

PROGETTO DELLA CENTRALE SOLARE

"Energia del Panaro"

da 83,2 MWp - Finale Emilia (MO)

GR04

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE METODOLOGICA IDROGEOLOGICA 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 Sambiase,
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 Sambiase, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,
Dott. Agr. Francesco Palombo

Consulenza geologica

Geol. Gaetano Ciccarelli

Consulenza archeologica

GeA Archeologia Preventiva

Consulenza agronomica

iGreen System, Imola



08 • 2025

rev	descrizione	formato	elaborazione	controllo	approvazione
00	Prima consegna	A4	Claudio Grillo	Gaetano Ciccarelli	Fabrizio Cembalo Sambiase
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
3	VERIFICA DI COMPATIBILITA' CON GLI STRUMENTI PIANIFICATORI	6
3.1	Pianificazione di Assetto Idrogeologico	8
3.2	Piano di Gestione del Rischio Alluvione	10
3.3	Vincolo Idraulico	12
3.4	Vincolo Paesistico	14
4	STUDIO IDROLOGICO	16
4.1	Metodo di Gumbel	16
4.2	Va.Pi. – metodo T.C.E.V.	18
5	STUDIO IDRAULICO.....	19
5.1	Software HEC-RAS	19
5.1.1	Codice di calcolo	19
5.1.2	Coefficiente di scabrezza	22
6	INVARIANZA IDRAULICA	23

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, nella regione Emilia-Romagna. L'obiettivo primario del presente studio 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 idrologica 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. In ottemperanza a tali disposizioni, verranno identificati i tempi di ritorno (T_r) da considerare per gli eventi meteorici di progetto. Sulla base di questi, si procederà alla stima delle portate di piena caratterizzanti i bacini idrografici di interesse afferenti all'area di studio. L'elaborazione dei dati pluviometrici consentirà di definire le curve di possibilità pluviometrica e, successivamente, attraverso l'applicazione di modelli di trasformazione afflussi-deflussi adeguati alle caratteristiche morfologiche e di uso del suolo dei bacini indagati, si perverrà alla determinazione degli idrogrammi di piena.

Le curve di portata così ottenute costituiranno l'input fondamentale per lo sviluppo dello studio di esondazione. Tale analisi verrà condotta mediante l'impiego di un modello idraulico bidimensionale (2D) implementato con l'ausilio del software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System). Questo approccio modellistico avanzato permette una rappresentazione dettagliata del comportamento dei flussi idrici sul territorio, consentendo di simulare con elevata accuratezza l'eventuale propagazione delle onde di piena e di perimetrare con precisione le aree potenzialmente soggette ad allagamento per i diversi scenari di pericolosità idraulica indagati. La costruzione del modello richiederà l'acquisizione e l'elaborazione di dati topografici di dettaglio dell'area di studio e delle zone limitrofe, nonché la definizione dei parametri idraulici caratteristici degli alvei e delle aree golenali (scabrezze, sezioni trasversali, opere idrauliche esistenti).

Un aspetto cruciale del presente studio sarà, inoltre, l'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, né in termini di portate massime né in termini di volumi complessivi scaricati. 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 sostenibile, 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.

La presente relazione si prefigge, pertanto, di fornire un quadro conoscitivo completo e rigoroso degli aspetti idrologici e idraulici connessi alla realizzazione dell'impianto agrivoltaico, costituendo un supporto tecnico indispensabile per il corretto inserimento dell'opera nel contesto territoriale di riferimento, nel pieno rispetto delle normative vigenti e dei principi di salvaguardia idraulica del territorio.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

