

TITLE: Studio di Invarianza idraulica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA

Progetto di un impianto fotovoltaico denominato "Fabbrico" di potenza pari a 16.806,24 kWp da realizzarsi nel comune di Fabbrico (RE) e delle relative opere di connessione da realizzarsi nei comuni di Fabbrico (RE), Rio Saliceto (RE) e Carpi (MO)

File: FAB.ENG.REL.031.02_Studio di invarianza idraulica

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
02	23/01/2026	Rev.02	E.Barbiere	F. Trovati	L. Spaccino
01	23/05/2025	Rev.01	E.Barbiere	F. Trovati	L. Spaccino
00	24/01/2025	Emissione definitiva	E.Barbiere	F. Trovati	L. Spaccino

CLIENT VALIDATION

Name	Discipline	PE
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATE BY

CLIENT CODE

IMP.			GROUP.			TYPE			PROGR.			REV	
F	A	B	E	N	G	R	E	L	0	3	1	0	2
CLASSIFICATION For Information or For Validation						UTILIZATION SCOPE Basic Design							

INDICE

1. PREMESSA	3
1.1. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CATASTALE	4
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO.....	5
4. STATO DI FATTO E SOVRAPPOSIZIONE CON CARTOGRAFIA PAI	11
5. INVARIANZA IDRAULICA	14
5.1. CALCOLO DELLA PORTATA ALLO SCARICO	17
5.2. CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO TRAMITE METODO DELLE PIOGGE – VERIFICA PRINCIPIO DI INVARIANZA	18
5.3. VERIFICA DEI VOLUMI DI INVASO DISPONIBILI	23
5.4. SOLUZIONI TECNICHE PROPOSTE	24
5.4.1. MANUFATTO DI SCARICO	25
5.4.2. DIMENSIONAMENTO DELLA BOCCA TARATA	27
6. CONCLUSIONI	30

1. PREMESSA

Lo scopo del presente documento è la definizione delle caratteristiche idrologiche e idrauliche relative al progetto proposto da ATLAS SOLAR 13 SRL, che prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico connesso alla rete di distribuzione nazionale della potenza di 16.806,24 kWp. denominato “Fabbrico”.

Complessivamente, la potenza totale è ottenuta mediante la connessione in serie e in parallelo di moduli fotovoltaici bifacciali con potenza nominale adeguate alle esigenze non solo di spazio, in termini di superficie occupata, ma anche di compatibilità con le strutture del tipo “Struttura tracker 1x48 Portrait”, “Struttura tracker 1x24 Portrait” e “Struttura tracker 1x12 Portrait” scelte dal Committente.

L’impianto installato a terra con potenza in AC utile ai fini della connessione pari 15.360,00 kW_{AC} è destinato ad essere collegato alla RTN in antenna a 36 kV, come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita da Terna SpA (codice pratica: 202402359). La connessione prevista dalla STMG prevede infatti che l’impianto venga collegato in antenna a 36 kV su un ampliamento della Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132 kV denominata “Carpi Fossoli”.

Le opere in progetto saranno site nei Comuni di Fabbrico (per l’impianto fotovoltaico), Fabbrico, Carpi e Rio Saliceto (per il cavidotto) in Provincia di Reggio Emilia in Emilia-Romagna.



Figura 1 –Sovrapposizione su ortofoto dell’area di impianto (area in rosso) e del percorso del cavidotto di connessione alla rete (in blu).

1.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nel presente studio si è fatto riferimento a:

1. NTA del PIANO STRALCIO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) dell’Autorità Distrettuale di Bacino del Po
2. Deliberazione del Comitato Istituzionale Autorità di Bacino Fiume PO (Compartimento di Parma) n. 18 in data 26 aprile 2001.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CATASTALE

L'area interessata dall'intervento è situata nel territorio comunale di Fabbrico (RE), a circa 25 km a Nord del capoluogo reggiano.



Figura 2. Ubicazione dell'area di oggetto di intervento su Google Earth



Figura 3. Area di intervento su Catastale

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'area di intervento, costituita da un'area agricola nella disponibilità della proponente, risulta essere facilmente raggiungibile dalla SP46 posta a est dell'area di impianto. Il perimetro di interesse risulta essere lambito da diversi canali di scolo delle acque di competenza del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, in particolare:

- Lungo il lato Ovest è presente il Canale denominato "Fosso Risaia";
- Lungo il Lato Nord sono presenti il Fosso Risaia, il Cavo denominato "C.C.A.B.M." e il Cavo "Cuscina";
- Lungo il Lato Est è presente il Canale Cavo Fossatelli, mentre oltre la SP 46 è presente il Canale "Cantonazzo" il quale non verrà interessato da questa analisi.

Da un punto di vista topografico l'area si sviluppa su un terreno prevalentemente pianeggiante. Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico con moduli fotovoltaici in eterogiunzione di silicio e ciascuna stringa di moduli farà capo ad uno string inverter, a sua volta connesso a cabine di trasformazione BT/MT.

L'impianto fotovoltaico sarà complessivamente costituito da moduli la cui potenza installabile risulta essere pari a 16.806,24 kW_p.

Le strutture di supporto dei moduli saranno del tipo "Struttura tracker 1x48 Portrait", "Struttura tracker 1x24 Portrait" e "Struttura tracker 1x12 Portrait".



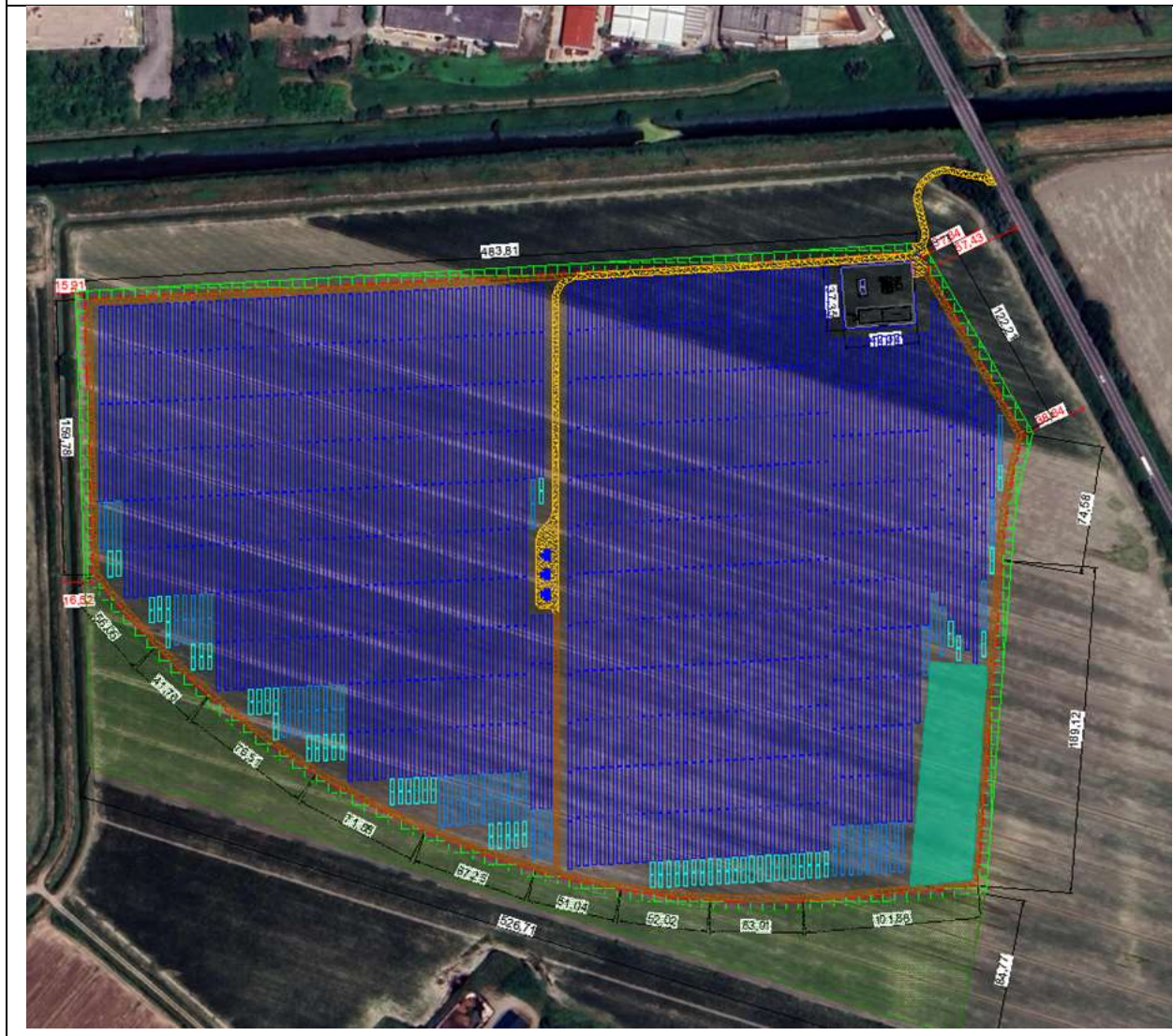
Figura 4 - Sovrapposizione su ortofoto dell'area di impianto (in rosso) e dei canali del Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale (in blu). (Fonte: Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale)

Di seguito vengono riportati i dati relativi all'ubicazione e alle caratteristiche climatiche dell'area interessata dall'impianto in oggetto:

Tabella 1 – Descrizione sito

COORDINATE	
COMUNE	Fabbrico e Carpi (opere di connessione)
PROVINCIA	Reggio Emilia
LATITUDINE	44°51'51.92"N
LONGITUDINE	10°50'33.94"E
CLASSIFICAZIONE SISMICA	3
ZONA CLIMATICA	E
AREA DI IMPIANTO	~17 ha

INDICAZIONE AREA DI PROGETTO



Le opere in progetto saranno site nel Comune di Fabbrico, con le opere di connessione che interesseranno anche il Comune di Carpi e di Rio Saliceto.



Figura 5 – Inquadramento dell’area di impianto (in rosso) con indicazione della viabilità di accesso (Fonte: Google Earth)

È stato possibile modellare il DTM 1x1, già disponibile sul Sito del Ministero dell’Ambiente, grazie anche al rilievo celerimetrico GPS effettuato in sopralluogo. Inoltre, sono stati valutati i canali gestiti dal Consorzio di Bonifica dell’Emilia Centrale che si sviluppano nei pressi dell’impianto.

