,0	27,3	39,1	54,6	87,8
2009	19,9	27,9	31,5	36,4	53,6
2008	22,4	24,2	26,7	33,8	42,2
2007	19,4	23,1	34,6	41,8	61,0
2006	15,0	32,2	40,8	62,6	74,5
2005	17,6	32,1	33,1	41,1	44,8
2004	15,2	21,6	26,7	32,2	60,9
2003	22,6	32,6	46,6	47,9	48,1
2002	19,2	31,2	46,8	52,0	54,0
2001	32,4	41,8	41,8	45,8	46,6
2000	21,8	26,0	38,8	55,2	60,2
1999	21,9	36,7	46,6	65,3	94,5
1998	38,9	43,7	43,8	43,8	45,3
1997	42,5	65,3	67,5	68,0	68,4
1996	16,8	23,2	37,4	56,4	70,5
1995	16,0	30,0	30,0	33,8	35,0
1994	11,0	11,6	11,6	11,6	11,6
1993	23,0	34,0	59,6	68,6	88,4
1992					
1991	10,0	20,2	25,2	36,0	43,4
1990					
1989	16,2	16,4	24,8	37,6	40,4
1988					
1987	9,2	15,8	23,6	40,4	53,0
1986	23,9	25,6	32,0	42,6	63,7
1985	10,2	18,2	20,2	30,1	39,0



ENEL CODE

GRE.EEC.R.21.IT.P.12082.00.122.02

PAGE

22 di/of 57

ANNO	Dati di pioggia derivanti da "metodo distanze inverse"				
	1h	3h	6h	12h	24h
1984	19,4	35,1	36,8	37,8	44,8
1983	23,7	29,5	34,0	43,5	78,8
1982	25,6	25,6	25,8	28,2	45,0
1981	14,0	15,0	18,0	28,8	39,0
1980	30,0	31,4	35,0	35,0	52,0
1979					
1978					
1977					
1976					
1975	23,0	25,4	42,0	67,0	95,8
1974	15,2	22,2	30,2	30,2	35,8
1973					
1972	8,4	15,0	23,4	32,0	39,4
1971	12,6	20,0	34,0	42,8	42,8
1970	21,0	23,6	35,4	46,6	70,0
1969	21,6	33,0	44,0	52,8	95,0
1968	14,6	18,2	25,0	34,8	45,0
1967	22,2	26,0	26,0	29,8	45,0
1966	25,2	27,2	31,2	46,8	75,2
1965	16,4	20,2	24,4	26,8	38,8
1964	23,0	30,0	32,0	33,2	33,2
1963	18,2	20,6	27,2	54,2	54,8
1962	14,6	17,0	25,0	41,0	56,0
1961	30,0	34,0	51,0	74,0	81,6
1960	18,8	25,0	33,0	46,0	50,0
1959	19,0	20,2	28,0	53,0	83,0
1958	16,0	21,0	32,0	48,0	61,0
1957	21,0	29,0	35,6	48,0	75,6
1956	16,0	27,0	37,4	49,0	53,4
1955	19,2	30,4	30,4	35,6	43,0
1954	13,0	17,0	21,0	27,7	41,0
1953	55,0	90,3	93,3	95,0	95,0
1952					



ANNO	Dati di pioggia derivanti da "metodo distanze inverse"				
	1h	3h	6h	12h	24h
1951					
1950					
1949	22,0	26,0	32,0	35,0	42,0
1948					
1947					
1946					
1945	15,0	26,0	35,0	58,5	80,0
1944					
1943	12,0	14,5	23,0	27,0	35,0

Tabella 7 - Altezza di pioggia (mm) corrispondenti ad eventi piovosi di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h ricavate dall'applicazione del metodo delle distanze inverse ai dati registrati presso le stazioni di riferimento nel caso in esame

## 5. ANALISI DEI DATI IDROLOGICI DISPONIBILI

L'analisi statistica degli estremi idrologici è stata condotta secondo due diversi approcci, non necessariamente alternativi tra loro:

- Metodo di Gumbel;
- Metodo VAPI tramite analisi statistica TCEV.

### 5.1. Distribuzione statistica di Gumbel

La serie di dati ottenute dal 2017 al 1943 applicando il metodo delle distanze inverse ai dati registrati presso le stazioni di riferimento in termini di altezze di pioggia [mm] corrispondenti ad eventi di massima intensità per durate di 1h, 3h, 6h, 12h, 24h sono state elaborate statisticamente per calcolare, per ciascuna durata considerata, i percentili corrispondenti a diversi periodi di ritorno (10, 20, 25, 50, 200, 250, 500 anni).

Nel dettaglio, con i dati ( $x_i$ ) disponibili per ogni durata di interesse (1h, 3h, 6h, 12h, 24h), sono stati sviluppati i passaggi elencati nei punti che seguono:

- Calcolo della media ( $\mu$ ) e del momento di primo ordine corretto ( $\sigma$ ) applicando le seguenti formule:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N};$$

$$\sigma = \sqrt{(x_i - \mu)^2 / (N - 1)}$$

- Calcolo dei parametri della distribuzione di Gumbel  $\alpha$  ed  $u$  applicando le seguenti formule:

$$\alpha = 1,283/\sigma; \quad u = \mu - 0,45\sigma$$

- Calcolo dei percentili di Gumbel applicando la seguente formula in funzione dei parametri  $u$ ,  $\alpha$  e del tempo di ritorno ( $T$  in anni):

$$x = u + \frac{1}{\alpha} \left[ -\ln \left[ -\ln \left[ \frac{T-1}{T} \right] \right] \right]$$

I risultati ottenuti sono stati raccolti nella seguente tabella:

		Tr						
		10	20	25	50	200	250	500
h	1	31,85	36,60	38,10	42,73	51,92	53,39	57,96
	3	43,70	50,50	52,66	59,31	72,48	74,59	81,15
	6	50,78	57,88	60,13	67,06	80,80	83,00	89,84
	12	62,67	70,59	73,10	80,84	96,18	98,64	106,27
	24	80,50	90,85	94,13	104,25	124,30	127,51	137,50

Tabella 8 – Altezze di pioggia [mm] calcolate per diverse durate e diversi periodi di ritorno

I risultati dell'elaborazione statistica dei dati di pioggia oggetto della presente trattazione sono stati espressi sotto forma di *curve di probabilità pluviometrica*, rappresentate sia in forma esponenziale che in forma linearizzata con evidenza dei parametri “a” ed “n”:

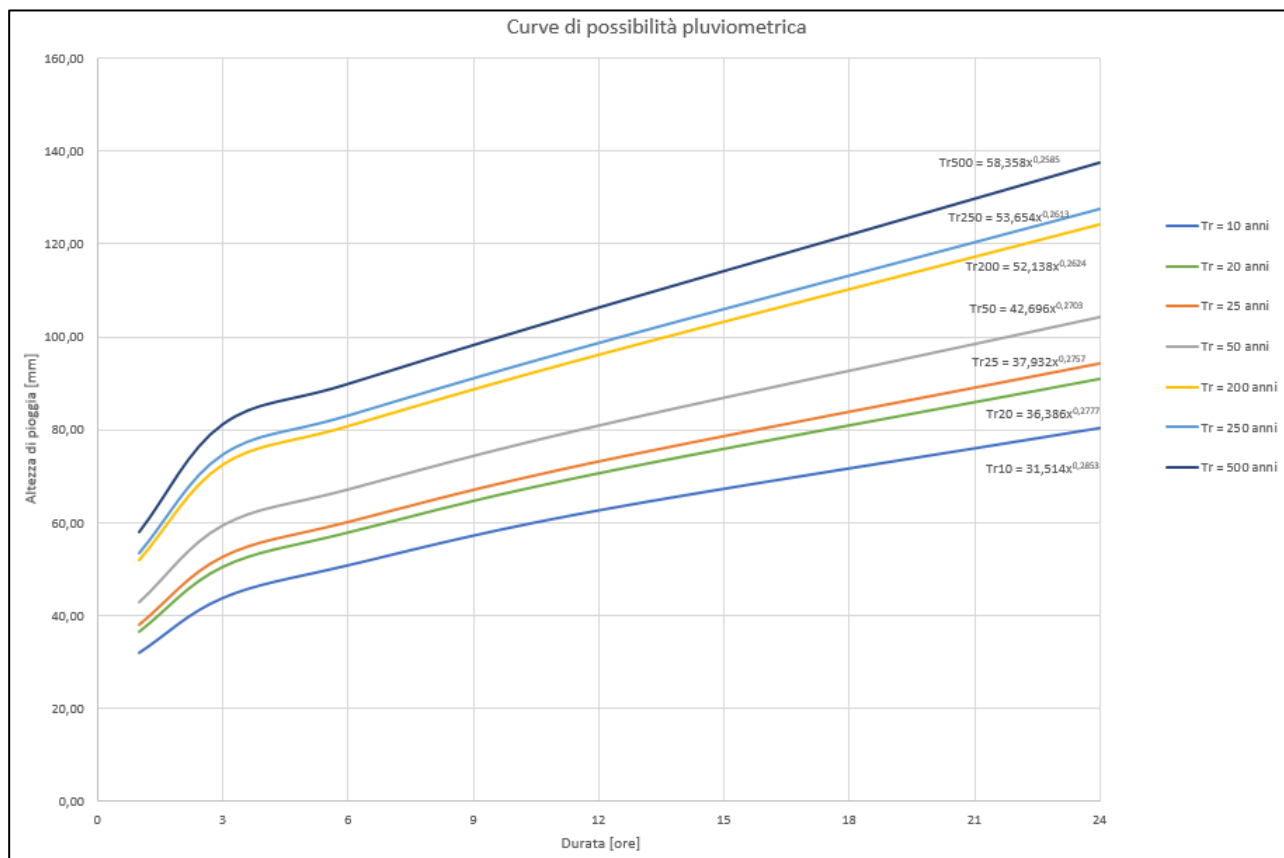


Figura 8 – Curve di possibilità pluviometrica in forma esponenziale

Tr	a	n
10	31,514	0,2853
20	36,386	0,2777
25	37,932	0,2757
50	42,696	0,2703
200	52,138	0,2624
250	53,654	0,2613
500	58,358	0,2585

Tabella 9 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno

## 5.2. Descrizione della metodologia VAPI

La stima della pioggia di massima intensità per un dato tempo di corrvazione e per un dato tempo di ritorno, viene sviluppata secondo i criteri sviluppati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche pubblicati nel “Rapporto Toscana Emilia Marche”.