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

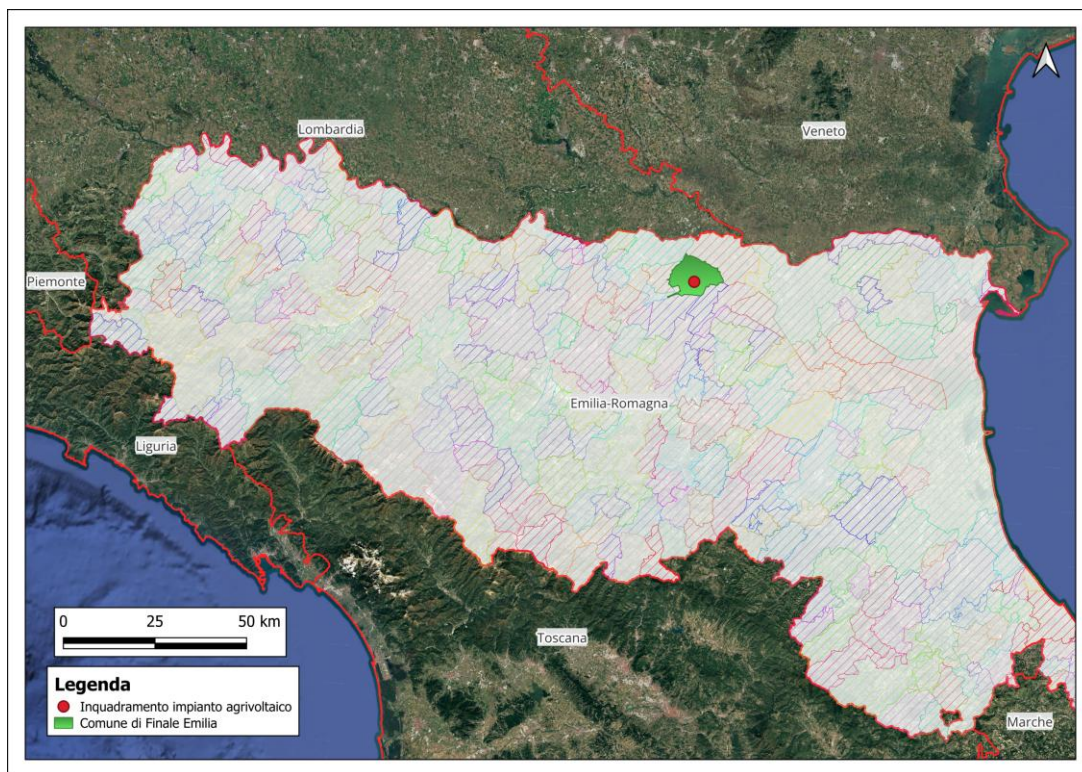


Figura 1 – Inquadramento impianto agrivoltaico

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

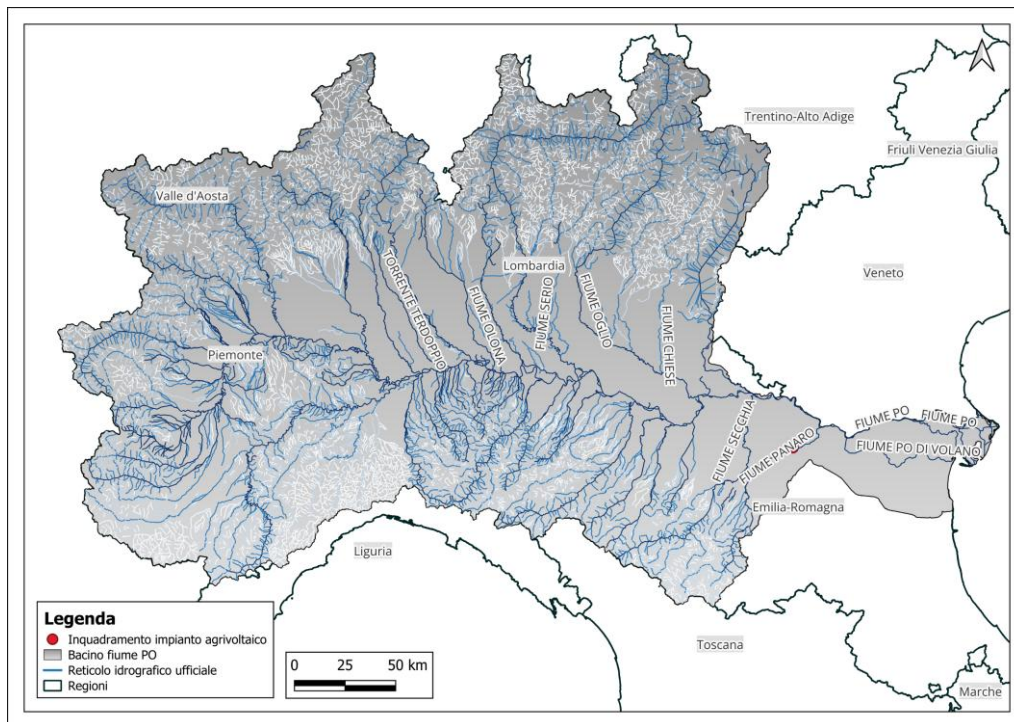


Figura 2 – Inquadramento idraulico – bacino fiume Po

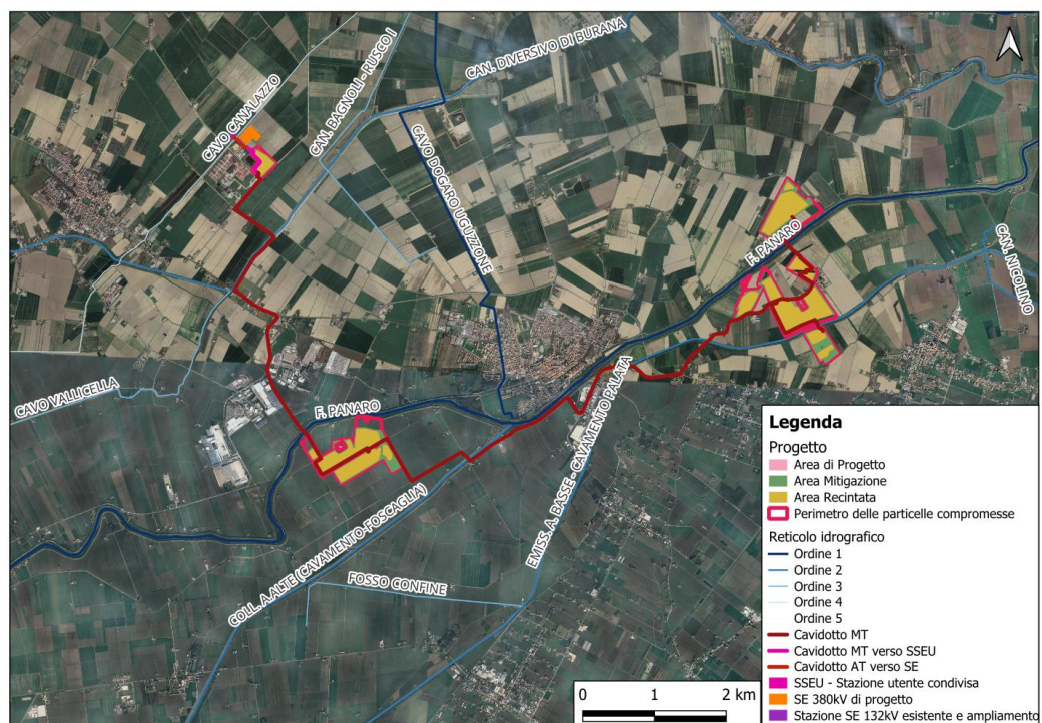


Figura 3 – Inquadramento idraulico – area di progetto

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.