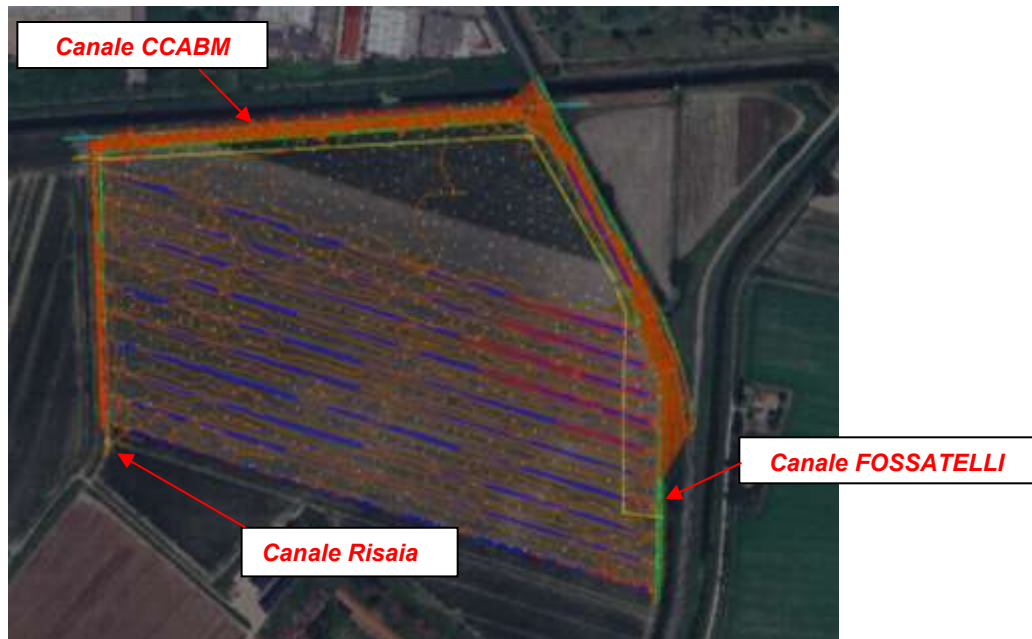


Figura 6 - Rilievo celerimetrico GPS effettuato nell'area di impianto



Figura 7 - Planimetria fotografie in sede di sopralluogo

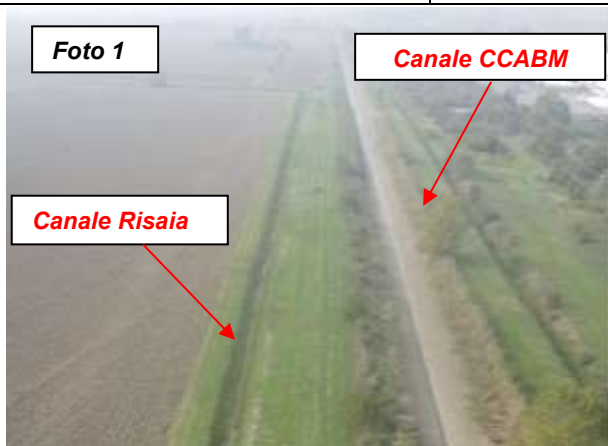


Figura 8 - Fotografie da sopralluogo con aree di intervento e canale perimetrale

ATLAS SOLAR 13 SRL



CODE

FAB.ENG.REL.031.02

PAGINA - PAGE

10 di/of 30

Per quanto riguarda la gestione delle acque di pioggia all'interno dell'area del sito, le pendenze del fondo agricolo derivano le acque sul lato Est del futuro impianto; tale configurazione consente di inserire una vasca di laminazione sul lato Est dell'impianto con relativo recapito nel Canale denominato Cavo Fossatelli tramite manufatto di regolazione.

4. STATO DI FATTO E SOVRAPPOSIZIONE CON CARTOGRAFIA PAI

Il sito di intervento è ubicato in un contesto di pianura alluvionale nel Bassa Pianura Reggiana, a circa 25 km a Nord dal capoluogo. La zona è costituita da campi soggetti a pratiche agricole, per la maggior parte cereali. Così come rappresentato in Figura 9, in cui si riporta la sovrapposizione del reticolo idrografico con le opere in progetto, non sussistono interferenze tra l'area di impianto e la rete secondaria dei canali, in quanto essi restano al di fuori della superficie utilizzata con un franco di rispetto.

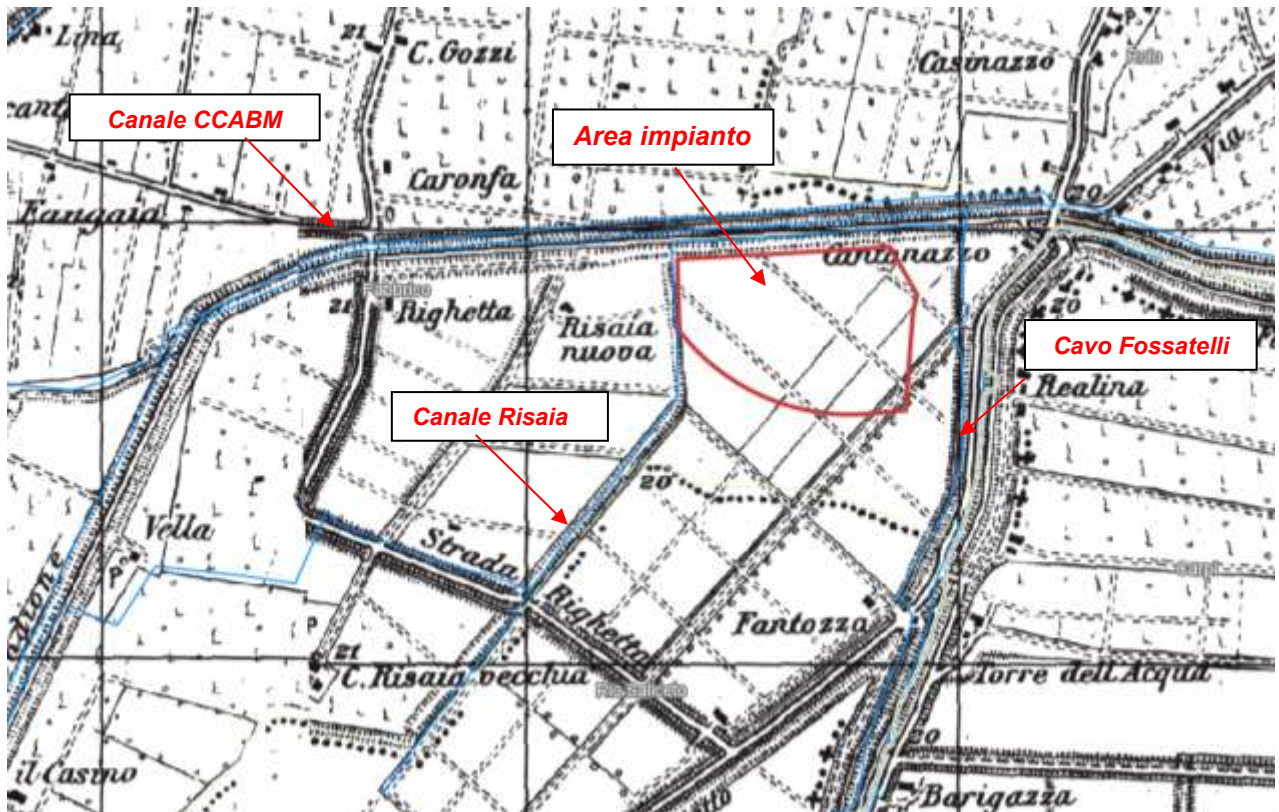


Figura 9- Stralcio da IGM con interferenza reticolo idrografico

Gli interventi ricadono nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po. L'eventuale interferenza con le aree a rischio idraulico è stata verificata previa consultazione della cartografia della pericolosità/rischio idraulico messa a disposizione sul sito dell'Ente. Dalla Figura di seguito rappresentata si evidenzia come le aree oggetto di intervento **ricadono in aree a pericolosità/rischio idraulico.**

In particolare, sono state analizzate le cartografie relative ad

- Aree PGRA (le aree di intervento ricadono in aree a medio rischio alluvione);
- Reticolo idrografico Secondario di Pianura – **RSP**, (le aree di intervento ricadono in aree a basso rischio);
- Fasce fluviale C.

