

TITLE: RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

AVAILABLE LANGUAGE: IT

## RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Progetto di un impianto fotovoltaico e delle relative opere di  
connessione alla Rete sito nel Comune di Pineto (TE) di 9,38 MW -  
Italia

**"Pineto (TE)"**

File: PIN.ENG.REL.010.00\_Relazione idrologica idraulica

00	29/11/2024	EMISSIONE DEFINITIVA	M.M. Granata	F.Trovati	L.Spaccino								
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED								
CLIENT CODE													
IMP.		GROUP.		TYPE		PROGR.		REV					
P	I	N	E	N	G	R	E	L	0	1	0	0	0
CLASSIFICATION For Information or For Validation						UTILIZATION SCOPE Basic Design							
This document is property of Atlas Solar 11 S.r.l. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Atlas Solar 11 S.r.l.													

## INDICE

1. INTRODUZIONE.....	3
1.1. Documenti di riferimento .....	3
2. DATI DI PROGETTO.....	3
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....	8
4. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) .....	10
4.1. Carta delle Pericolosità PAI .....	10
4.2. Carta delle aree a rischio PAI.....	10
5. PIANO STRALCIO DIFESA DALLE ALLUVIONI (PSDA).....	12
6. ANALISI IDROLOGICA .....	13
6.1. Analisi probabilistica delle piogge con il modello TCEV.....	13
6.2. APPLICAZIONE DEL METODO PER LA REGIONE ABRUZZO .....	14
6.2.1. Calcolo della Curva di Possibilità Pluviometrica .....	16
6.2.2. Curve di pioggia inferiori all'ora .....	20
7. INVARIANZA IDRAULICA .....	22
7.1. CALCOLO DEL VOLUME D'INVASO .....	24
7.1.1. Dimensionamento trincea drenante .....	26
8. SOLUZIONI TECNICHE PROPOSTE .....	27
9. CONCLUSIONI .....	28

## 1. INTRODUZIONE

Il seguente studio di invarianza idraulica è parte integrante del progetto proposto da Atlas – Solar 11 S.r.l., che ha come oggetto la realizzazione di un impianto fotovoltaico denominato “Pineto”, localizzato all’interno del territorio comunale di Pineto (TE), e delle relative opere di connessione alla rete, della potenza pari a 9.383,36 kW<sub>p</sub>.

L’impianto installato a terra con potenza nominale pari 8,400 MW<sub>AC</sub> è destinato ad essere collegato in media tensione, come indicato nella Soluzione Tecnica Minima Generale (STMG) fornita da E-Distribuzione S.p.A..

Le opere in progetto saranno site nel Comune di Pineto, in provincia di Teramo, con le opere connesse che interesseranno il medesimo Comune.

Il progetto proposto sarà allacciato alla rete elettrica di distribuzione MT con tensione nominale di 20 kV tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna da cabina primaria AT/MT “Pineto”.

### 1.1. Documenti di riferimento

Nel presente studio si è fatto riferimento a:

- Documentazione costituente il Progetto Definitivo;
- Delibera della Giunta Regionale Lazio (DGR) n. 117 del 24 marzo 2020.

## 2. DATI DI PROGETTO

L’area di intervento, costituita da un’area agricola nella disponibilità della proponente, risulta essere facilmente raggiungibile dalla strada provinciale SP27a e dalla strada comunale “via Giove”.

L’area di progetto, da un punto di vista topografico, risulta essere prevalentemente pianeggiante, e risulta essere interessata dal passaggio di una condotta idrica, relativa al Consorzio di Bonifica di Teramo da nord verso sud, nonché da una linea elettrica MT da ovest verso est, dalla quale si è previsto un opportuno buffer di rispetto dalle opere di progetto, in accordo con Linee Guida di Rete.

Si segnala inoltre, la presenza di canali di scolo interni all’area di interesse, i quali, non essendo accatastati o relativi al consorzio di bonifica, ma essendo dei canali privati, così come indicato dalla proponente, si è provveduto ad ipotizzarne l’itterramento e l’utilizzo della superficie attualmente occupata da tale canale come area utile di impianto.

Infine, si evidenzia la presenza di alberature ad alto fusto lungo i lati ovest, e all’interno dell’area di progetto a nord. Quest’ultimi saranno opportunamente espiantanti, al fine di garantire una maggiore area utile all’impianto.

L’impianto di produzione sarà allacciato alla rete di Distribuzione MT con tensione nominale di 20 kV. Il progetto proposto sarà allacciato alla rete di e-Distribuzione tramite realizzazione di una nuova cabina di consegna collegata in antenna alla cabina primaria AT/MT PINETO.

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto fotovoltaico di potenza di picco pari a 9.383,36 kW<sub>p</sub>, come riportato nella figura seguente:

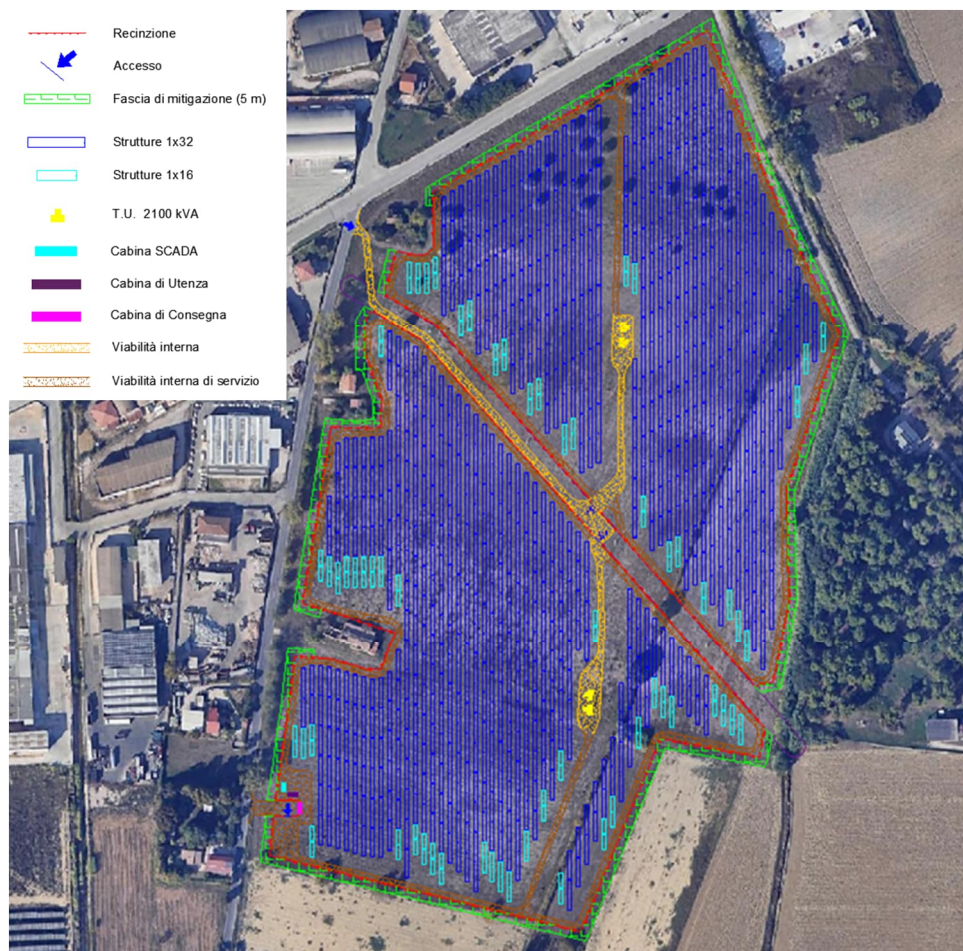
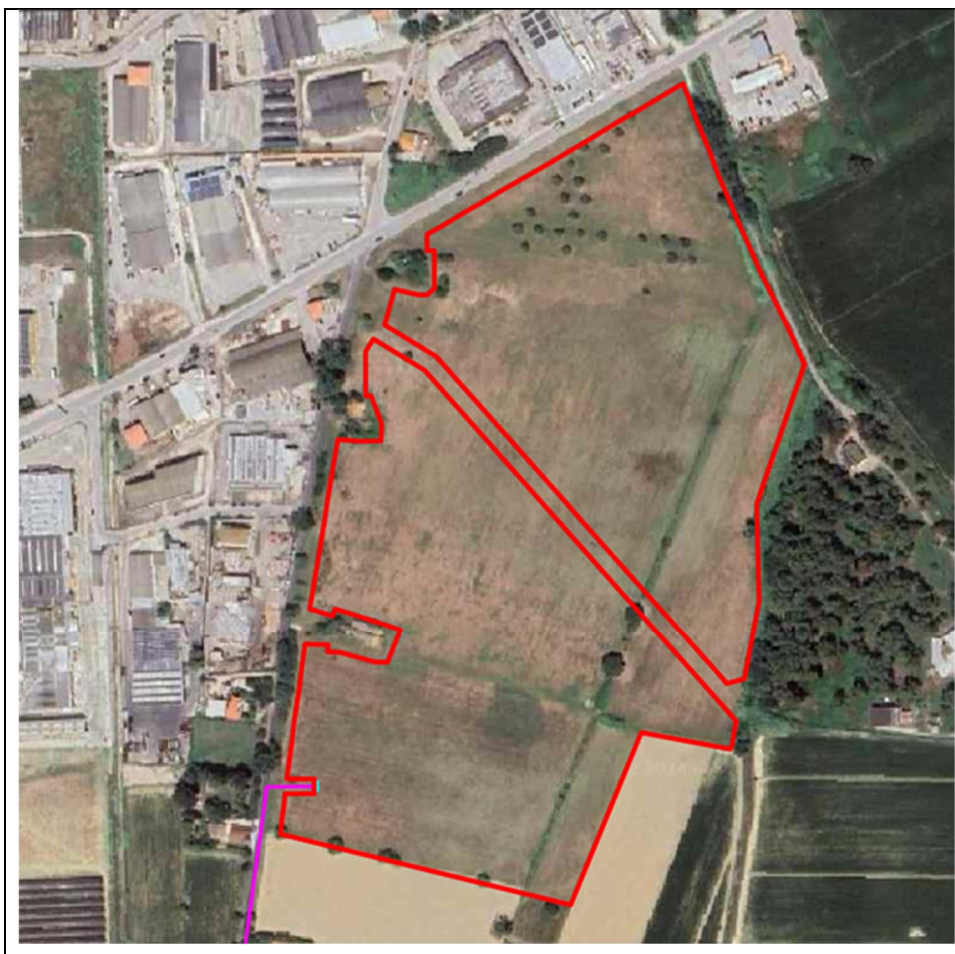


Figura 1: Sovrapposizione su ortofoto del layout di progetto (Fonte: Google Earth)