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 B occorre che i manufatti e gli insediamenti abbiano particolari caratteristiche, tali da renderli compatibili senza eccessivi danni con l'allagamento che, in casi eccezionali, può comunque verificarsi.

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 verificassero, e quindi devono essere predisposti piani di protezione civile che, a fortiori, si estendono anche alle zone A e B.

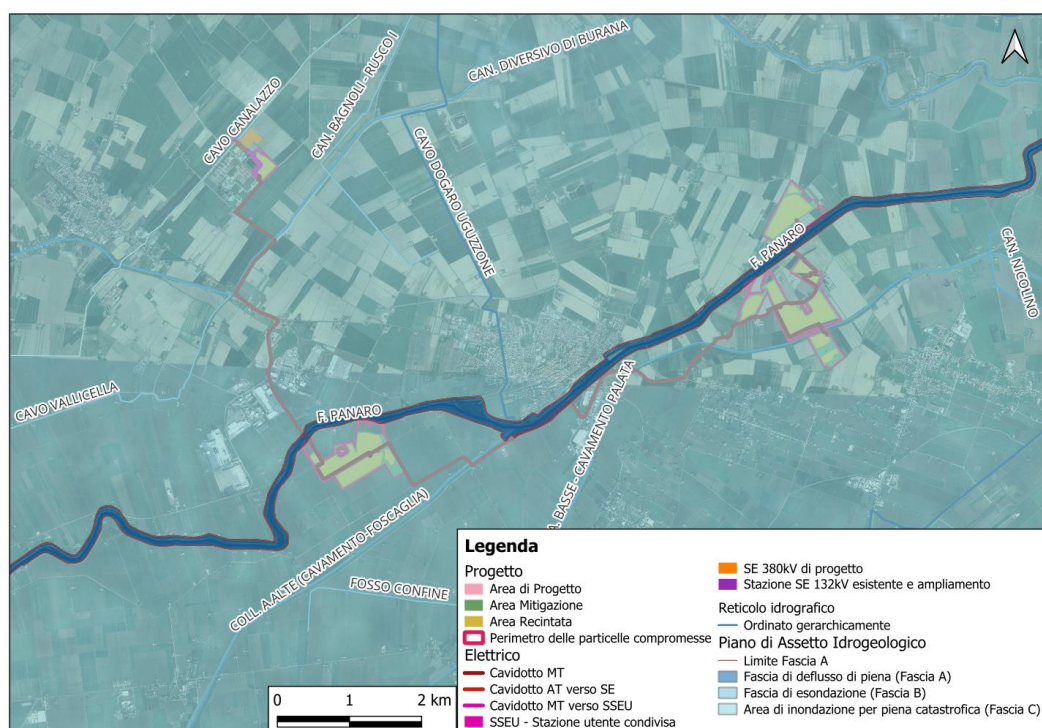


Figura 5 – Mappa della Pericolosità idraulica PAI

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).