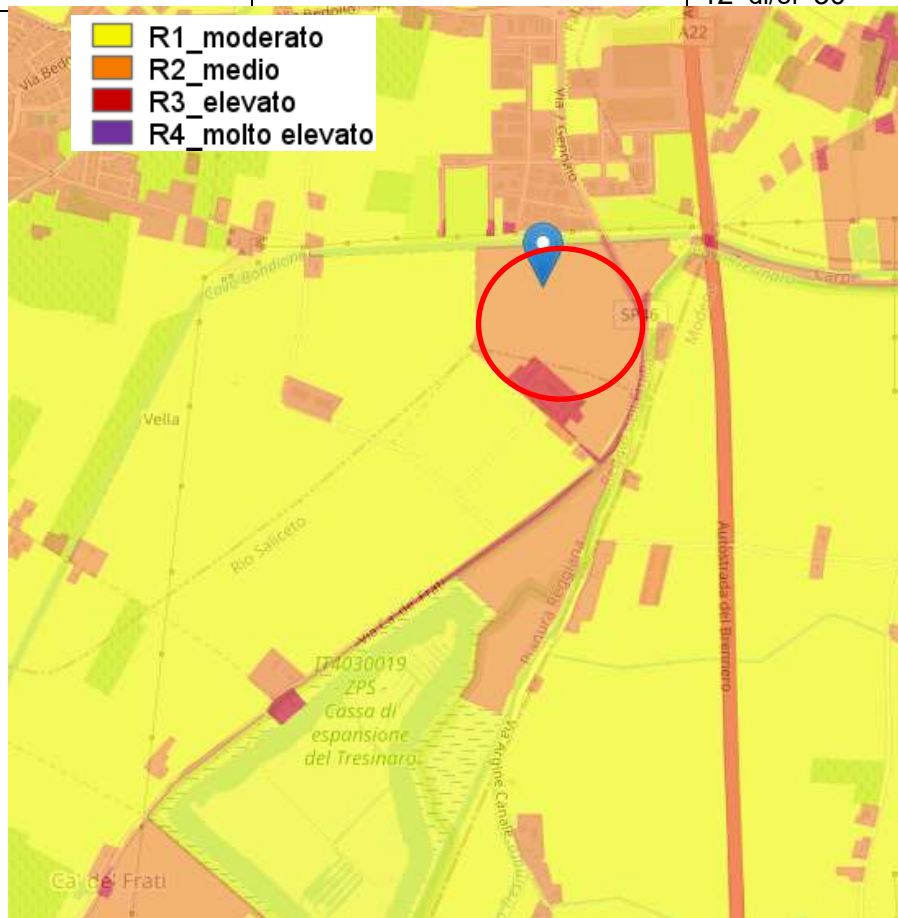


Figura 10- Sovrapposizione opere con cartografia PGRA

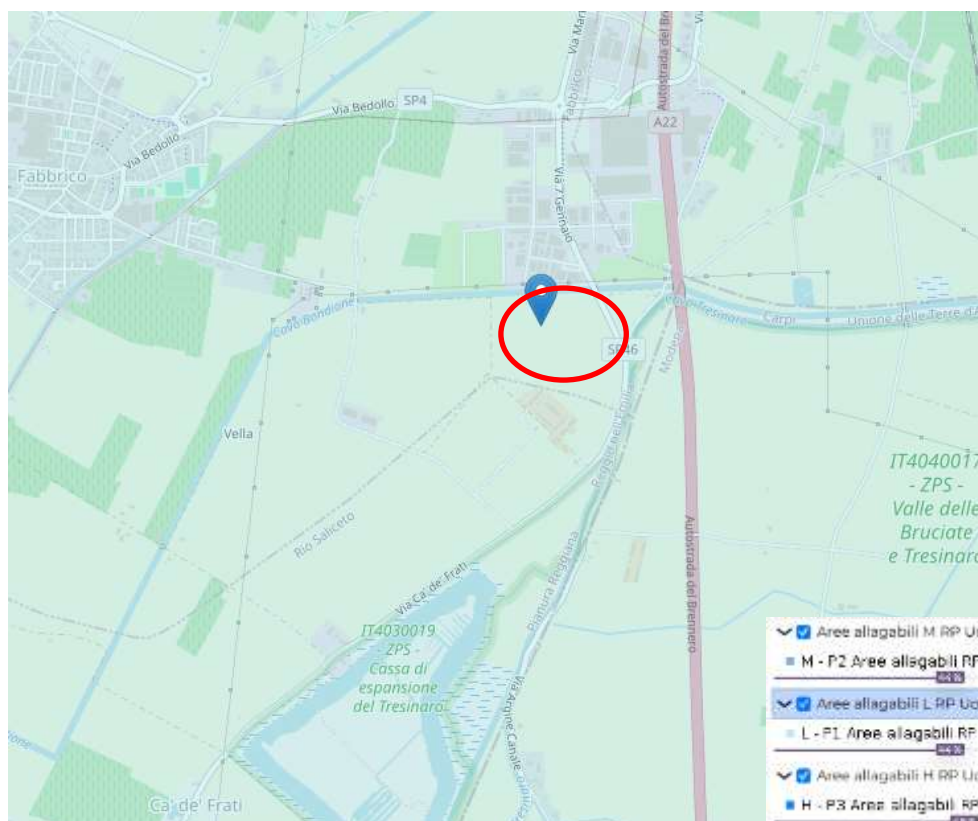


Figura 11- Sovrapposizione opere con cartografia PAI_ Pericolosità RSP

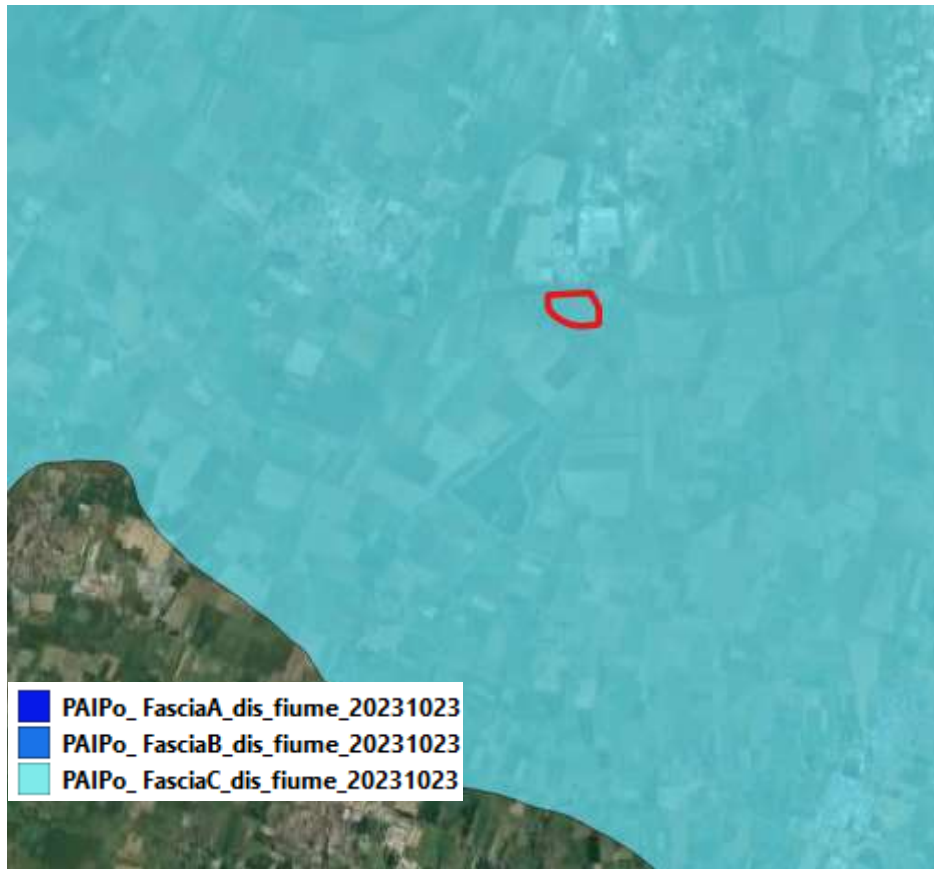


Figura 12 - Sovrapposizione opere con cartografia PAI_ Fasce Fluviali

5. INVARIANZA IDRAULICA

Con riferimento alle Procedure Rilascio Permessi del Consorzio di Bonifica Emilia Centrale, in relazione al principio dell'invarianza idraulica, è necessario, in linea generale, che le misure compensative, da individuarsi nell'ambito dei singoli interventi di trasformazione d'uso dei suoli, siano da ricondurre alla predisposizione di volumi di invaso che consentano la laminazione delle piene. Nel presente capitolo verranno quindi descritte le misure previste per garantire l'invarianza idraulica delle zone interessate dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto.

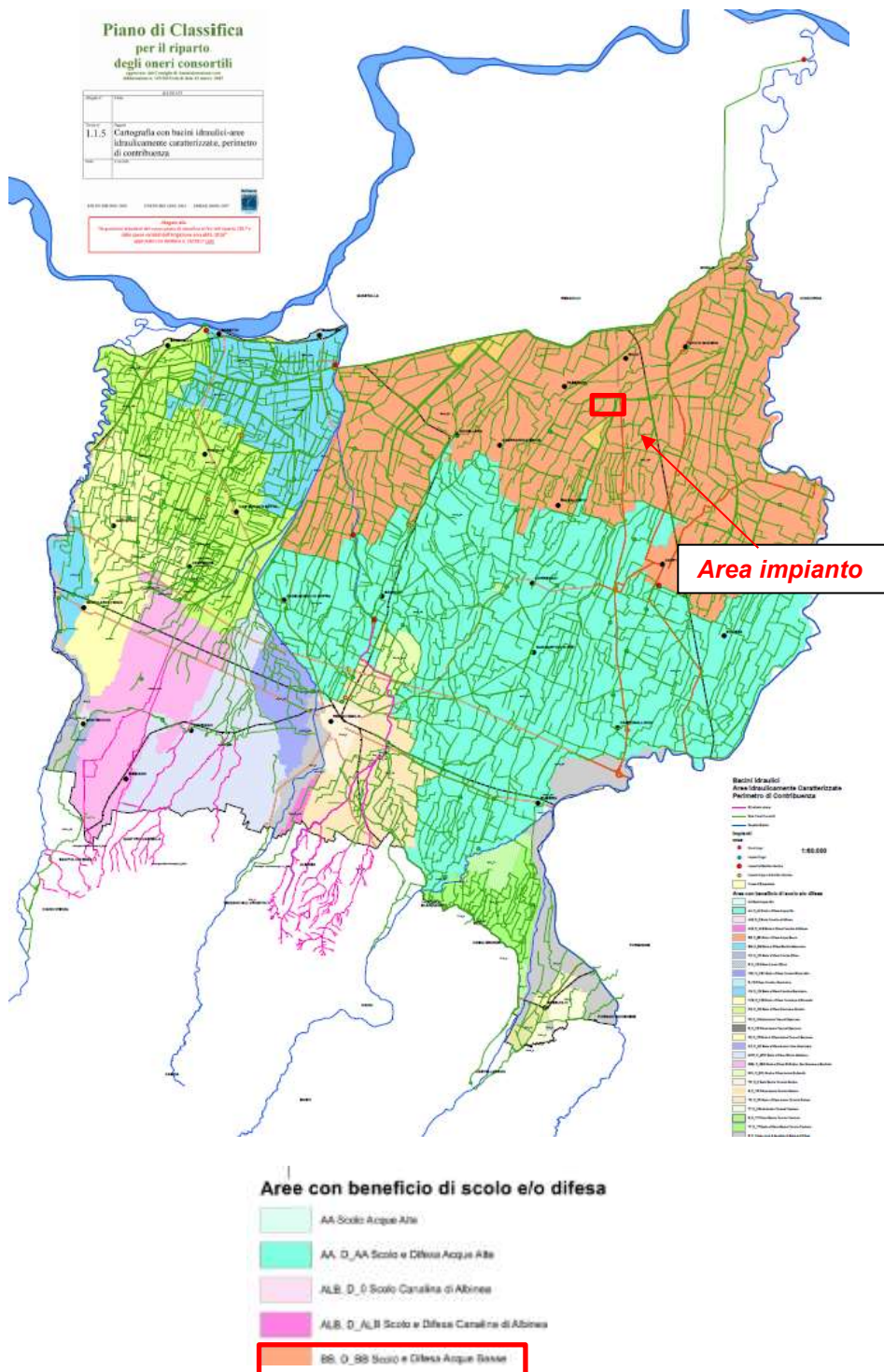


Figura 13- Zona di intervento nell'area del Consorzio di Bonifica

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. Per un'area di nuovo intervento è necessario verificare che le opere proposte non aggravino l'esistente livello di pericolosità idraulica né pregiudichino la possibilità di una futura riduzione di tale livello. Risulta necessario verificare che, modificando le caratteristiche e l'uso del suolo, sia verificata la compatibilità dei deflussi con i corpi recettori. Nel rispetto degli obiettivi dell'invarianza idraulica, quindi, a chi effettua trasformazioni di uso del suolo viene imposto l'onere di realizzare azioni compensative al fine di mantenere inalterata la capacità di un bacino di regolare le piene.

