

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE SOLARE (IMPIANTO FOTOVOLTAICO), DELLA POTENZA DI PICCO TOTALE PARI A 24,99 MWp E POTENZA NOMINALE IN IMMISSIONE PARI A 24,0 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE ELETTRICA DI PROPRIETA' DI E-DISTRIBUZIONE SPA.

Sezione:

SEZIONE 1 - RELAZIONI

Titolo elaborato:

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

n. Elaborato: 1.8
rev. 04

Scala: -----
data: Febbraio 2025

Committente:

NEOEN

NEOEN RENEWABLES ITALIA S.R.L.
Sede legale: Via Giuseppe Rovani n. 7
20123 MILANO (MI)
P.IVA: 11953710966
PEC: neoenrenewablesitalia@pecplus.it

Progettazione:

LUMI STUDIO

Dott. Arch. Donato Orlando Cera
Ordine degli Architetti della Provincia di Milano n. 16906
PEC: cera.16906@aomilano.it



Sommario

1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	2
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
4. VALUTAZIONE DEL PROGETTO IN MERITO AL PGRA	7
4.1. RETICOLO NATURALE PRINCIPALE (RP) E SECONDARIO DI PIANURA (RSP).....	9
4.2. MISURE PER LA COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL PROGETTO	10
5. ANALISI PLUVIOMETRICA	12
6. STUDIO DELLE ALTERAZIONI DI DEFLUSSO	13
6.1. STATO DI FATTO.....	14
6.2. STATO DI PROGETTO	15
7. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IDRAULICA	16
7.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	16
7.2. CALCOLO VOLUME VASCHE DI LAMINAZIONE – METODO DELLE PIOGGE (CINEMATICO)	17
8. INTERVENTI DI COMPENSAZIONE	20
8.1. VOLUMI COMPENSATIVI DI INVASO.....	20
8.2. DISPOSITIVI IDRAULICI DI REGOLAZIONE DELLA PORTATA e SCOLO RICETTORE	22
8.3. MISURE MINIME DI MANUTENZIONE.....	24
9. CONCLUSIONI	25
10. ASSEVERAZIONE DI COMPATIBILITA' DEL PROGETTO	26

1. PREMESSA

L'intervento a progetto insiste su un'area situata nel Comune di Bentivoglio (BO) in Località La Casella, SNC distante circa 20 km direzione Nord-Est dal suo capoluogo di provincia.

La relazione è destinata a un progetto relativo alla realizzazione di un impianto a terra di produzione di energia da fonte rinnovabile fotovoltaica di potenza di picco totale pari a 24,98 MWp e potenza nominale in immissione pari a 24,0 MW. I mappali in disponibilità della società proponente sono 25, 27, 28, 29, 30, 77, 80, 81, 82, 83 e 84 riportati nel Foglio 3 del Catasto Terreni del Comune di Bentivoglio (BO), i quali presentano un'estensione catastale complessiva di 446.028 mq. Tuttavia, l'area d'intervento esaminata, sarà limitata a 262.069 mq, poiché rappresenta l'estensione effettiva dell'area destinata all'impianto fotovoltaico che sarà parzialmente impermeabilizzata più la parte in cui saranno realizzati i rispettivi invasi. La restante parte dell'area, invece, rimarrà verde come nello stato attuale.

La presente relazione è relativa alla definizione preliminare, degli interventi atti a garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica ed idrologica in funzione del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 24 maggio 2001 e in relazione a quanto disposto dal Consorzio di Bonifica Renana.

Si definisce invarianza idraulica il principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le principali norme che regolamentano il procedimento autorizzativo e la realizzazione degli impianti fotovoltaici sono i seguenti:

- Decreto legislativo 29 dicembre 2003, n. 387 – "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità",
- DECRETO 10 settembre 2010 - Linee guida per l'autorizzazione degli impianti alimentati da fonti rinnovabili;
- Decreto legislativo 3 marzo 2011, n. 28 – Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili;

- Decreto legislativo 31 maggio 2021, 77, convertito nella L. 29 luglio 2021, n. 108, recante "Governance del Piano nazionale di ripresa e di resilienza prime misure di rafforzamento delle strutture amministrative e di accelerazione e snellimento delle procedure";
- Legge Regionale 23 dicembre 2004, n. 26 "Disciplina della programmazione energetica territoriale ed altre disposizioni in materia di energia";
- Legge Regionale 20 aprile 2018, n.4 "DISCIPLINA DELLA VALUTAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DEI PROGETTI";
- Legge n. 108/2021, di conversione del decreto-legge n. 77/2021 (meglio noto come Decreto Semplificazione Bis), il cui art. 31 modifica l'art. 6 del D.lgs. n. 28/2011;
- Legge del 27 aprile 2022, n.34 recante misure urgenti per il contenimento dei costi dell'energia elettrica e del gas naturale, per lo sviluppo delle energie rinnovabili e per il rilancio delle politiche industriali;
- Legge n. 51/2022, di conversione del decreto-legge n. 21/2022, recante misure urgenti per contrastare gli effetti economici e umanitari della crisi ucraina.
- R.D. n° 368 del 1904;
- L. n° 215 del 1933;
- L.R. Emilia-Romagna n. 42 / 1984;
- L.R. Emilia-Romagna n. 4 / 2007;
- PSAI "Piano Stralcio Assetto Idrogeologico" D.G.R. n. 567/2003;
- PTC "Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale" Delibera di Consiglio Provinciale n. 15/2011;
- Regolamento consortile per la conservazione, la polizia delle opere di bonifica e la disciplina delle acque **il Regolamento è stato oggetto di aggiornamento (allegati 3 e 4). A breve verrà pubblicata la nuova versione*

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

I dati per l'individuazione dell'area di progetto sono di seguito riportati:

COMUNE	BENTIVOGLIO
PROVINCIA	BOLOGNA
LOCALITA'	LA CASELLA, SNC
CATASTALE	FOGLIO 3 P.LLE 25, 27, 28, 29, 30, 77, 80, 82, 83, 84.
SUPERFICIE INTERVENTO	262.069 mq

Secondo il PTCP vigente, che include la carta dei sistemi ambientali, delle risorse naturali e storico-culturali, il sito oggetto di indagine non presenta vincoli, ma confina a sud-ovest con aree che rientrano nelle fasce di pertinenza di tutela fluviale (art. 4.3) ed a sud-est con il Reticolo idrografico principale, ovvero con lo Scolo Lorgana Inferiore (art. 4.2). (Figura 1)