Il Progetto VAPI sulla Valutazione delle Piene in Italia ha come obiettivo quello di predisporre



una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. La metodologia adottata nel progetto VAPI fa riferimento ad un approccio di tipo probabilistico per la valutazione dei massimi annuali delle portate di piena e quindi non esiste un valore massimo assoluto, ma ad ogni valore della portata di piena viene associata una probabilità che si verifichino eventi di piena con valori superiori. Per ridurre le incertezze legate alla presenza di eventi estremi molto rari, si adotta una metodologia di analisi regionale che consente di utilizzare non solo tutta l'informazione idrometrica ma anche tutta quella pluviometrica posseduta su un dato territorio.

Nell'ambito di tale studio si è utilizzata l'informazione pluviografica raccolta dal Servizio Idrografico Italiano e, in particolare, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi statistica a scala regionale ed applicando la legge di distribuzione a doppia componente su tre livelli successivi di regionalizzazione, basato sulla seguente formula:

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

Il modello a doppia componente appena citato è denominato TCEV (acronimo di Two Components Extreme Value): i parametri della TCEV sono 4 ed è quindi molto elevata l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche disponibili la cui dimensione campionaria è in genere inferiore a 80. Per ridurre tale incertezza, si utilizzano tecniche di analisi regionale che consentono di stimare almeno alcuni dei parametri sulla base di tutte le serie storiche ricadenti all'interno di vaste aree indicate come zone e sottozone omogenee. In particolare:

- Al I livello di regionalizzazione per i due parametri di forma  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  si può assumere un valore costante all'interno di ampie zone omogenee;
- Al II livello di regionalizzazione, oltre ai valori costanti dei parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  nelle zone omogenee, all'interno di queste è possibile identificare sottozone omogenee, entro cui si può ritenere costante anche il parametro di scala  $\Lambda_1$ ;
- Al III livello di regionalizzazione, oltre ai parametri  $\theta^*$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Lambda_1$  di cui si può assumere un valore regionale, si persegue in modo regionale anche la stima del quarto parametro che sia  $\theta_1$  o  $\mu$  in relazione all'approccio che si intende adottare.

#### I risultati ottenuti per la Regione Emilia Romagna

Il modello TCEV è stato impiegato nel progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) sviluppato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche. Come riportato all'interno del rapporto "Sintesi del rapporto regionale per i compartimenti di Bologna, Pisa, Roma e Zona Emiliana del Bacino del Po", sul territorio in questione sono stati eseguiti vari studi nel rispetto dei criteri del Progetto VAPI,

ai differenti livelli della procedura gerarchica e per le differenti grandezze idrologiche, a cura dell'U.O. 1.31 (ENEL S.p.a. Unità di Idrologia di Mestre) e dell'U.O. 1.41 (DISTART Università di Bologna).

Operativamente, il territorio di tali compartimenti è stato suddiviso in zone, come è possibile vedere dalle immagini che seguono:

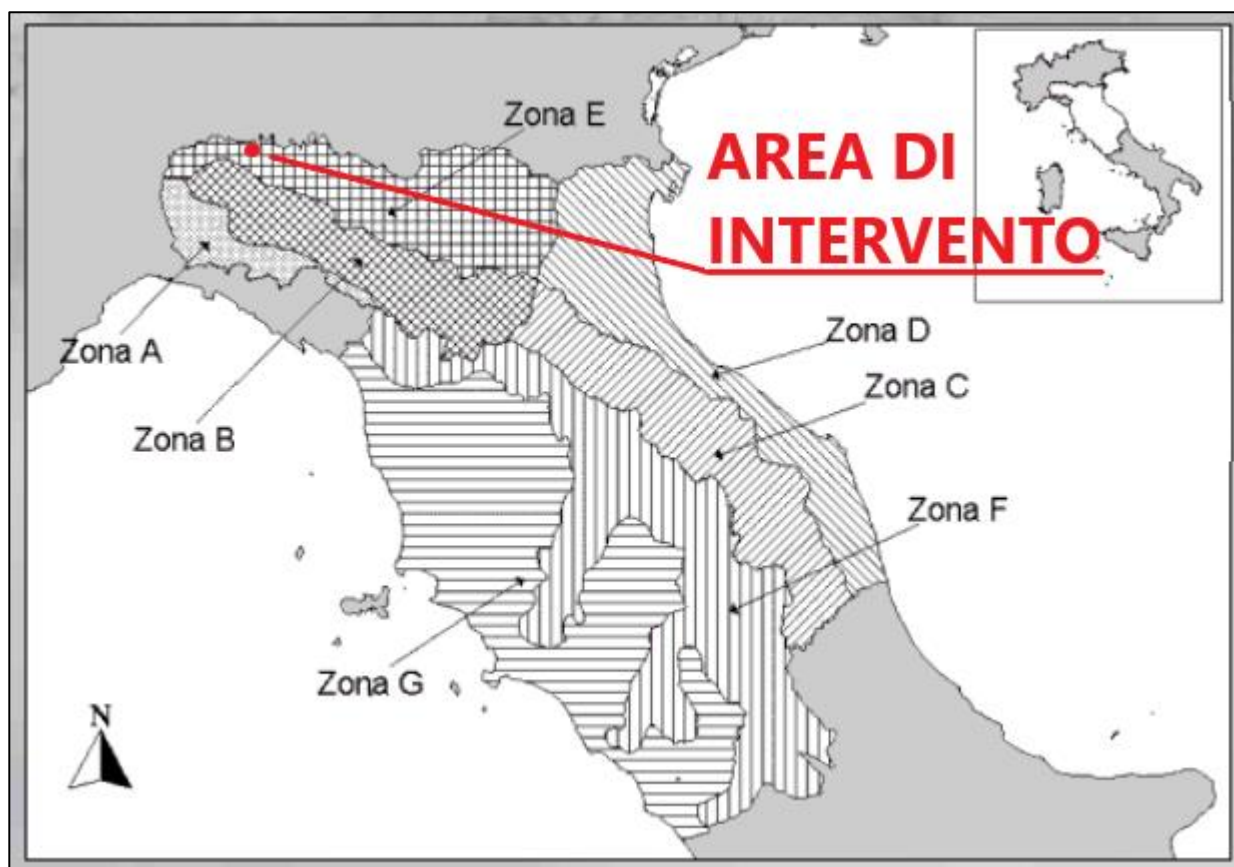


Figura 9 – Individuazione dell'area di intervento (in rosso) nella tavola dei Compartimenti di Bologna, Pisa, Roma e Zona Emiliana del Bacino del Po (Fonte: <http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/BoAnPi.htm>)



Figura 10 - Individuazione dell'area di intervento (in rosso) nella tavola "Compartimento del Po – Suddivisione in sottozone pluviometriche omogenee" (Fonte: <http://www.idrologia.polito.it/gndci/rapporti/BoAnPi.htm>)

Dal confronto tra le due immagini precedenti, è possibile stabilire che le aree oggetto di intervento ricadono all'interno della Sottozona pluviometrica omogenea E. Dal momento che è stato necessario effettuare analisi idrologiche per i bacini di interesse, data la misura campionaria dei dati storici, è apparso ragionevole adattare alla stessa il modello probabilistico della TCEV al II livello di regionalizzazione che ritiene costanti per la sottozona E in cui ricadono le aree di intervento, i parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  nonché il parametro di scala  $\Lambda_1$ .

Per il compartimento del Po, e in particolare per l'area oggetto di tale studio idrologico-idraulico, si ottengono i seguenti risultati:

PARAMETRI TCEV – Sottozona E	
$\theta^*$	3,607
$\Lambda^*$	0,044
$\Lambda_1$	30,45
$\eta$	4,135

Tabella 10 – Parametri TCEV ottenuti al II livello di regionalizzazione



Al II livello di regionalizzazione, l'unico parametro da stimare è  $\theta_1$  che verrà determinato invertendo la formula del fattore di crescita per i diversi intervalli orari di cui si dispone:

$$\eta = \frac{\mu}{\theta_1}$$

$$\theta_1 = \frac{\mu}{\eta}$$

ottenendo dunque i seguenti risultati:

	1h	3h	6h	12h	24h
$\theta_1$	5,037	6,744	8,294	10,706	13,648

Tabella 11 -  $\theta_1$  determinato a partire dall'inversione della formula del fattore di crescita

Successivamente, per un periodo di ritorno pari a  $T_r$  che nel caso in questione sarà 10, 20, 25, 50, 200 e 500 anni, si sono ricavati i valori di  $F_x(x)$  corrispondenti, secondo la formula:

$$Fx(x) = 1 - \frac{1}{Tr}$$

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica ci si basa sostanzialmente sull'interpolazione dei valori  $h_{t,T}$  individuati, per un fissato periodo di ritorno  $T$ , sulla base delle curve di frequenza costruite per le serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore, a partire dalla seguente formula:

$$Fx(x) = e^{-e^{(-\alpha(x-\varepsilon))}}$$

Per ciascuna durata sono stati determinati quindi i valori medi ed i frattili corrispondenti ai tempi di ritorno fissati:





		1h	3h	6h	12h	24h
Tr (anni)	F <sub>x</sub> (x)	Frattili h*				
10	0,900	31,858	43,706	50,792	62,682	80,509
20	0,950	36,602	50,511	57,888	70,604	90,865
25	0,960	38,107	52,669	60,140	73,117	94,150
50	0,980	42,743	59,318	67,074	80,858	104,270
200	0,995	51,930	72,494	80,816	96,197	124,323
250	0,996	53,404	74,608	83,021	98,658	127,541
500	0,998	57,979	81,170	89,865	106,297	137,527

Tabella 12 – Frattili corrispondenti ai tempi di ritorno fissati

A questo punto, per la stima dei parametri della legge di potenza  $h_{t,T} = a t^n$ , si considera la trasformata logaritmica dei valori delle precipitazioni e delle durate:

	1h	3h	6h	12h	24h
Tr (anni)	log h				
10	1,50	1,64	1,71	1,80	1,91
20	1,56	1,70	1,76	1,85	1,96
25	1,58	1,72	1,78	1,86	1,97
50	1,63	1,77	1,83	1,91	2,02
200	1,72	1,86	1,91	1,98	2,09
250	1,73	1,87	1,92	1,99	2,11
500	1,76	1,91	1,95	2,03	2,14

1h	3h	6h	12h	24h
log t				
0,00	0,48	0,78	1,08	1,38

Tabella 13 – Trasformata logaritmica dei valori di precipitazione (log h) e durata (log t)

Per ogni periodo di ritorno considerato, quindi, bisogna stimare i parametri della generica retta:

$$Y = A + n X$$

in cui:

- $Y = \log_{10} h$ ;
- $A = \log_{10} a$ ;
- $X = \log_{10} t$ .