L'area di impianto ricade nel Consorzio di Bonifica Emilia Centrale all'interno del sottobacino denominato "**Scolo e Difesa Acque Basse**", con recapito delle acque laminate all'interno del fosso denominato **Cavo Fossatelli**.

Per la determinazione del volume di invaso specifico, la procedura del Consorzio Emilia Centrale è la seguente:

"NEL CASO DI SCARICO ACQUE occorrerà:

- 1) *garantire l'invarianza idraulica rispetto al **coefficiente udometrico massimo imposto dal Consorzio** per l'area in esame. Tale coefficiente andrà confrontato con quello della condizione di progetto, desunto dai calcoli idrologici del punto precedente..."*
- 2) *Per l'eccedenza di portata **ocorrerà calcolare la volumetria necessaria per la laminazione** (con il metodo cinematico oppure **con il metodo delle sole piogge**). **Tale volumetria potrà essere ricavata mediante vasche a cielo aperto e /o interrate e/o con il sovradimensionamento della rete di acque bianche interna al lotto.***
- 3) *Inoltre, occorrerà il **calcolo del tubo limitatore di portata in uscita** (in genere si accetta una tubazione di dimensioni tali da far passare al massimo la portata imposta dal Consorzio o **comunque una bocca tarata in maniera fissa**, non si accettano dispositivi di regolazione della portata tipo "Hydroslide").*

Uno dei compiti principali del Consorzio è quello di garantire una gestione e manutenzione del proprio reticolo idrografico artificiale, il corretto deflusso delle acque piovane provenienti dalle aree agricole e urbane, salvaguardando beni, strutture e soprattutto le vite umane. Questa attività protegge il territorio dai rischi di allagamento e alluvione, sempre più elevati a causa della crescente urbanizzazione e dei cambiamenti climatici in atto. Posto che le variazioni di uso del suolo possono essere autorizzate solo previa applicazione di misure volte al rispetto del principio di invarianza idraulica e finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio, anche attraverso il contenimento dell'impermeabilizzazione dei suoli e la dotazione di spazi idonei alla ritenzione, al trattamento delle acque meteoriche e al loro riutilizzo o rilascio in falda (art 21 LR 24/2017), affinché le portate transitanti nel reticolo di bonifica siano compatibili con il reticolo idraulico esistente è necessario che tutte le nuove immissioni siano autorizzate solo previa verifica idraulica/idrologica.

Il principio di invarianza idraulica garantisce che il deflusso risultante dal drenaggio di un'area debba rimanere invariato dopo una trasformazione dell'uso del suolo avvenuto nell'area stessa, ossia dopo lavori di edificazione e urbanizzazione. Il concetto di invarianza idraulica, in definitiva, implica la necessità di realizzare interventi nelle aree che, a seguito della riduzione della permeabilità, genererebbero un deflusso superficiale verso l'esterno. Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi

idrici in eccesso, rispetto alle condizioni ante-trasformazione, oppure laminando le portate. In quest'ultimo caso si opera praticamente realizzando vasche di accumulo temporaneo, la cui funzione è quella di trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici per rilasciarla quindi gradualmente con una portata prestabilita non superiore a quella caratteristica dell'area ante-trasformazione. Si precisa che, qualora l'intervento ricada su una superficie già impermeabilizzata, "la riduzione della permeabilità del suolo va calcolata facendo riferimento alla permeabilità naturale originaria del sito, ovvero alla condizione preesistente all'urbanizzazione, e non alla condizione urbanistica precedente l'intervento eventualmente già alterata rispetto alla condizione naturale originaria, preesistente all'urbanizzazione".

Pertanto, se il Consorzio valuta che l'intervento rientri tra quelli richiedenti le misure di invarianza idraulica, esso deve essere realizzato secondo le presenti indicazioni sebbene sia realizzato su una superficie già impermeabile. Il Consorzio sulla base della propria conoscenza del reticolo scolante ivi incluso l'attuale stato di sofferenza idraulica, determina, la portata specifica massima (coefficiente udometrico) che un bacino deve convogliare nel canale di scolo. I coefficienti udometrici massimi (ϕ), che dovranno essere adottati saranno definiti dal Consorzio in funzione del ricettore.

Al fine di garantire il rispetto del principio di invarianza idraulica si richiedono:

- Tabella contenente la superficie territoriale e la suddivisione della stessa in aree a permeabilità omogenea (Aree Verdi, Aree impermeabili, ecc.). Si sottolinea che l'invarianza idraulica deve essere applicata all'intera superficie oggetto di intervento. Il consorzio ha stabilito che, sulla base della propria conoscenza del territorio, i coefficienti di deflusso da utilizzarsi per le aree sopra descritte sono i seguenti:

Tipologia di superficie urbana	ϕ
Prati, boschi, aree verdi in genere	0.2
Strade, tetti, aree di sosta tradizionali, marciapiedi e altre superfici impermeabili	0.9
Parcheggi permeabili con grigliati in calcestruzzo inerbiti, sterrati inerbiti, calcestruzzo drenante, grigliati plastici, masselli porosi, ecc.	0.6

Tabella 2 – Coefficienti deflusso funzione della tipologia di suolo

In riferimento alle superfici agricole nelle quali è prevista l'installazione di impianti fotovoltaici/agrivoltaici il Consorzio considera la proiezione a terra della superficie dei pannelli fotovoltaici come una superficie impermeabile (coefficiente di deflusso pari a 0.9). A tal proposito, sarà necessario includere una tabella contenente le seguenti informazioni:

- 1) caratteristiche geometriche dei pannelli adottati (larghezza, altezza, angolo di inclinazione);
- 2) numero di pannelli installati;
- 3) Stima della superficie impermeabile equivalente calcolata come area della proiezione a terra dei pannelli considerando un angolo di inclinazione pari a 45°;

Nei paragrafi a seguire verranno illustrati i coefficienti di deflusso adoperati nel caso in esame.

5.1. CALCOLO DELLA PORTATA ALLO SCARICO

La portata massima scaricabile all'interno di un canale consortile va calcolata conoscendo il coefficiente udometrico (espresso il l/s per ettaro impermeabile equivalente) indicato dal Consorzio di Bonifica Emilia Centrale moltiplicando tale valore per la superficie territoriale dell'area dell'impianto.

Per la zona in esame, si fa riferimento al documento del 2018 del Consorzio che suddivide il territorio in sottozone in funzione del valore di portata di scarico specifico:

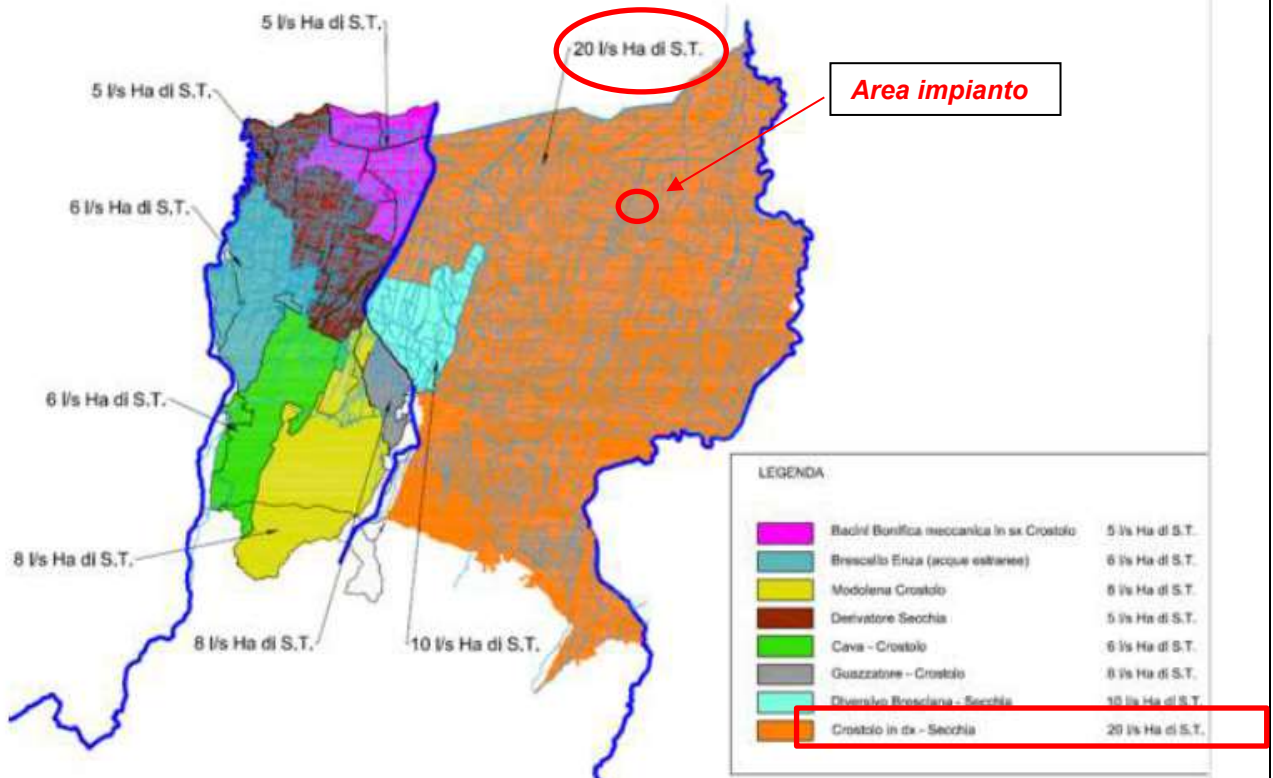


Figura 14 – Sottozone omogenee del Consorzio di Bonifica Emilia Centrale

Il Comune di Fabbriano ricade nella Sottozona denominata “Crostolo in dx – Secchia” per il quale è prevista una portata pari a **20 l/s/ha di superficie complessiva**.

