

# PROGETTO DELLA CENTRALE SOLARE

## "Energia del Panaro"

da 83,2 MWp - Finale Emilia (MO)



ENRICO TOMMASEL  
13.01.2026 11:05:04  
GMT+01:00

# GR05

## PROGETTO DEFINITIVO

## STUDIO IDROLOGICO E DI INVARIANZA IDRAULICA



### Proponente

**ENGIE FINALE EMILIA S.r.l.**

Via Chiese, 72, 20126 Milano MI



### Progetto dell'inserimento paesaggistico e mitigazione

*Coordinamento alla progettazione:* Dott. Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi,  
Arch. Alessandro Visalli, Arch. Riccardo Festa

*Progettisti:* Arch. Paola Ferraioli, Arch. Anna Manzo

*Collaboratori:* Dott. Carmine Perna, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,  
Dott. Agr. Francesco Palombo, Dott. Agr. Vincenzo Meola  
Urb. Patrizia Ruggiero, Arch. Ilaria Garzillo, Marco Chezzi



**AEDES GROUP**  
ENGINEERING

### Progettazione elettrica e civile

*Progettisti:* Ing. Rolando Roberto, Ing. Giselle Roberto

*Collaboratori:* Ing. Giuseppe Fava, Ing. Filippo Angarano,  
Ing. Karim Ait Hamd, Ing. Marco Balzano,  
Ing. Simone Bonacini



**MARE  
RINNOVABILI**

### Progettazione mandorleto superintensivo

*Progettisti:* Dott. Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,  
Dott. Agr. Francesco Palombo

### Consulenza geologica

Geol. Gaetano Ciccarelli

### Consulenza archeologica

GeA Archeologia Preventiva

### Consulenza agronomica

iGreen System, Imola



01 ● 2026

rev	descrizione	formato	elaborazione	controllo	approvazione
00					
01					
02					
03	Risposta osservazioni Arpae	A4	Ing. Claudio Grillo	Gaetano Ciccarelli	Fabrizio Cembalo Sambiasi
04					
05					
06					
07					

## **SOMMARIO**

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3	VERIFICA DI COMPATIBILITA' CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI .....	5
3.1	Pianificazione di Assetto Idrogeologico .....	7
3.2	Piano di Gestione del Rischio Alluvione .....	9
3.3	Vincolo Idraulico .....	15
3.4	Zone di Tutela Paesistico-Ambientali .....	17
4	STUDIO IDROLOGICO .....	20
5	INVARIANZA IDRAULICA .....	26
6	CONCLUSIONI.....	34

## **1 PREMESSA**

La presente relazione idrologico-idraulica è redatta nell'ambito della progettazione di un impianto agrivoltaico localizzato nel comune di Finale Emilia, in provincia di Modena. L'obiettivo primario è la valutazione approfondita delle condizioni idrologiche e idrauliche dell'area di intervento e del contesto territoriale limitrofo, al fine di garantire la compatibilità dell'opera con il regime idraulico esistente e di minimizzare ogni potenziale impatto negativo.

L'analisi sarà condotta in accordo con le direttive e le normative vigenti a livello nazionale e regionale, con particolare riferimento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Emilia-Romagna. L'elaborazione dei dati pluviometrici consentirà di definire le curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno analizzati.

Verrà effettuata un'analisi di invarianza idraulica, in linea con le normative regionali e con i principi di una corretta gestione del territorio. L'intervento proposto dovrà essere progettato in modo tale da non aggravare le condizioni di deflusso a valle in termini di portate massime scaricate nei corpi idrici recettori. A tal fine, verranno attentamente valutati gli effetti dell'impermeabilizzazione indotta dalla realizzazione dell'impianto agrivoltaico (strutture di sostegno dei pannelli, eventuali viabilità di servizio e cabine tecnologiche). Qualora necessario, saranno dimensionate e progettate opportune opere di mitigazione, quali sistemi di drenaggio, vasche di laminazione o altre soluzioni tecniche atte a garantire il rispetto del principio dell'invarianza idraulica. L'obiettivo è quello di minimizzare l'impatto delle nuove opere sul regime dei deflussi superficiali, assicurando che le portate scaricate dall'area di intervento, a seguito della sua trasformazione, non superino quelle preesistenti per i medesimi eventi meteorici di riferimento.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area oggetto di studio è rappresentata dal comune di Finale Emilia (MO).

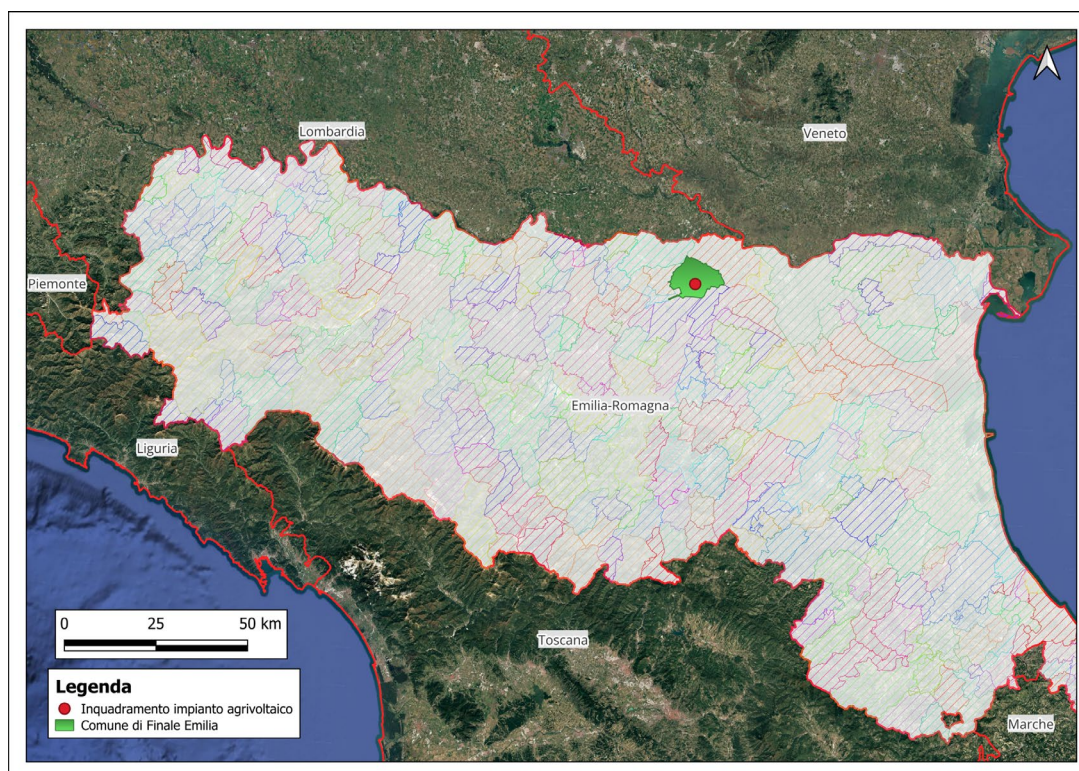


Figura 1 – Inquadramento impianto agrivoltaico

A livello idraulico, l'area ricade nel bacino del fiume Po e viene attraversata dal fiume Panaro, oltre che da fossi e canali artificiali.





### 3 VERIFICA DI COMPATIBILITA' CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 7 distretti idrografici, in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Figura 4 – Suddivisione territoriale dei distretti

L'intervento in questione ricade, secondo la Direttiva 2000/60/CE, nel Distretto Idrografico della regione Emilia-Romagna.

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame.

Il rapporto fra PAI e PGRA è chiarito nella "Variante di coordinamento tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico" come segue:

*Per quanto attiene, in particolare, al rapporto tra i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) e il PGRA questo è particolarmente stretto, essendo caratterizzato innanzitutto dalla condivisione dei dati sui quali si basano i rispettivi quadri conoscitivi, come pure dalla*

*condivisione dei contenuti normativi e di programmazione degli interventi per la riduzione del rischio idraulico dei PAI, che strutturano la parte del PGRA relativa agli obiettivi e alle misure di prevenzione e di protezione.*

*Le mappe di pericolosità e di rischio del PGRA, infatti, sono state realizzate sulla base del patrimonio dei dati di base del PAI, e molte delle misure che sono attualmente vigenti nei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), o derivate da questi ultimi, sono confluite nel PGRA.*

*Il PAI, nell'impianto normativo nazionale e regionale, quindi continua a rappresentare, per quanto riguarda la gestione del rischio idraulico, lo strumento di pianificazione territoriale, di riferimento principale per la pianificazione d'area vasta e per quella urbanistica.*

*In sintesi, le norme d'uso del territorio riguardanti l'assetto idraulico e idrogeologico e gli interventi prioritari per la mitigazione del rischio contenuti nei PAI costituiscono il quadro di azioni di riferimento per la parte di PGRA che si occupa del tempo differito, con particolare riferimento alle misure di prevenzione e di protezione.*

*La strategia elaborata nel PGRA ha consentito di sviluppare contenuti nuovi che diventeranno elementi di aggiornamento dei PAI; a tal fine le misure M24\_2 e M24\_3 prevedono modifiche e integrazioni ai PAI, attraverso apposite varianti, in modo tale che il PAI risulti armoniosamente inserito nel ciclo di gestione del rischio insieme agli altri strumenti e alle altre azioni esistenti o dei quali è previsto lo sviluppo. La gestione del rischio è attuata tramite strumenti diversi, fra i quali i PAI, i programmi degli interventi e i piani di protezione civile, che il PGRA, piano strategico, mira ad integrare efficacemente fra loro e a livello di distretto.*

Si evince pertanto che il PGRA, avendo recepito e attualizzato la perimetrazione definita dal PAI, si configuri come il Piano più aggiornato tra i due. Per completezza, però, verrà esposta anche la perimetrazione di pericolosità di quest'ultimo.

### **3.1 Pianificazione di Assetto Idrogeologico**

Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI costituisce uno strumento pianificatorio dinamico in quanto l'assetto idrogeologico e le sue caratteristiche fisiche ed ambientali sono soggette ad un continuo processo evolutivo caratterizzato sia da mutamenti che si esplicano nel lungo periodo, legati alla naturale evoluzione idrogeologica del territorio, sia da alterazioni e/o cambiamenti repentini dovuti al verificarsi di eventi di dissesto ovvero conseguenti alle trasformazioni antropiche dei luoghi. In questo progressivo sviluppo del Piano è preponderante l'attività di approfondimento e affinamento delle conoscenze dell'assetto idrogeologico che si esplica attraverso analisi e studi comunali di maggior dettaglio.