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

Tabella 1: Descrizione sito

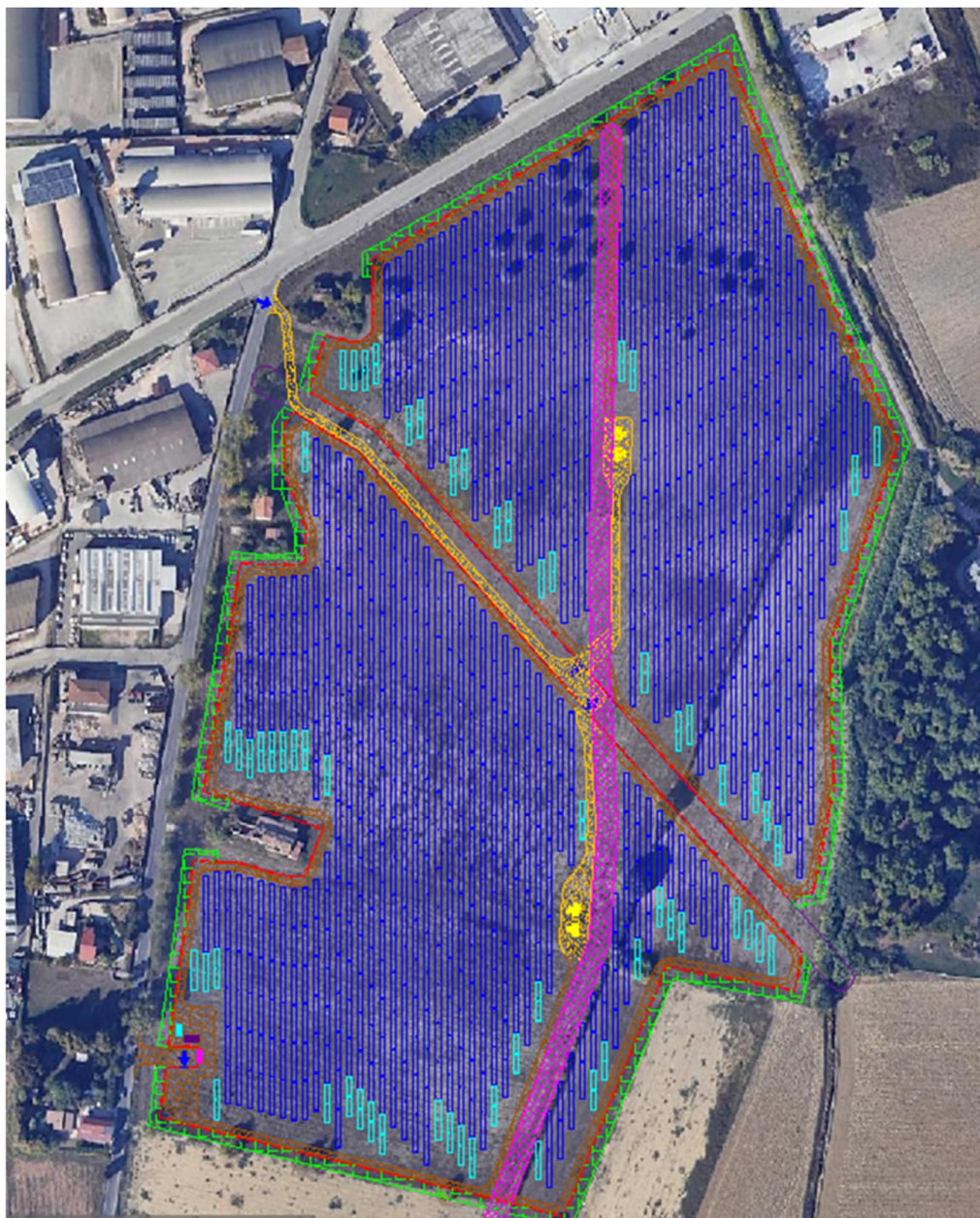
COORDINATE	
COMUNE	Pineto
PROVINCIA	Teramo
LATITUDINE	42°38'22.75"N
LONGITUDINE	14° 1'18.27"E
INQUADRAMENTO FOTOGRAFICO – Area di impianto	
PANORAMICA SITO:	
INDICAZIONE AREA DI PROGETTO	



Da un punto di vista topografico l'area si sviluppa su un terreno agricolo pianeggiante, con pendenze inferiori al 5%. Per l'analisi della topografia delle aree e gli interventi di movimenti terra previsti si rimanda agli elaborati "PIN.ENG.TAV.012\_Rilievo Plano-Altimetrico delle aree".

Si segnala la presenza di una condotta idrica interrata di proprietà del Consorzio di Bonifica di Teramo, la quale, in accordo con il Consorzio e in accordo con quanto condiviso dalla proponente, è stata inclusa all'interno del perimetro di impianto, prevedendo tuttavia una fascia di rispetto di 5 metri per parte del tracciato effettivo della condotta (come riportato nello stralcio di seguito):