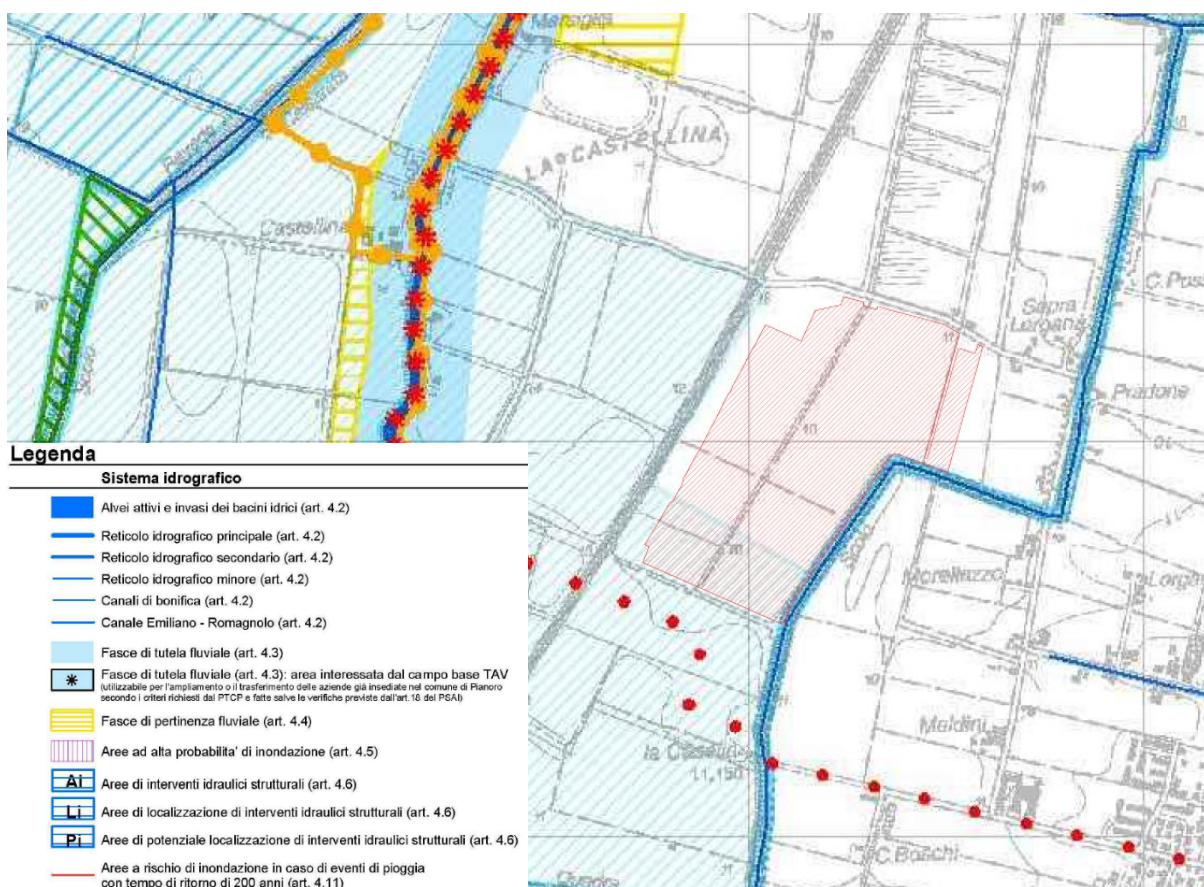


Figura 1 – Ubicazione dell'area di intervento – P.T.C.P. Tutela dei sistemi ambientali e delle risorse naturali e storici-culturali.

Il sito scelto per l'installazione dell'impianto fotovoltaico non si trova in aree a rischio frana, come indicato dal Piano di Assetto Idrogeologico del fiume Reno. Dalla cartografia disponibile, si evince che l'area dell'intervento non è soggetta né a inondazioni né a rischi idraulici.

L'area di progetto si trova nella zona agricola di Bentivoglio, nella località La Casella, ai confini con la località di Altedo, frazione del comune di Malalbergo (BO), ed è confinata verso ovest dall'Autostrada Bologna-Padova (A13). Morfologicamente, l'area è pianeggiante e si trova a circa 35,2 m sul livello del mare, come risulta dalla CTR. I terreni sono di tipo alluvionale, depositatisi in ambiente di bassa pianura e caratterizzati da sedimenti fini e medio-fini, formatisi in seguito a successive esondazioni del reticolo idrografico.

L'elemento idrografico principale nella zona è lo Scolo Longana, che scorre a est del sito di interesse. Dal punto di vista geologico, l'area è caratterizzata da coperture quaternarie appartenenti all'Unità di Modena (AES8a), con litologie di Sabbia Limosa e Argilla Limosa, tipiche delle pianure alluvionali. (Figura 2)

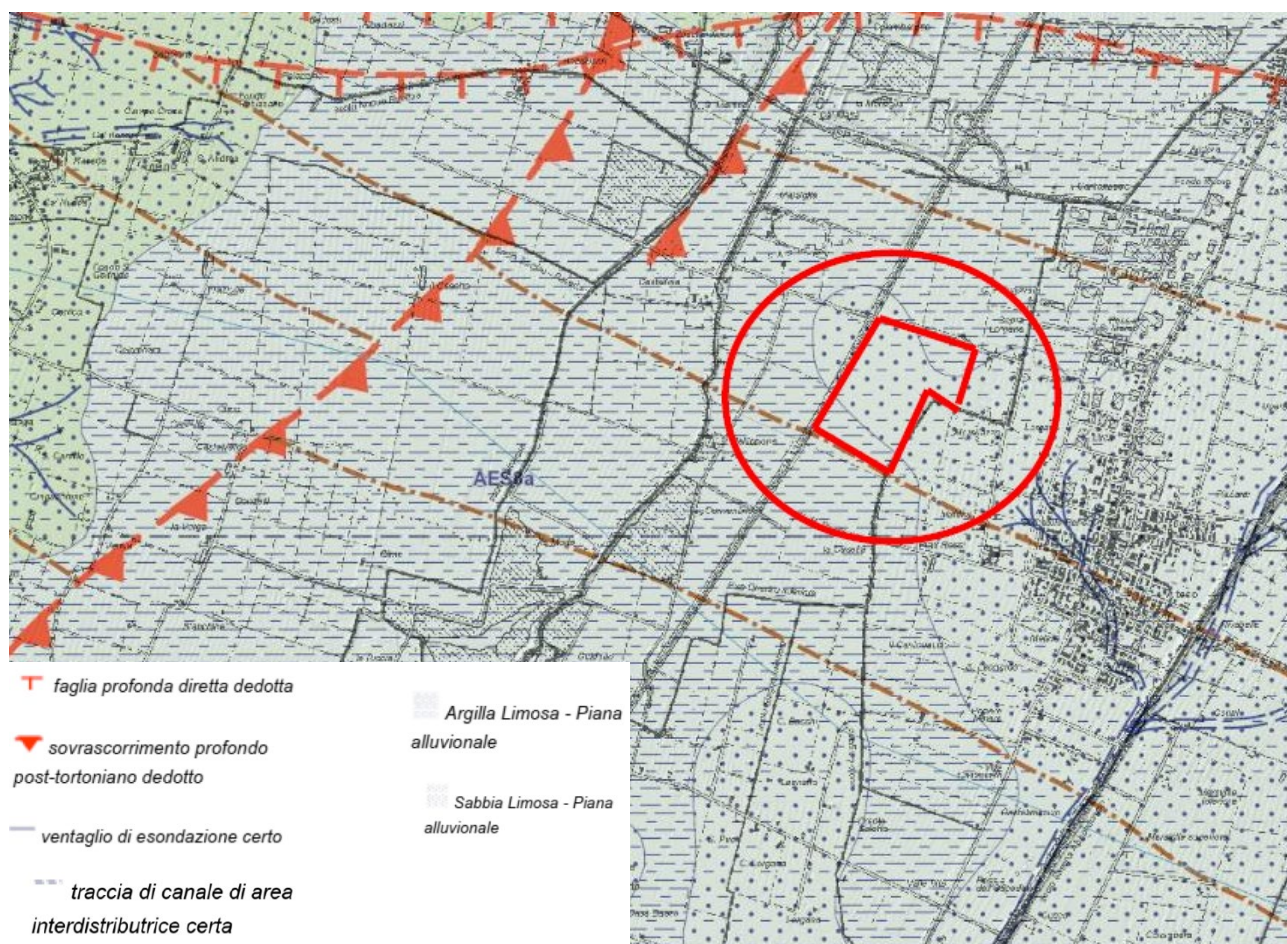


Figura 2 – Ubicazione dell'area di intervento – Caratterizzazione e modellazione geologica del sito.

