

RELAZIONE INVARIANZA E COMPATIBILITÀ IDRAULICA

IMPIANTO DI PRODUZIONE DA FONTE SOLARE "TERRE DEL RENO" DA
INSTALLARE NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE)

00	01/07/2025	Prima emissione	DF	RM	RC
REV	DATA	DESCRIZIONE	BY	CHK	APP

"Il presente documento è di proprietà di Grid Shape s.r.l. – via Quattro Novembre, 2 – 35123 Padova (Italia). Tutti i diritti su questo documento, sulle immagini, sui disegni e sui testi sono riservati. È severamente vietato cedere, copiare, utilizzare e/o divulgare il presente documento e/o il suo contenuto a terzi. I trasgressori verranno perseguiti"



Grid Shape S.r.l. - Via IV Novembre, 2, Padova

RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ E INVARIANZA IDRAULICA

Comune di Terre del Reno (FE)



Commessa: 036-25

Data: 23/06/2025

dott. Geol. Alberto Velicogna



SOMMARIO

1.PREMESSA.....	2
2.RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	4
4.INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	5
5.VINCOLISTICA	9
6.INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	11
7.ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO	12
8.RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA.....	14
9.PERMEABILITÀ DEL SITO	14
10.INVARIANZA IDRAULICA	15
10.1 RICHIAMI TEORICI.....	15
10.2 DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM	17
10.3 CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE E POST OPERAM	17
10.4 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	19
10.5 METODO DELLE SOLE PIOGGE	21
11.MISURE COMPENSATIVE PROPOSTE	22
12.CONCLUSIONI	22

1.PREMESSA

La presente relazione di invarianza idraulica è redatta ai sensi della normativa vigente in materia di gestione delle acque meteoriche e tutela del territorio dal rischio idraulico, in conformità alle prescrizioni del Regolamento Regionale di gestione delle acque meteoriche e alle direttive del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) per il territorio del Comune di Terre del Reno (FE). L'analisi è finalizzata a verificare che la realizzazione del nuovo impianto fotovoltaico non determini un peggioramento delle condizioni di deflusso delle acque meteoriche, garantendo il principio di invarianza idraulica e idrologica, ovvero che la portata massima defluente post-operam non superi quella ante-operam per eventi di pioggia di pari tempo di ritorno.

Nel dettaglio, vengono valutate le modifiche dell'uso del suolo derivanti dall'installazione dei moduli fotovoltaici, dalle eventuali opere di fondazione e viabilità interna, nonché dagli interventi accessori previsti.

L'obiettivo è dimostrare che le soluzioni progettuali adottate, quali sistemi di drenaggio sostenibile (SuDS), eventuali bacini di laminazione o tecniche di dispersione controllata delle acque, siano in grado di compensare gli incrementi di deflusso superficiale, nel rispetto dei limiti imposti dalle normative locali e sovraordinate.

In questo elaborato, dopo aver fornito un adeguato inquadramento dell'area interessata dall'intervento, dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico ed idrografico, si procederà al calcolo dei coefficienti di deflusso ante operam e post operam e alla definizione delle misure compensative proposte al fine di garantire il principio dell'invarianza idraulica. Per la presente relazione sono stati visionati anche i seguenti documenti: PAI, PGRA e PRG comunale. L'impianto fotovoltaico oggetto della presente relazione è ubicato nel territorio del Comune di Terre del Reno (FE). Si riporta, nell'immagine seguente, il perimetro dell'area dell'impianto.



Figura 1: Perimetro area impianto.



Figura 2: Esempio della struttura che verrà installata.

La superficie complessivamente interessata dall'intervento risulta pari a **1'132'809,99 mq** ovvero pari a circa **113,28 ettari**.

2.RIFERIMENTI NORMATIVI

- "Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto" Circ.Min. LL.PP. n.11633/74;
- "Norme tecniche generali per la regolamentazione dell'installazione e dell'esercizio degli impianti di fognatura e depurazione" - Legge n. 319 10/5/1976;
- "Norme tecniche relative alle tubazioni" - D.M 12/12/1985,
- "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole" – D.Lgs. 11 maggio 1999, n.152;
- "Direttiva concernente gli indirizzi per la gestione delle acque di prima pioggia e di lavaggio da aree esterne (Art. 39 -D.Lgs. 11 maggio 1999 n. 152)" – Deliberazione della Giunta Regionale Emilia Romagna 14 febbraio 2005, n.286;
- "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento" Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152;

- "Linee Guida di indirizzo per la gestione delle acque meteoriche di dilavamento e delle acque di prima pioggia in attuazione della deliberazione Giunta regionale 14 febbraio 2005 n. 286"- Deliberazione della Giunta Regionale Emilia Romagna 18 dicembre 2006, n.1860;
- "Linee Guida della Direzione Tecnica Arpa Emilia Romagna: criteri di applicazione del DGR 286/05 e 1860/06 - acque meteoriche e di dilavamento" - Revisione del 14/04/2008;
- "Procedure di calcolo dei volumi di accumulo per l'applicazione del principio di invarianza idraulica Determinazioni".

3.INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le aree oggetto di intervento si trovano in Comune di Terre del Reno - in provincia di Ferrara, che si estende nella parte orientale della Pianura Padana, in corrispondenza delle Valli di Comacchio. I siti si trovano poco a ovest rispetto al centro abitato di Mirabello, su una superficie pianeggiante che si trova ad una quota sul livello del mare compresa tra 7 e 13 m.



Figura 3: Inquadramento su ortofoto.