I valori dei coefficienti A ed n ottenuti per ciascun periodo di ritorno sono stati stimati attraverso le cosiddette equazioni normali e si è determinato infine il valore del parametro  $a = 10^A$ :

$$n = \frac{M \sum (\log t)(\log h) - \sum \log t \sum \log h}{M \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2}$$

$$A = \frac{\sum \log h \sum (\log t)^2 - \sum \log t \sum (\log t)(\log h)}{M \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2}$$

I risultati ottenuti sono stati i seguenti:

Tr (anni)	A	n	a
10	1,499	0,2852474	31,520
20	1,561	0,2777025	36,394
25	1,579	0,2756805	37,940
50	1,630	0,2703032	42,705
200	1,717	0,2623684	52,151
250	1,730	0,2613393	53,667
500	1,766	0,2584659	58,373

Tabella 14 – Determinazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno, stimati con l'approccio VAPI

È possibile dunque stimare i valori delle altezze di pioggia attraverso la seguente legge di potenza:

$$h_{t,T} = a t^n$$

ottenendo dunque i seguenti risultati:

		Tr						
		10	20	25	50	200	250	500
h	1	31,5	36,4	37,9	42,7	52,2	53,7	58,4
	3	43,1	49,4	51,4	57,5	69,6	71,5	77,5
	6	52,5	59,9	62,2	69,3	83,5	85,7	92,8
	12	64,0	72,6	75,3	83,6	100,1	102,7	111,0
	24	78,0	88,0	91,1	100,8	120,1	123,1	132,7

Tabella 15 – Altezze di pioggia (mm) calcolate per diverse durate e diversi periodi di ritorno

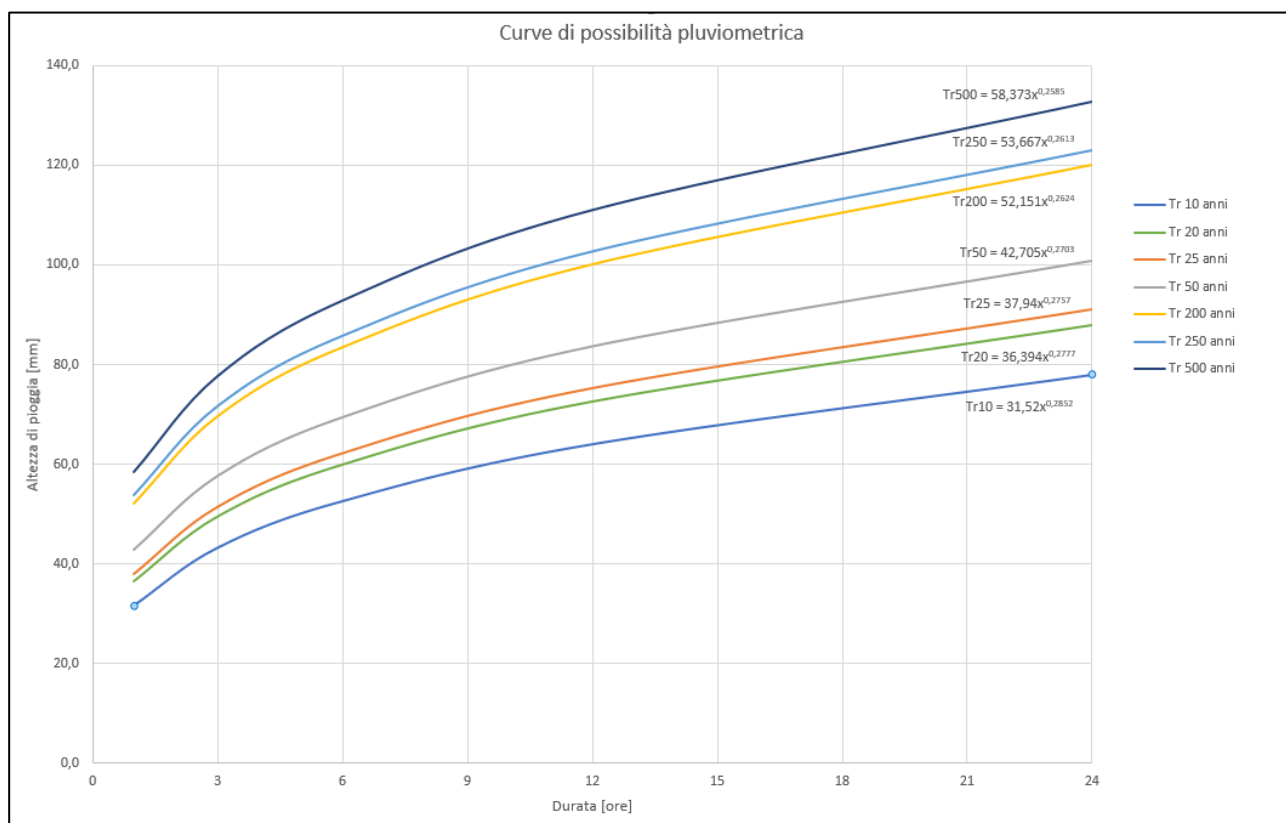


Figura 11 – Curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno stimati con l'approccio VAPI al II livello di regionalizzazione

## 6. MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI ADOTTATO

### 6.1. Stima delle portate al colmo di piena con il Metodo Razionale

Uno dei modelli afflussi – deflussi utilizzabile è sicuramente quello relativo al Metodo Razionale, generalmente utilizzato nel caso di bacini di estensione inferiore a 10 kmq e fondato sulla seguente formula:



$$Q = C \cdot S \cdot a \cdot T_c^{n-1}$$

dove,

$Q$  = portata di progetto [mc/s];

$S$  = sottobacino imbrifero a monte della sezione di chiusura [mq];

$C$  = coefficiente di deflusso medio del sottobacino imbrifero [adimensionale];

$T_c$  = tempo di corrivazione del bacino [sec];

$a$  = parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), funzione del  $T_r$ , coincidente con l'inclinazione della retta di tendenza delle curva su scala logaritmica [mm/(sec <sup>$n$</sup> )]

$n$  = parametro della curva di probabilità pluviometrica (c.p.p.), funzione del  $T_r$ , coincidente con l'intercetta della retta di tendenza della c.p.p. su scala logaritmica [adimensionale].

Il modello adottato assume le seguenti ipotesi:

- Piogge caratterizzate da un tempo di ritorno  $T_r$  generano portate al picco di identico tempo di ritorno  $T_r$ ;
- A parità di tempo di ritorno  $T_r$ , la portata al colmo maggiore è quella determinata dall'evento di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione ( $T_c$ , che diventa quindi tempo critico);
- La portata al colmo  $Q$ , determinata da una pioggia di intensità costante e durata  $T_c$ , è proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata all'area e dell'area del bacino  $S$ , attraverso un coefficiente  $C$  che comprende l'effetto delle perdite per infiltrazione.

Tipologia superficie	$\varphi$
Verde su suolo profondo, prati, orti, superfici agricole	0,10-0,15
Terreno incolto, sterrato non compattato	0,20-0,30
Superfici in ghiaia sciolta – parcheggi drenanti	0,30-0,50
Pavimentazioni in macadam	0,35-0,50
Superfici sterrate compatte	0,50-0,60
Coperture tetti	0,85-1,00
Pavimentazioni in asfalto o cls	0,85-1,00

Figura 12 – Coefficienti di deflusso delle principali tipologie di superfici (Fonte: Ordine Geologi Emilia Romagna)

## 6.2. Stima delle portate al colmo di piena con il modello SCS-Curve Number

Il modello afflussi-deflussi nel caso di sottobacini di estensione superiore a 10 kmq, adotta il modello sviluppato dall'SCS (Soil Conservation Service), secondo il metodo del Curve Number (CN) che permette di determinare la frazione della pioggia totale che in maniera diretta e preponderante contribuisce alla formazione dell'evento di piena, tenendo conto di perdite iniziali costituite da alcuni processi quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno.

La procedura di calcolo che viene prevista dal metodo in trattazione viene illustrata nei seguenti passaggi, sintetizzati per punti:

- Stima del Curve Number, relativo a condizioni di elevata umidità (CN(III)), utilizzando la seguente formula:

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{(0.43 + 0.0057 \cdot CN(II))}$$

dove:

CN(II) = Curve Number, relativo a condizioni di umidità media, desumibile dalla seguente tabella in funzione di diversi tipi di suolo e copertura:

Tipologie di uso del suolo	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Suoli coltivati	62-72	71-81	78-88	81-91
Pascoli	39-68	61-79	74-86	80-89
Prati	30	58	71	78
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	77	83
Boschi e foreste con buona copertura dall'erosione e sottobosco	25	55	70	77
Aree a parco e di fruizione ricreativa:				
- con copertura erbacea superiore al 75%	39	61	74	80
- con copertura erbacea dal 50 al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabili per il 185%)	89	92	94	95
Aree industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali con percentuale media impermeabile:				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi, aree coperte (impermeabili)	98	98	98	98
Strade:				
- asfaltate	98	98	98	98
- inghiaiata	76	85	89	91

Figura 13 – Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura, considerando condizioni di media umidità (CN(II)) (Fonte: "Handbook of Hydrology, D.R. Maidment, 1992)

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Figura 14 – Tipi idrologici di suolo da considerare nella scelta del parametro CN

- Stima del volume specifico di saturazione del terreno con la seguente formula:

$$VS = 25.4 \left( \frac{1000}{CN(III)} - 10 \right)$$

dove,

$VS$  = volume specifico di saturazione del terreno [mm];

$CN(III)$  = parametro numerico precedentemente calcolato.

- Stima della pioggia efficace con la seguente formula:

$$P_e = \frac{(P - 0,2 \cdot VS)^2}{(P + 0,8 \cdot VS)}$$

dove,

$P_e$  = pioggia efficace [mm];

$P$  = pioggia totale [mm], esprimibile sulla base delle curve di probabilità pluviometrica risultanti dall'analisi idrologica e riferibile ad una durata pari al tempo di corrvazione del bacino ( $T_c$ );





VS = volume specifico di saturazione del terreno [mm], precedentemente calcolato.

- Calcolo del tempo di accumulo nel bacino ( $t_a$ ) in ore, in funzione del tempo efficace ( $t_{eff}$ ) in ore e del tempo di ritardo ( $t_r$ ) in ore, usando le seguenti formule:

$$t_a = 0,5 \cdot t_{eff} + t_r$$

$$t_{eff} = T_c \left( 1 - \frac{0,2S}{h_{T_c,T}} \right)$$

$$t_r = 0,6 \cdot T_c$$

dove,

$h_{T_c,T}$  [mm] = altezza di pioggia esprimibile sulla base delle curve di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno ( $T$ ) e del tempo totale di pioggia assunto pari al tempo di corrivazione del bacino ( $T_c$ );

$T_c$  [ore] = tempo di corrivazione del bacino considerato.