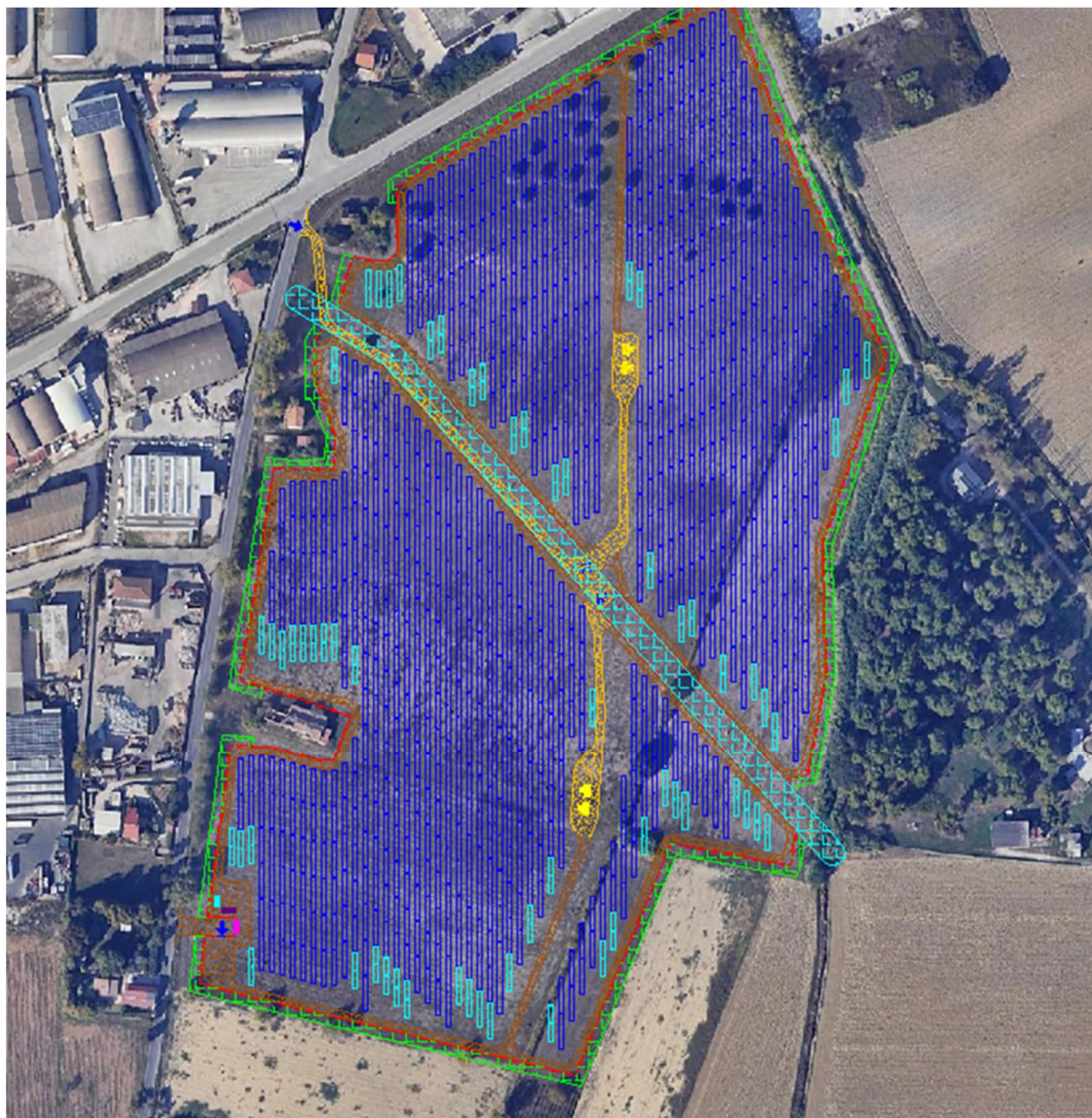


**Figura 2: Inquadramento del layout di progetto con evidenza della fascia di rispetto (in magenta) tenuto dal tracciato della condotta consortile (in ciano) di 5 metri per parte.**

Si segnala inoltre che all'interno dell'area di progetto è presente una linea elettrica MT, che percorre l'area di progetto da ovest verso est.

Si è provveduto ad escludere la porzione di area interessata dal passaggio di tale linea elettrica, prevedendo un buffer di 6,5 m per parte, così come osservabile dalla figura seguente:





**Figura 3: Inquadramento del layout di progetto con evidenza della fascia di rispetto (in magenta) tenuto dal tracciato della linea MT esistente (in ciano) di 6,5 metri per parte.**

Relativamente invece alle condotte elettriche BT presenti lungo il perimetro ovest dell'area di progetto, e che collegano allo stato attuale i ruderi ivi presenti, si prevede un futuro interrimento o dismissione delle stesse, rendendo difatti l'area attualmente occupata dalle stesse come area disponibile ai fini della realizzazione delle opere di progetto.

Il proponente si impegnerà alla futura domanda di dismissione o interrimento delle stesse.



### 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è situata nel comune di Pineto in provincia di Teramo.

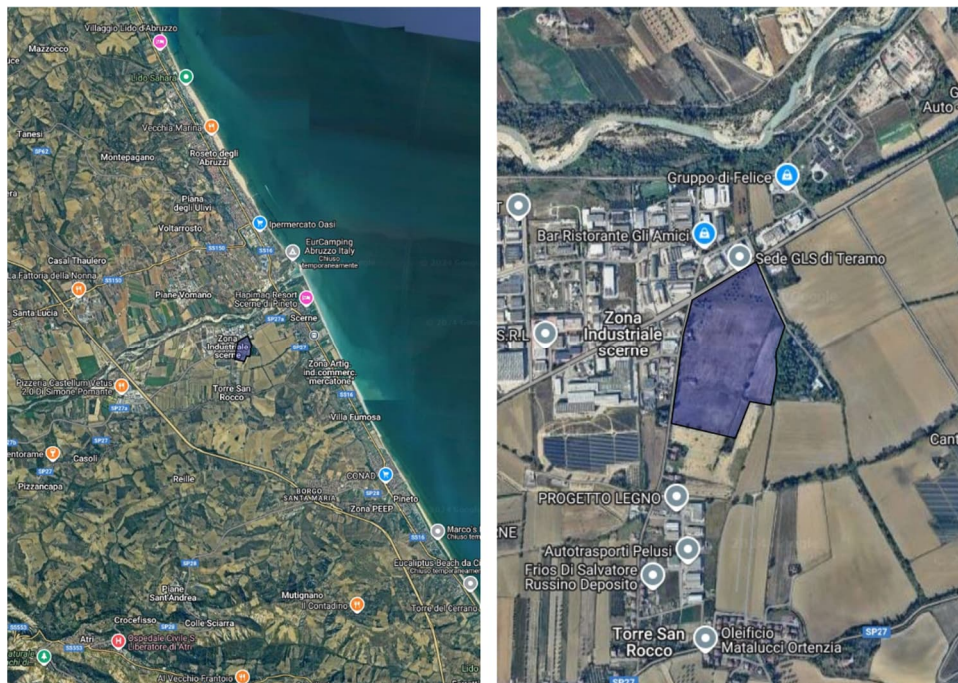


Figura 4: Ubicazione dell'area di oggetto di intervento su Google Earth.

Di seguito si riporta un inquadramento del parco agrivoltaico su cartografia IGM in scala 1:25.000 e su cartografia CTR in scala 1:10.000:

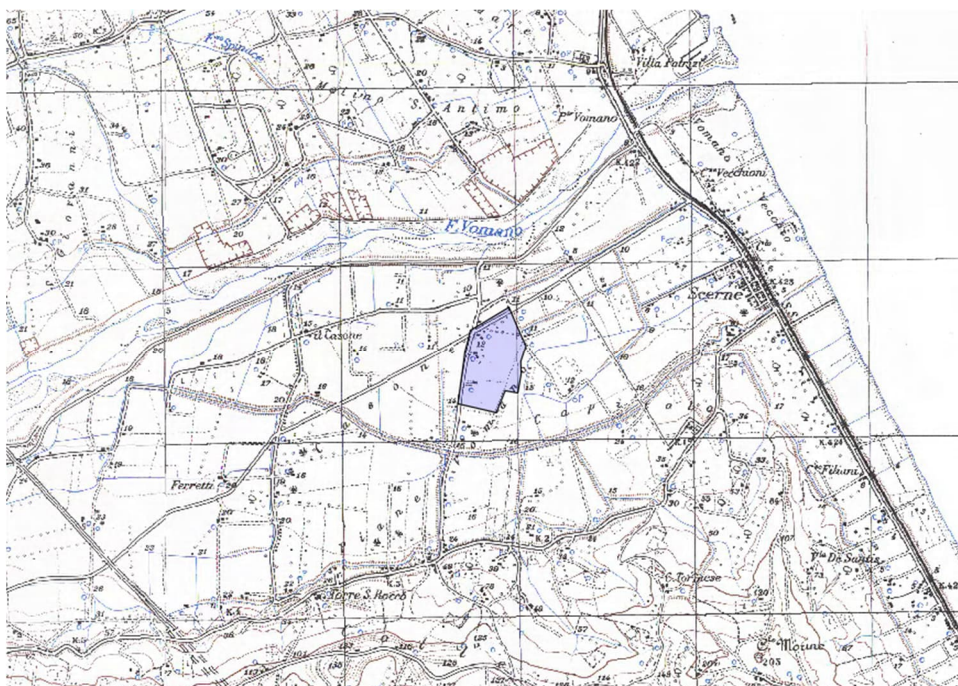
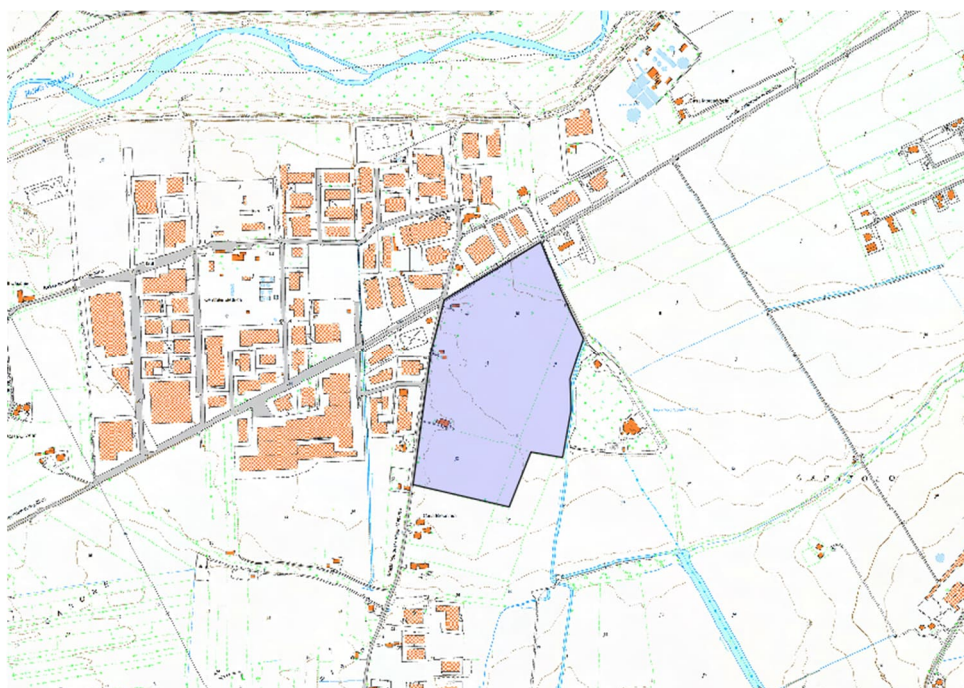


Figura 5: Inquadramento delle turbine su cartografia IGM – Scala 1:25.000.





**Figura 6: Inquadramento del parco agrivoltaico su cartografia CTR – Scala 1:10.000.**

#### 4. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il sito, ricade nel territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale. L'eventuale interferenza con le aree a rischio/pericolosità idraulico è stata verificata previa consultazione della cartografia messa a disposizione sul sito della Regione Abruzzo.

Il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi" (PAI) viene definito dal legislatore quale "strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato" (si veda art 17 della L. 183/89, Legge Quadro in materia di difesa del suolo).

##### 4.1. Carta delle Pericolosità PAI

La Carta della Pericolosità, allegata al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi "Fenomeni gravitativi e processi erosivi", è stata ottenuta, dalla sovrapposizione dei dati contenuti nella Carta dell'Acclività, nella Carta Geolitologica, nella Carta Geomorfológica e nella Carta Inventario dei fenomeni Franosi ed Erosivi.

Nella seguente figura si evidenzia come l'area di impianto non ricade in aree con pericolosità idrogeologica:

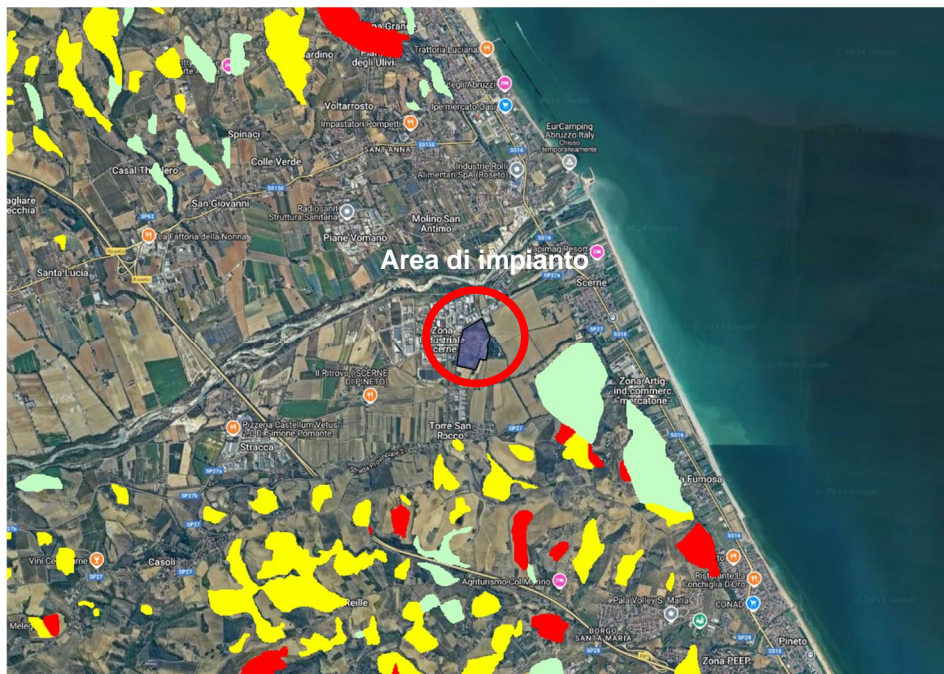


Figura 7: Sovrapposizione opere con cartografia PAI – Carta della pericolosità

##### 4.2. Carta delle aree a rischio PAI

La Carta delle Aree a Rischio, allegata al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi "Fenomeni gravitativi e processi erosivi", è stata ottenuta dall'intersezione degli strati informativi contenuti nella Carta della Pericolosità con quelli riportati nella Carta degli Insediamenti Urbani e Infrastrutturali.