AES8a - Unità di Modena

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati (primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive), deltizi, litorali, di conoide e, localmente, di piana inondabile. Nella costa e nel Mare Adriatico sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia passanti ad argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.C. Lo spessore massimo dell'unità è generalmente di alcuni metri, talora plurimetrico.

L'intervento è situato nel bacino idrografico di pianura del fiume Reno, tra il corso del Canale Navile a ovest e lo Scolo Lorgana Inferiore a est (Figura 3). In questa zona, le acque superficiali vengono convogliate verso nord, attraverso una rete di canali, scoline e fossi, fino a confluire nello Scolo Marsiglia, che sfocia nel fiume Reno più a nord. Il bacino idrografico è caratterizzato dalla presenza di argille impermeabili, a cui si aggiungono modifiche antropiche come l'impermeabilizzazione del territorio (abitazioni, zone industriali, strade, parcheggi, ecc.). Questi fattori naturali e umani hanno determinato numerosi interventi per regolare i corsi d'acqua, migliorando la loro portata idraulica e prevenendo esondazioni che potrebbero danneggiare abitazioni, aree industriali e terreni agricoli.

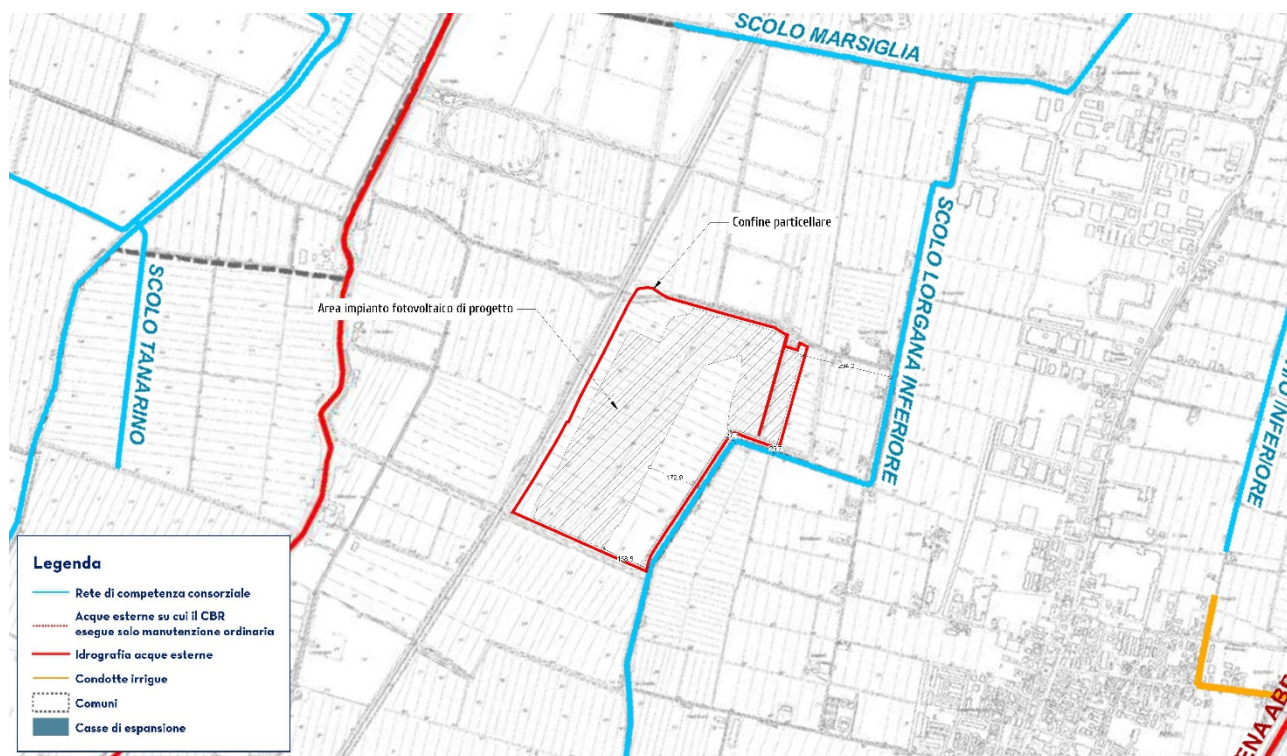


Figura 3 – Ubicazione dell'area di intervento – Rete idraulica (Consorzio della Bonifica Renana)

In allegato si fornisce lo stralcio aerofotogrammetrico che mostra l'ubicazione dell'area, che è circondata principalmente da terreni agricoli. L'altitudine del sito è di 12 m s.l.m.. (Figura 4)



Figura 4 – Ubicazione dell'area di intervento - Inquadramento su ortofoto

4. VALUTAZIONE DEL PROGETTO IN MERITO AL PGRA

Il Decreto Legislativo 49/2010, che recepisce la Direttiva 2007/60/CE, istituisce il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) come documento di importanza strategica e sovraordinato rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica. Questo piano viene redatto con l'obiettivo di ridurre il rischio e minimizzare le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, le attività economiche e le infrastrutture strategiche.

Il PGRA agisce in stretta collaborazione con i Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) già esistenti, che rappresentano lo strumento principale per la gestione del rischio idrogeologico a livello locale. Il piano, basato sulle mappe di pericolosità e rischio di alluvione, stabilisce la strategia complessiva a livello di distretto, identificando gli obiettivi da perseguire e le misure necessarie per orientare e coordinare tutti gli strumenti di pianificazione distrettuale, territoriale e settoriale in vigore, inclusa la pianificazione di emergenza di competenza del sistema di Protezione Civile, verso un unico obiettivo: la sicurezza delle persone e del territorio.

Inoltre, definisce le priorità d'intervento per le Aree a Rischio Potenziale Significativo, le infrastrutture strategiche, i beni culturali e le aree protette vulnerabili, su cui gli obiettivi generali del distretto devono essere adattati al fine di ridurre immediatamente le criticità esistenti attraverso misure specifiche.

Alla scala dell'intero distretto idrografico, il PGRA e i PAI operano in sinergia per garantire una gestione integrata e coordinata del territorio, tenendo conto delle caratteristiche specifiche di ciascun bacino idrografico.

Le mappe della pericolosità rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali) e dal mare, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare, poco frequenti e frequenti) rappresentati con tre diverse tonalità di blu, associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore. Le mappe del rischio indicano la presenza degli elementi potenzialmente esposti (popolazione coinvolta, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi da molto elevata (P4) a moderata o nulla (P1).

In sintesi, il PGRA costituisce una parte essenziale del Piano di Bacino, integrando e coordinando le misure previste dai PAI per affrontare in maniera efficace e sostenibile le sfide poste dai cambiamenti climatici e dalla crescente urbanizzazione, al fine di proteggere le comunità e gli ecosistemi locali dalle potenziali minacce alluvionali.