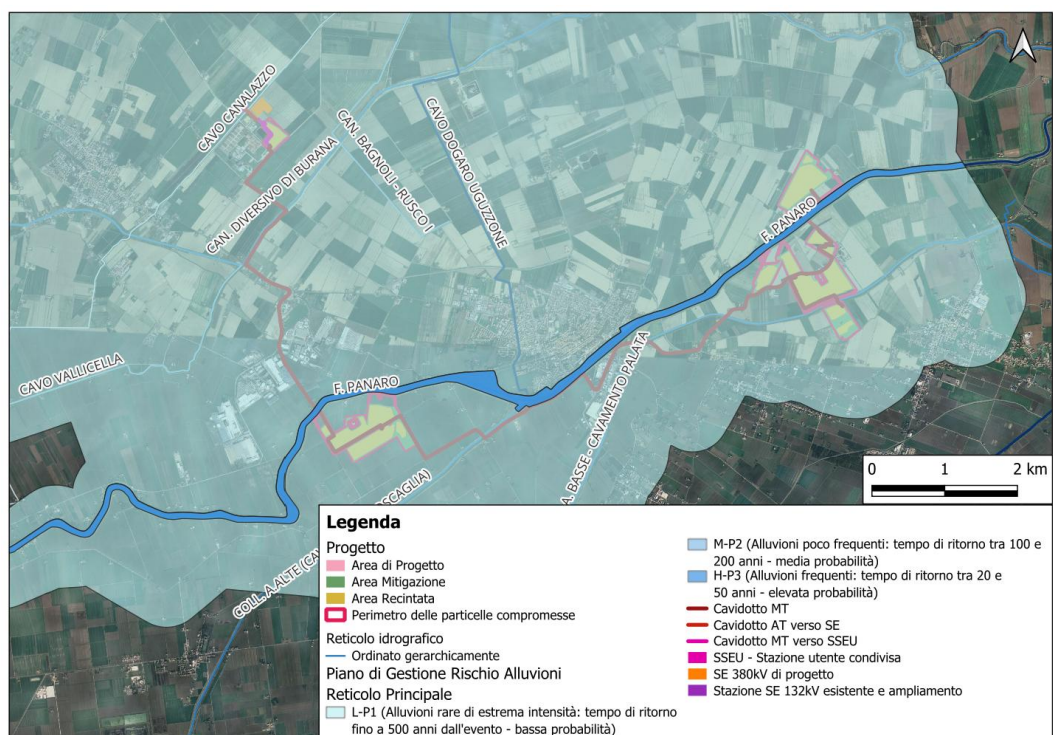


Figura 6 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo Principale

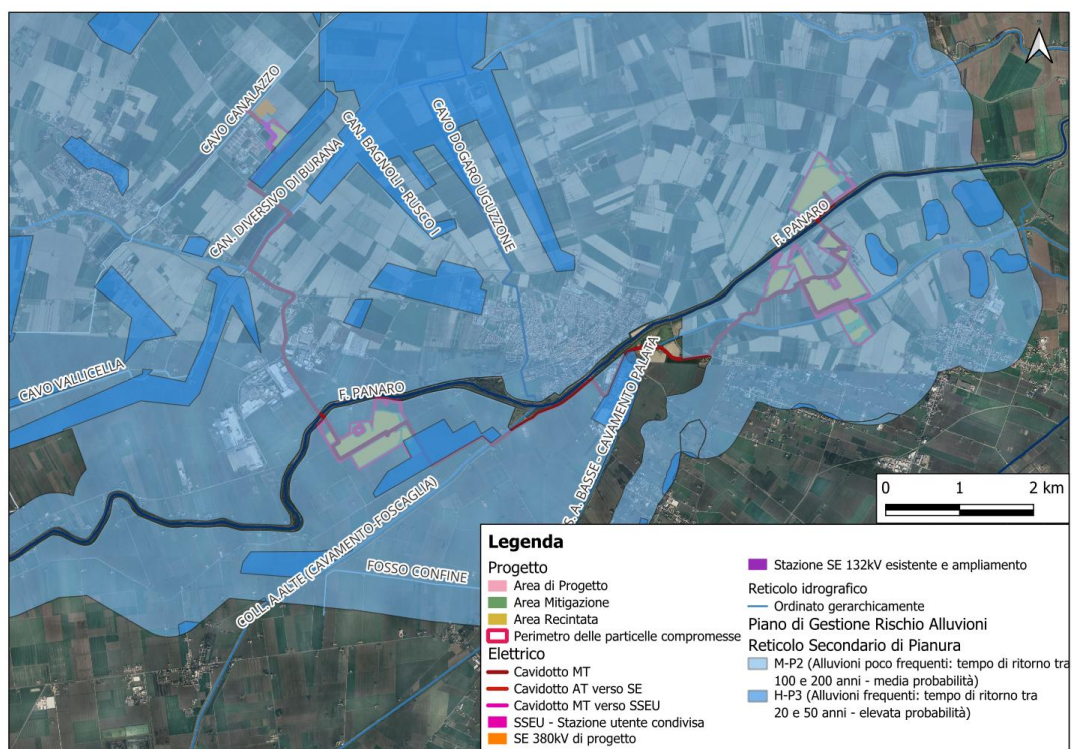


Figura 7 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura

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. Tuttavia, lo stesso articolo prevede la possibilità che "discipline vigenti nelle diverse località" possano stabilire distanze differenti.

Nel contesto specifico dell'area di Finale Emilia, ricadente nel bacino idrografico del fiume Po, la normativa di riferimento è integrata e specificata dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po. Le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) di tale Piano, che costituiscono strumento sovraordinato e cogente per la pianificazione territoriale e urbanistica, introducono disposizioni più restrittive per la tutela delle opere idrauliche e la mitigazione del rischio.

Nello specifico, per quanto concerne le distanze di rispetto dai corpi arginali dei corsi d'acqua principali, come quelli che interessano il territorio di Finale Emilia (ad esempio il fiume Panaro), le NTA del PAI del Po, all'articolo 10, istituiscono una "Fascia di rispetto dai corpi arginali". All'interno di questa fascia, che si estende per una distanza minima di 30 metri dal piede esterno delle arginature, è generalmente interdetta ogni nuova edificazione o trasformazione del territorio che possa compromettere la funzionalità idraulica o la sicurezza delle opere di difesa.