Il PAI individua tre zone caratterizzate dal poter essere interessate da eventi di alluvione corrispondenti ad uno dei tre livelli di pericolosità:

- *piene dei corsi d'acqua maggiori con tempo di ritorno 30 anni (zone A)*
- *piene dei corsi d'acqua maggiori con tempo di ritorno 200 anni, oppure esondazioni più frequenti ma di minore entità quali quelle derivanti dal reticolo di bonifica o dai corsi d'acqua minori (zone B)*
- *piene di entità catastrofica corrispondenti a tempi di ritorno di 500 anni dai corsi d'acqua maggiori (zone C)*

*Nelle zone A, che rappresentano aree molto pericolose e nelle quali le attività antropiche "fisse" non sono compatibili con la dinamica dei corsi d'acqua, è vietata l'edificazione e si deve tendere a disincentivare la localizzazione di ogni attività che comporti un'occupazione permanente del territorio.*



*Nelle zone di tipo C, che verosimilmente potranno essere interessate da alluvioni solo in presenza di eventi del tutto eccezionali, occorre che si sappia come intervenire nel caso tali calamità si verificano, e quindi devono essere predisposti piani di protezione civile che, a fortiori, si estendono anche alle zone A e B.*

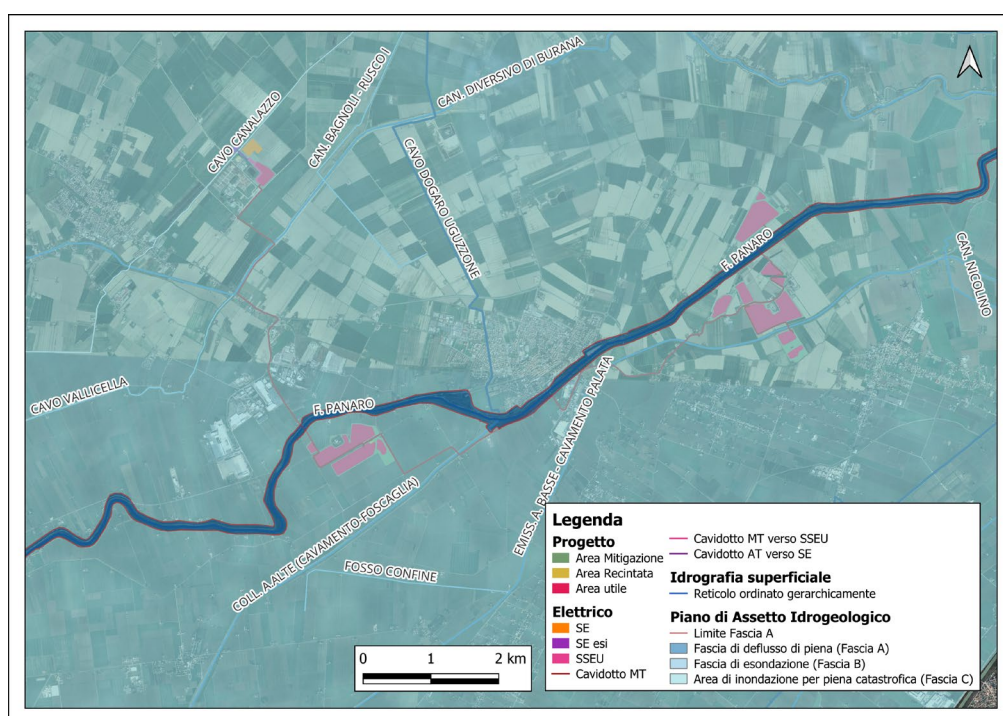


Figura 5 – Mappa della Pericolosità idraulica PAI

Le aree rientrano tutte nella delimitazione “Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C)”.

La disciplina vincolistica per le aree ricadenti in Fascia C è dettata dall'Art. 31 delle Norme di Attuazione del PAI. Tale articolo, al comma 4, demanda agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica locali la regolamentazione di dettaglio delle attività consentite, i limiti e i divieti per i territori ricadenti in questa fascia. Tuttavia, la norma impone una precisa clausola di salvaguardia: in sede di adeguamento degli strumenti urbanistici, i Comuni sono tenuti a valutare le specifiche condizioni di rischio e, al fine di minimizzarle, ad applicare —

anche solo parzialmente e fino all'avvenuta realizzazione delle opere di messa in sicurezza — le prescrizioni più restrittive previste per la Fascia B, in ottemperanza al D.L. n. 279/2000.

### **3.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvione**

Le norme comunitarie prevedono l'obbligo di predisporre per ogni distretto, a partire dal quadro della pericolosità e del rischio di alluvioni definito con l'attività di mappatura, uno o più Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (art. 7 - D. Lgs. 49/2010 e art. 7 - Dir. 2007/60/CE), contenenti le misure necessarie per raggiungere l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali nei confronti della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali.

Il PGRA individua strumenti operativi e di governance finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale nelle diverse fasi della prevenzione, della protezione e della preparazione, mitigazione, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative delle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.

Vengono considerati dal PGRA sia interventi strutturali, sia misure non strutturali, e sono individuate le sinergie con le politiche di pianificazione del territorio e di protezione civile, con particolare attenzione alle politiche relative agli usi idrici e territoriali, che possono avere importanti conseguenze.

Dal punto di vista pratico, l'art. 6 della Direttiva 2007/60/CE identifica tre scenari su cui valutare la pericolosità idraulica:

- 1) scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (tempo di ritorno > 200 anni);
- 2) alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità di alluvione);
- 3) alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni (elevata probabilità di alluvione).

Ai fini della corretta applicazione dei vincoli idraulici, è fondamentale operare una distinzione tra il Reticolo Principale di pianura e di fondovalle e il Reticolo Secondario di pianura.

Il Reticolo Principale è costituito dall'asta del fiume Po e dai suoi affluenti maggiori, le cui dinamiche di inondazione sono definite e normate direttamente a scala di bacino. Il Reticolo Secondario comprende invece il complesso sistema di canali di bonifica, cavi e corsi d'acqua minori della pianura, la cui gestione è demandata prevalentemente ai Consorzi e le cui criticità richiedono una disciplina specifica integrata nella pianificazione locale.

Tale distinzione è recepita formalmente nelle Norme Tecniche di Attuazione del PAI del fiume Po. L'articolo 57 stabilisce che le mappe di pericolosità e rischio del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) costituiscono *"integrazione al quadro conoscitivo del PAI"*. Tuttavia, l'operatività dei vincoli segue due percorsi giuridici differenti in base alla tipologia di reticolo, come disciplinato dall'articolo 58.

Per le aree afferenti al **Reticolo Principale**, l'articolo 58 comma 2 lettera a) sancisce una diretta corrispondenza tra gli scenari di probabilità PGRA e le Fasce Fluviali del PAI, rendendo immediatamente applicabili le relative norme tecniche: le aree a pericolosità elevata (P3) sono equiparate alla Fascia A, quelle a pericolosità media (P2) alla Fascia B e quelle a pericolosità bassa (P1) alla Fascia C.

Per quanto concerne invece il **Reticolo Secondario di pianura**, tale automatismo non sussiste. La norma non impone direttamente i vincoli delle fasce fluviali PAI, ma demanda la disciplina agli enti territoriali competenti. A tal proposito, si riporta integralmente quanto disposto dall'articolo 58, comma 2, lettera c):

*"c) Reticolo secondario di pianura (RSP): nelle aree interessate da alluvioni frequenti, poco frequenti e rare, compete alle Regioni e agli Enti locali, anche d'intesa con l'Autorità di bacino, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della legge 24 febbraio 1992, n. 225 e s.m.i."*