Figura 5 – Piano di Assetto Idrogeologico

4.1 RETICOLO NATURALE PRINCIPALE (RP) E SECONDARIO DI PIANURA (RSP)

La cartografia relativa al Rischio Potenziale per il reticolo naturale principale (RP) e secondario di Pianura (RSP) rivela che l'area d'intervento ricade nello scenario M-P2. Questo scenario specifica la presenza di alluvioni con media probabilità di verificarsi, caratterizzate da tempi di ritorno (TR) compresi tra 100 e 200 anni. Lo scenario M-P2 indica che le alluvioni, anche se meno frequenti, possono verificarsi con una certa regolarità nel lungo periodo, comportando rischi significativi per l'area. Nonostante la media probabilità associata a queste alluvioni, l'impatto potenziale di tali eventi può essere considerevole, soprattutto in zone con alta densità abitativa o infrastrutture critiche.

L'area interessata dal progetto si trova quindi in una zona in cui, pur non essendo frequenti, le alluvioni possono avvenire e causare danni rilevanti. È essenziale considerare misure preventive e di mitigazione per gestire efficacemente il rischio idraulico. Questo include la progettazione e l'implementazione di sistemi di drenaggio adeguati, la manutenzione regolare dei corsi d'acqua e l'adozione di strategie di pianificazione territoriale che riducano la vulnerabilità delle infrastrutture e delle comunità locali.

L'obiettivo principale è garantire che l'area sia preparata a gestire eventi alluvionali anche meno frequenti, minimizzando i potenziali danni e proteggendo le risorse ambientali ed economiche del territorio.



Figura 6 – Elaborato Proprio - Inquadramento su ortofoto - Reticolo Principale (RP) - PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI - Il ciclo di attuazione Scenari di pericolosità nelle aree allagabili.

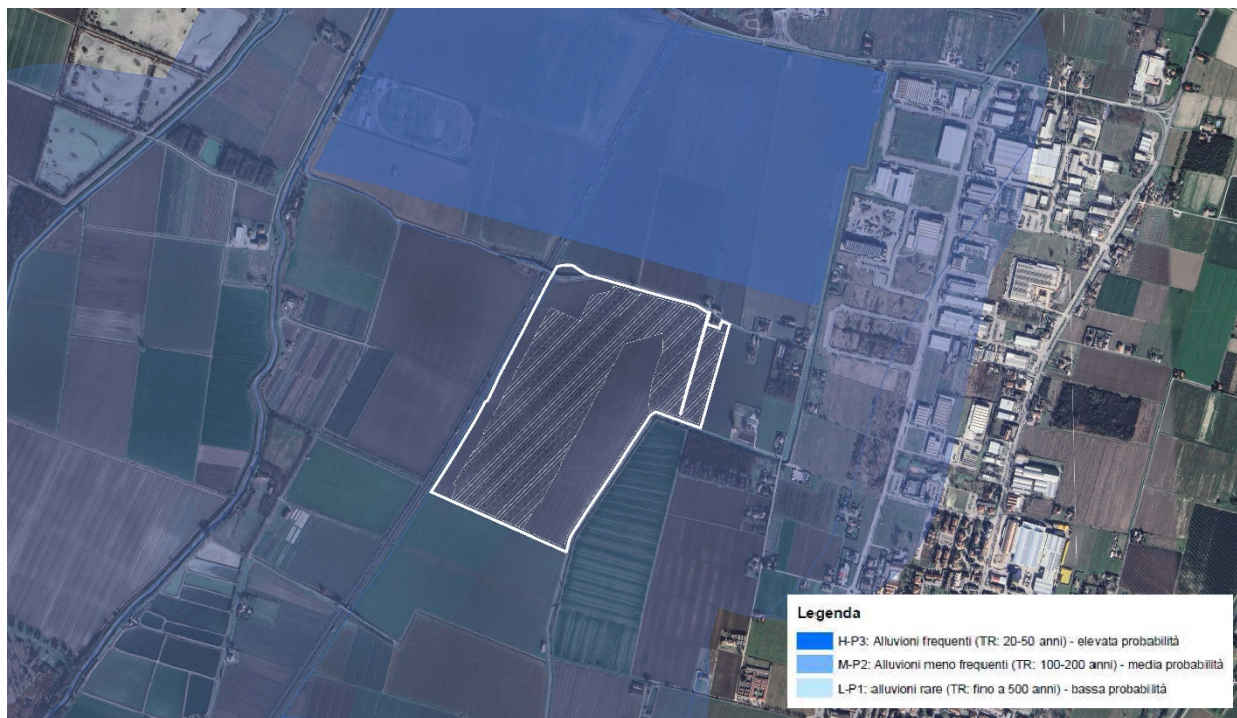


Figura 7 – Elaborato Proprio – Inquadramento su ortofoto – Reticolo Secondario di Pianura (RSP) – PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI - Il ciclo di attuazione Scenari di pericolosità nelle aree allagabili.

4.2 MISURE PER LA COMPATIBILITA' IDRAULICA DEL PROGETTO

Il progetto descritto nella Figura 5 ricade nello scenario P2, così come definito dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo Secondario di Pianura (RP+RSP), identificato dalle mappe di pericolosità di inondazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvione (PGRA). Questo scenario indica un rischio significativo di allagamento e pertanto sono state adottate specifiche misure per mitigare tale rischio e garantire la sicurezza delle strutture e dell'ambiente.

All'interno dell'impianto di futura realizzazione, le uniche strutture che potrebbero ostacolare il deflusso delle acque in caso di allagamento sono rappresentate dai sostegni dei moduli fotovoltaici e dalle cabine elettriche. I sostegni dei moduli fotovoltaici sono costituiti da pali metallici direttamente infissi nel terreno, i quali presentano un ingombro minimo e trascurabile. Le cabine elettriche, necessarie per il funzionamento dell'impianto, sono anch'esse progettate per minimizzare l'ingombro e ridurre al massimo qualsiasi interferenza con il flusso naturale delle acque.

Non sono presenti altre strutture o tamponamenti che potrebbero ostacolare il deflusso delle acque in caso di inondazione e ciò garantisce che l'intervento non contribuisca all'aggravamento delle condizioni di pericolosità esistenti dell'area.

Per ridurre il rischio di danneggiamento dei beni e delle strutture e per garantire la sicurezza sanitaria e ambientale ed in particolare:

- È stato deciso di posizionare il piano di calpestio delle cabine elettriche a una quota rialzata di 50 cm rispetto al piano campagna. Questa elevazione è stata studiata specificamente per le zone di pericolosità P2 e si ritiene sufficiente a ridurre la vulnerabilità delle strutture alle inondazioni.
- È stata presa la decisione di non realizzare interventi che comportino un rilevante accumulo di acqua o che possano aggravare le condizioni di pericolosità o di rischio per le aree circostanti. Ciò include la prevenzione di qualsiasi modifica significativa alla topografia dell'area che potrebbe influire negativamente sul deflusso delle acque.
- Inoltre, al fine di ridurre ulteriormente il rischio idraulico e aumentare la sicurezza dell'impianto fotovoltaico in un'area con pericolosità di inondazione, si installerà un sistema di allarme e monitoraggio che in tempo reale permetterà di rilevare livelli di acqua pericolosi e avvisare tempestivamente il personale atto a monitorare il corretto funzionamento dell'impianto. Attraverso sensori di livello installati in punti strategici lungo le vasche, si potrà monitorare accuratamente il livello dell'acqua garantendo che il sistema funzioni correttamente.