- Calcolo dell'idrogramma unitario, usando la seguente formula:

$$Q_p = 0,208 \cdot \frac{P_e \cdot S}{t_a}$$

dove,

$Q_p$  = portata di picco dell'idrogramma unitario [mc/sec\*mm];

$P_e$  = pioggia efficace [mm];

$S$  = estensione del bacino [kmq];

$t_a$  = tempo di accumulo [ore].

- Calcolo della portata al colmo, usando la seguente formula:

$$Q = Q_p * h_{T_c, T}$$

dove,

$Q$  = portata al colmo [mc/s];

$Q_p$  = portata di picco dell'idrogramma unitario [mc/sec\*mm];

$h_{T_c, T}$  = altezza di pioggia calcolata sulla base della curva di probabilità pluviometrica in relazione ad un evento di durata pari al tempo di corrivazione ( $T_c$ ) e di fissato tempo di ritorno ( $T$ ).

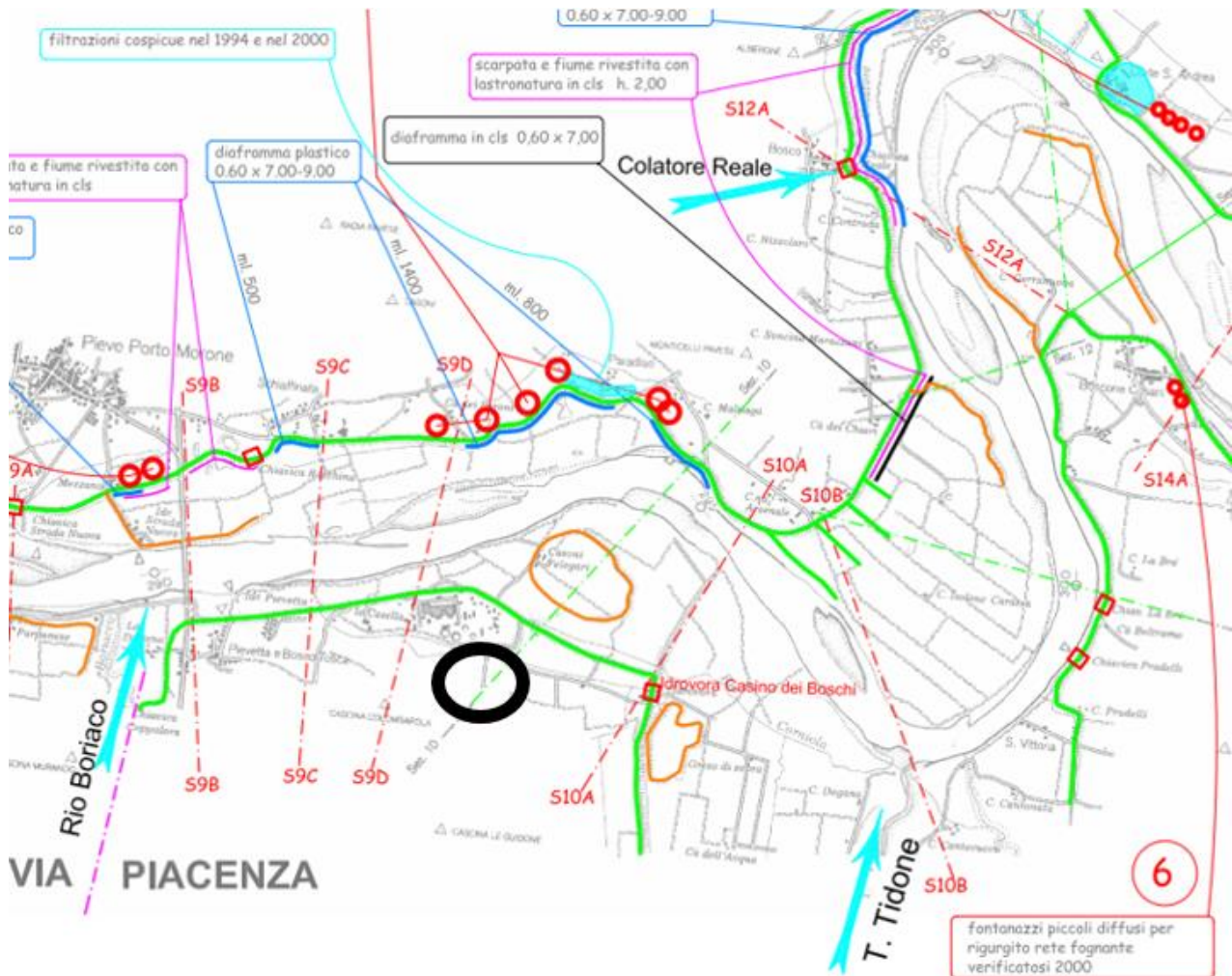
## 7. AREE ESONDABILI

### 7.1. Aree esondabili nel tratto di Asta del Fiume Po

Per quanto riguarda la verifica idraulica delle aree esondabili nel tratto di asta del fiume Po, su richiesta del committente, sono stati presi a riferimento degli studi già fatti, in particolare quelli dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Al seguente link [http://www.adbpo.it/download/atlanti%20del%20Po/Po\\_Catasto\\_Arginature\\_Maestre\\_2004/Po\\_Atlante\\_catasto\\_arginature\\_maestre.pdf](http://www.adbpo.it/download/atlanti%20del%20Po/Po_Catasto_Arginature_Maestre_2004/Po_Atlante_catasto_arginature_maestre.pdf) è possibile consultare il Catasto arginature maestre del fiume Po all'interno del quale sono riportate due distinte tabelle per la rappresentazione dei franchi arginali nelle diverse sezioni rappresentative del fiume Po, in relazione al profilo SIMPO82, al profilo PAI (con tempo di ritorno di 200 anni) e al profilo osservato nella piena dell'ottobre 2000.

La prima tabella è aggiornata al 2004, è stata prodotta nell'ambito dello Studio "Aggiornamento del catasto delle arginature maestre del Po", e riporta il valore del franco rispetto alla quota di sommità arginale rilevata localmente nell'ambito degli interventi di rialzo e ringrosso successivi agli eventi di piena recenti (in tale tabella sono riportate inoltre le quote di sommità del rilievo realizzato nel 1999 dall'AIPO sull'intera asta fluviale).

La seconda tabella riporta il valore del franco rispetto alla quota di sommità arginale rilevata nell'ambito dei nuovi rilievi topografici effettuati nel 2004/2005 da AIPO sull'intera asta del fiume Po, in aggiornamento dei sopracitati rilievi del 1999. In tale tabella, in particolare, per alcune sezioni, non è riportata la quota arginale in quanto nell'ambito del rilievo topografico la sezione è limitata all'alveo inciso e non è stata estesa fino ad intercettare le arginature maestre.



	SEZIONE BRIOSCHI		ZONA DI FILTRAZIONE
	SEZIONE INTERMEDIA		CHIAVICA
	ARGINE MAESTRO		AFFLUENTE
	ARGINE golenale		dettagli sui rivestimenti arginali
	ARGINE maestro in progetto		dettagli sui fontanazzi o su situazioni particolari
	Muro in cls a tenuta idraulica		dettagli sui diaframmi plastici
	DIAFRAMMA in c.a.		dettagli sugli argini golenali
	DIAFRAMMA PLASTICO		dettagli sulle filtrazioni
	DIAFRAMMA PLASTICO IN PROGETTO		dettagli sui diaframmi in cls
	DIAFRAMMA IN PALANCOLE		dettagli sui muri a tenuta idraulica
	RIVESTIMENTO SCARPATE		
	1 Numerazione progressiva fontanazzi o gruppi		
	FONTANAZZO GRANDE		
	FONTANAZZO MEDIO		
	FONTANAZZO PICCOLO		
	FONTANAZZI a circondamento permanente		

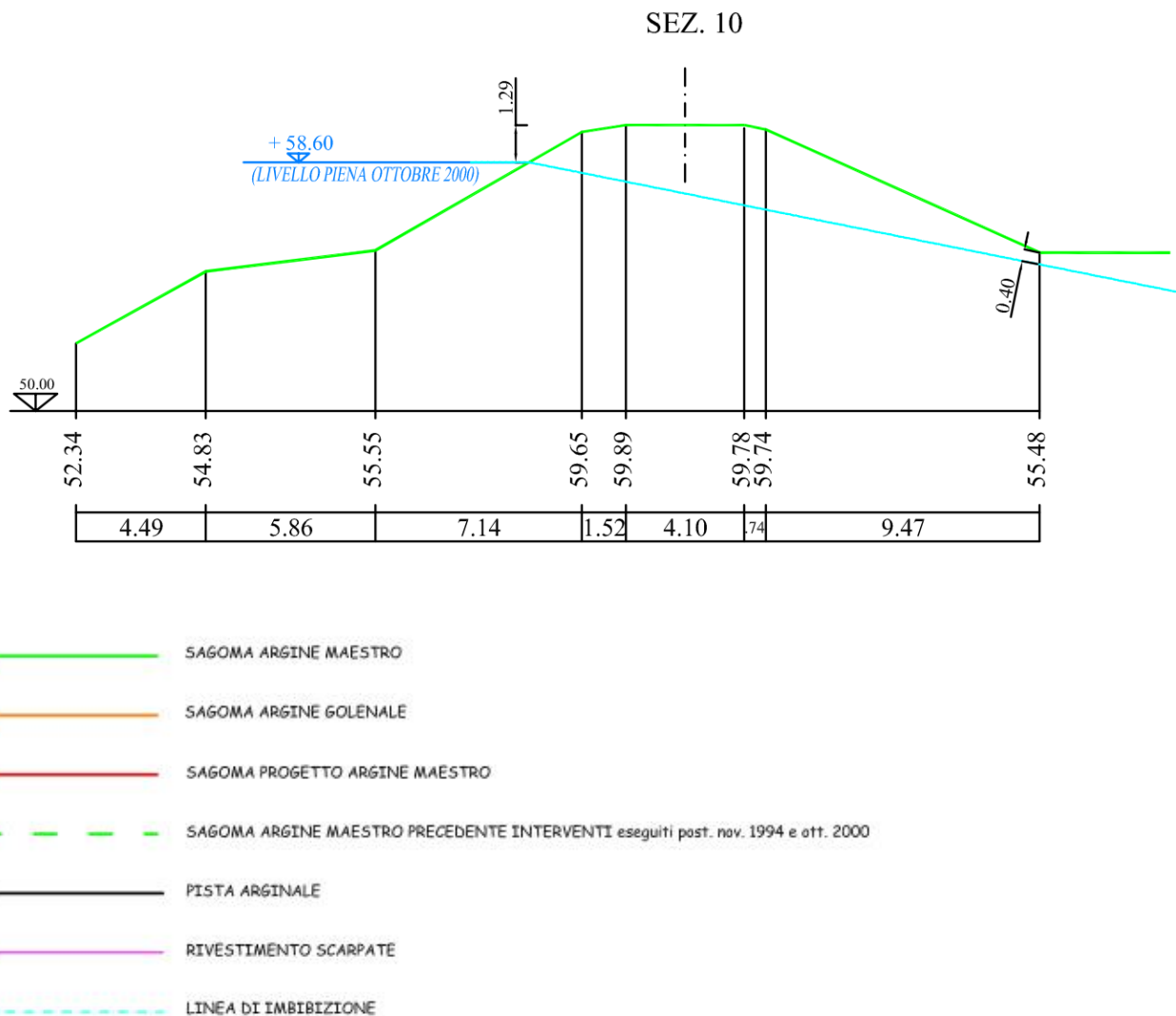
Figura 15 – Inquadramento dell'area di impianto (in nero) sulla Tav.4 dell'Aggiornamento catasto arginature maestre del fiume Po da foce Tanaro all'incile del Po di Goro, Atlante cartografico generale