Nella seguente figura si evidenzia come l'area di impianto non ricade in aree con rischio idrogeologico:

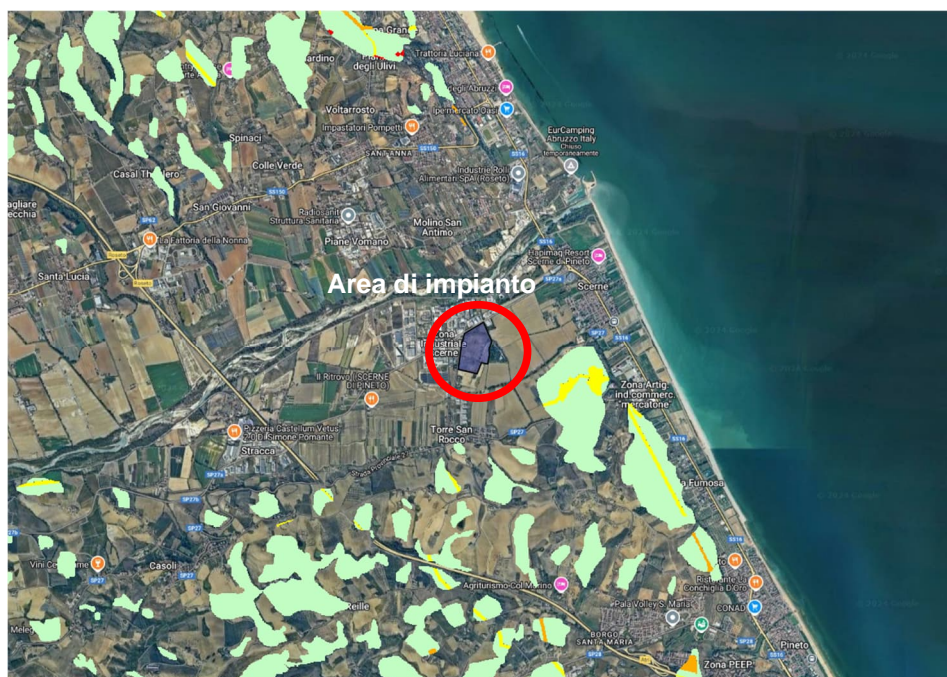


Figura 8: Sovrapposizione opere con cartografia PAI – Carta del rischio



## 5. PIANO STRALCIO DIFESA DALLE ALLUVIONI (PSDA)

Carte del Rischio Idraulico in attuazione della direttiva 2007/60, del D.Lgs. 49/2010 e in osservanza degli "Indirizzi operativi per l'attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi da alluvione con riferimento alla predisposizione delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni" emessi a gennaio 2013 dal Ministero dell'Ambiente, della Tutela del Territorio e del Mare.

Nella seguente figura si evidenzia come l'area di impianto ricade in area con rischio R2 (Rischio medio):



Figura 9: Sovrapposizione opere con cartografia PSDA – Carta del rischio

## 6. ANALISI IDROLOGICA

Pur non essendo stata individuata la presenza di aree di pericolosità idraulica nelle vicinanze dei siti di intervento, si procederà comunque ad uno studio idrologico ed idraulico di dettaglio che, a partire dalla definizione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP), esprimenti la relazione fra le altezze di precipitazione  $h$  e la loro durata  $t$ , e alla caratterizzazione dei bacini, consentirà la stima delle portate di progetto ad assegnato tempo di ritorno. Nei paragrafi a seguire verranno descritte nel dettaglio le varie fasi dello studio idrologico.

### 6.1. Analisi probabilistica delle piogge con il modello TCEV

Il modello TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) permette di determinare le altezze di pioggia  $h$  e le relative intensità  $i$ , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto nell'ambito del progetto VA.PI. (Progetto per la Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), che ha avuto come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale.

La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni.

La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata *componente base*, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda, denominata *componente straordinaria* genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica).

La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F_X(x) = \exp[-\Lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \Lambda_2 \exp(-x/\theta_2)]$$

in cui è possibile distinguere una componente base (pedice 1), relativa agli eventi normali e più frequenti, ed una componente straordinaria (pedice 2), relativa ad eventi più gravosi e rari. La legge risulta essere funzione di 4 parametri  $\Lambda_1$ ,  $\theta_1$ ,  $\Lambda_2$ ,  $\theta_2$ , esprimenti il numero medio di eventi indipendenti superiori ad una soglia delle due popolazioni ( $\Lambda_1$  e  $\Lambda_2$ ) e il loro valore medio ( $\theta_1$  e  $\theta_2$ ).

Ponendo

$$\theta^* = \theta_2/\theta_1 \quad e \quad \Lambda^* = \Lambda_2/\Lambda_1^{1/\theta^*}$$

la funzione di probabilità diventa

$$F_X(x) = \exp\left\{-\Lambda_1 \exp(-x/\theta_1) - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\theta^*} \exp[-x/(\theta^* \theta_1)]\right\}$$

e il valore della variabile casuale  $x$ , corrispondente al periodo di ritorno  $T$ , dipendente dai 4 parametri  $\Lambda^*$ ,  $\theta^*$ ,

$\Lambda_1$ ,  $\theta_1$ , la cui stima può essere effettuata con il metodo della massima verosimiglianza o dei momenti.

Per ridurre l'incertezza della stima ottenuta con le serie storiche disponibili, si utilizzano delle tecniche di analisi regionale che si basano sull'individuazione di vaste aree, indicate come zone o sottozone omogenee, all'interno delle quali è possibile assumere la costanza di alcuni parametri.