Le cautele costruttive adottate consentiranno di rendere l'intervento compatibile con le criticità idrauliche rilevate. In particolare, le misure di mitigazione adottate sono adeguate al tipo di pericolosità e al livello di esposizione dell'area, garantendo che il progetto non comporti una riduzione né una parzializzazione apprezzabile della capacità di invaso dell'area.

È importante sottolineare che l'intervento è finalizzato alla realizzazione di un impianto di produzione e trasporto di energia da fonte rinnovabile. Questo progetto non solo non compromette la capacità di invaso dell'area, ma non creerà neppure modifiche all'attuale dinamica fluviale e alle infrastrutture esistenti. L'obiettivo principale del progetto è di contribuire alla produzione di energia pulita e sostenibile, senza aumentare il rischio idraulico dell'area e mantenendo intatta l'integrità ambientale e infrastrutturale.

5. ANALISI PLUVIOMETRICA

5.1. CURVA DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

Al fine di determinare in maniera corretta il regime idraulico dell'area è necessario ricavare le informazioni circa l'idrologia della zona che sono insite nei parametri della curva segnalatrice di possibilità climatica

(a e n): $h = a \cdot t^n$

Che lega le altezze di pioggia alle durate di pioggia.

Per la stima di tali parametri è necessario raccogliere i dati di pioggia riportati sugli Annali Idrologici. Vista l'ubicazione dell'area si fa riferimento ai dati della stazione di rilevamento Colunga, dati che sono in uso ad ARPA Emilia-Romagna.

Per l'analisi verrà considerato un tempo di ritorno di 100 anni tramite la legge di Gumbel.

Nella seguente Tabella sono riportati la media dei massimi annuali di pioggia presso il sito d'interesse.

	Durata (ore)				
Stazione	1	3	6	12	24
Colunga	4,4	13,2	26,4	52,8	105,6

Si riportano di seguito i calcoli effettuati per trovare le altezze di pioggia di ritorno $T_r = 100$ anni ed i parametri della Legge di Gumbel.

m	4,4	13,2	26,4	52,8	105,6
σ	1.37	4.17	8.07	15.48	35,28
α	1.49	3.25	6.21	12.02	27.49
u	3.95	11.56	22.83	45.85	89.71
ht	7.42	24.32	43.85	88.54	188.73

Con il metodo dei minimi quadrati si riescono ad ottenere i parametri della curva segnalatrice di possibilità climatica a ed n.

Dal portale si ricavano i seguenti parametri della curva pluviometrica:

a	n
48.05	0.39

6. STUDIO DELLE ALTERAZIONI DI DEFLUSSO

Il principio dell'invarianza idraulica sancisce che la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area debba essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo in quell'area. È evidente come qualsiasi impermeabilizzazione del suolo causa una riduzione della capacità di infiltrazione naturale sul suolo ed un aumento della portata rilevata allo scarico a seguito di un evento meteorico.

Due importanti parametri che consentono la valutazione di tale portata sono il coefficiente di deflusso ϕ ed il coefficiente udometrico u .

Il coefficiente di deflusso ϕ (adimensionale) è definito come il rapporto tra il volume defluito attraverso un'assegnata sezione in un definito intervallo di tempo ed il volume di pioggia caduto nel bacino nell'intervallo stesso. Pertanto, tale parametro consente la stima della frazione di afflusso meteorico efficace ai fini del deflusso.

È evidente come l'aumento di tale parametro in una determinata area di studio creerà una maggiore portata in uscita dall'area stessa.

In accordo con i dati più diffusi in letteratura, verranno utilizzati i seguenti coefficienti di deflusso:

Tipologia di suolo	Coefficiente ϕ
Permeabile (es. verde agricolo)	0,1
Permeabile (es. area verde)	0,2
Impermeabile (es. pavimentazione in cls, coperture, piazzali in binder)	0,9

In realtà il coefficiente di deflusso è altamente variabile in base all'intensità dell'evento, della durata dello stesso e delle condizioni iniziali di umidità del suolo; in fase di progetto è opportuno però mantenersi in condizioni di maggiore cautela, considerando pertanto valori costanti di ϕ riferiti ad eventi critici ed in condizioni di elevata umidità iniziale del suolo. Il coefficiente udometrico u (l/s·ha) è definito come contributo specifico di piena, ovvero la portata di deflusso per unità di superficie.

Il valore di tale parametro è fortemente influenzato dall'estensione del bacino e dalla localizzazione dell'area in esame. Solitamente valori ridotti del coefficiente udometrico possono essere dell'ordine di grandezza di 4-5 (l/s·ha) per le aree di bonifica dell'Emilia-Romagna, mentre sono da considerarsi nel range 10-20 (l/s·ha) per superfici agricole di minore estensione.

In accordo con il Consorzio di Bonifica Renana, in questa analisi verrà impiegato il valore di coefficiente udometrico pari a 10 (l/s·ha).

Al fine di mantenere l'invarianza idraulica, tale parametro dovrà essere rispettato anche a seguito della realizzazione dell'impianto oggetto del presente studio e della conseguente riduzione delle superfici permeabili.

6.1. STATO DI FATTO

Dall'analisi delle foto aeree a disposizione e dai sopralluoghi effettuati, si è rilevato che l'aerea interessata dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico è attualmente a verde.

Si calcolano pertanto di seguito le superfici ed il coefficiente di deflusso ϕ allo stato di fatto.

CALCOLO SUPERFICIE IMPERMEABILE – STATO DI FATTO				
N°	DESTINAZIONE FINALE DELL'AREA	COEFF.DEFLUSSO ϕ	SUPERFICIE	SUPERFICIE IMPERMEABILE NETTA
		(/)	(mq)	(mq)
1	Area Agricola	0,1	262.069	26.206,9
2	Area Verde	0,2	0	0
2	Viabilità	0,6	0	0
3	Superfici impermeabili	0,9	0	0
	TOTALE	0,10	262.069	26.206,9

Il coefficiente di deflusso complessivo dello stato di fatto ϕ è pertanto circa 0,1. La superficie di deflusso allo stato attuale risulta inoltre pari alla superficie totale per il coefficiente ϕ ovvero 26.206,9 mq.

6.2. STATO DI PROGETTO

L'intervento in progetto prevede un sostanziale cambiamento delle varie superfici presenti nell'impianto.

In particolare, verranno realizzate le seguenti opere:

- Locali tecnici (N.30 cabine utente e cabina di consegna E-distribuzione con locale tecnico);
- Installazione vele di pannelli fotovoltaici;

Nel seguente schema sono rappresentate le varie superfici che subiscono una variazione rispetto all'originaria area agricola:

CALCOLO SUPERFICIE IMPERMEABILE – STATO DI PROGETTO				
N°	DESTINAZIONE FINALE DELL'AREA	COEFF.DEFLUSSO ϕ	SUPERFICIE (mq)	SUPERFICIE IMPERMEABILE NETTA (mq)
1	Locale tecnico utente (n.30)	0,9	502,5	452,25
2	Cabina di consegna di progetto (n.4)	0,9	67	60,3
3	Proiezione a terra moduli fotovoltaici	0,9	102.256,17	92.030,55
4	Area agricola	0,1	159.243,32	15.924,33
	TOTALE	0,41	262.069	108.467,43

Si precisa che la superficie dei moduli è stata ottenuta considerando i 37.856 moduli fotovoltaici dell'intero progetto aventi dimensioni 1,134 x 2,382 m ciascuno e che pertanto risulta essere pari a 102.256,17 mq. Come si nota tutte le aree modificate, andranno ad influenzare lo sviluppo di portate di piena a seguito di precipitazione meteorica.