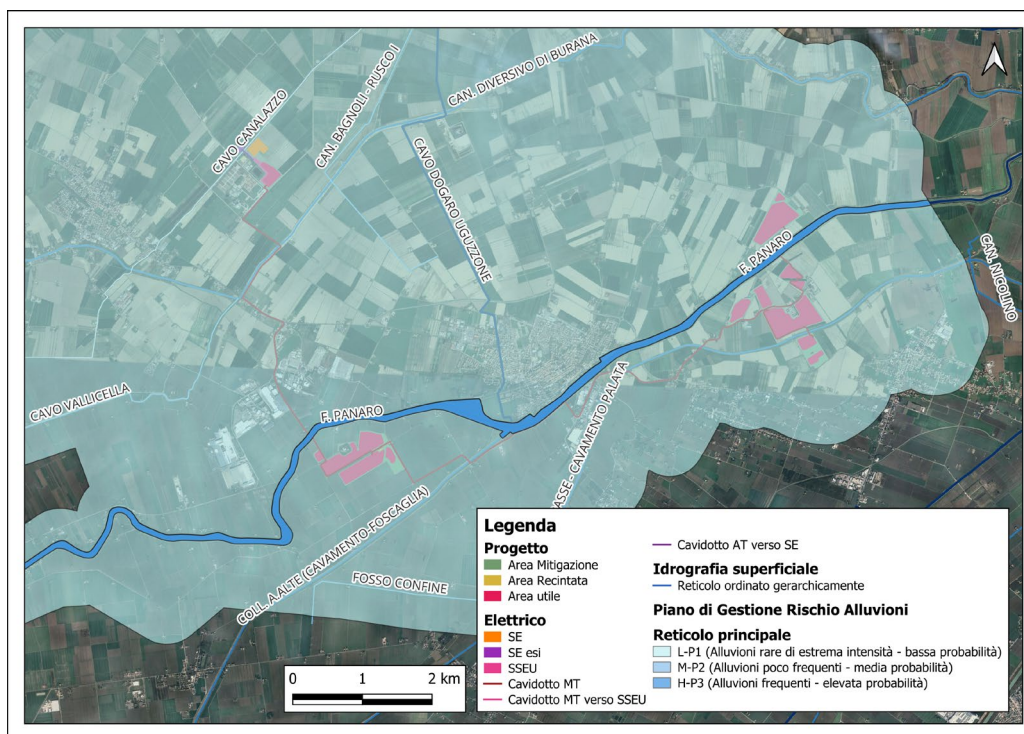


Figura 6 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo Principale

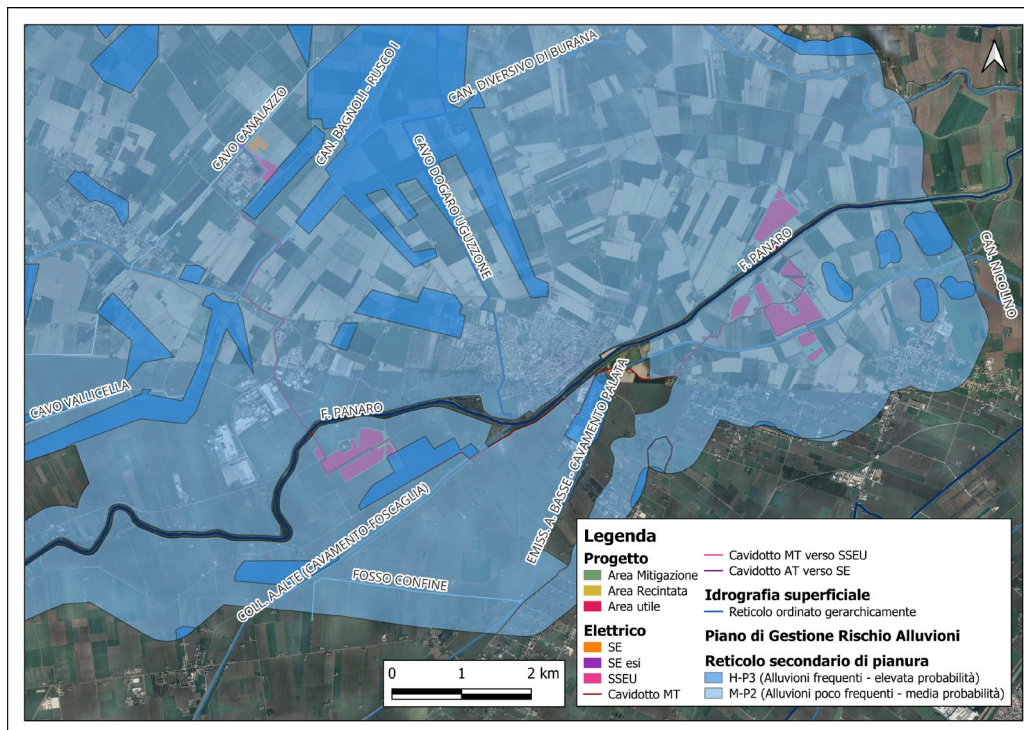


Figura 7 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura



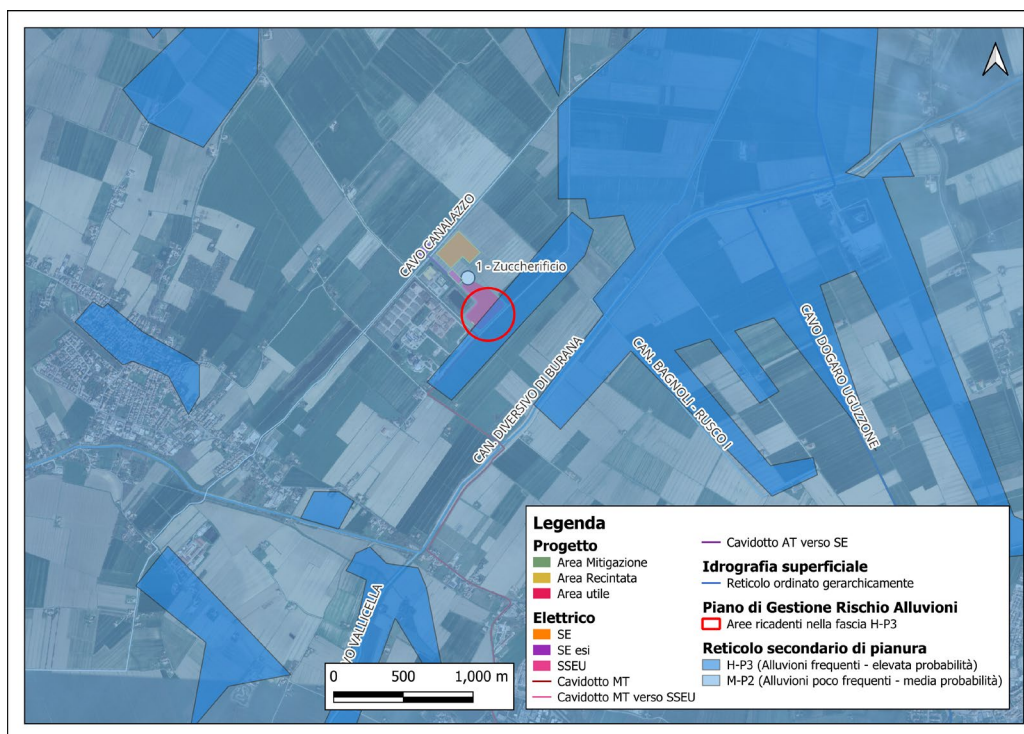


Figura 8 - Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura – dettaglio 1

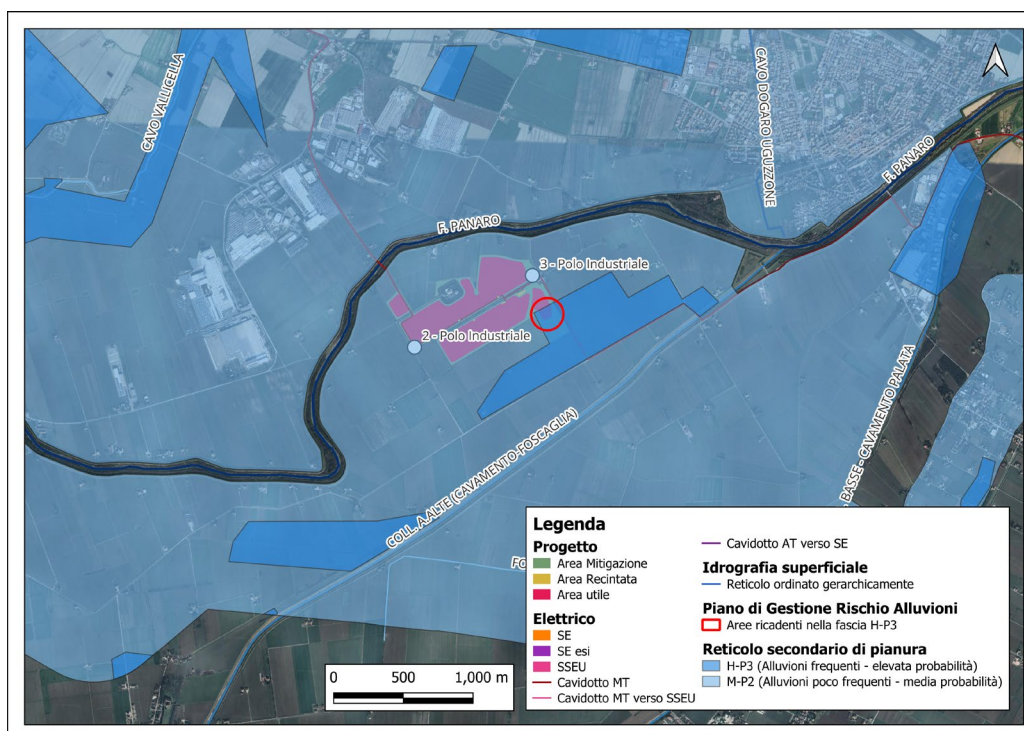


Figura 9 - Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura – dettaglio 2

Dall'analisi della cartografia PGRA emerge un quadro vincolistico complesso caratterizzato dalla sovrapposizione di diversi scenari di rischio. Rispetto al **reticolo principale**, l'intera superficie di intervento ricade in area **L-P1** (Alluvioni rare, TR fino a 500 anni), classificata come Fascia C (Art. 31 N.A. PAI), dove la realizzazione dell'impianto è ammessa subordinatamente al rispetto delle quote di sicurezza e della trasparenza idraulica.

Tuttavia, l'assetto è ulteriormente condizionato dalle perimetrazioni del **reticolo secondario**, che impongono vincoli più stringenti. La maggior parte delle aree ricade infatti in fascia **M-P2** (Alluvioni poco frequenti). Alcune, limitate, porzioni di aree di impianto, indicate a seguire risultano invece la presenza di porzioni d'impianto in area **H-P3** (Alluvioni frequenti). In tali zone *“competete alle Regioni e agli Enti locali, anche d'intesa con l'Autorità di bacino, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti”* (Norme Tecniche di Attuazione del PAI del fiume Po – art. 58, comma 2, lettera c).

La tabella seguente riporta le aree di mitigazione, recintate e le aree utili (al netto della sovrapposizione con le precedenti). Per la nomenclatura delle varie zone di impianto fare riferimento al capitolo 4 della presente relazione.

Tabella 1 – Aree di impianto ricadenti in area H-P3 (RSP) in m<sup>2</sup>

	Mitigazione	Recintata	Utile
<b>Zuccherificio</b>	5,186.40	14,940.51	-
<b>Polo Industriale</b>	32,481.86	5,808.56	1,272.75

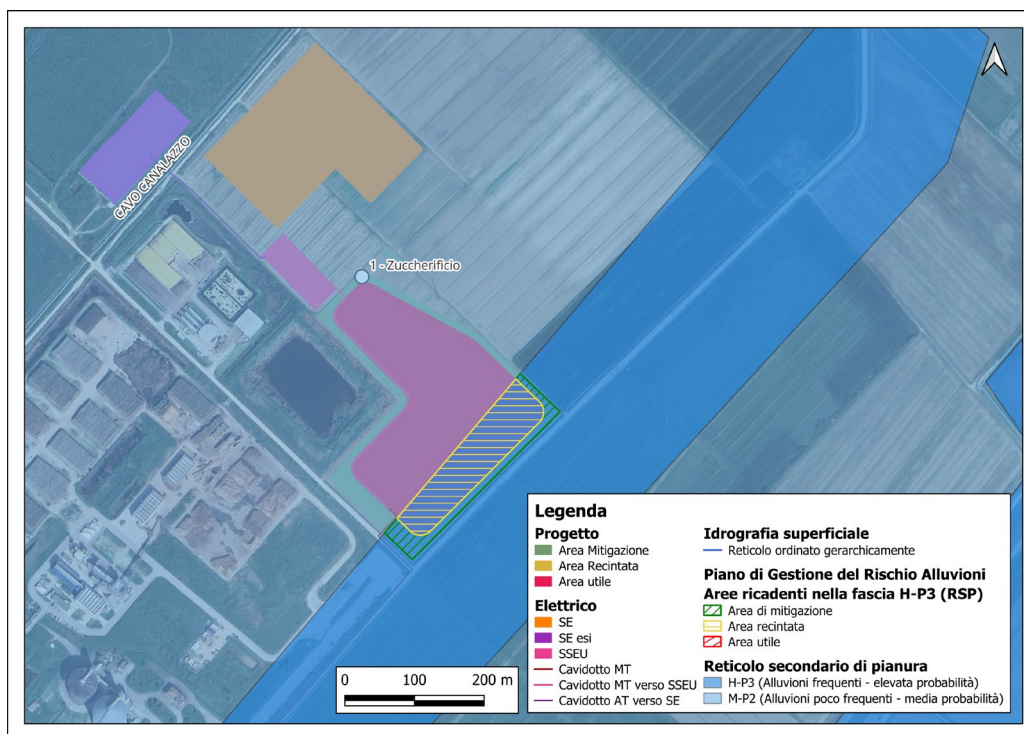


Figura 10 – Dettaglio aree ricadenti nella perimetrazione PGRA H-P3 (RSP) – Area Zuccherificio