Viene riportato nel seguente inquadramento il particolare della sezione dell'argine destro del fiume Po (sez. 10), presente all'interno dello studio discusso, nel quale, oltre alla sezione dell'argine, viene rappresentato il livello del tirante idrico raggiunto d'acqua durante l'evento di piena dell'ottobre del 2000 e per un periodo di ritorno di 200 anni.

È stato considerato l'argine destro, poiché l'impianto si trova in destra idraulica rispetto al fiume.

piena  $Tr=200$  anni 59.87

piena SIMPO 82 59.65



N.B. Le quote di piena  $Tr = 200$  anni e Simpo 82, riportate al centro delle varie tavole tra le sezioni in sinistra e destra orografica, sono riferite all'asse dell'alveo.

N.B. In alcune sezioni, troppo ampie per essere contenute nel foglio, le distanze parziali tra i punti sono in scala deformata.

Figura 16 – Sezione dell'argine destro in prossimità dell'area di impianto (sez. 10)

Come si evince dall'inquadramento in questione, l'argine non viene sormontato dalla piena, in quanto viene raggiunto un tirante idrico massimo di 8,60 m e rimane un franco di sicurezza di 1,29 m.

Sulla base di quanto analizzato è ragionevole presumere che l'area di impianto non venga interessata dall'esondazione del fiume Po.



## 7.2. Aree esondabili nel Bacino del Rio Cornaiola e dei Canali di Bonifica

Il Rio Corniola, affluente del Fiume Po, va a chiudersi in corrispondenza di un'asta fluviale ben identificata e si trova a circa 1,3 chilometri dall'area di intervento. La verifica delle aree esondabili è stata effettuata in questa fase sia sul Rio Cornaiola che sui Canali di Bonifica che corrono nei pressi delle Aree di intervento.

## 7.3. SCHEMA DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE E DIMENSIONAMENTO DRENAGGI

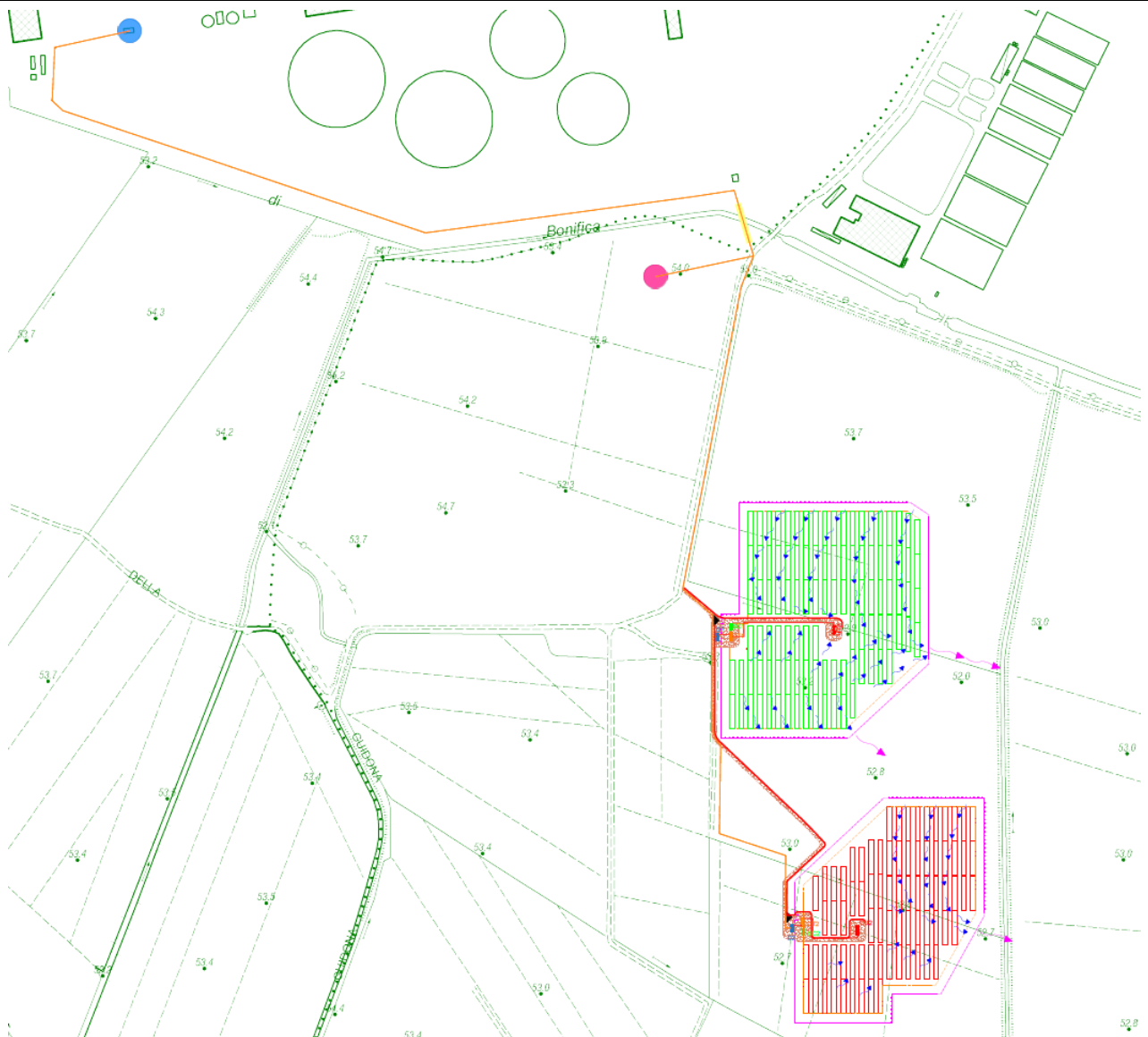
Lo schema di regimazione è stato studiato a partire dalle naturali pendenze delle aree di intervento, sulla base di un rilievo topografico fatto in sito e del sopralluogo in campo: da questa analisi è stato possibile verificare l'esistenza o meno di una rete di drenaggio all'interno delle due aree.

Lo schema di regimazione delle acque ha tenuto presente le basse pendenze che caratterizzano i terreni, pertanto le scelte progettuali sono state effettuate per entrambe le aree:

- considerando le pendenze delle aree e quindi studiando lo schema di regimazione delle acque all'interno delle aree di impianto;
- proteggendo le strade di impianto da deflussi di acqua e ruscellando le acque lontano dall'impianto laddove le pendenze lo permettevano.

Le strutture fotovoltaiche in progetto sono infisse, pertanto, lo schema di regimazione delle acque che viene proposto di seguito è stato elaborato a partire dalle naturali pendenze delle aree di intervento verificando il deflusso naturale delle acque all'interno delle due aree.

Lo schema di regimazione delle acque, determinato a partire dal rilievo topografico, viene riportato nell'immagine che segue:





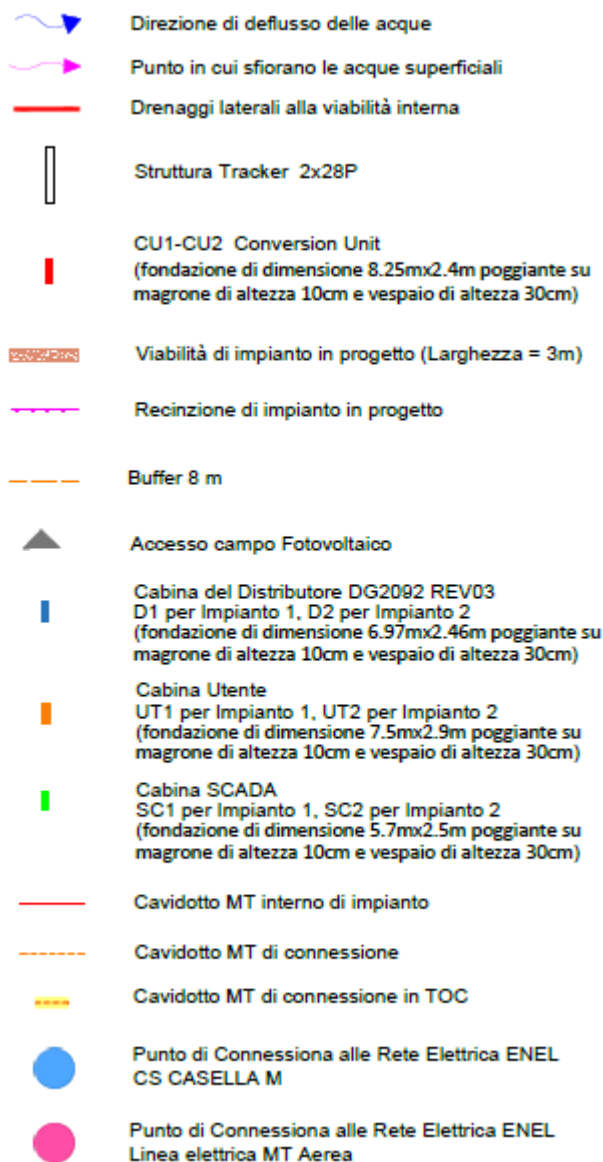


Figura 17 - Stralcio dello schema di regimazione delle acque sovrapposto a layout di impianto su base CTR (Fonte: Elaborato "Schema di regimazione delle acque")