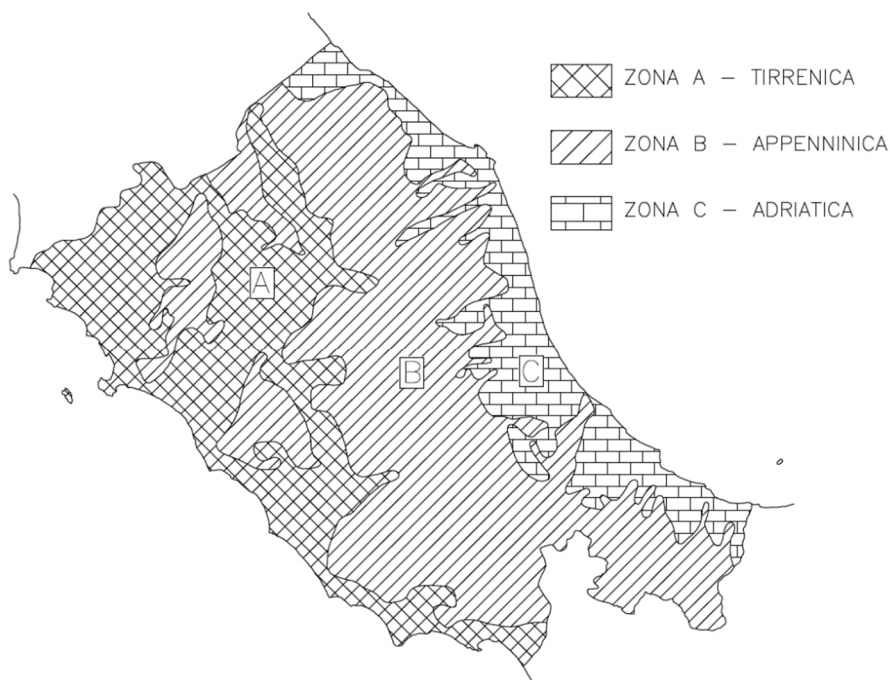
- Al 1° livello di regionalizzazione, i parametri  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  del modello assumono un valore costante all'interno di ampie zone omogenee.
- Al 2° livello di regionalizzazione, oltre alle zone omogenee vengono identificate anche delle sottozone omogenee, per cui oltre ai valori costanti di  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  si può ritenere costante anche il parametro di scala  $\Lambda_1$ .
- Al 3° livello di regionalizzazione si persegue in modo regionale anche alla stima del 4° parametro, che, in dipendenza dal metodo che si vuole adottare, può essere  $\theta_1$  o  $\mu$ , quest'ultimo definito valore indice e rappresentante un valore caratteristico della distribuzione.

## 6.2. APPLICAZIONE DEL METODO PER LA REGIONE ABRUZZO

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà riferimento alla procedura descritta nel rapporto VAPI Lazio – Umbria – Abruzzo – Molise, dove al primo e al secondo livello di regionalizzazione, sono state identificate tre regioni omogenee, in cui l'ipotesi della costanza del coefficiente di variazione e del coefficiente di asimmetria può essere accettata, indicate come:

- zona A (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- zona B (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propagini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi nell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti Vulsini; e i monti Cimini con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- zona C (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ri-strette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.





**Figura 10: VAPI: zone omogenee al I e II livello di regionalizzazione.**

I parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ , determinati al primo livello di regionalizzazione per le tre zone, sono indicati nella tabella seguente:

ZONA	$\Lambda^*$	$\Theta^*$
A	0.174	3.490
B	0.762	1.241
C	0.795	2.402

Il parametro  $\Lambda_1$ , determinato al secondo livello di regionalizzazione per le tre zone, e la corrispondente funzione  $\eta$  assumono invece i seguenti valori:

ZONA	$\Lambda_1$	$\eta$
A	29.31	4.480
B	22.02	4.359
C	27.81	5.301

Al secondo livello di regionalizzazione la stima di  $x_T$  nel modello TCEV può essere effettuata con il metodo del valore indice. Con tale metodo si analizza in luogo di  $X$  una variabile adimensionale  $X/X_1$  dove  $X_1$  è un valore caratteristico della distribuzione di  $X$  ed assume il nome di *valore indice*.

Nelle applicazioni quasi sempre si utilizza come valore indice la media  $\mu$  e si analizza la variabile  $X'=X/\mu$  che viene indicata come fattore di crescita.

In generale seguendo tale approccio, la stima di  $x_T$  si ottiene con due passi distinti:

- stima del fattore di crescita  $x'_{T_i}$  relativo al periodo di ritorno  $T_i$ ;

- stima del valore indice,  $\mu$ .

In definitiva la stima di  $x_T$  si ottiene con il prodotto:

$$X_T = x'_T \cdot \mu$$

La stima del fattore di crescita, riferita al periodo di ritorno imposto dal problema in esame, è ovviamente una stima probabilistica. La distribuzione di probabilità (curva di crescita) di tale variabile interpretata con la legge probabilistica TCEV assume espressione:

$$F_{x'}(x') = \exp \left[ -\Lambda_1 \exp(-\eta x') - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\theta^*} \exp(-\eta x' / \theta^*) \right]$$

Dove:

$$\eta = \mu / \theta_1$$

È importante sottolineare che la curva di crescita, come si può notare facilmente dalle espressioni riportate, dipende dai soli parametri  $\Lambda^*$ ,  $\theta^*$  e  $\Lambda_1$ . In definitiva, utilizzando l'approccio del valore indice, è possibile ottenere una stima di  $x_T$  dalla conoscenza dei parametri  $\Lambda^*$ ,  $\theta^*$  e  $\Lambda_1$  (mediante i quali si stima la curva di crescita) e di  $\mu$  (portata indice).

È opportuno sottolineare che per il secondo livello di regionalizzazione il valore indice può essere considerato pari alla media aritmetica della serie campionaria della variabile idrologica considerata.

### 6.2.1. Calcolo della Curva di Possibilità Pluviometrica

Come già anticipato, le curve di possibilità (o di probabilità) pluviometrica (CPP) esprimono la relazione fra le altezze massime annuali di precipitazione  $h$  e la loro durata  $t$ , per un assegnato valore del periodo di ritorno  $T$ . Utilizzando le serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore sono state definite le curve di possibilità pluviometrica per periodi di ritorno di 10, 20, 25, 50, 100, 200 e 500 anni, usando il modello probabilistico TCEV al secondo livello di regionalizzazione. Tali CPP, sono descritte da una legge di potenza monomia del tipo:

$$h_{t,T} = a \cdot t^n$$

dove  $h$  è l'altezza di pioggia, espressa in mm,  $t$  indica la durata della precipitazione espressa in ore ed infine  $a$  e  $n$  sono dei parametri dipendenti dal periodo di ritorno  $T$ .