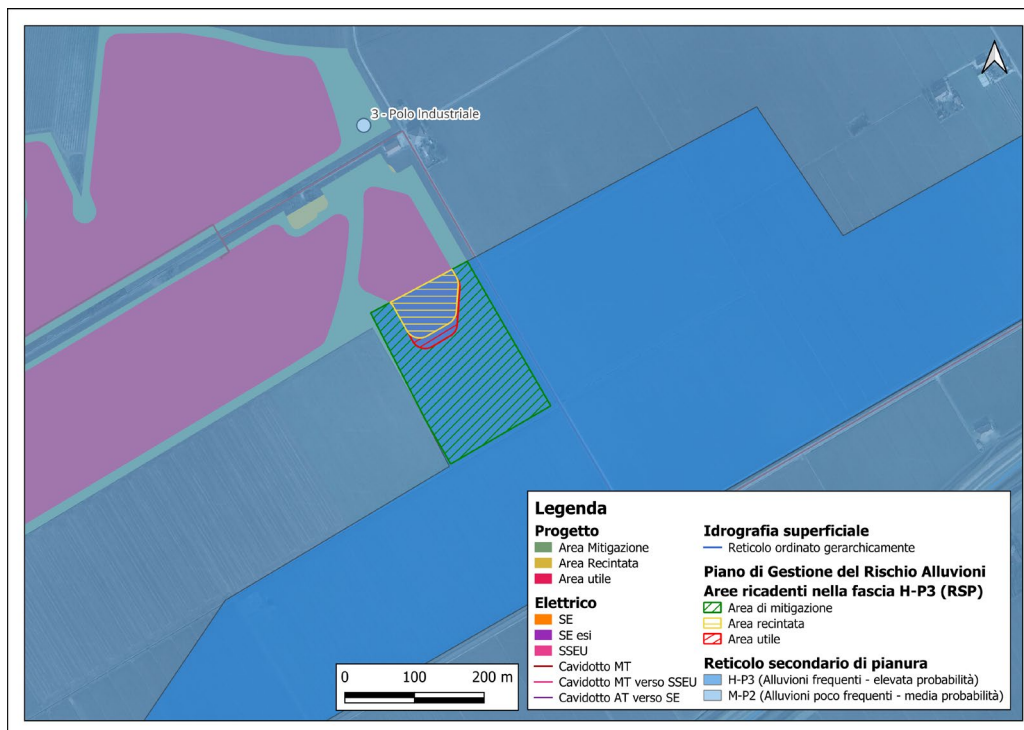


Figura 11 – Dettaglio aree ricadenti nella perimetrazione PGRA H-P3 (RSP) – Area Polo Industriale



### 3.3 Vincolo Idraulico

La disciplina dei vincoli idraulici sul territorio nazionale affonda le sue radici nel Regio Decreto 25 luglio 1904, n. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche". In particolare, l'articolo 96, lettera f) di tale decreto stabilisce, in assenza di discipline specifiche locali, una distanza minima di 10 metri dal piede degli argini per la realizzazione di fabbriche e scavi.

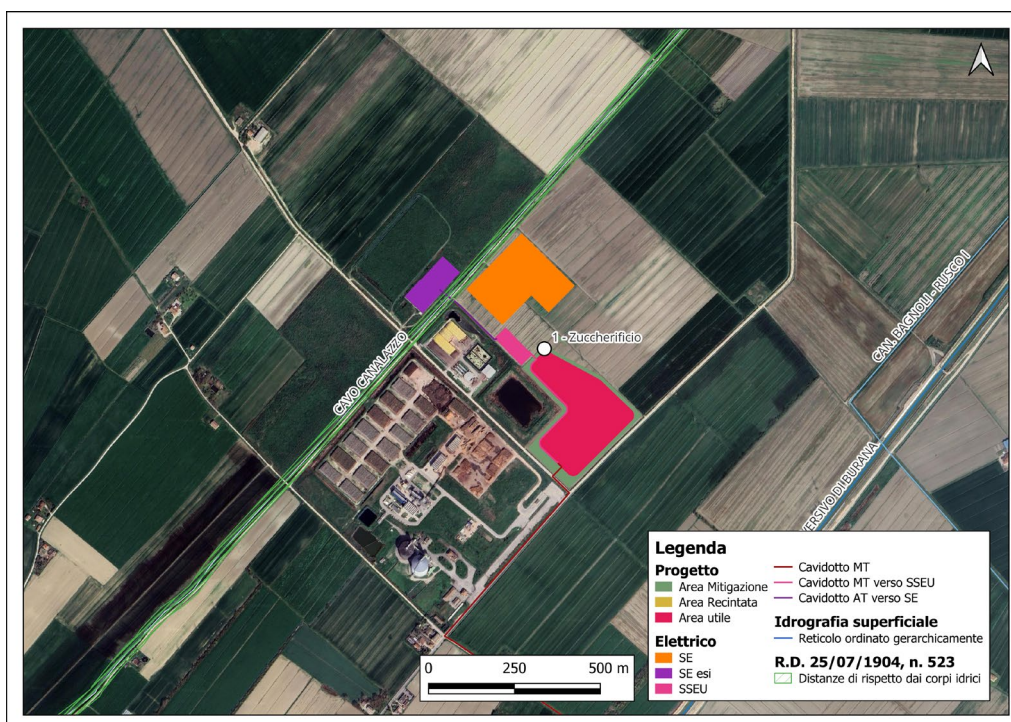


Figura 12 – Vincolo idraulico 10 m – Zuccherificio





Figura 13 – Vincolo idraulico 10 m – Polo industriale

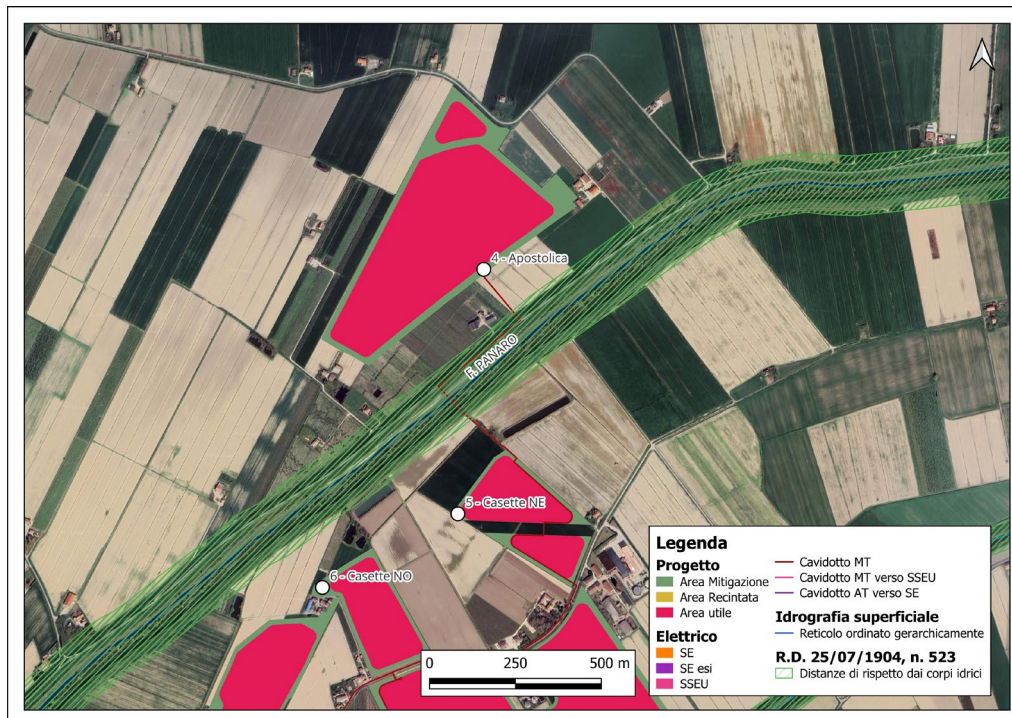


Figura 14 – Vincolo idraulico 10 m – Apostolica

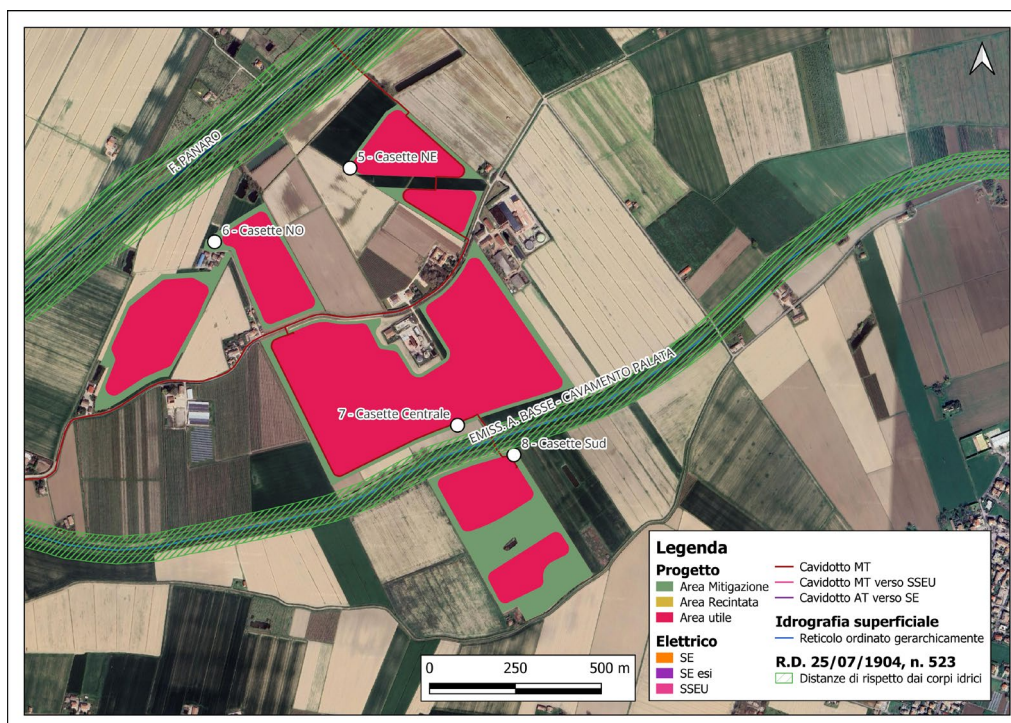


Figura 15 – Vincolo idraulico 10 m – Casette

Le aree di impianto risultano tutte esterne a tali fasce di rispetto.