4.INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Aspetti geologici

L'area di studio è situata nella porzione meridionale della pianura alluvionale del fiume Po. Quest'ultima costituisce la porzione superficiale del riempimento sedimentario del bacino del Po. Il bacino del Po rappresenta un bacino di avanfossa caratterizzato da elevati tassi di subsidenza e delimitato a nord dall' Arco Sud Alpino e a sud e sud-ovest dall'Appennino settentrionale. L'evoluzione strutturale cenozoica del bacino padano è stata principalmente determinata dalla migrazione nord-orientale del sistema collisionale dell'Appennino settentrionale, le cui propaggini esterne sono sepolte al di sotto della subsidente Pianura Padana. Il fronte dell'Appennino settentrionale è costituito da quattro sistemi arcuati a pieghe e sovrascorrimenti: l'Arco del Monferrato, l'Arco Emiliano, l'Arco Ferrarese e l'Arco Adriatico, attivi a partire dal Miocene superiore e responsabili di fasi alternate di raccorciamento e subsidenza tettonica al footwall dei thrust. In particolare, i sovrascorrimenti dell'Arco Ferrarese sono tettonicamente attivi sin dal Pliocene inferiore e sono tuttora considerati sismogenetici. Un segmento del sistema a sovrascorrimenti dell'arco Ferrarese (Mirandola thrust system) è stato responsabile degli eventi sismici emiliani del 2012 che hanno interessato le Province di Ferrara, Modena e Bologna producendo numerosi effetti cosismici, come fratture del suolo, vulcanetti di sabbia e fenomeni di espansione laterale associati a liquefazione. Dati di letteratura dimostrano che i tassi di subsidenza nel bacino padano sono costantemente superiori ai tassi di sollevamento lungo le faglie inverse sepolte; ciò ha determinato la deposizione di ca. 7 km di successione di depositi plio-quadernari da marini a continentali. I rapidi tassi di subsidenza nella porzione meridionale del bacino a ridosso del margine appenninico hanno fortemente influenzato le direttrici di drenaggio fluviale, attirando canali fluviali e creando le condizioni per la formazione di zone stagnanti, paludi e laghi effimeri.



Figura 4: Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana.

Come si può vedere dalla Carta della litologia superficiale, le aree di interesse mostrano prevalenze di argille, argille limose, argille sabbiose e argille limo – sabbiose. L'area è compresa anche all'interno del Foglio 76 – Ferrara e 75 – Mirandola, alla scala 1: 100.000 della Carta Geologica d'Italia, dove si nota che è interessata principalmente da terreni di natura argillosa.

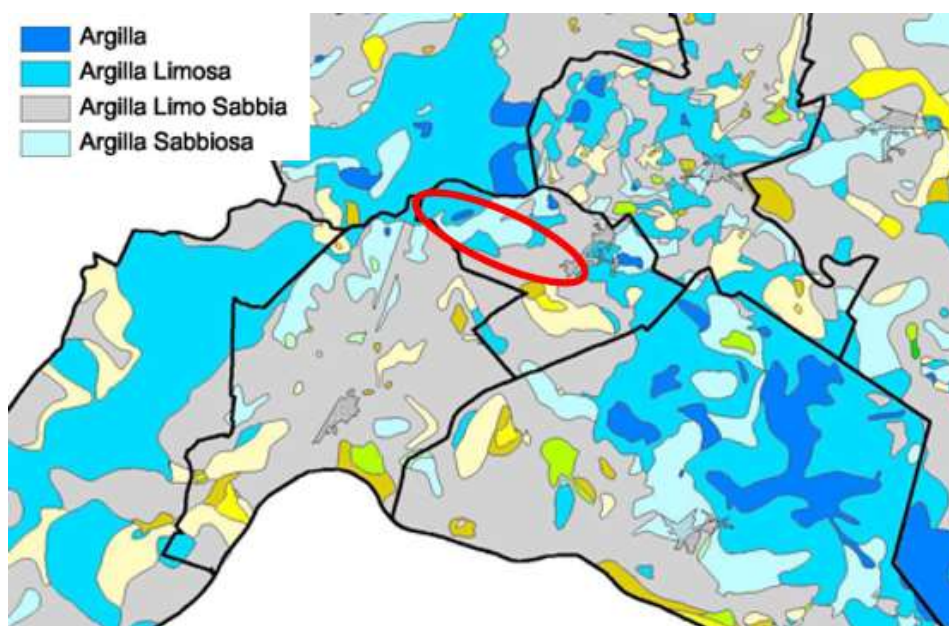


Figura 5: Stralcio della Carta della litologia superficiale – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Ferrara.



Figura 6: Stralcio dei Fogli 76 -Ferrara e 75 – Mirandola, alla scala 1: 10.000 della Carta Geologica d'Italia.

Aspetti geomorfologici

Il territorio del Comune di Terre del Reno è situato nella porzione sud-occidentale della Provincia di Ferrara. Si estende per 51,0355 km² in direzione SW-NE a cavallo della statale SP66 che collega i centri abitati di Dosso, Sant'Agostino, San Carlo e Mirabello ed è limitato lateralmente da vaste aree agricole a bassa densità insediativa (Figura 3.1). Il territorio comunale si sviluppa per lo più all'interno di una piana alluvionale ed è attraversato da una zona rilevata, coincidente con l'alveo e gli argini dell'attuale Fiume Reno fra Cento e Pieve di Cento e fino a Sant'Agostino, che proseguono come forma relitta verso Mirabello in direzione SW-NE. Il comune di Terre del Reno è anche percorso trasversalmente dal canale Napoleonico (o Cavo Napoleonico), riprogettato e scavato nel secondo dopoguerra per mettere in comunicazione Reno e Po. In generale, il comune rappresenta uno dei territori più elevati della Provincia di Ferrara e mostra quote topografiche comprese fra 9 e circa 18 m s.l.m. (queste ultime in corrispondenza degli argini del fiume Reno). I gradienti topografici sono in genere bassi, ad eccezione delle aree limitrofe il corpo rilevato di paleoalveo che è localmente delimitato da antiche arginature artificiali, associate a brusche variazioni di quota che raggiungono anche i 5 m. In generale, l'assetto geomorfologico dell'area è il risultato della combinazione tra attività tettonica, variazioni climatiche del tardo Pleistocene-Olocene, gli elevati tassi di sedimentazione in ambiente alluvionale, e i tassi di compattazione differenziale dei sedimenti alluvionali. Questi processi naturali hanno governato l'evoluzione idrografica recente e controllato l'architettura sedimentaria della successione stratigrafica più superficiale. Come conseguenza, la pianura alluvionale è attualmente attraversata da canali fluviali, sia attivi che abbandonati, inframezzati da estese aree di inter-fluvio. I corpi sedimentari canalizzati rappresentano generalmente dei rilievi morfologici distinti che si elevano sul territorio altrimenti pianeggiante. La loro evidenza topografica (fino a diversi metri) è proporzionale all'importanza del canale e alla loro età. Nel settore di piana alluvionale compreso nel territorio comunale affiorano per lo più sedimenti alluvionali olocenici di età storica anche molto recente, in genere successiva al XV secolo d.C., appartenenti al paleo-Reno. Il dosso, formatosi fra il XV e il XVIII secolo d.C., è

fiancheggiato nel settore orientale e in riva sinistra da ampi ventagli di rotta mentre nella porzione meridionale pianeggiante prossima al paleoalveo sono stati rinvenuti depositi alluvionali sepolti a basse profondità (<1-2 m) precedenti il XV secolo d.C.