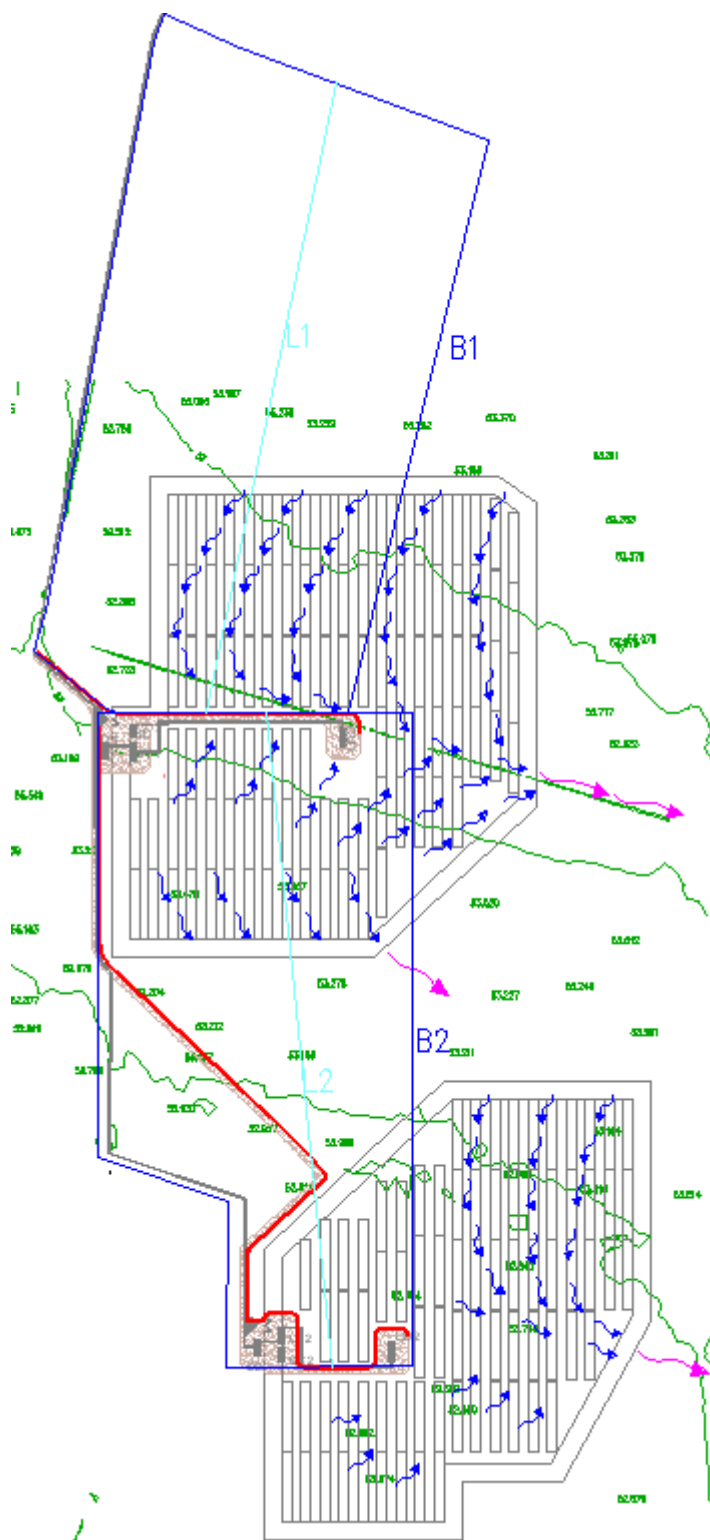
Lungo le strade di impianto verrà invece predisposto un dreno, il cui dimensionamento verrà di seguito calcolato.

Per prima cosa è stata suddivisa l'area di impianto e porzioni di territorio limitrofa ad essa in sottobacini aventi la sezione di chiusura coincidente con le strade stesse per poter calcolare l'afflusso meteorico che dai sottobacini confluisce sulle strade e poter dimensionare il dreno lungo quest'ultime.

Nella fattispecie sono stati considerati due sottobacini aventi le caratteristiche riportate di seguito:



Sottobacino	H sup (m)	H inf (m)	L Asta (m)	Area (mq)
B1	53,262	52,396	285,35	41797,75
B2	53,278	52,684	291,20	35613,64



LEGENDA DEI COLORI E SIMBOLI IN CARTA





















	Direzione di deflusso delle acque
	Punto in cui sfiorano le acque superficiali
	Drenaggi laterali alla viabilità interna
	Struttura Tracker 2x28P
	CU1-CU2 Conversion Unit (fondazione di dimensione 8.25mx2.4m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Viabilità di impianto in progetto (Larghezza = 3m)
	Recinzione di impianto in progetto
	Buffer 8 m
	Accesso campo Fotovoltaico
	Cabina del Distributore DG2092 REV03 D1 per Impianto 1, D2 per Impianto 2 (fondazione di dimensione 6.97mx2.46m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Cabina Utente UT1 per Impianto 1, UT2 per Impianto 2 (fondazione di dimensione 7.5mx2.9m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Cabina SCADA SC1 per Impianto 1, SC2 per Impianto 2 (fondazione di dimensione 5.7mx2.5m poggiante su magrone di altezza 10cm e vespaio di altezza 30cm)
	Cavidotto MT interno di impianto
	Cavidotto MT di connessione
	Cavidotto MT di connessione in TOC
	Punto di Connessione alle Rete Elettrica ENEL CS CASELLA M
	Punto di Connessione alle Rete Elettrica ENEL Linea elettrica MT Aerea
	Sottobacini
	Asta principale
	Curve di livello

Figura 18 – Planimetria del layout di impianto con schema di regimazione delle acque ed individuazione dei sottobacini di interesse

I due sottobacini identificati hanno estensioni contenute che non superano i 10 km<sup>2</sup>, pertanto, il calcolo della portata al colmo potrà essere eseguito utilizzando il *Metodo Razionale*.

Le ipotesi che stanno alla base di tale metodo sono le seguenti:

- Piogge di tempo di ritorno  $T_r$  generano portate al picco di identico tempo di ritorno  $T_r$ ;
- A parità di tempo di ritorno  $T_r$ , la portata al colmo maggiore è quella determinata dall'evento di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$  (che quindi diventa tempo critico);
- La portata al colmo  $Q$ , determinata da una pioggia di intensità costante e durata  $t_c$  è proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia e dell'area del bacino  $A$ , attraverso un coefficiente  $C$  che comprende l'effetto delle perdite per infiltrazione:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

dove

- Q=portata al colmo [m<sup>3</sup>/s];
- A=estensione del bacino [ha];
- i=intensità di pioggia [mm/h];
- C=coefficiente di deflusso adimensionale.

Il coefficiente di deflusso adimensionale risulta tabellato in funzione della superficie scolante:

Tipologia	coeff. di deflusso
Superfici agricole, prati, verde su suolo profondo	0,10-0,15
Terreni incolti o sterrati non compatti	0,20-0,30
Superfici inghiaiate	0,30-0,50
Sterrato compatto	0,50-0,60
Copertura di tetti, superfici asfaltate	0,85-1,00

Tabella 16: Valori del coefficiente di deflusso in funzione delle caratteristiche della superficie

Nella fattispecie, considerata la natura agricola dei suoli si può considerare un coefficiente di deflusso compreso tra 0,1 e 0,15, quindi pari a 0,125.

- Tempo di corrivazione:

Nel metodo razionale, il tempo di corrivazione del bacino coincide con il tempo di durata della pioggia. Tale parametro indica il tempo che impiega una goccia d'acqua dal punto idraulicamente più svantaggiato a raggiungere la sezione di chiusura del bacino. L'equazione utilizzata per ricavare tale dato è quella di Kirpich:

$$t_c = 0.000325 \cdot L^{0.77} \cdot S^{-0.385} \text{ [ore]}$$

dove

- t<sub>c</sub>= tempo di corrivazione (in ore): per ottenere il valore in minuti, sarà necessario semplicemente moltiplicare il risultato ottenuto per 60 minuti;

- L= lunghezza asta principale (espressa in km) percorsa dalla goccia d'acqua idraulicamente più svantaggiata fino alla sezione di chiusura e quindi al recapito finale (canale di drenaggio);
- S= pendenza media del bacino.

- Intensità di pioggia:

I valori di intensità di pioggia sono stati ricavati attraverso la formula monomia, in funzione del tempo di ritorno considerato (25 anni), del tempo di durata di pioggia noto e dei valori di altezza di pioggia riportati nel presente studio idrologico:

$$i = \frac{h}{tc} [\text{mm/h}]$$

dove

- i= intensità di pioggia in mm/h;
- h= altezza di precipitazione in mm;
- tc= tempo in ora.

Nella trattazione a seguire, a vantaggio di sicurezza le altezze di pioggia considerate nel predimensionamento della rete di drenaggio, si riferiscono a quelle ricavate secondo l'approccio VAPI al secondo livello di regionalizzazione, riferite al tempo di ritorno di 25 anni.

		Tr						
		10	20	<b>25</b>	50	200	250	500
h	1	31,5	36,4	<b>37,9</b>	42,7	52,2	53,7	58,4
	3	43,1	49,4	<b>51,4</b>	57,5	69,6	71,5	77,5
	6	52,5	59,9	<b>62,2</b>	69,3	83,5	85,7	92,8
	12	64,0	72,6	<b>75,3</b>	83,6	100,1	102,7	111,0
	24	78,0	88,0	<b>91,1</b>	100,8	120,1	123,1	132,7

Tabella 17 – Altezze di pioggia (mm) calcolate per diverse durate e diversi periodi di ritorno

Dal momento che il tempo di corrvazione è dell'ordine dei minuti, è necessario determinare le altezze di pioggia per tempi inferiore all'ora.

Per eventi brevi, ( $t < 60$  minuti) le curve di possibilità pluviometrica ottenute elaborando dati di pioggia con durata maggiore o uguale a 1 ora, non danno valori affidabili; i valori ottenuti risultano essere sovrastimati rispetto a quelli che effettivamente si possono verificare. Inoltre, le stazioni pluviometriche analizzate non permettono di effettuare un'analisi statistica significativa delle misure di pioggia di durata inferiore all'ora.

È noto da letteratura [Bell, 1969] che i rapporti tra le altezze di durata ( $r\delta$ ) molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località.