### 3.4 Zone di Tutela Paesistico-Ambientali

Il Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR) dell'Emilia-Romagna trae la sua origine e il suo quadro normativo di riferimento dal Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42, noto come "Codice dei beni culturali e del paesaggio". Questo codice nazionale stabilisce i principi fondamentali per la tutela e la valorizzazione del paesaggio italiano, demandando alle Regioni il compito di elaborare piani paesaggistici. Il PTPR dell'Emilia-Romagna si inserisce in questo contesto, recependo le direttive statali e adattandole alle specificità del territorio regionale.

Le Norme di Attuazione del PTPR dettagliano le disposizioni prescrittive, gli indirizzi e le direttive per la gestione e la trasformazione del territorio. In particolare, gli articoli 17, 18 e 19 di tali norme rivestono un ruolo significativo nella definizione delle zone di tutela paesaggistiche. L'articolo 17 disciplina le "Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi,



**Legenda**

**Progetto**

- Area Mitigazione
- Area Recintata
- Area utile

**Elettrico**

- SE
- SE esi
- SSEU
- Cavaddotto MT

**Idrografia superficiale**

- Cavaddotto MT verso SSEU
- Cavaddotto AT verso SE
- Reticolo ordinato gerarchicamente

**Piano Territoriale Paesistico Regionale**

- Art. 17 - Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua
- Art. 18 - Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua
- Art. 19 - Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale

**Pagina n.18**



Figura 17 – Zone di tutela – Norme di attuazione PTPR – dettaglio

L'area di intervento ricade parzialmente nelle zone di tutela di cui all'Art. 17 del PTPR (Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua).



#### 4 STUDIO IDROLOGICO

Dato il carattere aleatorio degli eventi di pioggia, la descrizione del regime delle piogge intense si deve fondare su una analisi statistica delle osservazioni pluviometriche. In particolare, per ricercare la durata della pioggia critica e quindi l'intensità critica della pioggia è necessario conoscere la legge di variazione dell'intensità di pioggia al variare della durata. Per caratterizzare il grado di rarità (ovvero di probabilità che un evento si ripeta) dei valori di pioggia  $h$  si fa ricorso al concetto di tempo di ritorno  $T_R$ . Per stimare un evento di piena di fissato tempo di ritorno  $T_R$ , ovvero l'intervallo di tempo  $T_R$  (anni) per il quale un valore assegnato è mediamente superato una volta, è indispensabile costruire un algoritmo che definisca l'evento di pioggia in funzione del tempo di ritorno; la determinazione di tale evento di precipitazione si ottiene attraverso l'elaborazione dei dati storici di eventi di pioggia misurati che portano alla definizione di una relazione detta "curva di probabilità pluviometrica" che si rappresenta usualmente con l'espressione monomia:

$$h = a \cdot t^n$$

dove  $h$  è l'altezza di pioggia (mm),  $t$  è la durata (ore) ed "a" ed "n" sono parametri che variano a seconda della serie storica delle precipitazioni registrata nel bacino e si ricavano dall'analisi statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata.

I dati storici di precipitazione non sono altro che i dati relativi a piogge di breve durata e di massima intensità che annualmente vengono registrati dalle stazioni pluviometriche di durata pari a 1 – 3 – 6 – 12 - 24 ore.

L'Autorità di Bacino del fiume Po ha emesso, in accordo alle NTA del PAI, la "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" contenente la stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali nelle stazioni di misura delle precipitazioni e l'analisi della distribuzione spaziale delle precipitazioni intense.

La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata dall'AdBPo sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione

per le durate considerate, definendo i parametri  $a$  ed  $n$  per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

Per consentire la stima delle piogge intense anche in assenza di misure pluviometriche dirette, è stata effettuata una regionalizzazione dei parametri  $a$  ed  $n$  delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP). Tale operazione è stata condotta mediante interpolazione spaziale (metodo di Kriging) su un grigliato con risoluzione di 2 km.

I valori così ottenuti dall'AdBPo costituiscono il riferimento per studi e progettazioni che non richiedano, per natura o complessità, approfondimenti idrologici di dettaglio a scala locale.

Le superfici sono state rinominate per semplificarne l'individuazione come segue:

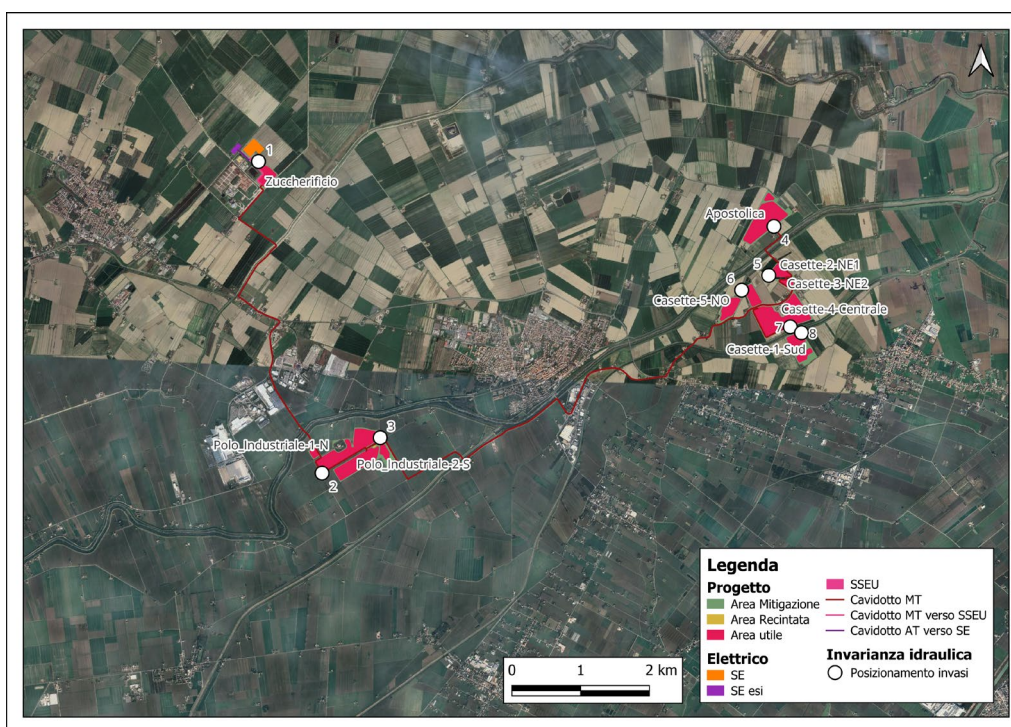


Figura 18 – Nomenclatura aree di intervento

Poiché i parametri probabilistici  $a$  ed  $n$  sono stati forniti in modo puntuale, ne è stata effettuata la distribuzione areale mediante la discretizzazione del territorio attraverso i topoi (o poligoni di Voronoi/Thiessen).

Tale approccio geometrico ha permesso assegnare i parametri idrologici ad una specifica area di influenza, come segue.

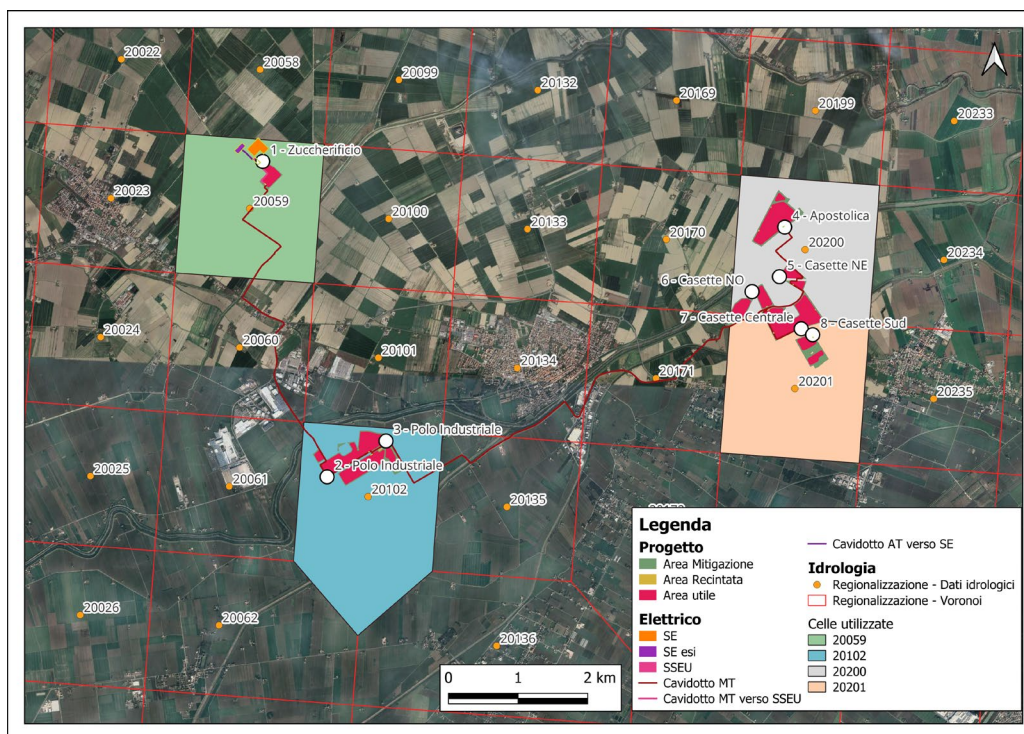


Figura 19 – Parametri idrologici

Le celle con assegnato parametro idrologico sono state suddivise come segue.