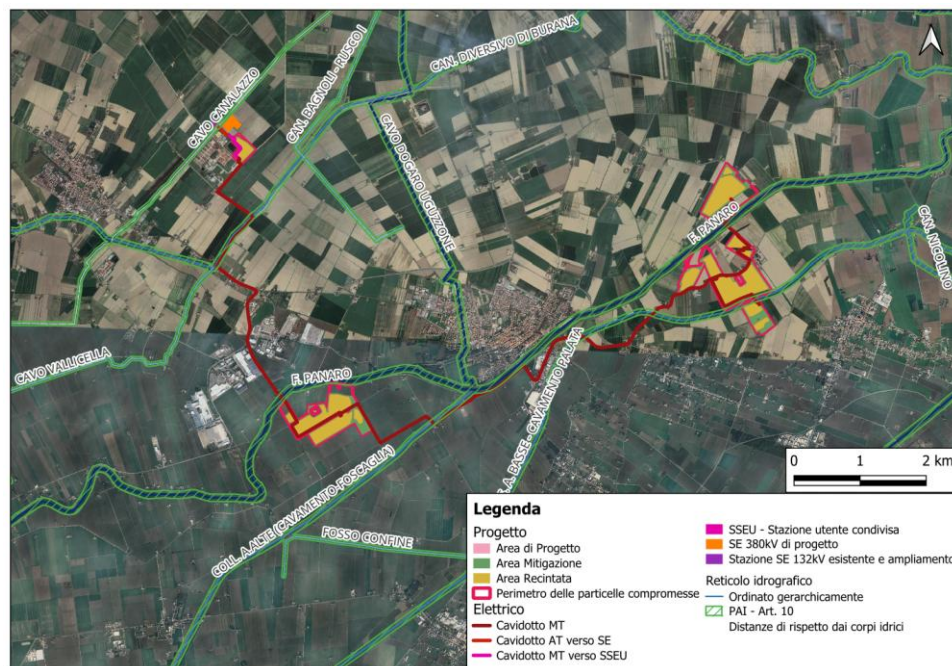


Figura 8 – Reticolo idrografico regionale con buffer 30m dal piede dell'argine

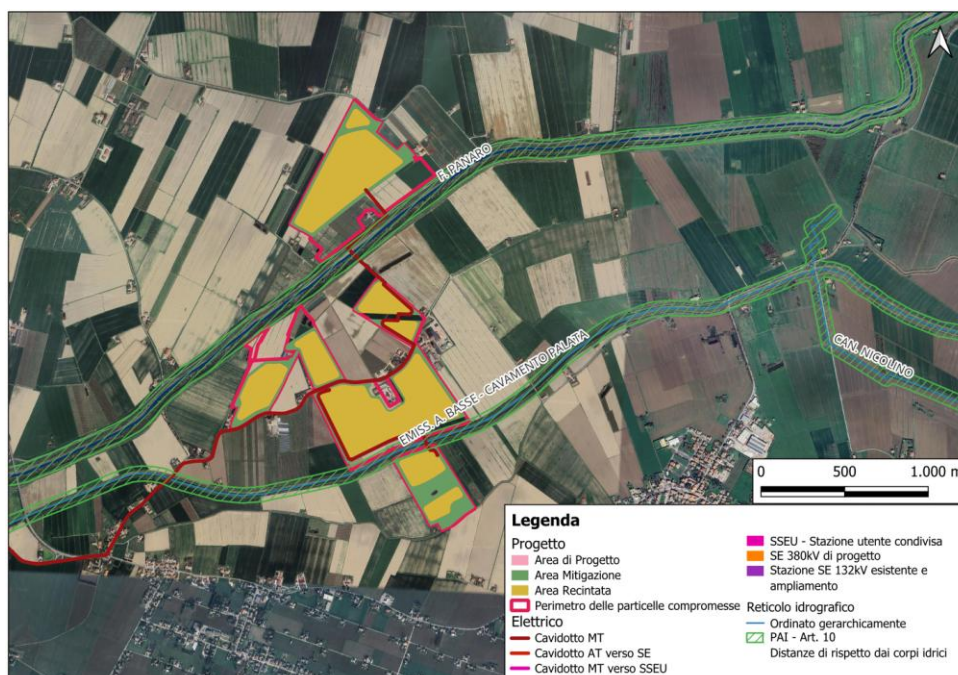


Figura 9 – Reticolo idrografico regionale con buffer 30m – dettaglio 1



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 dei vincoli paesaggistici. L'articolo 17 disciplina le "Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua", focalizzandosi sulla salvaguardia degli elementi naturali e morfologici che connotano questi ambiti. L'articolo 18 riguarda specificamente gli "Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua", ponendo l'accento sulla protezione diretta di queste componenti

idriche essenziali. Infine, l'articolo 19 individua le "Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale", aree che per le loro caratteristiche di pregio o per la loro funzione di connessione ecologica necessitano di specifiche misure di tutela. Una rappresentazione cartografica di tali aree di vincolo, così come definite dai suddetti articoli, è illustrata nella figura seguente.