Tuttavia, a seguito di istruttoria, il Consorzio di Bonifica si è espresso con delibera prot.18/07/2025.0708314 E imponendo la portata in uscita pari a 10 l/s.

È stata quindi calcolata la portata massima richiesta in uscita dal sistema di laminazione.

Superficie complessiva bacino (Ha)	17.47
Q_{OUT} Laminazione (l/s)	174.7

Tabella 3 - Calcolo della portata massima allo scarico per ogni area di impianto

Al fine di garantire la portata allo scarico sopra calcolata, nella sezione di chiusura prima dell'immissione nel canale del consorzio di bonifica, sarà prevista la realizzazione di una bocca tarata (stramazzo a geometria triangolare di tipo Thomson).

5.2. CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO TRAMITE METODO DELLE PIOGGE – VERIFICA PRINCIPIO DI INVARIANZA

La determinazione del volume necessario alla desiderata laminazione deve essere effettuata mediante il Metodo delle sole piogge, eventuali verifiche possono essere effettuate mediante l'ausilio di modellazione numerica di dettaglio. Per interventi compresi tra il Torrente Crostolo ed il Fiume Secchia, utilizzare le seguenti curve di possibilità pluviometrica tratte da uno studio del Prof Marinelli del 2009 eseguito per i canali consortili:

Tempo di ritorno	Alta Pianura		Media Pianura		Bassa Pianura	
TR	a	n	a	n	a	n
25	51.44	0.21	58.93	0.23	69.09	0.17
50	57.50	0.21	66.21	0.23	78.16	0.16
100	63.50	0.21	73.44	0.23	87.16	0.16

Tabella 4 - CPP studio Prof. Marinelli (2009)

Per quanto attiene al tempo di ritorno della pioggia di progetto, Il Consorzio impone i valori secondo le seguenti modalità:

- **Tr = 25 anni** per ambiti residenziali urbani ed extraurbani (concordarsi con l'Ente)
- **Tr = 50anni** per ambiti industriali, produttivi (concordarsi con l'Ente)
- **Tr = 100anni** per ospedali, aeroporti, discariche di rifiuti pericolosi (concordarsi con l'Ente)
- **Tr = 25 anni** per ambiti già esistenti con comprovata impossibilità tecnica di realizzare volumetrie calcolate con Tr maggiori.

Nel caso di impianti fotovoltaici, il tempo di ritorno utilizzato è il **Tr = 50 anni.**

Per il calcolo del volume utile all'invarianza è stato utilizzato il **metodo delle piogge** che si basa sulla assunzione per cui l'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è un'onda rettangolare avente durata D e portata costante Q_e pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso.

Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Il volume entrante è quindi pari a:

$$W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n$$

In cui :

- S : Superficie dell'intervento in ha;
- φ : coefficiente di deflusso medio ponderato dell'intera superficie
- a, n : parametri della curva di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno definito [mm/h];
- D : Durata dell'evento critico di pioggia espresso in ore.

Il volume complessivamente uscito nel corso della durata D dell'evento è pari a:

$$W_u = S \cdot \varphi \cdot u_{lim} \cdot D$$

In cui:

- S : Superficie dell'intervento in ha;
- φ : coefficiente di deflusso medio ponderato dell'intera superficie
- U_{lim} : portata scaricabile in l/s/ha, posto pari a 20;
- D : Durata dell'evento critico di pioggia espresso in ore.

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. Conseguentemente, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione.

Quindi, il volume massimo ΔW che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{lim} \cdot D$$

La figura seguente mostra graficamente la curva $W_e(D)$, concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $W_u(D)$ e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata D_W critica per la laminazione.

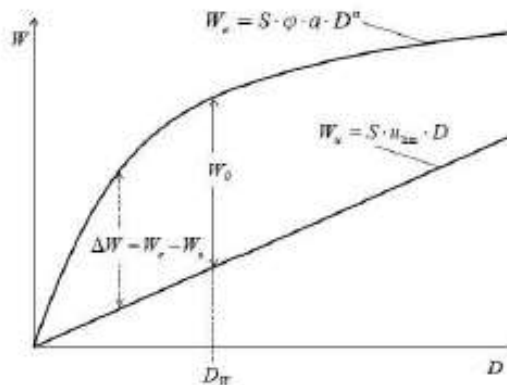


Figura 15 - Individuazione con il metodo delle sole piogge dell'evento critico D_W e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato.

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_W per l'invaso di laminazione espresso in ore e di conseguenza il volume specifico di laminazione w_0 espresso in mc/ha:

$$D_W = \left(\frac{u_{lim}}{2.78 \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (1)$$

$$w_0 = 10 \cdot \phi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot u_{\text{imm}} \cdot D_w \quad (2)$$

Pertanto, è necessario calcolare i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometriche per un determinato tempo di ritorno e il coefficiente di deflusso medio ponderato Φ dell'intera superficie.

Al fine di compensare i noti errori di sottostima nel metodo proposto il volume finale dell'invaso si otterrà moltiplicando il volume massimo trovato per un coefficiente (FS) pari a 1.2.

$$W_{\text{vasca}} = FS \cdot W_0$$

Attraverso un'analisi della planimetria di impianto, è stato possibile inoltre distinguere le aree dell'intera superficie trasformata in funzione del tipo di trasformazione, al fine di identificare un **coefficiente di deflusso medio ponderato** valido per l'intera area di impianto.

$$\Psi_{\text{medio}} = (\Psi_1 \cdot S_1 + \Psi_2 \cdot S_2 + \dots + \Psi_n \cdot S_n) / S = \frac{\sum_{i=1}^n \Psi_i \cdot S_i}{S}$$

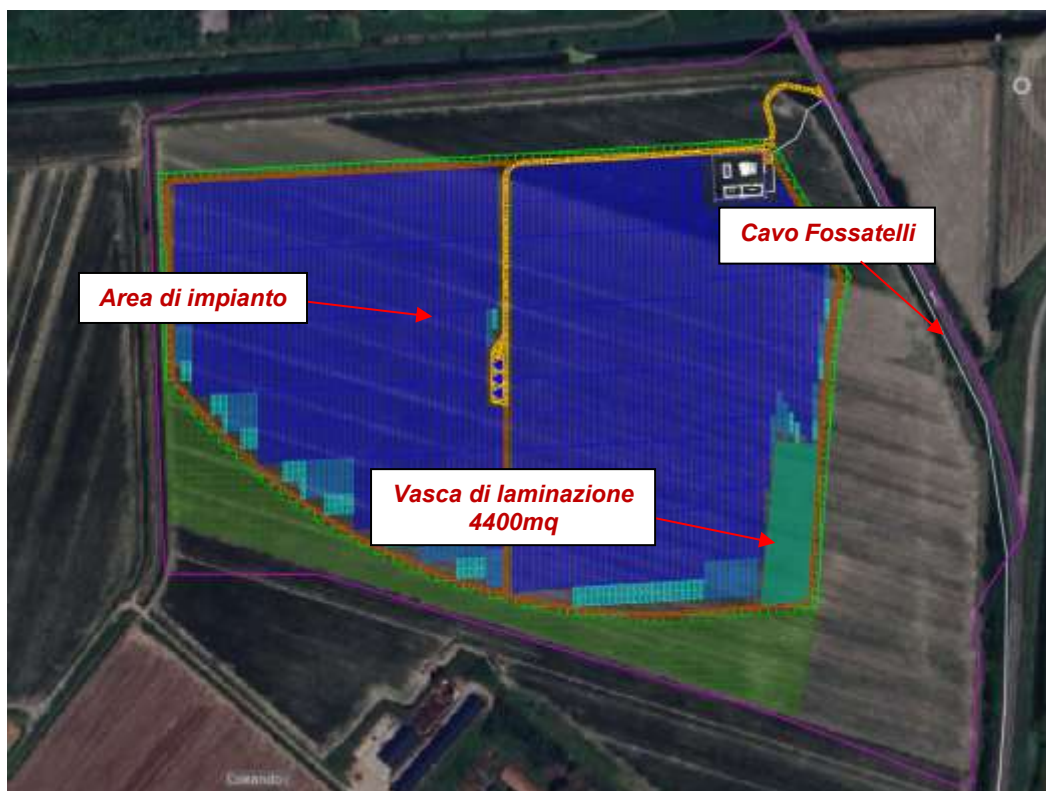


Figura 16 – Layout di impianto

Come descritto precedentemente, l'impianto prevede l'utilizzo di tre tipologie di strutture tracker:

- Tracker 1x48 – Superficie per la singola struttura è pari a: 134 m² ;
- Tracker 1x24 - Superficie per la singola struttura è pari a: 68 m² ;
- Tracker 1x12 - Superficie per la singola struttura è pari a: 35 m² ;