Tabella 2 – Assegnazione area

Area	ID
1 - Zuccherificio	20059
2 - Polo Industriale	20102
3 - Polo Industriale	20102
4 - Apostolica	20200
5 - Casette NE	20200
6 - Casette NO	20200
7 - Casette Centrale	20201
8 - Casette Sud	20201

Tabella 3 – Parametri idrologici per ogni area di impianto

ID	a [Tr <sub>20</sub> ]	n [Tr <sub>20</sub> ]	a [Tr <sub>100</sub> ]	n [Tr <sub>100</sub> ]	a [Tr <sub>200</sub> ]	n [Tr <sub>200</sub> ]	a [Tr <sub>500</sub> ]	n [Tr <sub>500</sub> ]
20059	43.53	0.246	56.96	0.237	62.66	0.235	70.29	0.231
20200	43.10	0.254	56.33	0.246	61.93	0.243	69.44	0.240
20201	43.32	0.254	56.62	0.246	62.25	0.244	69.81	0.240
20102	43.79	0.250	57.29	0.241	63.02	0.239	70.68	0.235

Tabella 4 – Altezze di pioggia per assegnata durata (ID 20059)

	1	2	3	6	12	24
$h_{20}$	43.5	51.6	57.0	67.6	80.2	95.1
$h_{100}$	57.0	67.1	73.9	87.1	102.6	121.0
$h_{200}$	62.7	73.7	81.1	95.5	112.4	132.2
$h_{500}$	70.3	82.5	90.6	106.3	124.8	146.5
$i_{20}$	43.5	25.8	19.0	11.3	6.7	4.0
$i_{100}$	57.0	33.6	24.6	14.5	8.6	5.0
$i_{200}$	62.7	36.9	27.0	15.9	9.4	5.5
$i_{500}$	70.3	41.2	30.2	17.7	10.4	6.1

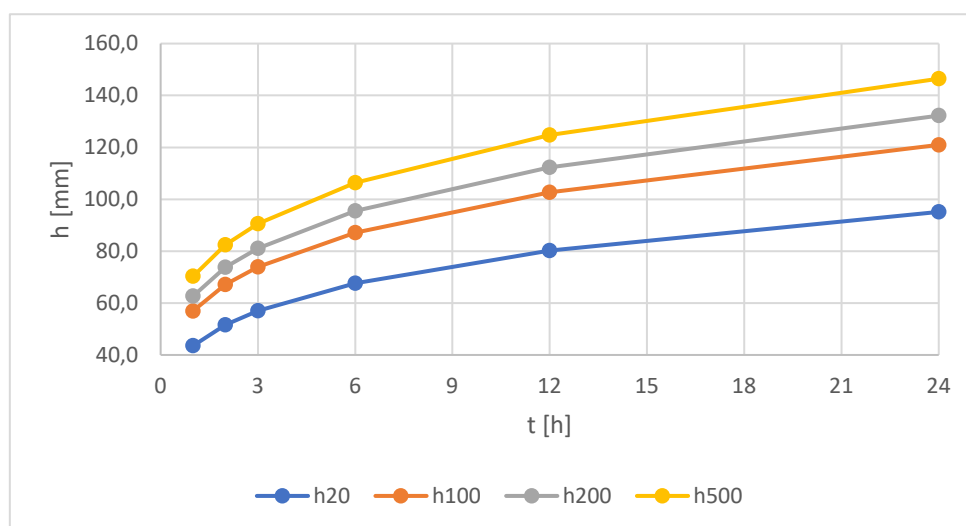


Figura 20 - CPP ID 20059

Tabella 5 – Altezze di pioggia per assegnata durata (ID 20200)

	1	2	3	6	12	24
$h_{20}$	43.1	51.4	57.0	67.9	81.0	96.6
$h_{100}$	56.3	66.8	73.8	87.5	103.8	123.1
$h_{200}$	61.9	73.3	80.9	95.7	113.3	134.1
$h_{500}$	69.4	82.0	90.4	106.7	126.1	148.9
$i_{20}$	43.1	25.7	19.0	11.3	6.8	4.0
$i_{100}$	56.3	33.4	24.6	14.6	8.7	5.1
$i_{200}$	61.9	36.6	27.0	16.0	9.4	5.6
$i_{500}$	69.4	41.0	30.1	17.8	10.5	6.2



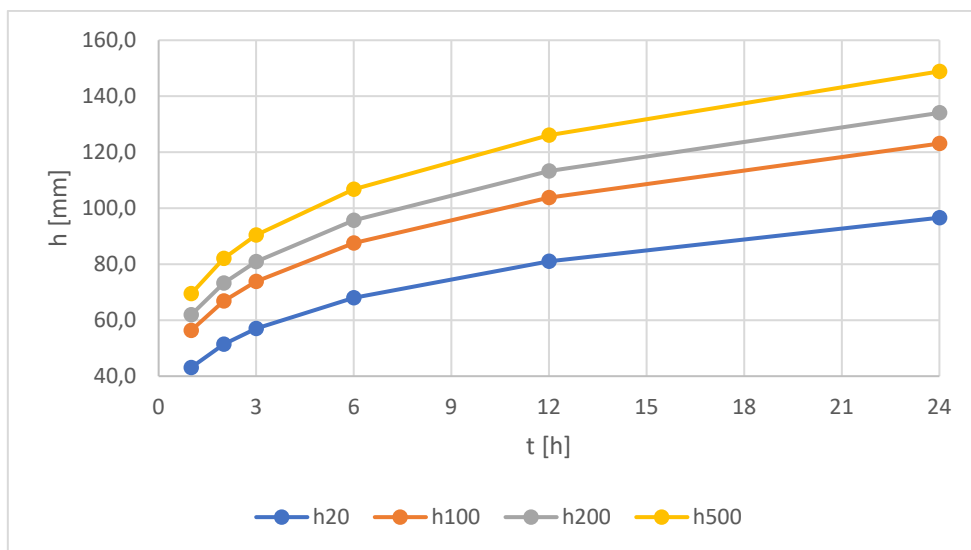


Figura 21 – CPP ID 20200

Tabella 6 – Altezze di pioggia per assegnata durata (ID 20201)

	1	2	3	6	12	24
<b>h<sub>20</sub></b>	43.3	51.7	57.3	68.3	81.4	97.1
<b>h<sub>100</sub></b>	56.6	67.1	74.2	88.0	104.3	123.7
<b>h<sub>200</sub></b>	62.3	73.7	81.4	96.4	114.1	135.2
<b>h<sub>500</sub></b>	69.8	82.4	90.9	107.3	126.7	149.7
<b>i<sub>20</sub></b>	43.3	25.8	19.1	11.4	6.8	4.0
<b>i<sub>100</sub></b>	56.6	33.6	24.7	14.7	8.7	5.2
<b>i<sub>200</sub></b>	62.3	36.9	27.1	16.1	9.5	5.6
<b>i<sub>500</sub></b>	69.8	41.2	30.3	17.9	10.6	6.2

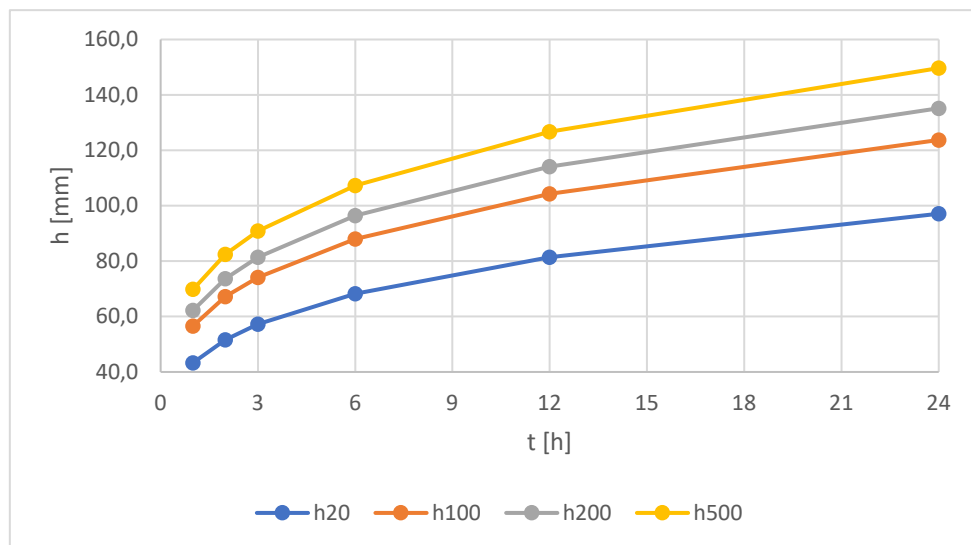
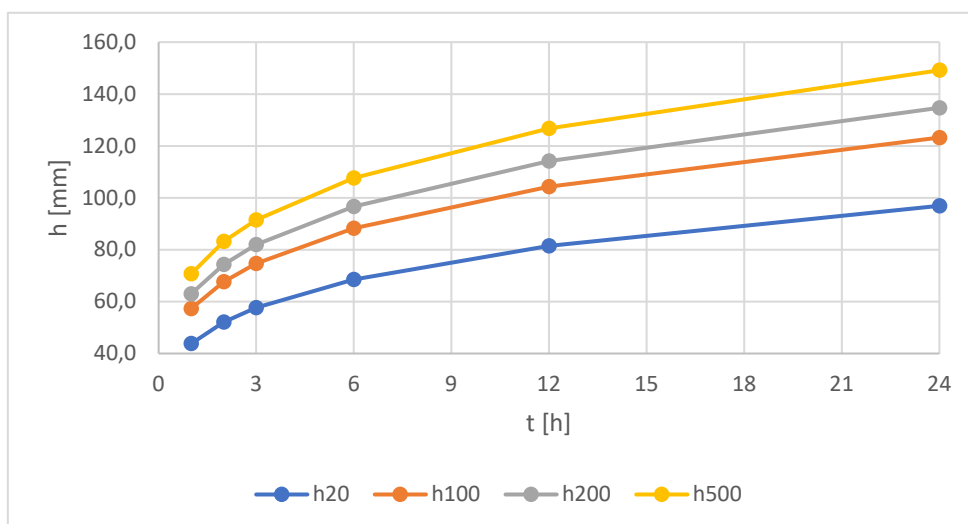


Figura 22 - CPP ID 20201

*Tabella 7 – Altezze di pioggia per assegnata durata (ID 20102)*

	1	2	3	6	12	24
<b>h<sub>20</sub></b>	43.8	52.1	57.6	68.5	81.5	96.9
<b>h<sub>100</sub></b>	57.3	67.7	74.7	88.2	104.3	123.2
<b>h<sub>200</sub></b>	63.0	74.4	81.9	96.7	114.1	134.7
<b>h<sub>500</sub></b>	70.7	83.2	91.5	107.7	126.7	149.2
<b>i<sub>20</sub></b>	43.8	26.0	19.2	11.4	6.8	4.0
<b>i<sub>100</sub></b>	57.3	33.9	24.9	14.7	8.7	5.1
<b>i<sub>200</sub></b>	63.0	37.2	27.3	16.1	9.5	5.6
<b>i<sub>500</sub></b>	70.7	41.6	30.5	17.9	10.6	6.2



*Figura 23 - CPP ID 20102*

## **5 INVARIANZA IDRAULICA**

Il presente studio idraulico è volto alla verifica della compatibilità dell'intervento in progetto con l'assetto idrogeologico esistente, nel rispetto del principio di invarianza idraulica. L'area di intervento, sita nel comune di Finale Emilia (MO), ricade nel bacino di competenza del Consorzio della Bonifica Burana.