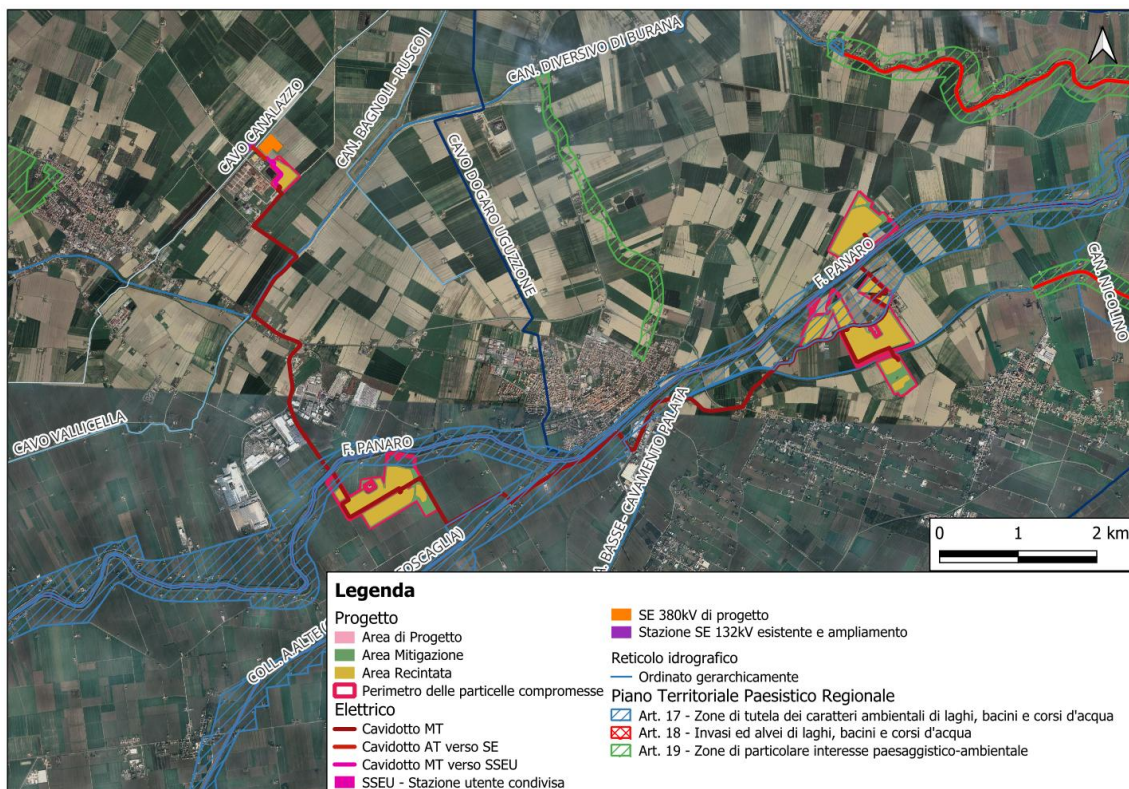


Figura 11 – Vincolo paesaggistico – Norme di attuazione PTPR – artt. 17, 18 e 19

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.

Tra i metodi più noti ed affidabili presenti in letteratura troviamo:

- Metodo di Gumbel;
- Metodo T.C.E.V. (Two Component Extreme Value Distribution).

4.1 Metodo di Gumbel

Il **metodo di Gumbel** è basato sulla distribuzione di valori estremi di tipo I (Gumbel EV1). Si tratta di un modello statistico che viene utilizzato per descrivere il comportamento degli

eventi estremi, come le altezze di pioggia massime annuali. Le caratteristiche principali di questo metodo sono:

- **Distribuzione unicomponente:** il metodo si basa sull'assunzione che i massimi annuali o gli eventi estremi seguano una distribuzione Gumbel, che ha una forma specifica (curva a coda lunga).
- **Applicazione semplice:** è molto diffuso nelle applicazioni di ingegneria idraulica per la sua semplicità e richiede relativamente pochi dati storici.
- **Utilizzo per eventi estremi:** il metodo Gumbel è specificamente progettato per modellare gli eventi di pioggia estremi, come quelli con lunghi periodi di ritorno (es. 50, 100 anni).

Il metodo di Gumbel, essendo basato su soli due parametri, non può considerare l'influenza dei momenti di ordine superiore nelle stime probabilistiche, in particolare del momento del terzo ordine. Questo momento, che misura il livello di asimmetria della funzione di probabilità, può avere un impatto significativo in certi casi, poiché è sensibile alla presenza di valori anomali (outlier) che si discostano notevolmente dal resto dei dati nella serie storica. Ignorare questo aspetto significa perdere una parte importante dell'informazione contenuta negli outlier, informazione che può influenzare le stime per valori di tempo di ritorno elevati. Tuttavia la stima di questo parametro è soggetta a grande incertezza e pertanto, nella maggior parte delle applicazioni pratiche, è difficile tenerne conto.

4.2 Va.Pi. – metodo T.C.E.V.

Il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) consente di superare i limiti rappresentati dalla scarsità di informazioni pluviometriche sul territorio, utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile, per determinare la distribuzione regionale delle precipitazioni.