L'area impermeabilizzata dai moduli fotovoltaici è stata conteggiata calcolando la proiezione a terra di questi.

Si è deciso, in accordo con la committenza e per rafforzare il valore ambientale dell'intervento, di lasciare il più possibile "agricolo" le aree non edificate ed interessate dalla posa dei moduli. Nel seguente paragrafo si andrà pertanto a dimensionare l'invaso necessario a garantire il criterio di invarianza.

7. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA IDRAULICA

In relazione a quanto evidenziato nel precedente paragrafo, cioè all'aumento della superficie impermeabile a seguito della realizzazione dell'intervento di progetto con la seguente amplificazione della portata media dovuta ad un evento meteorico, si procede col calcolo del volume di invaso necessario a garantire la verifica dell'invarianza idraulica e del rispetto del coefficiente udometrico assunto pari a 10 (l/s·ha), nonché alla stima della portata massima che defluisce nella sezione terminale della rete di smaltimento.

Per valutare il volume di invaso compensativo necessario, nel presente studio verrà utilizzato in fase di dimensionamento il Metodo delle Piogge con curva pluviometrica a due parametri. Tale dato verrà confrontato con il valore minimo di invaso prescritto dal Consorzio e pari a 500 mc/ha.

7.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Occorre introdurre pertanto un nuovo parametro t_c chiamato tempo di corrivazione. Tale parametro rappresenta il tempo impiegato dalla particella d'acqua più lontana dallo scarico finale per raggiungere la sezione terminale del bacino in esame, partendo dall'istante in cui la pioggia tocca il suolo. Come vedremo successivamente, la portata massima di deflusso si ottiene per eventi piovosi aventi durata pari al tempo di corrivazione.

Il valore del tempo di corrivazione associato al sito in esame è stato calcolato utilizzando diversi metodi empirici proposti dai principali testi di idraulica, facendo attenzione nel valutarne la reale applicabilità al caso in esame stante la natura stessa delle equazioni impiegate.

Di seguito si riportano i risultati di calcolo e le formulazioni impiegate:

TURAZZA	$t_c = 1.085 \sqrt{S}$
---------	------------------------

ONGARO	$t_c = 0,18 \sqrt[3]{S \times L}$
--------	-----------------------------------

VENTURA	$t_c = 0,0053 \sqrt{S / i}$
---------	-----------------------------

TURAZZA - VENTURA	$t_c = 0,315 \sqrt{S}$
-------------------	------------------------

TEMPO DI RITARDO	$t_c = t_e + L/v$
------------------	-------------------

Dove L = lunghezza di drenaggio dal punto di massima distanza da sezione finale (429 m), i = pendenza media (0,05%), v = velocità in caso di massimo riempimento (1 m/s), S = area della superficie scolante, t_e = tempo di entrata = 5 min per aree urbane.

RISULTATI							
TURAZZA	T_c	0,555	(giorni)	13,330	(ore)	799,83	(min)
ONGARO	T_c	0,086	(giorni)	2,085	(ore)	125,10	(min)
VENTURA	T_c	0,121	(giorni)	2,912	(ore)	174,72	(min)
TURAZZA – VENTURA	T_c	0,161	(giorni)	3,870	(ore)	232,20	(min)
TEMPO DI RITARDO	T_c	0,001	(giorni)	0,039	(ore)	2,38	(min)
MEDIA (TRANNE TURAZZA)	T_c	0,092	(giorni)	2,226	(ore)	133,60	(min)

Escludendo la formula di Turazza, utilizzata principalmente per interi bacini idrografici quindi per superfici nettamente superiori a quella in oggetto, si rileva un valore di tempo di corrivazione tra 0,555 e 13,330 ore. Effettuando una media dei 4 valori non esclusi, si ottiene un valore pari a 2,226 ore (circa 133,60 minuti) che sarà utilizzato come tempo di corrivazione nella trattazione seguente.

7.2. CALCOLO VOLUME VASCHE DI LAMINAZIONE – METODO DELLE PIOGGE (CINEMATICO)

Il metodo proposto si prefigge la stima del volume di tre vasche di laminazione necessari per garantire l'invarianza idraulica ricalcando il procedimento esposto dal CSDU nel testo "Sistemi di fognatura. Manuale di progettazione".

La procedura si basa sulla curva di possibilità pluviometrica, sulle caratteristiche di permeabilità della superficie fondiaria e sulla portata massima, supposta costante, che si vuole avere allo scarico del sistema, che coincide col mantenimento costante del coefficiente udometrico visto in precedenza.

La risposta idrologica del sistema è piuttosto semplificata, trascurando tutti i processi di trasformazione afflussi-deflussi: permane unicamente la determinazione della precipitazione efficace (separazione dei deflussi) ottenuta con il metodo del coefficiente di deflusso.

Tale ipotesi semplicistica implica che le portate in ingresso al sistema delle vasche siano sovrastimate e, di conseguenza, nel caso si riesca a garantire la costanza della portata massima allo scarico, anche i volumi di laminazione risulteranno sovrastimati e cautelativi. Per contro l'ipotesi di portata costante risulta accettabile solo per piccole luci di scarico, come quella che verrà realizzata nel progetto in esame.

La durata dell'evento da assumere a base della progettazione risulta fondamentale per un corretto dimensionamento delle opere. Essa incide infatti grandemente sia sul valore della massima portata di piena che sul valore del massimo volume defluito; poiché tali valori massimi generalmente non si verificano per una stessa durata dell'evento, risulta necessario indagare quale sia il tempo critico (solitamente piuttosto superiore al tempo di corrivazione) per il quale sia massimo il volume delle vasche.

Il volume di pioggia entrante nelle vasche di laminazione risulta:

$$V_{IN} = S \cdot \phi \cdot h(t) = S \cdot \phi \cdot \frac{a}{(t+b)^c} t$$

Il volume di uscita nello stesso intervallo di tempo sarà invece:

$$V_{OUT} = Q_{OUT} \cdot t = S \cdot u_{OUT} \cdot t$$

Il volume da invasare nelle vasche risulterà pertanto:

$$V_{invaso} = V_{IN} - V_{OUT} = S \cdot \phi \cdot \frac{a}{(t+b)^c} t - S \cdot u_{OUT} \cdot t$$

Si tratta ora di trovare la durata di pioggia t_{cr} che massimizza il volume invasato V_{MAX} derivando l'espressione precedente. Analiticamente la condizione di massimo è ottenuta annullando la seguente derivata prima:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\Phi \cdot a \left[(b+t)^c - t \cdot c \cdot (b+t)^{c-1} \right]}{(b+t)^{2c}} - u_{out} = 0$$

Attraverso l'utilizzo di un foglio di calcolo è stato possibile individuare il volume massimo delle tre vasche di laminazione richiesto nel caso in esame, considerando il nuovo coefficiente di deflusso ed il coefficiente udometrico pari a 10 l/s·ha. Il calcolo è stato effettuato utilizzando la CPP a 2 parametri (a, n).