Bell ha elaborato una formula valida per piogge di durata inferiore ai 60 minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0,54 \cdot t^{0,25} - 0,50$$

Questa formula consente di calcolare l'altezza di pioggia di durata inferiore ai 60 minuti e tempo di ritorno a partire dal valore di  $h_{60,T}$  ottenuto dalla curva di probabilità pluviometrica relativa allo stesso tempo di ritorno T.

Durata [min]	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r\delta$	0,04	0,142	0,211	0,264	0,307	0,460	0,563	0,764	0,899

Tabella 18 – Coefficienti riduttivi determinati tramite la formula di Bell

Inoltre, il coefficiente riduttivo può essere assunto sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare i pluviografi di Milano Monviso e Roma Macao (riportati in “Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione” del Centro Studi Deflussi Urbani – HOEPLI ed.):

MILANO MONVISO									
Durata [min]	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r\delta$	0,13	0,18	0,229	0,272	0,322	0,489	0,601	0,811	0,913

Tabella 19 – Coefficienti riduttivi del pluviografo di Milano Monviso (Piga et al. 1990)

ROMA MACAO											
Durata [min]	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	45
rδ	-	-	-	-	0,278	0,435	0,537	0,811	0,913	0,758	-

Tabella 20 – Coefficienti riduttivi del pluviografo di Roma Macao (Calenda et al. 1993)



Data la sostanziale congruenza dei valori di  $r\delta$  ricavati per le due stazioni e sulla base del calcolo effettuato tramite la formula di Bell, sono stati utilizzati coefficienti riduttivi ottenuti come media dei precedenti e riportati nella tabella che segue:

Durata [min]	1	2	3	4	5	10	15	20	25	30	45
$r\delta$	0,085	0,161	0,220	0,268	0,302	0,461	0,567	0,811	0,913	0,778	0,906

Tabella 21 – Coefficienti riduttivi di calcolo per precipitazioni di durata inferiore all'ora

Per ottenere il valore di altezza di pioggia riferito al tempo di corrivazione  $t_c$  inferiore all'ora, verrà moltiplicato il valore dell'altezza di pioggia [mm] relativo ad una durata di 1 ora e riferito ad un tempo di ritorno  $Tr=25$  anni (che nel caso in questione risulta essere pari a 37,9 mm) per il fattore di conversione riportato in forma tabellare, pari a 0,461 per la pioggia di durata di 10 minuti e 0,567 per la pioggia di durata di 15 minuti, essendo  $t_c$  compreso in questo intervallo di tempo per quanto riguarda il sottobacino B1.

Tr	24 ora	1 ore	30 min	15 min	10 min
10					
25				21,49	17,49
50					
200					

Per quanto riguarda invece il sottobacino B2, essendo  $t_c$  pari a 16,72 min è stato considerato l'intervallo 20-15 min.

Tr	24 ora	1 ore	30 min	20 min	15 min
10					
25				30,74	21,49
50					
200					

La verifica viene condotta confrontando per ogni dreno, il valore di portata proveniente dal calcolo del Metodo Razionale, con il valore di portata ricavato dall'equazione di continuità di Manning, considerando il materiale di finitura e le caratteristiche geometriche della sezione idraulica del canale, per una capacità di riempimento della stessa dell'80%:

$$Q = A_m \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \sqrt{i}$$

con R raggio idraulico così definito:



$$R = \frac{A_m}{P_m}$$

- Q=portata del canale in m<sup>3</sup>/s;
- A<sub>m</sub>=area bagnata in m<sup>2</sup>;
- n=coefficiente di resistenza di Manning in (s / m<sup>1/3</sup>);
- i=pendenza longitudinale del dreno

Le assunzioni alla base delle procedure di calcolo e di verifica dei drenaggi a servizio dell'area di impianto sono:

- Sezioni di forma trapezoidale;
- Sezioni in terra senza rivestimento e ben mantenute, per le quali si assume il coefficiente di manning pari a 0.022 s / m<sup>1/3</sup>.

con ks pari a 1/n.

Scegliendo un tipologico di dreno avente la geometria riportata nella seguente sezione (dalla specifica tecnica ENEL S.25.XX.P.10000.12.001.05, la dimensione della sezione non può essere minore di 0.3 mq) e svolgendo i calcoli i cui risultati vengono riportati nella tabella in basso, è possibile osservare che la verifica risulta soddisfatta, essendo la portata che riesce a convogliare il dreno, maggiore di quella che affluisce dai sottobacini in ambo i casi.

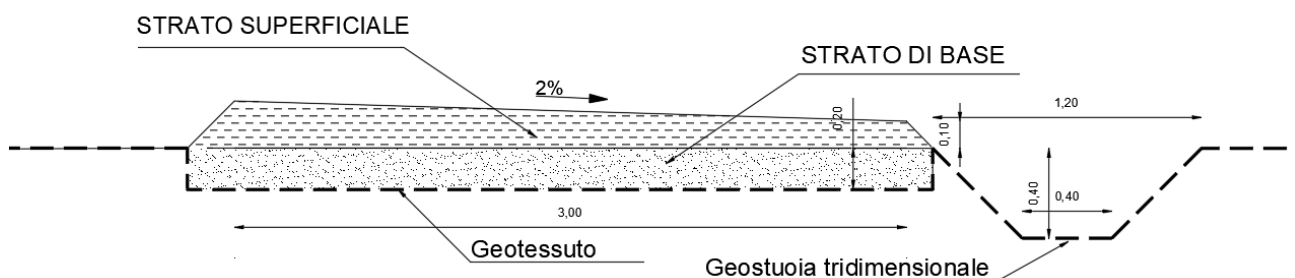


Figura 19 – Caratteristiche geometriche sezione del dreno



Vengono di seguito riportate le caratteristiche idrauliche del dreno in questione.

Am	Pm	R
0.25	1.37	0.18

Sottobacino	S (%)	T <sub>c</sub> (min)	i (mm/min)	n	ks	Q (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>dreno</sub> (m <sup>3</sup> /s)
B1	0,3	14.12	88.28	0.022	45,45	0.128	0.2
B2	0,2	16,72	88,52	0,022	45,45	0,109	0,17

Inoltre, è stata eseguita la verifica sulla velocità media del singolo dreno, che per dreni in terra senza alcun rivestimento deve essere < di 0.90 m/s (per litotipi prevalentemente limosi), rapportando la portata all'area bagnata, ottenendo dei valori di Vm pari rispettivamente a 0,8 e 0,68 m/s.

Volendosi riferire al tempo di ritorno di 10 anni per il dimensionamento dei drenaggi, come richiesto da specifica ENEL, considerati i risultati ottenuti in precedenza, le verifiche in riferimento alla portata convogliata da ogni singolo dreno, e relativamente alle velocità risulterebbero comunque soddisfatte.

Il drenaggio viene collettato al canale di bonifica esistente (vedi Schema di regimazione delle acque). L'ente gestore della rete di bonifica è il Consorzio di bonifica di Piacenza, il quale ha confermato la non sussistenza di regolamento.

Risulta importante evidenziare il fatto che l'intervento in progetto non altera e ne compromette la permeabilità dei terreni, inoltre allo stato attuale, il deflusso meteorico, seguendo le naturali pendenze dell'area va comunque ad essere convogliato nel canale di bonifica, per cui lo stato ante operam va a coincidere col post operam con l'unica differenza che a seguito dell'intervento in progetto, una quota parte delle acque, viene convogliata dal sistema di drenaggio dell'impianto nella rete consortile. Quanto precedentemente argomentato è supportato dalla verifica preliminare di seguito riportata e riferita allo stato di fatto e stato di progetto:

#### Stato di fatto

Con riferimento ad un tempo di ritorno di 50 anni, è stata calcolata la portata del sottobacino allo stato attuale (B3), considerando la porzione di superficie compresa tra la viabilità esistente ed il canale di bonifica (sezione di chiusura).

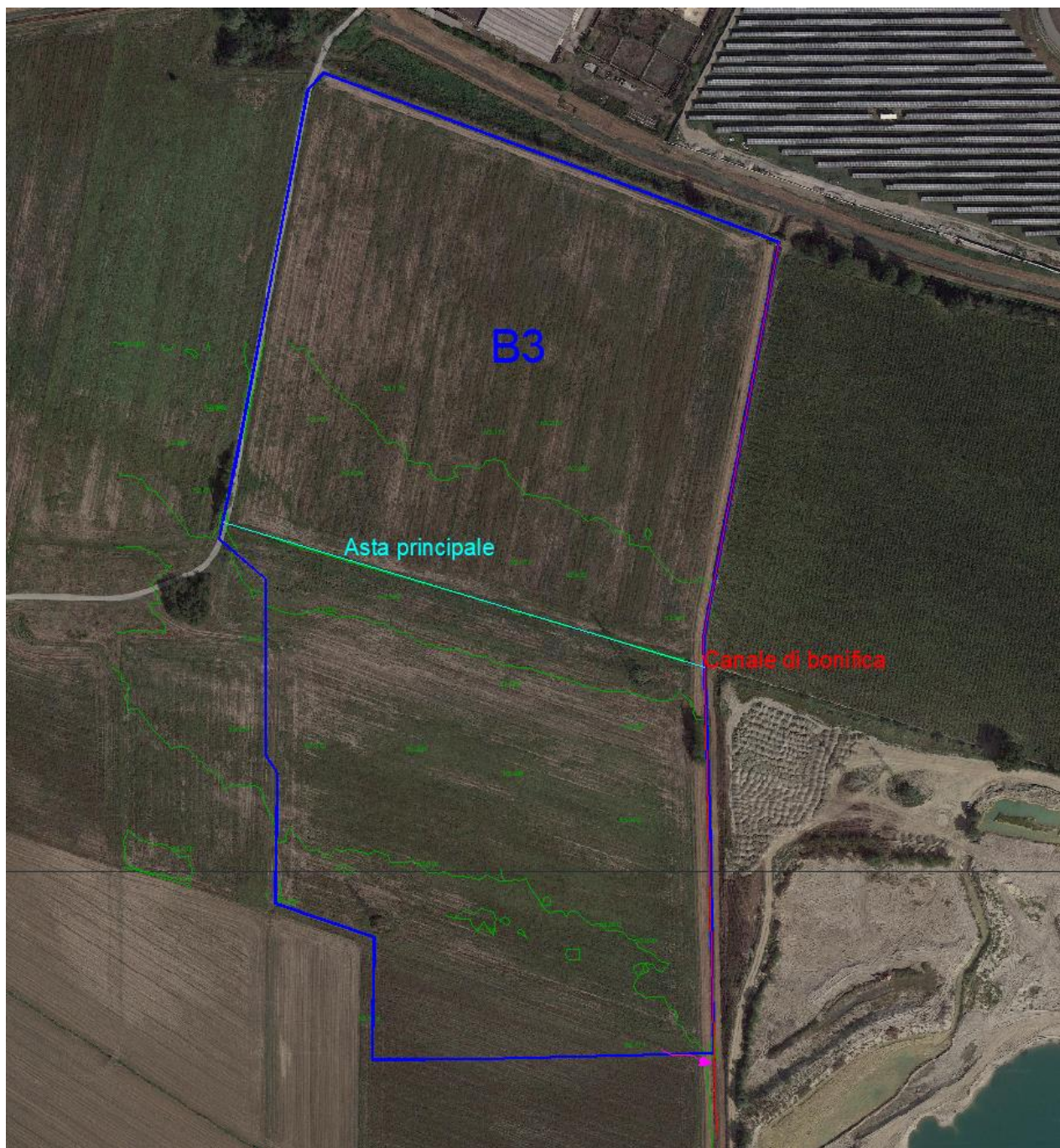


Figura 20 – Planimetria del layout di impianto con schema di regimazione delle acque ed individuazione del sottobacino allo stato attuale

Sottobacino	H sup (m)	H inf (m)	L Asta (m)	Area (mq)
B3	53,278	52,396	305,88	150435,60

Applicando la formula del metodo razionale, è stata ricavata una portata per il sottobacino B3 pari a  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$  corrispondente a 700 l/s.