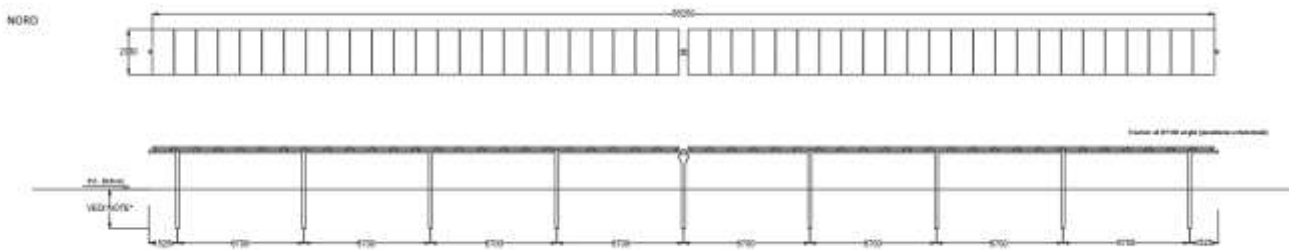
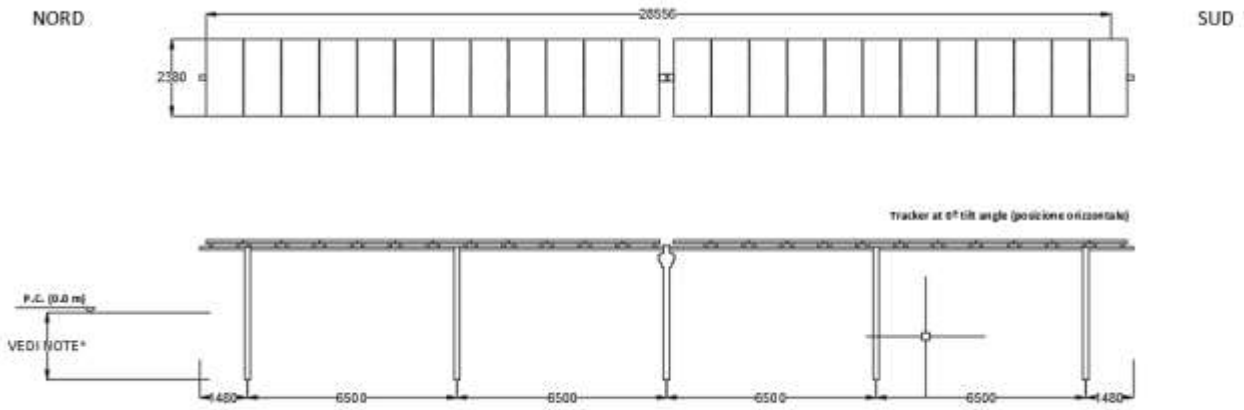
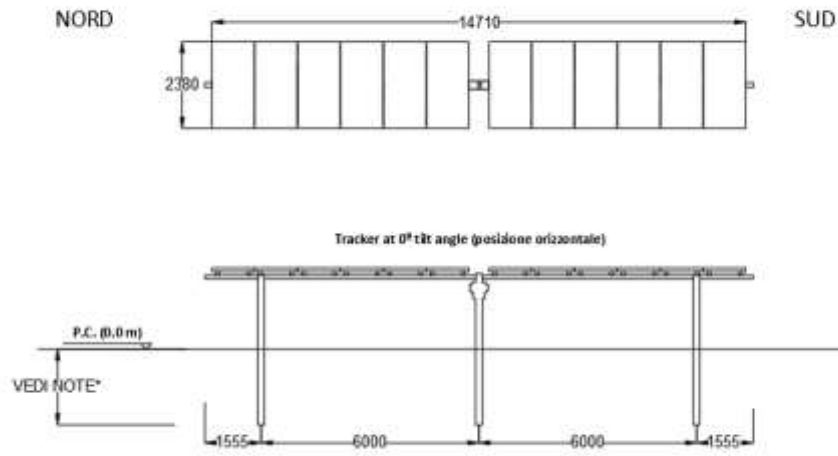


Figura 17 – Tracker 1x12, 1x24 e 1x48

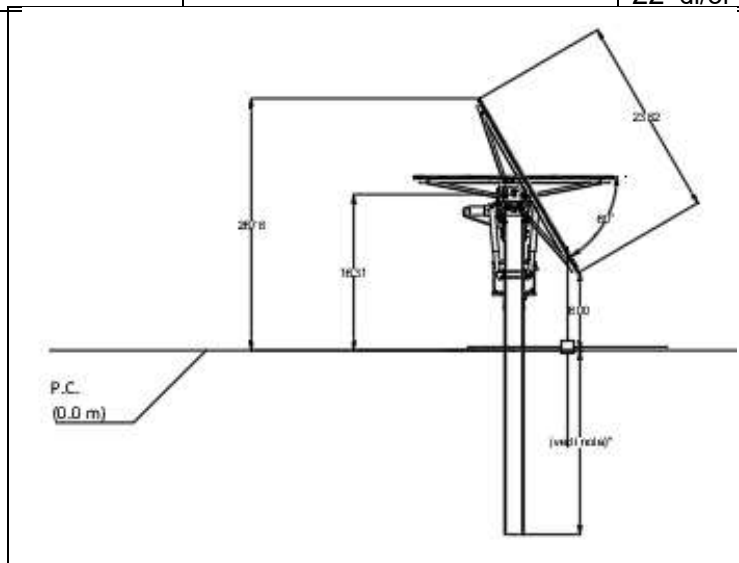


Figura 18 – struttura Tracker singolo

Si riporta di seguito una tabella riepilogativa delle superfici effettivamente oggetto di trasformazione, relativi quindi ai moduli fotovoltaici, ai cabinati, alle strade interne e alle aree verdi calcolate:

	Lotto
n. Strutture tracker 1x48 (m ²)	66062
n. Strutture tracker 1x24 (m ²)	3128
n. Strutture tracker 1x12 (m ²)	1995
Sup area edifici – Cabinati e TU (m ²)	1591.00
Strade interne battuta (m ²)	6700
Aree Verdi – Incolto (m ²)	95178
SUPERFICIE TOTALE (mq)	174654

Tabella 5 - Calcolo della superficie effettivamente trasformata per ciascuna area di impianto

Per il calcolo del coefficiente medio ponderato Φ_{medio} , si è fatto riferimento alla superficie complessiva occupata dall'area occupata dai pannelli fotovoltaici e dai cabinati, **posto pari a 0.9 secondo le direttive del Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale**. Per le strade in terra battuta (circa 6.700mq) si userà un $\phi=0.6$; il resto sarà area a verde non trasformata con $\phi=0.2$. Di seguito si riporta la tabella riepilogativa delle superfici:

TIPOLOGIA D'OPERA	Assimilabili a	Area tot (m ²)	Φ_{assunto}
Impianti fotovoltaici	Impianti fotovoltaici	71185	0.9
Cabinati e TU	Superfici occupate da edifici	1591.00	0.9
Mitigazione ambientale	Verde - Incolto	95178.000	0.2
Strade interne battute	Pavimenti drenanti	6700.00	0.6
Totale		174654	$\Phi_{\text{medio}} = 0.507$

Tabella 6 - Calcolo del coefficiente di deflusso medio ponderato

Applicando le formule del metodo delle piogge descritte precedentemente (1) e (2), si ricava:

METODO SOLE PIOGGE		
<i>u lim</i>	10	l/s/ha
<i>S</i>	17.47	ha
<i>Qmax</i>	174.7	l/s
Φ	0.507	
<i>a (T=50)</i>	78.16	mm/h
<i>n (T=50)</i>	0.16	
<i>Dw</i>	1.96	h
<i>w0</i>	370.8	mc/ha
<i>W0</i>	6475.9	mc
<i>Wvasca</i>	7771.0	mc

Tabella 7 - Valori di volume specifico e totale per l'area di impianto

5.3. VERIFICA DEI VOLUMI DI INVASO DISPONIBILI

Calcolato il volume di invaso per l'intera area di trasformazione, pari a **W0= 6475.9 mc**, si è proceduto alla determinazione dei volumi di invaso disponibili moltiplicando tale valore per 1.2. Il volume della vasca è pari a **Wvasca=7771.0 mc**.

A vantaggio di sicurezza, **NON verranno considerati tra i volumi disponibili i canali di drenaggio esistenti perimetrali** delle aree di impianto, in quanto rappresentano i corpi ricettori finali dei volumi laminati all'interno delle aree di impianto, pertanto non sono utilizzabili a fini laminativi.



Figura 19 - Canali perimetrali alle aree di impianto

La scelta di non utilizzare i canali perimetrali comporta la necessità di realizzare manufatti posti nelle aree di impianto che fungano da bacini di laminazione interna e recapitino le acque laminare attraverso opere opportunamente tarate che rispettino il limite di portata di scarico (**Qmax = 174.7 l/s**).

Pertanto, nel seguente paragrafo verranno descritte tali soluzioni.

5.4. SOLUZIONI TECNICHE PROPOSTE

Sulla base del calcolo del Volume di invaso necessari a garantire l'invarianza idraulica, in funzione della normativa vigente, è stata prevista all'interno delle aree di impianto **una vasca di laminazione di estensione pari a 4400mq e altezza di 1.90m per un volume totale di 7854mc**, che soddisfa il volume richiesto dalla normativa pari **a 7771 mc**.