Di seguito si riportano i dati di input ed i risultati di calcolo, nonché il volume delle tre vasche di laminazione necessari per l'invarianza all'aumentare del tempo di pioggia.

METODO CINEMATICO – C.P.P. 2 PARAMETRI	
DATI VASCA DI LAMINAZIONE 1	RISULTATI
Coefficiente afflusso $\phi = 0,41$	Volume $V_{\text{invaso}} = 982,24 \text{ mc}$
Superficie di intervento $S = 16.608 \text{ mq}$	
Coefficiente udometrico $u_d = 10 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$	
Tempo di Ritorno $TR = 100 \text{ anni}$	
Parametro CPP $a = 48,05 \text{ mm min}^{-n}$	
Parametro CPP $n = 0,39$	

METODO CINEMATICO – C.P.P. 2 PARAMETRI	
DATI VASCA DI LAMINAZIONE 2	RISULTATI
Coefficiente afflusso $\phi = 0,41$	Volume $V_{\text{invaso}} = 7.820,69 \text{ mc}$
Superficie di intervento $S = 132.234 \text{ mq}$	
Coefficiente udometrico $u_d = 10 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$	
Tempo di Ritorno $TR = 100 \text{ anni}$	
Parametro CPP $a = 48,05 \text{ mm min}^{-n}$	
Parametro CPP $n = 0,39$	

METODO CINEMATICO – C.P.P. 2 PARAMETRI	
DATI VASCA DI LAMINAZIONE 3	RISULTATI
Coefficiente afflusso $\phi = 0,41$	Volume $V_{\text{invaso}} = 6.696,63 \text{ mc}$
Superficie di intervento $S = 113.227 \text{ mq}$	
Coefficiente udometrico $u_d = 10 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$	
Tempo di Ritorno $TR = 100 \text{ anni}$	
Parametro CPP $a = 48,05 \text{ mm min}^{-n}$	
Parametro CPP $n = 0,39$	

Considerando quindi che dalle norme indicate dall'Autorità di Bacino del Reno nel P.S.A.I (art.20 comma 1) si prescrive che: "Al fine di non incrementare gli apporti d'acqua piovana al sistema di smaltimento ... i Comuni prevedono nelle zone di espansione, per le aree non già interessate da trasformazioni edilizie, la realizzazione di sistemi di raccolta delle acque piovane per un volume complessivo di almeno 500 mc per ettaro di superficie territoriali, ad esclusione delle superfici permeabili destinate a parco o a verde compatto." si utilizza un volume minimo di invaso pari a 500 mc per ettaro di superficie impermeabilizzata.

Vasca di Laminazione 1: $W = 500 \text{ mc/ha} \times 1,66 \text{ ha} = 830 \text{ mc}$

Vasca di Laminazione 2: $W = 500 \text{ mc/ha} \times 13,22 \text{ ha} = 6.610 \text{ mc}$

Vasca di Laminazione 3: $W = 500 \text{ mc/ha} \times 11,32 \text{ ha} = 5.660 \text{ mc}$

Si prevede quindi la realizzazione di un volume di invaso complessivo di 15.499,49 mc, secondo il calcolo realizzato con il metodo delle piogge che risulta essere superiore a quanto calcolato con il minimo di invaso prescritto dal Consorzio (volume specifico >500 mc/ha). Tale volume sarà diviso in tre vasche di laminazione di 982,24 mc per la Vasca di Laminazione 1; di 7.820,69 mc per la Vasca di Laminazione 2 e di 6.696,63 mc per la Vasca di Laminazione 3.

8. INTERVENTI DI COMPENSAZIONE

8.1. VOLUMI COMPENSATIVI DI INVASO

Viste le modifiche apportate al coefficiente di deflusso del sito conseguenti alla realizzazione dell'intervento in garantendo il principio di invarianza idraulica, occorre realizzare tre vasche di laminazione con un volume complessivo di 15.499,49 mc, dato più elevato tra i due calcolati con i metodi delle Piogge e dei valori minimi specifici prescritti dal Consorzio.

Per mantenere un impatto ambientale limitato nell'area d'intervento, si ritiene opportuno creare un'area depressa all'interno dell'area di progetto, innalzando l'area disponibile per la viabilità di progetto.

La viabilità di progetto verrà quindi mantenuta a verde, in terra battuta, regolando solo lo sfalcio periodico dell'erba. La viabilità, quindi, non prevede alcun tipo di intervento di pavimentazione che modifichi le attuali caratteristiche del terreno agricolo e che alteri il normale deflusso delle acque.

Di seguito è riportata una tabella che sintetizza le dimensioni delle tre vasche di laminazione di nuova realizzazione all'interno dei tre sottobacini, che avranno una pendenza idonea per facilitare il deflusso meteorico in direzione dei fossi terminali di scarico.

	Totale	Vasca di Laminazione 1	Vasca di Laminazione 2	Vasca di Laminazione 3
Altezza media	0,40 m	0,40 m	0,40 m	0,40 m
Superficie	38.748,72 mq	2.455,60 mq	19.551,72 mq	16.741,57 mq
Volume totale necessario	13.100 mc	830 mc	6.610 mc	5.660 mc
Volume totale di progetto	15.499,49 mc	982,24 mc	7.820,69 mc	6.696,63 mc

La scolina delle vasche di laminazione, con parte terminale realizzata ad invito, consentirà il rilascio graduale del volume accumulato evitando il sovraccarico idraulico del corpo riceettore finale.

Qualora durante l'esecuzione dei lavori, la Ditta Proponente abbia necessità di modificare ulteriormente la sagoma dei sottobacini e/o di realizzare parte del volume interrato per ottimizzare la viabilità o altre esigenze gestionali, le eventuali modifiche garantiranno comunque i volumi delle vasche di laminazione minimi richiesti.

8.2. DISPOSITIVI IDRAULICI DI REGOLAZIONE DELLA PORTATA e SCOLO RICETTORE

Onde evitare il sovraccarico idraulico del corpo ricettore, dovrà essere realizzato, a valle delle vasche di laminazione, un pozzetto di regolazione della portata che consente un deflusso di mantenimento del coefficiente udometrico 10 l/s*ha.

Per il calcolo del diametro della tubazione di scarico dei tre sottobacini è stata utilizzata la formula di Hazen-Williams, valida per i tubi di diametro inferiore a 1,8 m (Casey, 1992) che convogliano acqua.

$$Q [m^3/s] = 0.285 \cdot C \cdot D^{2.63} \cdot J^{0.54}$$

dove:

D diametro interno [m]

J è la perdita di carico identificabile come la pendenza della linea piezometrica [m/m]

C Coefficiente di scabrezza in funzione del materiale

Q la portata scaricata [m3/s]

Il valore del coefficiente di scabrezza è tabellato per l'equazione di Hazen-Williams in funzione del materiale della tubazione:

Materiale	C
Cemento	140
Ghisa nuova	130
Ghisa 10/20/30/40 anni	110/95/85/75
Ferro	140
Calcestruzzo	120
Rame	140
Acciaio	120
Acciaio zincato nuovo	120
Acciaio zincato 10/20/30/40 anni	110/100/85/75
Polietilene	140
PVC nuovo/usato	150/140

Per mezzo dell'equazione sopra riportata, note le variabili caratteristiche necessarie al calcolo, è possibile dimensionare il diametro delle tubazioni di scarico in funzione dei parametri del materiale e della portata di progetto al massimo invaso della rete.