Questo modello si caratterizza per la possibilità che offre di tradurre in termini statistici la diversa provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente alla combinazione di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima componente della funzione raggruppa un insieme di valori non elevati, ma frequenti costituendo la parte statisticamente ordinaria; la seconda componente è quella straordinaria generata da eventi più rari, ma mediamente più rilevanti.

Il risultato è un modello in grado di rappresentare la distribuzione dei valori massimi di due popolazioni e, a differenza delle distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) che difficilmente riescono a rendere conto della presenza di alcuni valori molto elevati, è in grado di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche.

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni dati statistici.

5 STUDIO IDRAULICO

Lo studio della propagazione delle onde di piena, ricavate per i tempi di ritorno fissati, è essenzialmente finalizzato alla determinazione dell'estensione e della concentrazione dell'allagamento prodotto. I modelli idraulici di propagazione giocano un ruolo fondamentale in questo tipo di analisi fornendo la possibilità di determinare l'andamento dei livelli idrici associati a differenti condizioni di moto.

Le verifiche idrauliche saranno condotte con un modello numerico bidimensionale implementato dal *U.S. Army Corps of Engineers* in un programma per elaboratore elettronico di ampia diffusione e di consolidata pratica d'uso quale *l'Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS)*.

5.1 Software HEC-RAS

HEC-RAS è progettato per eseguire calcoli idraulici monodimensionali e bidimensionali per una rete completa di canali naturali e artificiali, aree di esondazione, aree protette dagli argini, ecc. La procedura di calcolo è basata sulla soluzione dell'equazione dell'energia monodimensionale. Le perdite di energia sono valutate dall'attrito (equazione di Manning) e dalla contrazione/espansione (coefficiente moltiplicato per il cambiamento di velocità in testa). L'equazione della quantità di moto è utilizzata in situazioni in cui il profilo della superficie dell'acqua è rapidamente variato. Queste situazioni includono i calcoli del regime di flusso misto (cioè i salti idraulici), l'idraulica dei ponti e la valutazione dei profili alle confluenze dei fiumi.

5.1.1 Codice di calcolo

La procedura di calcolo di HEC-RAS si basa sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale, andando analizzare solamente la componente della velocità diretta secondo la direzione prevalente del moto (longitudinale).

Il calcolo dei profili di corrente viene effettuato all'interno del software attraverso la risoluzione dell'equazione dell'energia tra due sezioni consecutive, mediante un processo iterativo (*standard step method*).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

Dove:

- Y_2, Y_1 sono i tiranti idrici;
- Z_1, Z_2 sono le quote geodetiche;
- V_1, V_2 sono le velocità medie;
- α_1, α_2 sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;
- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e è la perdita di carico totale nel tratto considerato.

Il valore di h_e è definito dalla somma delle perdite dovute all'attrito (perdite distribuite) e delle perdite di carico dovute alla contrazione o all'espansione della vena liquida (perdite localizzate).

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

con:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{rob} Q_{rob} + L_{ch} Q_{ch}}{Q_{lob} + Q_{rob} + Q_{ch}}$$

Dove:

- i pedici *lob*, *rob* e *ch* indicano la golenella sinistra, destra e il canale centrale, relativamente alle lunghezze e alle portate;
- S_f è la cadente della linea dei carichi totali;
- C è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1, che tiene conto delle perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della vena fluida.

Tramite la formula di Chezy è possibile calcolare il valore delle conveyance considerando le singole porzioni di flusso (in goleni destra e sinistra e nel canale centrale).

$$Q = K S_f^{1/2} e \qquad K = 1/n AR^{2/3}$$

con:

- K conveyance espressa in m³/s;
- n coefficiente di scabrezza di Manning espressa in m^{1/3}/s;
- A area relativa al deflusso espressa in m²;
- R raggio idraulico espresso in m.

Il valore della conveyance viene calcolato per le singole sezioni di deflusso, ottenendo quindi un valore totale della stessa, come somma dei contributi di K_{rob}, K_{lob} e K_{ch}.

Infine il coefficiente di ragguaglio α viene calcolato considerando che l'altezza cinetica deriva dal valore medio pesato sulla portata sulle singole sezioni (golenali e centrale).

$$\frac{\alpha \bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \frac{V_i^2}{2g}}{Q_{tot}} \qquad \text{con} \qquad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i V_i^2}{Q_{tot} V^2}$$

Il valore relativo all'altezza della superficie libera incognita viene determinato in maniera iterativa a partire dai dati assegnati di portata e dalle caratteristiche geometriche delle singole sezioni.

La procedura di calcolo prevede la risoluzione dell'equazione dell'energia e delle perdite di carico in maniera iterativa, come di seguito descritto:

1. Scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera WS₁, in corrispondenza della sezione di monte per correnti lente, o di valle per correnti veloci;
2. Calcolo a partire dal valore definito al punto 1, dei corrispondenti valori di conveyance totale e di altezza cinetica;

3. Stima di S_f e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali h_e ;
4. Soluzione, a partire dai valori ottenuti al passo 2 e 3, dell'equazione dell'energia per il calcolo della superficie libera WS_2 ;
5. Confronto fra il valore di WS_2 calcolato ed il valore assunto al punto 1 e reiterazione dei passi da 1 a 5 fino al raggiungimento della convergenza, definita per default da una differenza fra i due valori inferiore a 0,003 m (o qualsiasi altra tolleranza definibile dall'utente).