Dal punto di vista geomorfologico, nell'area di interesse, non si segnalano particolari dissesti geomorfologici in atto, vista anche la localizzazione dell'area in concomitanza con un paleoalveo di ubicazione sicura.



Figura 7: Stralcio della Carta geomorfologica – Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Ferrara.

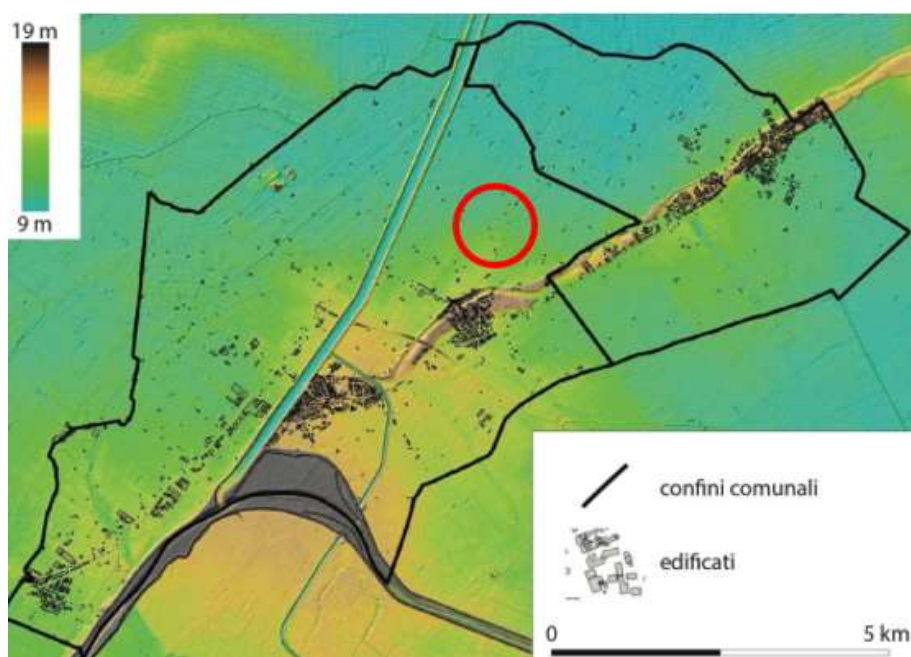


Figura 8: Modello topografico dell'area di studio.

5.VINCOLISTICA

Si riporta di seguito uno stralcio della carta delle fasce fluviali reperibili dal Geoportale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, oltrechè lo stralcio delle aree allagabili del PGRA.

Come si può notare, la zona di interesse risulta compresa entro la fascia C del Po; inoltre l'area di intervento ricade anche nei seguenti scenari di pericolosità del PGRA:

- per quanto riguarda il reticolo principale- ricade nello scenario di pericolosità P1/L (scarsa probabilità – scenari eventi estremi T ritorno > 200 anni);
- per quanto riguarda il reticolo secondario di pianura, ricade nello scenario di pericolosità P2/M e L (media e alta probabilità – scenari eventi T ritorno 100 – 200 anni).

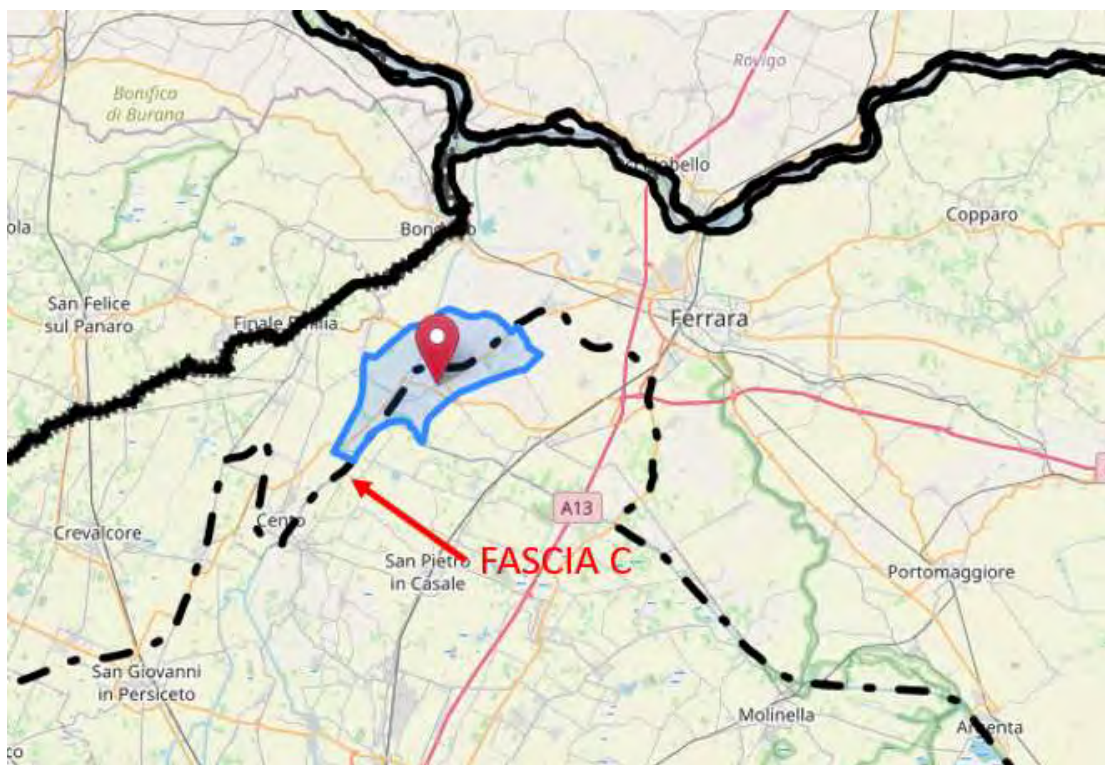


Figura 9: Stralcio della Carta dell e fasce fluviali – AdbPO Geoportale.