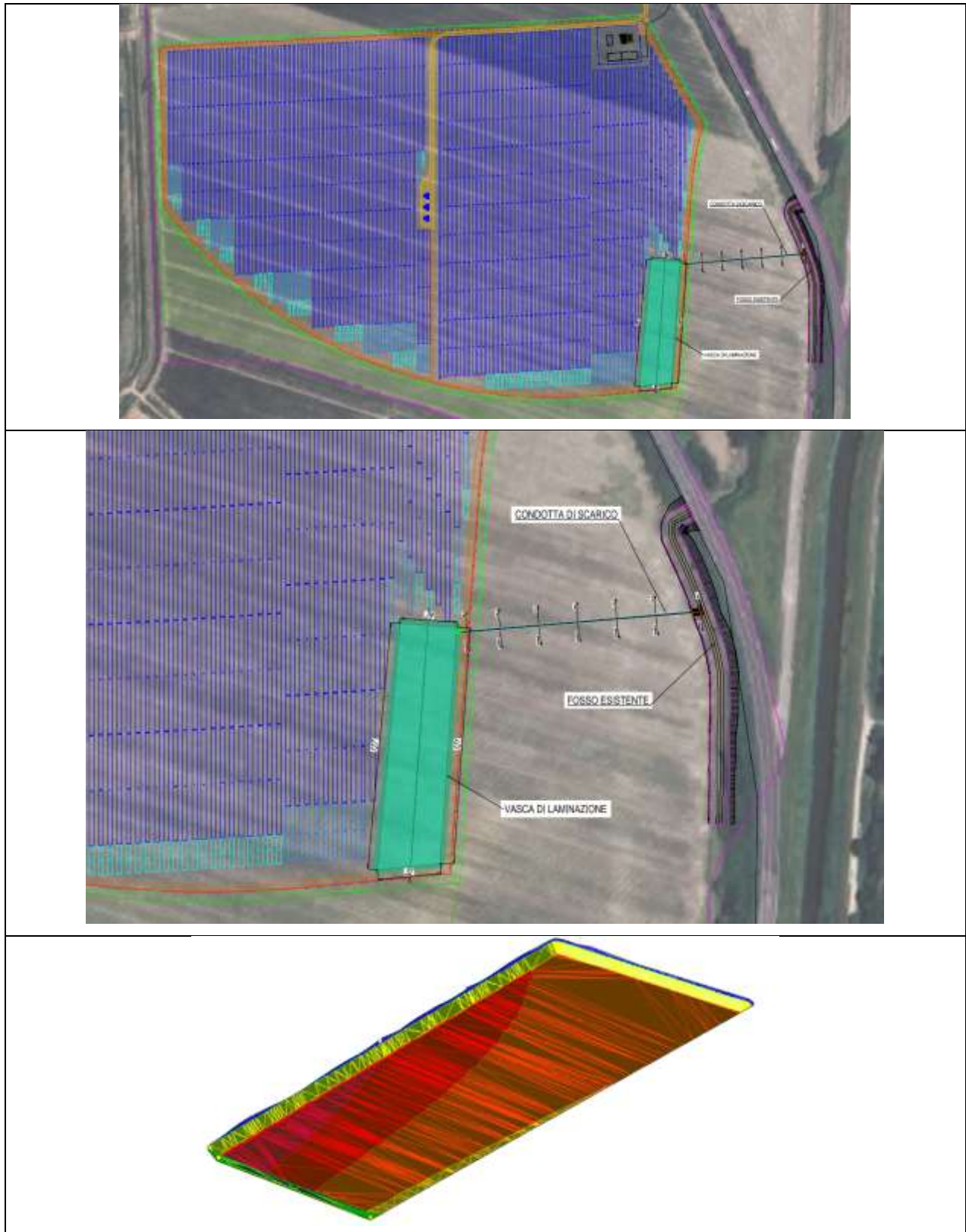


Figura 20 - Planimetria elementi di invarianza idraulica - Vasca di laminazione

Tale configurazione consente di laminare le acque provenienti dall'area di impianto e recapitare le acque laminate nel canale consortile Cavo Fossatelli attraverso un manufatto fornito di bocca tarata, che consente il rilascio di una portata massima pari a quella consentita.

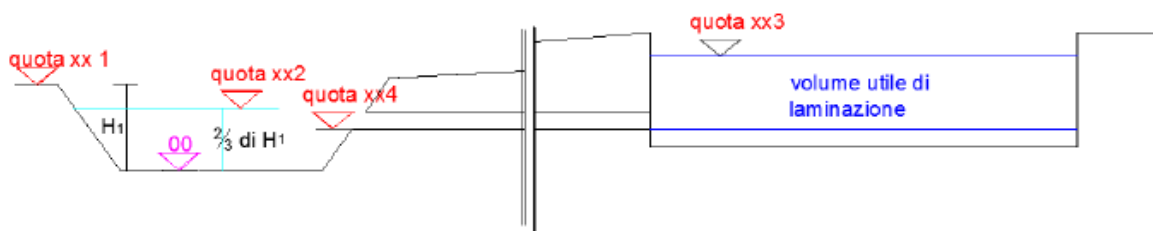
Il calcolo del diametro della tubazione può essere utilizzato applicando la formula dettata dal Consorzio:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\alpha * \pi * \sqrt{2 * g * \Delta h}}}$$

Dove:

- il coeff. di perdita α posto pari a 0.6
- Δh è pari al carico idraulico disponibile calcolato come differenza tra il livello massimo della vasca in progetto e il tirante idrico sul fosso in uscita (ipotizzato pari ai 2/3 della sua altezza utile da fondo a ciglio).

In base allo schema sotto riportato Δh può essere trovato come differenza tra la quota xx3 e la quota xx2.



Dal rilievo celerimetrico effettuato, si è calcolato il valore di:

Quota xx1	19.50	m slm
Quota xx4	17.15	m slm
Quota xx3	19.30	m slm
Quota 00	17.10	m slm
$H1 = xx1 - 00$	2.40	m
$Quota xx2 = 2/3 * H1 + 00$	18.70	m slm
$\Delta h = xx3 - xx2$	0.60	m

Figura 21 - Sezione Cavo Fossatelli

Pertanto, il valore del diametro della tubazione di scarico sarà pari a

$$D = 0.328m \approx 0.35m = DN350$$

5.4.1. MANUFATTO DI SCARICO

Per recapitare nel Cavo Fossatelli le acque laminate nella vasca, è necessario realizzare un manufatto di scarico di dimensioni 2.00 m per 2.00m e profondità 2.00m, all'interno del quale sono alloggiati:

- setto sfiorante,

- bocca tassata triangolare
- tubazione di scarico con diametro calcolato in precedenza
- valvola di non ritorno.

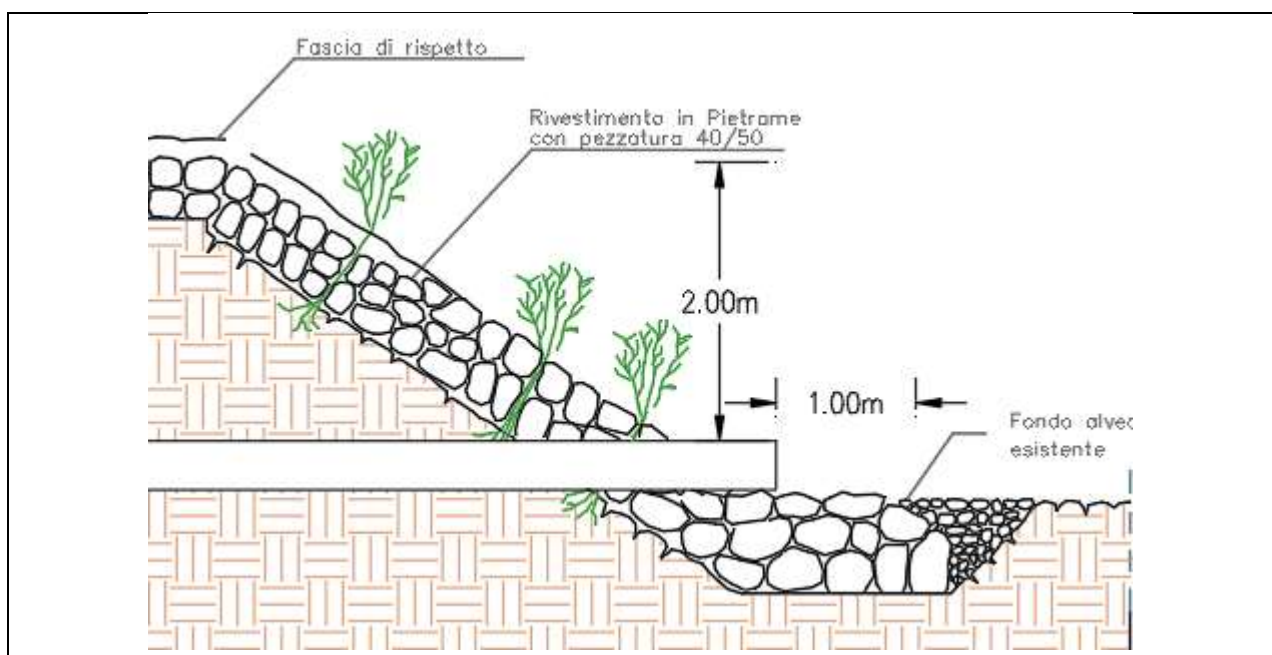
I manufatti di laminazione dovranno essere sottoposti a regolari interventi di pulizia e manutenzione.

Le particolari condizioni morfologiche del territorio comportano, come riportato nella tabella precedente, che la quota di fondo alveo del Cavo Fossatelli sia comparabile a quella del fondo vasca; pertanto la tubazione calcolata D350 avrà la quota di sezione allo sbocco pari a quella di fondo alveo.

Come richiesto dal Consorzio di Bonifica con riferimento al documento "Informazioni per la progettazione impianti fotovoltaici -agrivoltaici", lo scarico avrà le seguenti caratteristiche:

- *"il manufatto di scarico (tubazione) deve essere profilato con inclinazione pari a quella della scarpata del canale di bonifica;*
- *in corrispondenza del manufatto di scarico sarà necessario effettuare il rivestimento dell'alveo del canale mediante l'utilizzo di pietrame con pezzatura 40/50 eventualmente stuccato nelle fughe o in calcestruzzo*
- *Lo sviluppo longitudinale del rivestimento dovrà essere > di 2 metri sia a monte che a valle dello scarico e altezza inferiore di 30 cm rispetto al ciglio del canale. Per canali con larghezza al fondo < 1,5 m il rivestimento dovrà interessare tutto il fondo. Per canali con larghezza al fondo > 1,5 m il rivestimento dovrà interessare la sponda relativa allo scarico e 1 m di fondo canale;"*

In particolare, considerato che la quota di sbocco della tubazione sia paragonabile a quella di fondo alveo, non è possibile profilare la tubazione lungo la scarpata. Il Cavo Fossatelli presenta una larghezza al fondo maggiore di 1.50m, quindi il rivestimento verrà effettuato come richiesto dal Consorzio e riportato di seguito nelle figure seguenti:



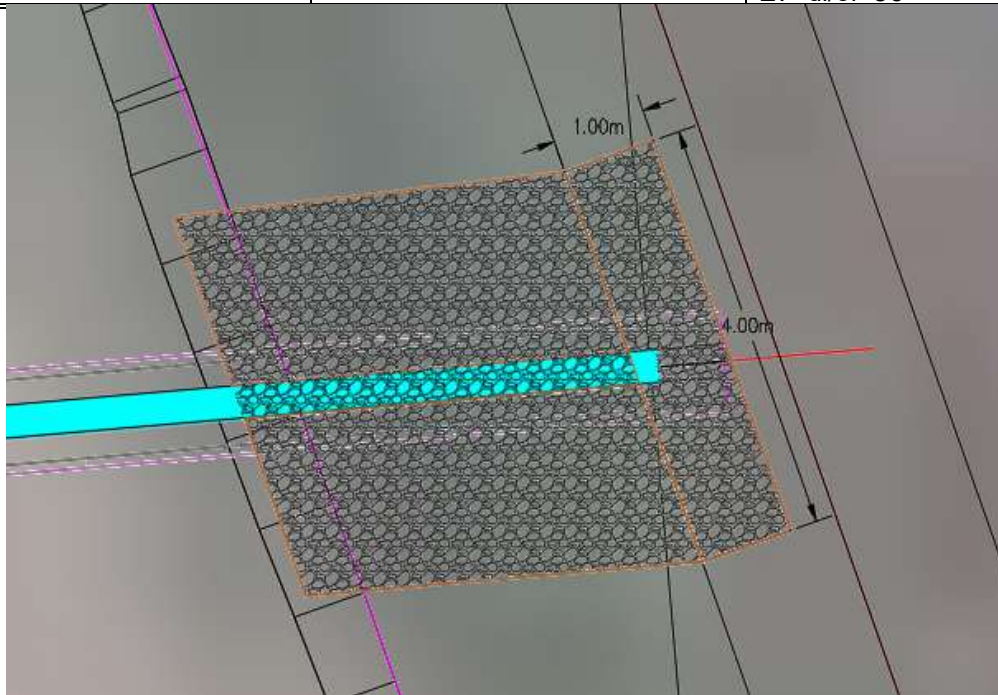


Figura 22 Sezione e planimetria rivestimento Cavo Fossatelli in corrispondenza dello scarico

5.4.2. DIMENSIONAMENTO DELLA BOCCA TARATA

Per il dimensionamento della bocca tarata si è ipotizzata una geometria triangolare e si è fatto riferimento alla seguente formula di Datei per il calcolo della portata allo scarico:

$$Q_{out} = \frac{4}{15} C_c b h \sqrt{2gh}$$

Di cui:

- C_c : coefficiente calcolato secondo la formula di Bazin (1898)

$$C_c = \left(0,6070 + \frac{0,0045}{h} \right) \left[1 + 0,55 \left(\frac{h}{h+z} \right)^2 \right];$$

- b : larghezza della sezione triangolare;
- h : altezza del pelo libero indisturbato sopra soglia a monte idraulico;
- z : altezza della soglia dal fondo del canale.

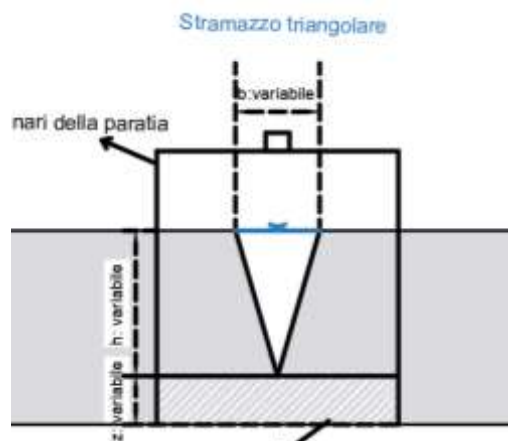


Figura 23 - Tipologico bocca tarata

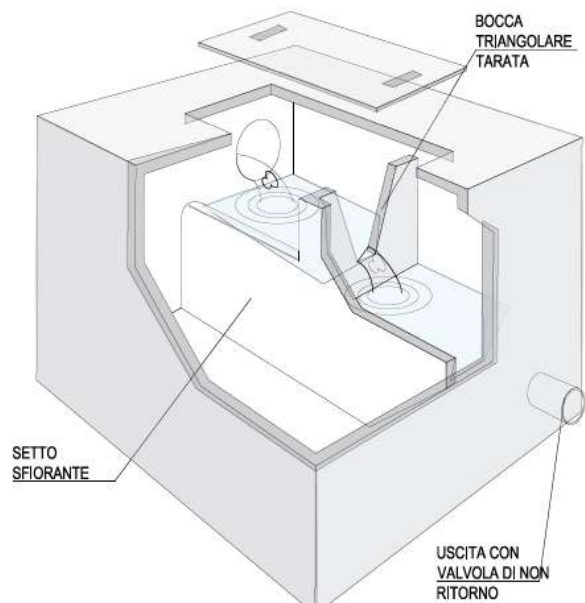
Per semplicità di posa in opera, ove possibile, si è adottata una geometria comune a più canali, laddove la portata massima scaricabile fosse simile come ordine di grandezza. Ovviamente per la definizione della geometria comune è stata utilizzata per i calcoli la portata massima dei canali considerati.

Portata massima ammessa allo scarico (m^3/s)	Q_{max}	0.175
Altezza totale del canale (m)	H_{tot}	2
Altezza soglia dal fondo (m)	z	0.5
Altezza del pelo libero indisturbato sopra soglia (m)	h	1.507
Coefficiente adimensionale	C_c	0.799
Larghezza della sezione triangolare (m)	b	0.1
Portata allo scarico ottenuta (m^3/s)	Q_{OUT}	0.175

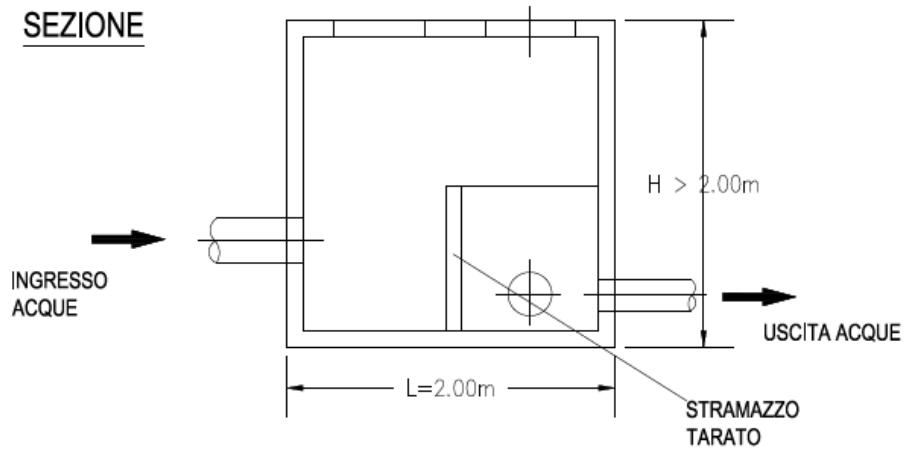
Tabella 8 – Dimensionamento della bocca tarata per area di impianto

Risulta quindi soddisfatto quanto disciplinato dal Consorzio di Bonifica Emilia Centrale. Per poter poi rilasciare il volume di acqua invasato in maniera controllata in condizioni di tempo asciutto è prevista anche l'installazione di una saracinesca manuale e di una valvola di non ritorno a clapet per evitare che il canale ricettore, qualora sia in piena, non riversi le acque all'interno dei canali di laminazione.

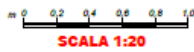
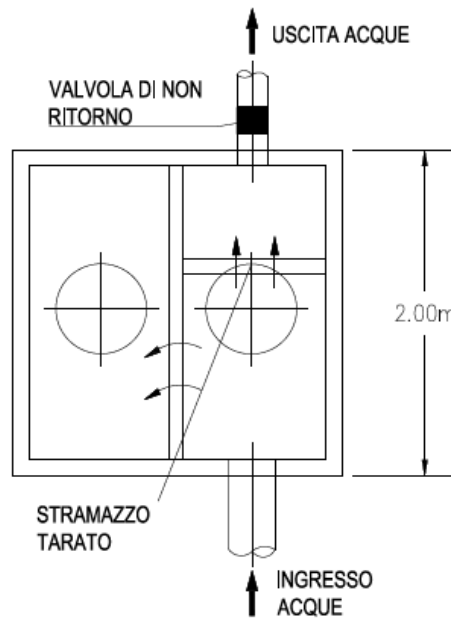
Il manufatto scelto è del tipo SCOLMATORI MONOBLOCCO PARALLELEPIPEDI riportato nella figura seguente:



SEZIONE



PIANTA



Misure espresse in m

6. CONCLUSIONI

L'impianto di progetto è ubicato nella zona pianeggiante ad Est dell'abitato di Fabbrico, in un contesto pianeggiante agricolo e interessato da canali consortili di diversa importanza e dimensioni.

Secondo quanto richiesto dal Consorzio di Bonifica Emilia Centrale tramite la prot.18/07/2025.0708314 E, è stata imposta una portata in uscita di 10l/s/ha. Applicando le misure compensative atte a rispettare i principi di invarianza idraulica; sono stati predisposti volumi di invaso di 7800 mc per la laminazione delle piene, garantendo che le opere proposte non aumentino il livello di pericolosità idraulica esistente né pregiudichino la possibilità di una futura riduzione di tale livello.

Per l'area di intervento specifica, è stato necessario calcolare un coefficiente di deflusso medio ponderato e il volume di invaso necessario per garantire l'invarianza idraulica, determinato applicando la metodologia delle piogge per T=50 anni.

Per garantire l'invarianza idraulica, è stata proposta la realizzazione di una vasca di laminazione di altezza h=1.90m con recapito all'interno del canale Cavo Fossatelli di una portata pari a 175 l/s determinata con la normativa vigente.

Inoltre, il recapito verrà tarato tramite un manufatto scatolare di dimensioni interne pari a B=2.00m x h2.00m, bocca tarata, setto sfiorante e tubazione di scarico D350 dimensionata per la portata massima scaricabile.

Pertanto le opere di trasformazione risultano essere idraulicamente compatibili con il contesto territoriale in cui ricadono e le misure compensative soddisfano il principio di invarianza idraulica secondo le normative locali.

Il Progettista

Ing. Luca Spaccino