In via preliminare, si specifica che per la determinazione dei parametri di calcolo (portate di scarico ammissibili e volumi di invaso), si è fatto riferimento diretto alle indicazioni fornite dal Consorzio della Bonifica Burana tramite comunicazione a mezzo e-mail in data 24/12/2025. Tale riferimento si rende necessario a conferma dell'assenza, per la specifica area di intervento, di una normativa di dettaglio che espliciti tali valori.

Il quadro normativo di riferimento generale per la sicurezza idraulica dell'area è costituito dalle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) vigente, con particolare riferimento all'Art. 9, che disciplina le limitazioni alle attività di trasformazione d'uso del suolo al fine di garantire il non aggravio delle condizioni di rischio idraulico.

Sotto il profilo tecnico, l'intervento in progetto consiste nella realizzazione di un impianto agrivoltaico. Tale tipologia di opera si distingue sostanzialmente dalle installazioni fotovoltaiche tradizionali a terra in quanto integra i pannelli (sollevati o distanziati) con le colture, permettendo di coltivare e produrre elettricità contemporaneamente sullo stesso terreno. Le uniche variazioni idrologiche introdotte riguardano una modesta modifica della permeabilità e del coefficiente di deflusso, attribuibile esclusivamente al rimaneggiamento superficiale dei terreni naturali necessario per la posa delle strutture e la lavorazione agricola.

A tal proposito, si evidenzia che:

1. Assenza di impermeabilizzazione diffusa: Il terreno tra le stringhe dei pannelli sarà mantenuto a uso agricolo (coltivato e lavorato), conservando le capacità di infiltrazione e drenaggio proprie di un terreno naturale. Le acque meteoriche



continueranno pertanto a essere drenate naturalmente dal reticolo di scolo esistente (fossi e impluvi), senza generare incrementi significativi del deflusso superficiale;

2. Mitigazione dell'erosione: La configurazione progettuale, che prevede moduli inclinati posti a una prestabilita altezza dal suolo, svolge una funzione attiva di protezione del terreno. I pannelli intercettano la pioggia battente, dissipando l'energia cinetica delle gocce (effetto "curtain") e riducendo l'impatto erosivo diretto sul suolo (splash erosion);
3. Ruolo della vegetazione: La piantumazione prevista al di sotto e tra le stringhe dei pannelli contribuisce ulteriormente al consolidamento superficiale, favorendo l'infiltrazione e contrastando i fenomeni di dilavamento.

Pertanto, le verifiche che seguono dimostreranno come l'assetto di progetto rispetti i parametri imposti dal Consorzio e garantisca la neutralità idraulica dell'intervento rispetto al contesto territoriale.

Si riporta un estratto della comunicazione ricevuta dal Consorzio di Bonifica con l'indicazione dei parametri da utilizzare: *Per la realizzazione di nuovi scarichi su canali demaniali in gestione al Consorzio, detti scarichi devono essere tarati considerando per il principio di invarianza idraulica con una portata di 5 lt/sec per ettaro di superficie considerando un volume di laminazione di 500 mc/ettaro.*

Il calcolo dell'invarianza idraulica si applica alle sole superfici impermeabili, escludendo le aree agrivoltaiche e quelle di mitigazione ambientale.

Nel caso dell'agrivoltaico, il suolo sottostante i pannelli mantiene la propria permeabilità e destinazione agricola. Analogamente, le aree di mitigazione non solo garantiscono l'infiltrazione naturale, ma grazie alla copertura vegetale contribuiscono a rallentare il deflusso superficiale. Tali superfici, pertanto, non generano aggravii idraulici e bilanciano le minime quote impermeabilizzate previste dal progetto.

Infine, la viabilità interna è realizzata in terra stabilizzata permeabile e priva di pavimentazioni bituminose o cementizie. Al fine di massimizzare la capacità di laminazione e favorire l'infiltrazione delle acque meteoriche, il pacchetto di fondazione della viabilità interna verrà realizzato con uno spessore maggiorato, pari ad almeno 1,00 m. Tale strato

sarà costituito da materiale inerte ad elevata porosità (pietrame/ghiaione), avvolto in un geotessuto non tessuto con funzione di separazione, atto a prevenire l'intasamento degli interstizi da parte delle particelle fini del terreno circostante.

Per quanto concerne le cabine elettriche, le fondazioni saranno realizzate mediante gabbionate metalliche riempite con materiale lapideo disperdente ad alto peso specifico. Tale soluzione, integrata dall'uso di geotessuti di separazione, garantisce la stabilità strutturale e, al contempo, riduce drasticamente il deflusso superficiale grazie all'elevata permeabilità del basamento.

Sono quindi state estrapolate le superfici, distinguendo tra stazioni elettriche e cabine. Queste aree sono poi state raggruppate in modo da ottimizzare l'impianto di gestione delle acque.

Tabella 8 – Superfici impianto in m<sup>2</sup>

Aree	SE	Cabine	Totale
1 - Zuccherificio	57,739.44	72.00	57,811.44
2 - Polo Industriale	-	72.00	72.00
3 - Polo Industriale	-	108.00	108.00
4 - Apostolica	-	144.00	144.00
5 - Casette NE	-	36.00	36.00
6 - Casette NO	-	72.00	72.00
7 - Casette Centrale	-	144.00	144.00
8 - Casette Sud	-	36.00	36.00
<b>TOTALE</b>	<b>57,739.44</b>	<b>684.00</b>	<b>58,423.44</b>

Considerando le indicazioni del Consorzio della Bonifica Burana, i volumi complessivi di invaso minimi da garantire per ogni superficie impermeabilizzata sono pari a 500 mc/ha ed i limiti allo scarico pari a 5 lt/s/ha.

Tabella 9 – Volumi di invaso minimi in m<sup>3</sup> e limiti allo scarico massimi in lt/s

<b>Volumi</b>	<b>Volumi</b>	<b>Limite scarico</b>
1 - Zuccherificio	2,890.57	28.91
2 - Polo Industriale	3.60	0.04
3 - Polo Industriale	5.40	0.05
4 - Apostolica	7.20	0.07
5 - Casette NE	1.80	0.02
6 - Casette NO	3.60	0.04
7 - Casette Centrale	7.20	0.07
8 - Casette Sud	1.80	0.02
<b>TOTALE</b>	<b>2,921.17</b>	<b>29.21</b>

Al fine di individuare la configurazione ottimale per la gestione delle acque meteoriche, sono state valutate diverse alternative progettuali relative ai volumi di invaso, ipotizzando sia la realizzazione di vasche di laminazione che di fossi disperdenti.

L'analisi geometrica ha preso in considerazione diverse tipologie di sezione, spaziando da pareti verticali a sponde inclinate con rapporti di pendenza variabili (1:2, 2:3, 1:1 e 2:1).

Per il dimensionamento delle vasche, il calcolo dei volumi è stato eseguito applicando la formula del tronco di piramide a base rettangolare. Tuttavia, per i volumi di invaso minori, caratterizzati da superfici in pianta ridotte, si è optato per la sola tipologia a pareti verticali; l'applicazione di sponde inclinate in spazi così esigui avrebbe infatti comportato la sovrapposizione delle proiezioni delle sponde stesse, annullando la base di fondo e rendendo la geometria tecnicamente irrealizzabile.

Relativamente ai fossi, sono state definite due sezioni tipo in funzione dell'area servita:

1. Per le aree maggiori: sezione con altezza utile 1.5 metri e larghezza al fondo (base minore) 4.0 metri;
2. Per le aree impermeabili minori: sezione con altezza utile 0.5 metri e larghezza al fondo (base minore) 0.5 metri, con larghezza in sommità variabile in funzione dell'inclinazione delle sponde prescelta.