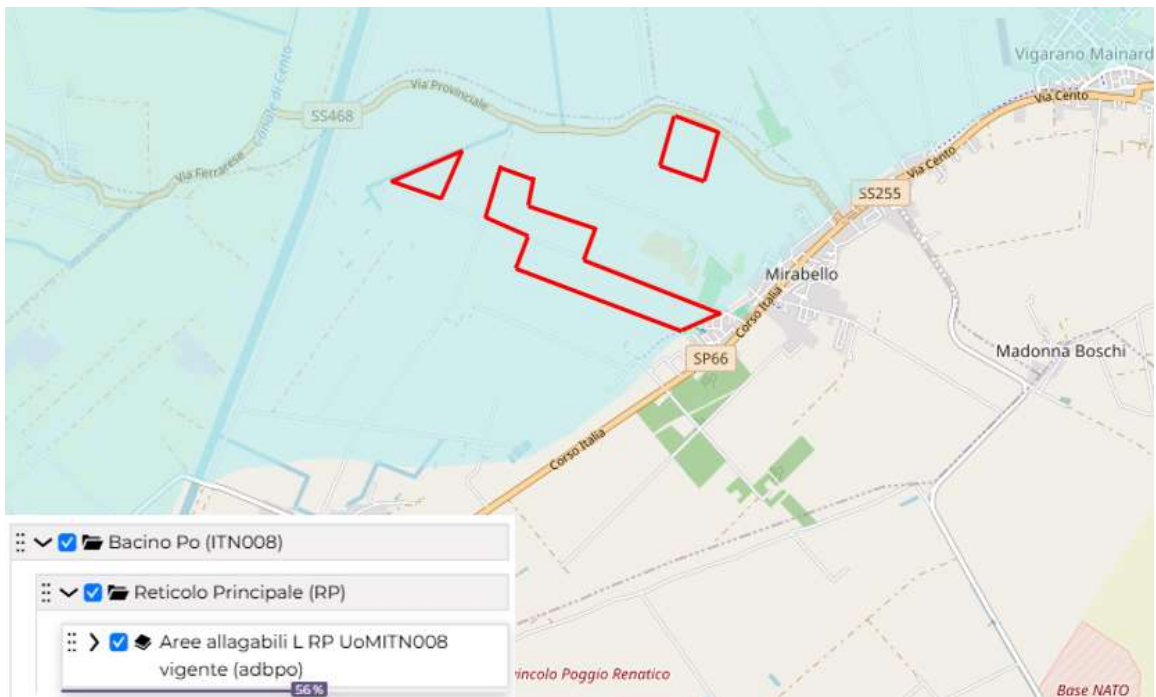


Figura 10: Stralcio delle aree allagabili del PGRA relative al Reticolo Principale (RP).

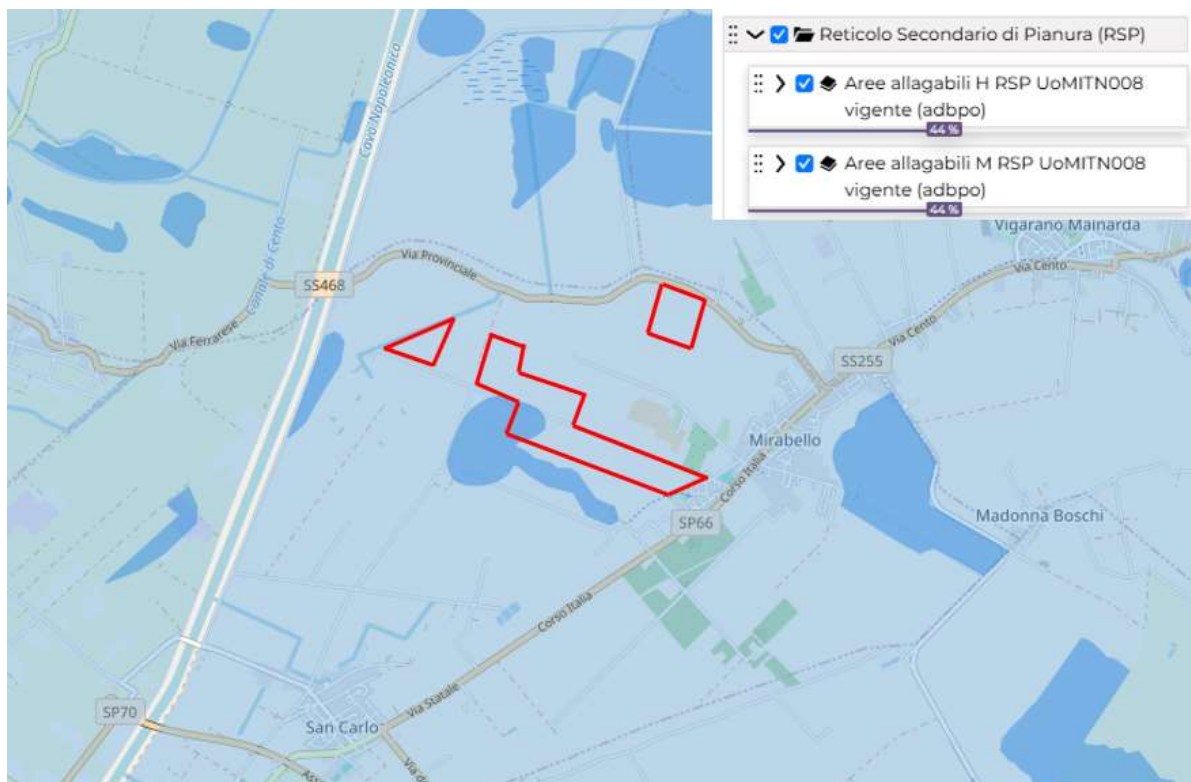


Figura 11: Stralcio delle aree allagabili del PGRA relative al Reticolo Secondario di Pianura (RSP).

6. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO

Il sito oggetto d'intervento si colloca nel bacino idrografico del Fiume Reno.

Nell'area prossimale alle aree di intervento, scorrono lo Scolo Canalazzo – Savenuzzo poco a nord, lo scolo S. Agostino e lo scolo S. Carlo a sud ovest; è presente anche il Canale Emiliano Romagnolo e Cavo Napoleonico che scorre ad ovest delle zone interessate. Le prove eseguite non hanno riscontrato la presenza di acqua di falda.



Figura 12: Idrografia nei pressi dell'area di intervento.

Per comprendere i caratteri di tale bacino va premesso che, in genere, il concetto di bacino idrografico in pianura è convenzionale. In un territorio caratterizzato da pendenze debolissime come la bassa Pianura Padana è infatti difficile tracciare dei precisi spartiacque, anche in considerazione del fatto che l'assetto idraulico è strettamente controllato da canali artificiali e paratoie (chiaviche); è dunque quasi sempre possibile, con particolari manovre, deviare le acque di scolo in territori adiacenti.

Il bacino idrografico viene perciò definito facendo riferimento al sistema di convogliamento delle acque di scolo in condizioni ordinarie, ossia di piovosità normale e con la sistemazione più frequente delle paratoie.



7.ANALISI DEL RISCHIO IDRAULICO

Per quanto riguarda la classificazione del territorio in base al pericolo di inondabilità dell'area, il territorio della Regione Emilia-Romagna è interessato da tre nuovi Piani: il PGRA del distretto padano, quello del distretto dell'Appennino Settentrionale e quello del distretto dell'Appennino Centrale.

Tali piani rappresentano il rischio di alluvione di tutto il territorio della Regione Emilia Romagna.

Il suddetto PGRA ha al suo interno le carte relative alla pericolosità di inondazione dovuta al reticolo principale e secondario dei corsi d'acqua naturali e quelle relative alla pericolosità del reticolo dei canali secondari di pianura (canali di Bonifica).

Per il recepimento del nuovo PGRA nel PSAI, mediante la delibera del C.I. n. 3/1 del 7 Novembre 2016 è stata adottata dalla Regione Emilia Romagna una Variante ai Piani Stralcio di Bacino del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra il PGRA e i piani stessi. Tale variante esorta di fatto i comuni a normare più dettagliatamente quali siano le misure da adottare per ciascuna classe di esondabilità definita dal PGRA. Non esiste di fatto ancora ad oggi un indirizzo normativo più preciso in tal senso.

Il PGRA fornisce una mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti:

- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP)

- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM)
- Reticolo secondario di pianura (RSP)
- Aree costiere e marine (ACM)

Per i diversi ambiti sono stati definiti i seguenti scenari di pericolosità di alluvione:

- P1: aree interessate da alluvione rara
- P2: aree interessate da alluvione poco frequente
- P3: aree interessate da alluvione frequente

Le Norme della Variante di coordinamento tra il PGRA e il PAI invitano le amministrazioni comunali a:

- Per le zone classificate come P2 e P3 a consentire e promuovere interventi adottando misure volte alla riduzione della vulnerabilità dei beni e delle persone esposte; oltre che a tenere aggiornati i Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile specificando lo scenario d'evento atteso e il modello d'intervento per ciò che concerne il rischio idraulico;
 - Per le zone classificate come P1 semplicemente a tenere aggiornati i Piani di emergenza ai fini della Protezione Civile specificando lo scenario d'evento atteso e il modello d'intervento per ciò che concerne il rischio idraulico;
- Sostanzialmente le Norme allo stato attuale invitano i comuni, e di conseguenza i progettisti dei vari interventi edilizi, a prendere seriamente in considerazione la classificazione dell'area da un punto di vista del rischio di esondazione, e di promuovere, per le aree classificate come P2 o P3, il non aumento del rischio idraulico limitando la vulnerabilità del nuovo carico urbanistico e dei nuovi beni esposti alle conseguenze di eventuali esondazioni.

Per l'area in esame:

- per quanto riguarda il reticolo principale- ricade nello scenario di pericolosità P1/L (scarsa probabilità – scenari eventi estremi T ritorno > 200 anni);
- per quanto riguarda il reticolo secondario di pianura, ricade nello scenario di pericolosità P2/M e L (media e alta probabilità – scenari eventi T ritorno 100 – 200 anni)

8. RICOSTRUZIONE STRATIGRAFICA

È possibile definire un modello geologico univoco per tutta l'area di indagine, poiché le prove penetrometriche risultano correlabili tra loro. Il sottosuolo risulta essere un'alternanza di argille e argille limose sabbiose. Durante la campagna di indagini, non è stata riscontrata la presenza della falda; per la presa visione completa della situazione egologica e geotecnica si rimanda alla relativa relazione.

9. PERMEABILITÀ DEL SITO

La permeabilità rappresenta l'attitudine di un deposito a farsi attraversare dall'acqua per effetto di un gradiente idraulico e rappresenta la resistenza che esso offre al flusso dell'acqua ed è definita dalla legge di Darcy attraverso il coefficiente di permeabilità, k , come il volume d'acqua, in m^3 , che attraversa in moto laminare nell'unità di tempo (1s) l'unità di superficie ($1m^2$) disposta ortogonalmente alla sua traiettoria, per effetto di un gradiente idraulico unitario, alla temperatura di 20°.

Il coefficiente di permeabilità ha le dimensioni di una velocità e si misura in m/s (o cm/s) e dipende in parte dal mezzo poroso, e dalla sua capacità di trasmettere il fluido, tramite la permeabilità intrinseca, k_p , e in parte dal fluido, e dalle sue proprietà fisiche, quali la densità, la viscosità, e quindi indirettamente la temperatura. Perciò a parità di mezzo il coefficiente di permeabilità dipende dal tipo di fluido e per uno stesso fluido dalla sua temperatura; nel caso specifico dei terreni la temperatura subisce piccole variazioni (localizzate soprattutto in corrispondenza degli strati più superficiali) per cui il coefficiente di permeabilità dipende dalle sole caratteristiche del mezzo.