Sottobacino	S	Tc (min)	i (mm/min)	n	ks	Q (m <sup>3</sup> /s)
<b>B3</b>	0,0028	15.19	135.05	0.022	45,45	0.7

Allo stato attuale, la portata affluente al canale di bonifica, considerando l'area del sottobacino B3, risulta pari a 46,54 l/s/ha.

#### Stato di progetto

Al tempo di ritorno di 50 anni le portate che confluirebbero nelle opere di regimazione in progetto sarebbero pari a circa 0.144 (m<sup>3</sup>/s) pari a circa 144 l/s per il sottobacino B1 e pari a 0.123 (m<sup>3</sup>/s) pari a circa 123 l/s per il sottobacino B2.

Sottobacino	Area (mq)
<b>B1</b>	41797,75
<b>B2</b>	35613,64

Ne consegue una portata totale pari a 267 l/s che rapportata alla somma dei sottobacini (B1+B2) risulta pari a circa 34.5 l/s/ha

In conclusione, analizzato lo stato attuale e lo stato di progetto, il contributo del bacino che confluisce nel canale di bonifica, considerando la portata e l'area di estensione, risulta maggiore allo stato attuale.

Quota parte della portata dell'area considerata sarà collettata tramite i drenaggi opportunamente dimensionati e scaricata nel canale di bonifica esistente.

## **8. COMPATIBILITA' DELLE OPERE PROPOSTE CON GLI STRUMENTI URBANISTICI**

La consultazione del PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, è stato approvato con DPCM 24 Maggio 2001 e individua, all'interno dell'ambito territoriale di riferimento, le aree interessate da fenomeni di dissesto idraulico e idrogeologico secondo diverse tipologie di fenomeni prevalenti, come frane, esondazione e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua, trasporto di massa su conoidi e valanghe. Più specificatamente, nell'ambito del Comune di Sarmato, vengono definite le fasce lungo il corso del fiume Po tracciate sulla base del grado di pericolosità derivante dal verificarsi della piena di riferimento.

In particolare, l'area di intervento risulta ricadere nella "Fascia C di inondazione per piena





catastrofica” che risulta essere più gravosa rispetto a quella di riferimento (con tempo di ritorno pari a 500 anni o la massima piena registrata): in essa il PAI persegue l’obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli Enti competenti di programmi di previsione e prevenzione.

Il PAI prevale sugli strumenti di pianificazione di livello inferiore e gli enti territoriali (Province e Comuni) sono conseguentemente tenuti ad attuare il Piano nel settore di competenza: per quanto concerne i contenuti tecnici, infatti, l’adeguamento degli strumenti urbanistici deve necessariamente riferirsi a tutti gli strumenti di pianificazione sovraordinati, come nel caso del PTCP. Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale è infatti riconosciuto dall’ AdB come il principale strumento di attuazione del PAI e a quest’ultimo è stato adeguato nel 2010.

L’Autorità di Bacino del Fiume Po ha emanato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), approvato il 3 Marzo 2016: dalla consultazione della cartografia allegata risultano due scenari ben distinti, relativi rispettivamente al Reticolo Principale e Secondario Collinare Montano (RP\_RSCM) e al Reticolo Secondario Pianura (RSP). L’area di intervento viene interessata da entrambi gli ambiti territoriali, ma con livelli di rischio differenti: infatti, per l’RP\_RSCM essa ricade nel livello di pericolosità P1 “Aree allagabili – Scenario raro, Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L=Low)” mentre per l’RSP ricade nel livello di pericolosità P2 “Aree allagabili – Scenario poco frequente, Media probabilità di alluvioni (M=Medium)”.

Per quanto concerne le disposizioni attuative, per il Reticolo secondario collinare montano (RSCM), l’area di intervento ricade in aree a pericolosità P1 che vengono regolamentate dall’art. 13 delle Norme Tecniche del PTCP il quale, per gli impianti di produzione, subordina gli interventi a verifica di accettabilità del rischio idraulico, ai sensi dei commi 10 e 11 dell’art. 10, riportati testualmente di seguito:

Comma 10. ***Il Comune procede ad una valutazione delle condizioni di rischio idraulico locale***, secondo i criteri e i contenuti indicati al successivo comma 11, nei seguenti casi:

- a. qualora sia necessario procedere ad una verifica di sicurezza degli insediamenti esistenti;
- b. in sede di redazione dei piani e dei programmi di protezione civile;
- c. nell’ambito della formazione e adozione del PSC o della variante di adeguamento al presente Piano, d’intesa con la Provincia, nelle fattispecie previste dai successivi articoli in cui tale valutazione costituisce una condizione per la pianificazione e attuazione di interventi altrimenti non ammessi;

Comma 11. La valutazione di cui al precedente comma 10 deve essere effettuata secondo i criteri definiti dalle direttive di settore, in particolare dalla deliberazione della Giunta Regionale n.126/2002 e dalla deliberazione del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Fiume Po n.



16/2003, come coordinati e specificati dalle Linee Guida approvate dalla Giunta provinciale. La valutazione deve considerare tutte le informazioni reperibili presso gli Enti a vario titolo competenti, con riguardo ai dati relativi alle opere di difesa esistenti, al loro stato di adeguatezza e agli interventi idraulici programmati per la difesa del territorio, e deve concludersi con l'indicazione delle misure, a carattere strutturale e non strutturale, necessarie alla mitigazione degli impatti. Per le misure strutturali dovrà essere indicato il soggetto attuatore, per quelle non strutturali dovranno essere previsti opportuni adeguamenti dei piani e dei programmi di protezione civile. Devono essere individuati i necessari accorgimenti tecnico-costruttivi da assumere quali condizioni per garantire la compatibilità degli interventi di trasformazione urbanistica.

Per quanto concerne il Reticolo Secondario di Pianura (RSP), il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è stato di tipo storico-inventariale e si è basato sugli effetti di eventi avvenuti generalmente negli ultimi 20-30 anni in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni di pericolosità connesse con l'attuale assetto del reticolo di bonifica e del territorio.

La mitigazione delle condizioni di rischio per il patrimonio edilizio esistente si fonda su azioni di protezione civile ed eventualmente di autoprotezione e di protezione passiva: in relazione alle caratteristiche di pericolosità e rischio descritte, laddove negli strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica non siano già vigenti norme equivalenti, si deve garantire l'applicazione:

- a) di misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, anche ai fini della tutela della vita umana;
- b) di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

## 9. CONCLUSIONI

Sulla scorta di quanto illustrato nel presente studio è possibile affermare che l'area di progetto ricade in sottobacini idrografici per i quali è possibile stimare afflussi meteorici corrispondenti a diversi tempi di ritorno sulla base di un campione di dati pluviometrici statisticamente significativo, costituito in particolare da serie storiche riferite ad eventi di massima intensità e di durata pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore, disponibili con riferimento ad un periodo compreso tra il 1943 ed il 2017 in 5 stazioni (Pianello Val Tidone, Bobbiano, San Nicolò, Piacenza Urbana, Sarmato) le quali risultano essere rappresentative del sottobacino idrografico di interesse.

Risulta importante evidenziare il fatto che l'intervento in progetto non altera e ne compromette la permeabilità dei terreni, inoltre allo stato attuale, il deflusso meteorico, seguendo le naturali pendenze dell'area va comunque ad essere convogliato nel canale di bonifica, per cui lo stato ante



ENEL CODE

**GRE.EEC.R.21.IT.P.12082.00.122.02**

PAGE

57 di/of 57

operam va a coincidere col post operam con l'unica differenza che a seguito dell'intervento in progetto, una quota parte delle acque, viene convogliata dal sistema di drenaggio dell'impianto nella rete consortile.

Per quanto riguarda la verifica idraulica delle aree esondabili nel tratto di asta del fiume Po, su richiesta del committente, sono stati presi a riferimento degli studi già fatti, in particolare quelli dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. È stato consultato il Catasto arginature maestre del fiume Po all'interno del quale sono riportate due distinte tabelle per la rappresentazione dei franchi arginali nelle diverse sezioni rappresentative del fiume Po, in relazione al profilo SIMPO82, al profilo PAI (con tempo di ritorno di 200 anni) e al profilo osservato nella piena dell'ottobre 2000.

Dati e strumenti offerti nel presente studio e che costituiscono un predimensionamento dei canali di drenaggio dovranno essere opportunamente revisionati in una successiva fase esecutiva, al fine di verificare l'eventuale insorgere di fenomeni erosivi o di ristagno dell'acqua drenata all'interno del sito di progetto (in termini di altezze idrauliche e velocità dei deflussi), anche a seguito di un rilievo planoaltimetrico da eseguire nell'ambito della progettazione esecutiva, a valle della pulizia dell'area.

La consultazione del PAI e degli strumenti urbanistici comunali ha permesso di evidenziare che l'area di intervento non ricade in aree a rischio idraulico, pertanto le aree immediatamente limitrofe all'area di impianto non risultano essere soggette a prescrizioni normative in tal senso. Inoltre, gli interventi oggetto della presente trattazione non risultano essere in contrasto con quanto previsto dalle prescrizioni indicate negli strumenti urbanistici.

Il Tecnico

Ing. Leonardo Sblendido