Tabella 10 – Volumi minimi di invaso in  $m^3$  nel caso di vasche con sponde verticali

Aree	Volume <sub>min</sub>	Lato <sub>1</sub> [m]	Lato <sub>2</sub> [m]	Altezza [m]	Volume vasca
1 - Zuccherificio	2,890.57	50	40	1.5	3,000.00
2 - Polo Industriale	3.60	2	2	1	4.00
3 - Polo Industriale	5.40	3	2	1	6.00
4 - Apostolica	7.20	4	2	1	8.00
5 - Casette NE	1.80	2	2	1	4.00
6 - Casette NO	3.60	2	2	1	4.00
7 - Casette Centrale	7.20	4	2	1	8.00
8 - Casette Sud	1.80	2	2	1	4.00

Tabella 11 – Volumi minimi di invaso in  $m^3$  per l'area definita "zuccherificio" per vasche con sponde inclinate

Pendenza	Volume <sub>min</sub>	Lato <sub>1</sub> [m]	Lato <sub>2</sub> [m]	Altezza [m]	Volume vasca
1:2	2,890.57	50	45	1.5	2,965.47
2:3	2,890.57	50	45	1.5	3,064.48
1:1	2,890.57	50	45	1.5	3,165.74
2:1	2,890.57	50	45	1.5	3,269.25

Tabella 12 – Volumi minimi di invaso in  $m^3$  nel caso di fossi con sponde verticali

Aree	Volume <sub>min</sub>	L [m]	V <sub>fosso</sub>
1 - Zuccherificio	2,890.57	500.00	3000.00
2 - Polo Industriale	3.60	15.00	3.75
3 - Polo Industriale	5.40	22.00	5.50
4 - Apostolica	7.20	29.00	7.25
5 - Casette NE	1.80	8.00	2.00
6 - Casette NO	3.60	15.00	3.75
7 - Casette Centrale	7.20	29.00	7.25
8 - Casette Sud	1.80	8.00	2.00

Tabella 13 – Volumi minimi di invaso in  $m^3$  nel caso di fossi con sponde con pendenza 1:2 (26.6°)

Aree	Volume <sub>min</sub>	L [m]	V <sub>fosso</sub>
1 - Zuccherificio	2,890.57	280.00	2940.00
2 - Polo Industriale	3.60	5.00	3.75
3 - Polo Industriale	5.40	8.00	6.00
4 - Apostolica	7.20	10.00	7.50
5 - Casette NE	1.80	3.00	2.25
6 - Casette NO	3.60	5.00	3.75
7 - Casette Centrale	7.20	10.00	7.50
8 - Casette Sud	1.80	3.00	2.25

Tabella 14 – Volumi minimi di invaso in  $m^3$  nel caso di fossi con sponde con pendenza 2:3 (33.7°)

Aree	Volume <sub>min</sub>	L [m]	V <sub>fosso</sub>
1 - Zuccherificio	2,890.57	310.00	2906.25
2 - Polo Industriale	3.60	6.00	3.75
3 - Polo Industriale	5.40	9.00	5.63
4 - Apostolica	7.20	12.00	7.50
5 - Casette NE	1.80	3.00	1.88
6 - Casette NO	3.60	6.00	3.75
7 - Casette Centrale	7.20	12.00	7.50
8 - Casette Sud	1.80	3.00	1.88

Tabella 15 – Volumi minimi di invaso in  $m^3$  nel caso di fossi con sponde con pendenza 1:1 (45°)

Aree	Volume <sub>min</sub>	L [m]	V <sub>fosso</sub>
1 - Zuccherificio	2,890.57	360.00	2970.00
2 - Polo Industriale	3.60	8.00	4.00
3 - Polo Industriale	5.40	11.00	5.50
4 - Apostolica	7.20	15.00	7.50
5 - Casette NE	1.80	4.00	2.00
6 - Casette NO	3.60	8.00	4.00
7 - Casette Centrale	7.20	15.00	7.50
8 - Casette Sud	1.80	4.00	2.00

Tabella 16 – Volumi minimi di invaso in m<sup>3</sup> nel caso di fossi con sponde con pendenza 2:1 (63.4°)

Aree	Volume <sub>min</sub>	L [m]	V <sub>fosso</sub>
1 - Zuccherificio	2,890.57	410.00	2921.25
2 - Polo Industriale	3.60	10.00	3.75
3 - Polo Industriale	5.40	15.00	5.63
4 - Apostolica	7.20	20.00	7.50
5 - Casette NE	1.80	5.00	1.88
6 - Casette NO	3.60	10.00	3.75
7 - Casette Centrale	7.20	20.00	7.50
8 - Casette Sud	1.80	5.00	1.88

Per calcolare il diametro del tubo di scarico (o della "bocca tarata") che garantisca il rispetto della portata massima di 5 l/s/ha, è stata utilizzata la formula di Torricelli applicata alle luci sotto battente.

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Per il calcolo si è utilizzato come coefficiente di deflusso cautelativo di 0.6, adatto per gli scarichi a spigolo vivo.

Tabella 17 – Limite allo scarico per l'area denominata Zuccherificio

Area	Limite l/s	DN	H [m]	Cd	v	Q [mc/s]	Q [l/s]	Q [mc/h]
1 - Zuccherificio	28.91	63	1.5	0.6	5.42	0.007	7.345	26.44

L'adozione del diametro DN 63 risulta necessaria per garantire il rispetto dei limiti di scarico. Questo comporta un'elevata suscettibilità all'intasamento dovuto al trasporto solido tipico delle acque meteoriche, si prescrive un'ispezione puntuale del terminale di scarico al termine di ogni evento meteorico significativo, al fine di ripristinare, se necessario, la piena funzionalità del condotto.

Nel caso dei fossi delle altre aree, la portata ammessa allo scarico inferiore a 0.1 l/s non consente di ipotizzare un manufatto di scarico su corpo idrico. Per consentire lo svuotamento dei fossi in 48 ore sarà necessario affidarsi alla sola permeabilità del terreno.

La verifica della permeabilità è stata condotta applicando la Legge di Darcy assumendo un flusso verticale saturo con gradiente idraulico unitario ( $i = 1$ ), condizione cautelativa per il dimensionamento di trincee e fossi disperdenti.

Per  $i = 1$  la legge di Darcy si trasforma come segue:

$$K \cdot i = v$$

$$K = v = H/T$$



Questa situazione significa che la perdita di carico è uguale al percorso effettuato dall'acqua, quindi possiamo scrivere:

$$K_{min} = \frac{0.5m}{48h \cdot 3600s} \approx 2.89 \cdot 10^{-6} m/s$$

Questa permeabilità corrisponde ad una sabbia limosa o un limo sabbioso.

Per garantire la funzionalità dell'opera, è possibile incrementare la capacità disperdente del sistema predisponendo, alla base dei fossi, un letto di posa in materiale sabbioso-ghiaioso ad elevata porosità.

## 6 CONCLUSIONI

Il presente studio idrologico-idraulico ha analizzato l'interazione tra l'impianto agrivoltaico in progetto e il reticolo idrografico esistente, con l'obiettivo di dimensionare le opere di mitigazione necessarie a garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica.

Sotto il profilo tecnico, le verifiche condotte confermano l'efficacia delle soluzioni progettuali adottate:

1. Rispetto dei parametri di scarico: I sistemi di drenaggio e laminazione (fossi e invasi), garantiscono il rispetto della portata specifica massima di 5 l/s/ha e del volume di invaso di 500 mc/ha, compensando integralmente gli effetti dell'impermeabilizzazione;
2. Smaltimento per infiltrazione: Per le aree con recapito diretto, sono stati previsti dispositivi di scarico tarati (bocche a battente); per le aree minori, visto il limite di portata, è stata verificata la capacità di smaltimento per sola infiltrazione nel terreno, migliorata tramite letti di posa in materiale sabbioso-ghiaioso, garantendo lo svuotamento entro le 48 ore come da verifiche condotte;
3. Assetto costruttivo: L'utilizzo di fondazioni permeabili per le cabine e di viabilità in terra stabilizzata assicura il mantenimento della capacità drenante diffusa del suolo.

Sotto il profilo della compatibilità normativa e vincolistica, l'analisi ha evidenziato la sovrapposizione di diversi regimi di tutela che rendono l'intervento subordinato alle valutazioni degli Enti competenti.

Nello specifico, per quanto concerne l'assetto idraulico (PAI/PGRA), sebbene l'area di progetto ricada in Fascia C rispetto al reticolo principale, emerge come elemento di attenzione la presenza di porzioni d'impianto interessate da scenari di rischio elevato (M-P2 e H-P3) afferenti al reticolo secondario; tale configurazione rende la fattibilità dell'opera condizionata alla specifica verifica di ammissibilità da parte dell'Autorità idraulica.

Inoltre, per il Piano Territoriale Paesistico Regionale (PTPR) l'intervento interessa parzialmente gli ambiti di tutela di cui all'Art. 17 (*Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua*).

A completamento del quadro progettuale, si evidenzia come la piena efficacia del sistema di invarianza idraulica risiederà anche nella corretta gestione delle fasi esecutive e di esercizio. In tal senso, al termine delle lavorazioni si renderà necessario il ripristino morfologico dei fossi e degli impluvi naturali, avendo cura di verificare la compatibilità e la continuità idraulica tra il reticolo esistente e le nuove opere.

Analogamente, la realizzazione della viabilità interna e delle piazzole per le cabine elettriche dovrà seguire le indicazioni relative ai pacchetti di fondazione, affinché le capacità drenanti assunte in fase di calcolo trovino riscontro nella realtà costruttiva. Sarà inoltre opportuno

confermare in sito che la permeabilità dei terreni si mantenga sufficiente a disperdere i volumi idrici raccolti dai fossi entro i tempi di svuotamento previsti.

Infine, il mantenimento delle prestazioni nel tempo sarà affidato a una regolare manutenzione delle opere idrauliche che preveda, tra le attività ordinarie, la verifica dello scarico di fondo a seguito di ogni evento meteorico significativo, così da assicurare il costante ripristino della capacità di invaso.

**INDICE FIGURE**

Figura 1 – Inquadramento impianto agrivoltaico .....	3
Figura 2 – Inquadramento idraulico – bacino fiume Po.....	4
Figura 3 – Inquadramento idraulico – area di progetto .....	4
Figura 4 – Suddivisione territoriale dei distretti .....	5
Figura 5 – Mappa della Pericolosità idraulica PAI.....	8
Figura 6 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo Principale .....	11
Figura 7 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura...	11
Figura 8 - Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura – dettaglio 1 .....	12
Figura 9 - Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura – dettaglio 2 .....	12
Figura 10 – Dettaglio aree ricadenti nella perimetrazione PGRA H-P3 (RSP) – Area Zuccherificio.....	14
Figura 11 – Dettaglio aree ricadenti nella perimetrazione PGRA H-P3 (RSP) – Area Polo Industriale .....	14
Figura 12 – Vincolo idraulico 10 m – Zuccherificio.....	15
Figura 13 – Vincolo idraulico 10 m – Polo industriale .....	16
Figura 14 – Vincolo idraulico 10 m – Apostolica .....	16
Figura 15 – Vincolo idraulico 10 m – Casette .....	17



Figura 16 – Zone di tutela – Norme di attuazione PTPR – artt. 17, 18 e 19.....	18
Figura 17 – Zone di tutela – Norme di attuazione PTPR – dettaglio .....	19
Figura 18 – Nomenclatura aree di intervento.....	21
Figura 19 – Parametri idrologici .....	22
Figura 20 - CPP ID 20059.....	23
Figura 21 – CPP ID 20200.....	24
Figura 22 - CPP ID 20201.....	24
Figura 23 - CPP ID 20102.....	25