5.1.2 Coefficiente di scabrezza

Il coefficiente di scabrezza in un alveo naturale rappresenta una misura globale della resistenza al moto della corrente, in cui si compendiano una molteplicità di fattori tra i quali la forma e la regolarità della sezione, la presenza quali-quantitativa di vegetazione e le caratteristiche litologiche del materiale d'alveo.

La sua determinazione deve quindi essere condotta con grande attenzione, valutando attentamente le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo e la copertura vegetale delle sponde e delle aree golenali adiacenti interessate al deflusso lungo tutto lo sviluppo dell'asta fluviale di interesse.

Nella pratica tecnica il valore numerico del coefficiente rappresentativo del termine di resistenza nell'equazione del moto può essere determinato facendo ricorso a relazioni e tabelle di natura sperimentale ampiamente disponibili in letteratura tecnica. Tali relazioni forniscono il valore del coefficiente di scabrezza sulla base di analogie delle caratteristiche morfologiche e vegetazionali dell'alveo di interesse ad una serie di situazioni tipiche dei corsi d'acqua naturali già investigate sperimentalmente.

6 INVARIANZA IDRAULICA

Lo studio di invarianza idraulica sarà effettuato nel rispetto dell'art. 9 delle Norme di attuazione del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dell'AdB Romagna e dell'art. 7 della "Direttiva di norme tecniche relative alle valutazioni idrologiche ed idrauliche" a corredo del medesimo Piano.

L'art. 9 sopracitato introduce il principio di invarianza idraulica delle trasformazioni del territorio, definito al comma 1 del medesimo articolo:

"Per trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa."

L'intervento previsto in progetto non comporta una rilevante variazione né di permeabilità dei terreni né del coefficiente di deflusso. Ciò è dovuto al fatto che le stringhe di pannelli da installare non rendono impermeabile il suolo, più di quanto non lo sia già in condizioni ante operam, poiché non si tratta di vera e propria urbanizzazione dove si creeranno superfici impermeabili.

Ciò comporta che l'opera in progetto non crei un incremento significativo del deflusso superficiale delle acque considerato che le stesse acque vengono drenate naturalmente nei fossi e negli impluvi naturali già esistenti.

Si evidenzia che la presenza delle strutture di progetto (stringhe di pannelli inclinati e posti ad una prestabilita altezza dal suolo) garantisce una protezione al consumo di suolo in termini di erosione, in quanto l'energia posseduta dalla pioggia zenitale viene dissipata nell'urto con i pannelli. Inoltre, come riportato nel layout progettuale, sono previste piantumazioni al di sotto delle stringhe di pannelli, che garantiscono un'ulteriore protezione del suolo contro l'erosione.

Indipendentemente da queste considerazioni il progetto verrà trattato alla stregua di una nuova urbanizzazione.

Per la stima dei coefficienti di deflusso φ e φ° si fa riferimento alla relazione convenzionale:

$$\varphi^\circ = 0.9 \text{ Imp}^\circ + 0.2 \text{ Per}^\circ$$

$$\varphi = 0.9 \text{ Imp} + 0.2 \text{ Per}$$

Dove φ rappresenta il coefficiente di deflusso, Imp la quota dell'area da ritenersi impermeabile e Per la quota dell'area da ritenersi permeabile. I valori caratterizzati dall'apice "°" si riferiscono alla situazione ante opera.

Per garantire una migliore capacità di laminazione dei volumi di pioggia e successiva infiltrazione nel terreno, si prevede che al di sotto e al piede delle strade interne di servizio venga realizzata una massicciata con uno spessore di almeno 1,00 m, costituita da materiale altamente drenante contenuta da un telo di geotessuto di adeguato spessore, allo scopo di evitare infiltrazione di materiale fine all'interno della sede stradale.

In merito alle strutture a moduli (cabine elettriche), le fondazioni saranno costituite da materiale altamente drenante e ad alto peso specifico, costituenti gabbionate metalliche avvolte in teli di geotessuto di opportuno spessore.

INDICE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento impianto agrivoltaico	4
Figura 2 – Inquadramento idraulico – bacino fiume Po.....	5
Figura 3 – Inquadramento idraulico – area di progetto	5
Figura 4 – Suddivisione territoriale dei distretti	6
Figura 5 – Mappa della Pericolosità idraulica PAI.....	9
Figura 6 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo Principale	11
Figura 7 – Mappa della pericolosità idraulica – PGRA – Reticolo secondario di pianura...	11
Figura 8 – Reticolo idrografico regionale con buffer 30m dal piede dell'argine	13
Figura 9 – Reticolo idrografico regionale con buffer 30m – dettaglio 1	13
Figura 10 – Reticolo idrografico regionale con buffer 30m – dettaglio 2	14
Figura 11 – Vincolo paesaggistico – Norme di attuazione PTPR – artt. 17, 18 e 19.....	15