In tal senso può dipendere da molti fattori, tra i quali i più importanti sono:

- la dimensione e forma dei grani, e la granulometria (con particolare riferimento alla quantità, al tipo e alla distribuzione delle parti fini)
- lo stato di addensamento (ad esempio per terreni a granulometria uni-forme all'aumentare della densità relativa il coefficiente di permeabilità diminuisce).

La permeabilità nell'area di intervento è stata determinata tramite una prova di infiltrazione a carico variabile (Lefranc), realizzata in foro di sondaggio fino a 1,50 m da p.c., tubo di rivestimento con diametro di 4,5 cm e immissione di acqua all'interno del tubo. Le tre permeabilità eseguite nei siti di interesse risultano essere:

permeabilità 1: $k=6,11 \times 10^{-5} m/s$

permeabilità 2: $k=5,71 \times 10^{-5} m/s$

permeabilità 3: $k=5,67 \times 10^{-5} m/s$



Figura 13: Ubicazione delle permeabilità eseguite.

10. INVARIANZA IDRAULICA

10.1 Richiami teorici

La realizzazione del campo fotovoltaico sarà causa di trasformazione urbanistica e territoriale in termini di impermeabilizzazione del suolo, quindi devono essere valutati i volumi necessari alla determinazione dell'invarianza idraulica dell'area. In particolare, per determinare l'invarianza idraulica, si fa riferimento al "Piano stralcio per il rischio idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Romagnoli", che al comma 1 dell'art. 9 delle NTA cita: *"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."* Il volume minimo deve essere calcolato secondo la procedura riportata nel capitolo 7 della "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003.

La valutazione dei volumi di compensazione delle impermeabilizzazioni create non ha il fine di creare delle zone di ritenuta di determinati volumi d'acqua ma ha lo scopo di mantenere inalterate le prestazioni complessive del bacino di interesse. Tali prestazioni sono riconducibili a due meccanismi di controllo "naturale" delle piene:

- infiltrazione e l'immagazzinamento delle piogge nel suolo (fenomeni rappresentati in via semplificativa dal coefficiente di deflusso);
- laminazione, cioè le portate d'acqua in arrivo nel bacino devono poter riempire i volumi di invaso prima di defluire dalla sezione di chiusura individuata.

La normativa prevede che il volume minimo di invaso prescritto per un'area caratterizzata da una quota di trasformazione I (% dell'area che subisce trasformazione) e da un'area inalterata P (% dell'area che non viene trasformata) tale per cui I+P = 100%, è data dalla seguente formula:

$$w = w^0 \cdot \left(\frac{\varphi}{\varphi^0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 \cdot I - w^0 \cdot P$$

dove:

- $w^0 = 50 \text{ mc/ha}$
- φ = coefficiente di deflusso dopo la trasformazione
- φ^0 = coefficiente di deflusso prima della trasformazione
- $n=0.48$ (esponente delle curve di possibilità climatica di durata inferiore all'ora, stimato nell'ipotesi che le percentuali della pioggia oraria cadute nei 5', 15' e 30' siano rispettivamente il 30%, 60% e 75%, come risulta -orientativamente- da vari studi sperimentali; si veda ad es. CSDU, 1997)
- I è la percentuale dell'area che subisce trasformazione. Si osserva che anche le aree che non vengono pavimentate con la trasformazione, ma vengono sistemate e regolarizzate, devono essere incluse in tale percentuale
- P è la percentuale dell'area che non subisce trasformazione.

Il volume w trovato va poi moltiplicato per l'area totale dell'intervento, considerando sia quella trasformata sia quella lasciata inalterata. Dovrà sempre essere adottato il volume minimo d'invaso più cautelativo e i criteri di dimensionamento prescritti dalla direttiva dipendono dalla classe di intervento.

Classe di intervento	Definizione superficie dell'intervento (S)
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	$S < 0,1\text{ha}$
Modesta impermeabilizzazione potenziale	$0,1\text{ha} \leq S < 1\text{ha}$
Significativa impermeabilizzazione potenziale	$1\text{ha} \leq S < 10\text{ha}$ oppure $S \geq 10\text{ha}$ con $\text{Imp} < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	$S \geq 10\text{ha}$ con $\text{Imp} > 0,3$

10.2 Determinazione del coefficiente di deflusso ante e post operam

L'area attualmente è ad utilizzo agricolo, successivamente verranno realizzati i fabbricati e posizionati i pannelli. La superficie totale dell'intervento ha estensione pari a **113,28 ettari**.

Le superfici saranno trasformate secondo lo schema riportato nella tabella seguente:

Descrizione	Superficie (mq)
Superficie complessiva dell'intervento	1'132'809,99
Superficie occupata dalle cabine	371,19
Superficie vialetti semipermeabili	88'751,21
Superficie occupata dai pannelli	322'350,40
Superficie a verde	721'337,18

Sulla base di tali caratteristiche è stata effettuata la valutazione dei coefficienti di afflusso medi dell'area ante e post operam, utilizzando i valori di riferimento delle linee guida regionali:

Tipo di superficie	Coefficiente di deflusso (*)
Aree agricole	0.1
Superfici permeabili (aree verdi)	0.2
Superfici semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato, ...)	0.6
Superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade, piazzali, ...)	0.9
Impianti fotovoltaici su terreni senza pavimentazione	0.7

10.3 Calcolo dei coefficienti di deflusso ante e post operam

Al fine di procedere al calcolo con il metodo dell'invaso si è provveduto al calcolo dei coefficienti di deflusso ante e post operam.

Situazione Ante operam

Destinazione	mq	Coefficiente
Terreni agricoli	1'132'809,99	0.1

Coefficiente di deflusso ante operam 0.10.

Situazione Post operam

Destinazione	mq	Coefficiente	
Fabbricati	371,19	0.9	Impermeabile
Viabilità stabilizzato	88'751,21	0.6	Semipermeabile
Pannelli	322'350,40	0.7	Semipermeabile
Superfici di mitigazione (a verde)	721'337,18	0.2	Permeabile

Coefficiente di deflusso post operam 0.37 (media pesata).