I parametri utilizzati sono i seguenti:

Vasca di Laminazione 1:

$$Q = 10 \text{ l/s*ha} * 1,66 \text{ ha} = 16,6 \text{ l/s} = 0,0166 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$J = 1,4/27 = 0,051 \text{ m/m}$$

$$C = 150$$

Vasca di Laminazione 2:

$$Q = 10 \text{ l/s*ha} * 13,22 \text{ ha} = 132,2 \text{ l/s} = 0,1322 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$J = 1,4/29 = 0,048 \text{ m/m}$$

$$C = 150$$

Vasca di Laminazione 3:

$$Q = 10 \text{ l/s*ha} * 11,32 \text{ ha} = 113,2 \text{ l/s} = 0,1132 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$J = 1,4/28 = 0,050 \text{ m/m}$$

$$C = 150$$

Utilizzando la formula si ottengono i seguenti valori stimati per il diametro delle tubazioni di scarico:

Diametro tubazione di scarico Vasca di laminazione 1: 93,39 mm

Diametro tubazione di scarico Vasca di laminazione 2: 207,97 mm

Diametro tubazione di scarico Vasca di laminazione 3: 194,43 mm

A margine di sicurezza, per la Vasca di laminazione 1 si utilizzerà una tubazione di scarico in PVC di diametro pari a DN110; per quanto riguarda invece la Vasca di laminazione 2 si utilizzerà una tubazione di scarico in PVC di diametro pari a DN250; infine, per quanto riguarda la Vasca di laminazione 3 si utilizzerà una tubazione di scarico in PVC di diametro pari a DN250.

<i>Diametro nominale</i>	<i>Diametro interno (mm)</i>	<i>Q stimata con pendenza 0.5% (l/s)</i>	<i>Q stimata con pendenza 1.0% (l/s)</i>	<i>Q stimata con pendenza 1.5% (l/s)</i>
DN 110	103.6	2.3	3.3	4.1
DN 125	117.6	3.3	4.7	5.7
DN 160	150.6	6.4	9.0	11.0
DN 200	188.2	11.5	16.3	20.0
DN 250	235.4	21.0	29.6	36.3
DN 315	296.6	38.8	54.9	67.2

Figura 8 – Portata smaltibile dai diametri commerciali in PVC per diverse pendenze di posa.

Come da elaborati grafici allegati tale tubazione terminale delle vasche di laminazione scaricheranno su scoline perimetrali NON consortili lungo a dei fossati d'acqua che si trovano parallelamente all'impianto. Non è quindi necessaria la richiesta di autorizzazione allo scarico.

8.3. MISURE MINIME DI MANUTENZIONE

Per assicurare il corretto funzionamento del sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche durante eventi piovosi di varia intensità, si raccomanda una regolare manutenzione delle infrastrutture previste. In particolare:

- Pulizia periodica e taglio dell'erba nei fossati, nell'invaso artificiale interrato, nell'invaso terminale scoperto e nel pozzetto di regolazione finale. Mantenere efficienti le sezioni di vaso tramite sfalci periodici e pulizia dagli accumuli garantisce il regolare deflusso delle acque meteoriche e la conservazione del volume di vaso adeguato.
- Verificare sistematicamente che la luce di scarico dell'invaso terminale sia libera ed efficiente è particolarmente importante.

9. CONCLUSIONI

A seguito della progettazione dell'impianto di produzione di energia elettrica a terra da fonte fotovoltaica, commissionato dalla **Neoen Renewables Italia S.R.L.** nel Comune di Bentivoglio (BO) sono stati calcolati i volumi di compensazione necessari a garantire l'invarianza idraulica, come previsto dalla normativa regionale di settore.

Tali volumi sono stati quantificati con il Metodo delle Piogge a 2 parametri e ai volumi minimi stabiliti dal Piano Stralcio Assetto Idrogeologico, attraverso il quale si è giunti ad un volume compensativo minimo necessario pari a 15.499,49 mc che risulta essere superiore a quanto calcolato con il minimo di invaso prescritto dal Consorzio (volume specifico >500 mc/ha).

Per ottenere tale volume di compensazioni si dovrà realizzare un'area depressa di volume complessivo di 15.499,49 mc con svuotamento in un corpo riceettore superficiale non consortile/demaniale all'esterno del campo fotovoltaico, regolato da apposito manufatto con luce di fondo di diametro max 235.4 mm. La gestione idraulica del lotto trasformato avverrà attraverso tre vasche di laminazione precedentemente descritte. Tale sistema eviterà pertanto il sovraccarico idraulico e garantirà l'allontanamento delle acque meteoriche.

Per garantire il corretto funzionamento del sistema di raccolta, trasporto e scarico delle acque meteoriche dovrà essere garantita un'adeguata manutenzione della scolina d'invaso e del pozzetto terminale di regolazione della portata.

In termini di quantità delle acque, il progetto può essere inserito nel contesto idrologico attuale senza provocare mutazioni nei deflussi dei canali esistenti. Il campo fotovoltaico non interferisce con i processi di infiltrazione, accumulo e scorrimento delle acque meteoriche. Pertanto, si può concludere che l'inserimento del progetto rispetta le caratteristiche idrologiche dell'area, senza impatti negativi sull'equilibrio idrico esistente.

In considerazione di quanto detto si attesta la compatibilità idraulica dell'intervento in oggetto in quanto esso garantisce l'invarianza idraulica, non ingenera alcun rischio incombente, né produce aggravamento delle condizioni di rischio e/o pericolosità idraulica al territorio circostante.

10. ASSEVERAZIONE DI COMPATIBILITA' DEL PROGETTO

Il sottoscritto ING. RICCARDO VALZ GRIS, iscritto all'Ordine degli Ingegneri di Biella al n. 159, con studio in Citycenter Regus, Via Lepetit 8/10, 20124 Milano, in qualità di ingegnere civile idraulico,

consapevole delle sanzioni penali, nel caso di dichiarazioni non veritiere, di formazione o uso di atti falsi, richiamate dall'art. 76 del D.P.R. 445 del 28 dicembre 2000

ASSEVERA

Che la progettazione dell'impianto in oggetto, dal punto di vista idraulico, non peggiora le condizioni di stabilità dei suoli e dei versanti, riducendo il rischio di erosione e frane che potrebbero, in scenari di piogge intense, contribuire a incrementare il rischio di alluvioni nelle aree circostanti. La minima sistemazione morfologica necessaria per l'installazione dei pannelli fotovoltaici non modifica le pendenze del piano campagna e non comporta rischi di instabilità dei suoli, escludendo fenomeni di frane o erosione.

Inoltre, la protezione della biodiversità e il rispetto dell'assetto idrogeologico locale, infatti, assicurano che le acque possano defluire in modo naturale senza compromettere la resistenza del terreno o i corsi d'acqua. In questo modo, l'impianto non solo è compatibile con l'ambiente, ma rappresenta anche un intervento che riduce il rischio idraulico potenziale, migliorando la gestione delle acque e prevenendo fenomeni di inondazione.

Milano, Febbraio 2025

Ing. Riccardo Valz Gris