Si riporta in seguito il calcolo eseguito con il metodo dell'invaso da cui risulta un volume minimo di invaso pari a **12'901,22 mc** con una condotta di scarico DN 125.

CALCOLO DEI VOLUMI MINIMI PER L'INVARIANZA IDRAULICA

(inserire i dati esclusivamente nei campi cerchiati)

	Superficie territoriale =	1132809,99	mq	inserire la superficie totale scolante all'interno del nuovo scarico acque meteoriche di progetto
ANTE OPERAM	Superficie impermeabile esistente =	0,00	mq	inserire il 100 % della superficie impermeabile e il 50% della superficie di stabilizzato/betonella etc.
	Imp° =	0,00		
	Superficie permeabile esistente =	1132809,99	mq	inserire il 100 % della superficie permeabile (verde o agricola) e il 50% della superficie di stabilizzato/betonella etc.
	Per° =	1,00		
	Imp°+Per° =	1,00		corretto: risulta pari a 1
POST OPERAM	Superficie impermeabile di progetto =	205 922,00	mq	inserire il 100 % della superficie impermeabile e il 50% della superficie di stabilizzato/betonella etc.
	Imp =	0,18		
	Superficie permeabile progetto =	926 887,99	mq	inserire il 100 % della superficie permeabile (verde o agricola) e il 50% della superficie di stabilizzato/betonella etc.
	Per =	0,82		
	Imp+Per =	1,00		corretto: risulta pari a 1
INDICI DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA	Superficie trasformata/livellata =	1132809,99	mq	inserire la superficie di tutte le aree non agricole di progetto. Compresa aree verdi
	I =	1,00		
	Superficie agricola inalterata =	0,00	mq	inserire la superficie agricola di progetto (ovvero la superficie agricola inalterata)
	P =	0,00		
	I+P =	1,00		corretto: risulta pari a 1

CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM

$$\phi^{\circ} = 0,9 \times \text{Imp}^{\circ} + 0,2 \times \text{Per}^{\circ} = 0,9 \times 0,00 + 0,2 \times 1,00 = 0,20 \quad \phi^{\circ}$$

$$\phi = 0,9 \times \text{Imp} + 0,2 \times \text{Per} = 0,9 \times 0,18 + 0,2 \times 0,82 = 0,33 \quad \phi$$

CALCOLO DEL VOLUME MINIMO DI INVASO

$$w = w^{\circ} (f/f^{\circ})^{(1/(1-n))} - 15 \quad I - w^{\circ} P = 50 \times 2,58 - 15 \times 1,00 - 50 \times 0,00 = 113,89 \text{ mc/ha} \quad w$$

$$W = w \times \text{Superficie fondiaria (ha)} = 113,89 \times 32809,99 : 10\,000 = 12'901,22 \text{ mc} \quad W$$

DIMENSIONAMENTO STROZZATURA

Portata amm.le (Q_{agr.} = 10 l/sec/ha*
Perm_o + 90 l/sec/ha*Imp_o)

1132,81 l/sec

portata ammissibile effluente al ricettore

Battente massimo h

1,00

m

inserire il valore **di progetto** (calcolato esplicitamente in relazione)
del battente sopra l'asse della strozzatura

DN max condotta di scarico

736,69 mm

Si adotta condotta DN

125,00

mm

inserire il diametro della condotta scelta, che deve essere inferiore
a DN max. Si consente un minimo funzionale DN 125

Portata uscente con la condotta adottata

32,63 l/sec

10.4 Curve di possibilità pluviometrica

Le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica della zona interessata possono essere rappresentate dalla seguente equazione geometrica:

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

dove “a” ed “n” sono due parametri che vengono determinati in relazione ai campioni di precipitazioni esaminati.

Il numero di osservazioni a disposizione, rilevate dagli annali idrologici, consente di servirsi di metodi statistici con finalità probabilistiche, ormai di uso comune in idrologia, al fine di poter determinare con prefissato “tempo di ritorno Tr” la curva segnalatrice di possibilità pluviometrica.

Il “tempo di ritorno”, detto anche intervallo di ricorrenza, rappresenta il periodo di tempo (espresso in anni) durante il quale un determinato valore x dell’evento preso in considerazione viene raggiunto o superato una sola volta.

Pertanto per la determinazione della suddetta curva ci si è serviti:

- metodo di Gumbel (teoria degli estremi) per la regolarizzazione e la estrapolazione degli eventi di uguale durata, trattandosi di eventi pluviometrici massimi annuali;
- teoria dei minimi quadrati per la regolarizzazione e la estrapolazione degli eventi di diversa durata, ma equiprobabili e con prefissato “tempo di ritorno” al fine di determinare l’equazione: $h = a \cdot t^n$.

I parametri “a” e “n” di tale equazione servono per la determinazione del coefficiente udometrico calcolato con il metodo del volume di invaso.

Per individuare le piogge di progetto è stata sviluppata una specifica ed approfondita analisi delle precipitazioni di forte intensità e breve durata, responsabili dei massimi deflussi, per l’area del progetto e si è poi provveduto a definire la curva di possibilità pluviometrica. Lo studio della pluviometria viene svolto facendo riferimento ai

dati degli Annali Idrologici da cui si sono selezionati gli eventi di breve durata e forte intensità di durata 10, 15, 20, 30, 45 minuti, e gli eventi di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Per l'analisi delle altezze di pioggia si è adottata la legge per i valori estremi di Gumbel:

$$P(h \leq \bar{h}) = e^{-e^{-\alpha \cdot (\bar{h} - u)}}$$

La Curva di Possibilità Pluviometrica è stata ottenuta suddividendo i dati in due gruppi, quelli di durata fino all'ora e quelli di durata da 1 ora a 24 ore. La curva di possibilità pluviometrica che si ottiene con tempo di ritorno 25 anni è la seguente: Per durate fino all'ora:

$$h = 45,29 \cdot t^{0,566} \text{ (h in mm; t in ore)}$$

Per durate superiori all'ora:

$$h = 43,47 \cdot t^{0,293} \text{ (h in mm; t in ore)}$$

10.5 Metodo delle sole piogge

VERIFICA DELLA VOLUMETRIA PER PIOGGE CON TR 30 ANNI E DURATA d 2h				
Da effettuarsi per casi di Superficie territoriale > 1 ha				
Inserire dati esclusivamente nei campi cerchiati				
Superficie fondiaria	113,28 ha	superficie totale dell'intervento		
TR	30 anni	tempo di ritorno di riferimento		
a	44	inserire parametro di zona (vedi tabella)		
n	0,26	inserire parametro di zona (vedi tabella)		
tp	2,00 ore	durata di pioggia		
ϕ	0,33	coeff. di deflusso dopo la trasformazione		
h	52,15 mm	altezza pioggia in tp		
Vp	59 075,70 mc	Volume piovuto in tp		
Ve	19 332,28 mc	Volume effluente in vasca in tp		
Qu	32,63 l/sec	Portata scaricabile dalla strozzatura adottata		
Vu	234,92 mc	Volume scaricato dalla vasca nel ricettore in tp		
Ve-Vu	19 097,36 mc	Volume da laminare per evento TR 30 d 2 ore		
W	12 901,22 mc	Volume di laminazione (formula del w)		
NON VERIFICATO: NECESSARIO ADEGUAMENTO VOLUME				
W FINALE da adottare=		19 097,36 mc		
Per Tp>1h e TR 30 anni	RIMINI	CESENA	FORLI	RAVENNA
a	51	51	48	51
n	0,27	0,29	0,30	0,28

La verifica non risulta soddisfatta in quanto il volume ottenuto con la procedura di calcolo sopra riportata risulta maggiore rispetto ai precedenti calcoli. In conclusione, la portata da smaltire si ottiene dalla maggiore delle due precedenti, ovvero **19'097,36 mc**.

11.MISURE COMPENSATIVE PROPOSTE

Il volume finale di laminazione richiesto di circa 19'097,36 mc è gestito mediante la realizzazione di bacini di detenzione e il mantenimento di una parte delle scoline agrarie e la realizzazione di affossature di collegamento dei bacini con i corpi recettore in cui far laminare le acque meteoriche prima del loro definitivo recapito negli scoli consortili.

Successivamente le acque defluiranno entro i bacini di detenzione e le affossature, le quali scaricheranno in seguito entro il corpo recettore gestito dal Consorzio di Bonifica, mediante condotte di scarico DN 125 mm al fine di rispettare la portata massima prevista per il recettore idraulico.

Il Piano di Manutenzione prevede lo sfalcio periodico della vegetazione, al fine di mantenere funzionale il sistema di raccolta, garantendo inoltre la pulizia delle condotte di scarico.

12.CONCLUSIONI

La presente relazione ha esaminato le caratteristiche idrogeologiche del sito oggetto di intervento, situato nel Comune di Terre del Reno (FE), e ha individuato le opere necessarie al rispetto dei criteri imposti dal DGR 1860/2006 in materia di invarianza idraulica, per la determinazione dei volumi e delle modalità di compensazione dell'aggravio idraulico eventualmente indotto dalla realizzazione del campo fotovoltaico.

Il volume finale di laminazione richiesto di circa 19'097,36 m³ è gestito mediante la realizzazione di bacini di detenzione e il mantenimento di una parte delle scoline agrarie e la realizzazione di affossature di collegamento dei bacini con i corpi recettore in cui far laminare le acque meteoriche prima del loro definitivo recapito negli scoli consortili.

Successivamente le acque defluiranno entro i bacini di detenzione e le affossature, le quali scaricheranno in seguito entro il canale consortile esistente sull'area, mediante condotte di scarico DN 125 mm al fine di rispettare la portata massima prevista per il recettore idraulico.

Il Piano di Manutenzione prevede lo sfalcio periodico della vegetazione, al fine di mantenere funzionale il sistema di raccolta, garantendo inoltre la pulizia delle condotte di scarico.

La verifica condotta mediante la cartografia tecnica redatta dal PGRA e del PAI ha evidenziato che le aree risultano soggette allo scenario di pericolosità P1/L (scarsa probabilità – scenari eventi estremi T ritorno > 200 anni) per quanto riguarda il reticolo principale, mentre per quanto riguarda il reticolo secondario di pianura, ricade nello scenario di pericolosità P2/M e L (media e alta probabilità – scenari eventi T ritorno 100 – 200 anni). Occorre preservare, per gli edifici adiacenti esistenti, la stessa situazione presente ante operam in termini di pericolosità e di rischio di allagamento.

Sulla base dello studio condotto ed in seguito alle verifiche effettuate, considerando la situazione ante e post-intervento, sulla realizzazione dell'opera, si può affermare quanto segue:

- non aumenta il livello di pericolosità idraulica e di rischio poiché l'opera non comporta variazioni nell'assetto idraulico e nel dissesto idraulico, senza variare la permeabilità e la risposta idrologica della stessa area; infatti, come già evidenziato nei paragrafi precedenti,
- la recinzione perimetrale sarà progettata in modo tale da non ostacolare in alcun modo il ruscellamento superficiale, e sostenuta da paletti infissi nel terreno.
- non preclude la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e rischio dalle aree limitrofe.

È doveroso evidenziare come in pianura molte porzioni di territorio sono inondabili per piene provenienti da più di un corso d'acqua ed inoltre il fenomeno dell'allagamento non è governato dalla pendenza, esso procede prevalentemente per serbatoi in cascata che si attivano quando il livello dell'acqua supera il livello dei rilevati di confine e/o in presenza di connessioni come i sottopassi.

L'intervento di progetto, con le dovute precauzioni sopra citate, risulta compatibile dal punto di vista idraulico con il contesto geologico, idrogeologico e le normative vigenti.

Serie 23/06/2025

Dott.Geol. Alberto Velicogna



BIBLIOGRAFIA

- Per la cartografia: <http://www.isprambiente.gov.it> (cartografia geologica)
- PAI (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico) Regione Emilia Romagna
- PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni) Regione EmiliaRomagna
- PRG (Piano Regolatore Generale) Regione Emilia Romagna
- AdbPO – Geoportale del distretto del Po