Il modello TCEV di II livello è stato applicato sul campione di dati pluviometrici della stazione di ATRI – CALANCHI (TE), dalla quale sono state estrapolate 71 misurazioni dal 1928 al 2015:

<i>n.71 misurazioni</i>	INTERVALLO DI ORE				
	1h	3h	6h	12h	24h
ANNO	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
1928	33,60	43,40	44,80	46,60	
1931	18,00	41,00	67,00	120,00	175,20
1932	43,00	55,60	62,00	100,00	132,00
1933	23,00	55,20	110,00	137,40	140,40
1934	28,00	48,00	92,00	136,40	143,60
1935	34,80	43,20	54,60	59,20	61,00
1936	14,00	24,00	41,80	82,00	121,60
1937	10,00	22,80	42,00	56,00	86,00
1939	48,50	60,20	66,60	69,70	74,00
1940	20,00	24,80	35,20	59,20	95,00
1941	16,40	35,00	44,40	64,00	76,40
1942	14,60	29,60	49,60	70,60	99,00
1948	13,00	22,20	33,20	38,80	55,80
1949	16,20	34,00	47,00	81,20	137,20
1950	45,40	45,40	53,00	53,00	61,80
1951	15,00	29,60	35,20	60,20	66,60
1952	16,00	31,00	36,00	36,00	40,40
1953	30,60	51,00	73,00	102,80	112,20
1954	12,80	22,00	35,40	58,00	95,00
1955	26,60	27,40	30,20	47,40	55,00
1956	20,00	26,80	60,00	91,20	157,40
1960	36,60	39,20	67,00	98,20	104,40
1961	30,40	33,20	48,00	75,00	120,60
1962	39,00	42,60	44,00	52,00	67,20
1963	37,00	37,80	38,80	65,40	89,40
1965	3,80	17,00	23,20	34,20	48,60
1966	12,20	23,00	28,60	40,00	56,40
1967	20,00	36,00	58,40	65,00	124,20
1968	35,80	37,40	42,40	51,40	69,40
1969	26,80	46,00	49,40	57,40	80,20
1970	37,40	43,00	43,00	57,80	62,20
1971	30,00	43,00	49,80	58,20	58,40
1972	19,00	37,00	50,00	57,40	64,00
1973	17,00	31,20	39,80	55,00	66,00
1974	25,00	34,00	46,80	63,50	93,00
1975	17,00	22,80	28,00	30,20	49,80
1977	43,00	52,60	52,60	59,40	59,40
1978	27,00	54,60	67,00	99,80	153,20
1979	55,80	88,60	90,00	90,20	90,20
1980	10,40	15,60	25,00	33,00	55,40
1981	31,00	33,00	38,00	49,60	57,40
1982	17,00	19,80	27,20	27,20	27,40



<b>n.71 misurazioni</b>	<b>INTERVALLO DI ORE</b>				
	<b>1h</b>	<b>3h</b>	<b>6h</b>	<b>12h</b>	<b>24h</b>
<b>ANNO</b>	<i>[mm]</i>	<i>[mm]</i>	<i>[mm]</i>	<i>[mm]</i>	<i>[mm]</i>
1983	43,00	79,00	97,20	107,40	112,40
1984	20,20	32,20	40,00	64,20	76,80
1985	23,40	34,20	41,60	46,40	64,40
1987	8,40	11,60	13,00	16,60	24,40
1988	31,80	34,80	34,80	34,80	34,80
1989	11,60	22,60	28,00	55,80	63,80
1990	13,00	18,00	24,40	31,40	36,80
1991	15,00	16,00	18,00	26,00	42,00
1994	22,00	25,00	42,40	62,20	90,60
1996	26,80	36,00	51,00	54,00	56,00
1997	31,80	33,80	36,40	39,20	51,00
1998	30,00	24,00	52,40	59,00	74,60
1999	31,80	81,20	115,20	159,60	169,60
2000	29,40	43,00	52,40	59,40	80,80
2001	10,00	15,60	22,80	34,40	38,80
2002	37,00	43,60	44,40	45,60	65,40
2003	18,40	32,40	38,60	46,40	51,60
2004	28,80	38,40	46,40	60,40	85,60
2005	37,20	73,60	80,80	80,80	86,00
2006	58,60	62,20	62,80	85,00	120,40
2007	27,80	55,00	79,40	84,80	107,40
2008	22,60	31,20	48,60	83,60	156,40
2009	34,40	41,00	41,00	65,00	73,00
2010	53,40	53,40	53,40	53,40	55,20
2011	19,00	42,60	63,20	82,60	113,40
2012	46,40	95,40	129,60	150,00	188,60
2013	38,00	40,60	59,00	72,40	94,20
2014	68,40	75,40	76,20	76,20	76,20
2015	23,40	40,40	52,60	79,20	118,60
<b>MEDIA</b>	<b>27,22</b>	<b>39,32</b>	<b>50,92</b>	<b>66,27</b>	<b>85,59</b>

Tabella 2: Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo di Atri – Calanchi (TE)

Ai primi due livelli di regionalizzazione è stata verificata l'ipotesi che l'area oggetto di studio ricada in un'unica zona omogenea (ZO), con parametri di forma della distribuzione TCEV pari a:

<b>Parametri TCEV</b>	
<b><math>\Theta^*</math></b>	2.402
<b><math>\Lambda^*</math></b>	0.795
<b><math>\Lambda_1</math></b>	27.81
<b><math>\eta</math></b>	5.301

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno  $T$  e valore del fattore di crescita  $K_T$ :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/\theta_2} e^{-\eta k/\theta_2})}$$

dalla quale si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita  $K_T$

T [anni]	10	25	50	100	200	500
$K_T$	1,573	1,981	2,295	2,609	2,923	3,339

Tabella 3: Valori calcolati del fattore di crescita  $K_T$

Applicando il 2° Livello di regionalizzazione sono stati ottenuti i seguenti risultati della CPP:

T [anni]	10		25		50		100		200		500	
t [h]	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
	42,21	0,362	53,18	0,362	61,59	0,362	70,03	0,362	78,47	0,362	89,63	0,362
1	42,80		53,92		62,45		71,01		79,56		90,87	
3	61,84		77,90		90,23		102,59		114,95		131,29	
6	80,09		100,89		116,85		132,86		148,88		170,04	
12	104,22		131,30		152,08		172,91		193,75		221,29	
24	134,60		169,57		196,40		223,30		250,22		285,78	

Tabella 4: Calcolo delle altezze di pioggia di durata 1-3-6-12-24 ore per tempi di ritorno 10-25-50-100-200-500 anni

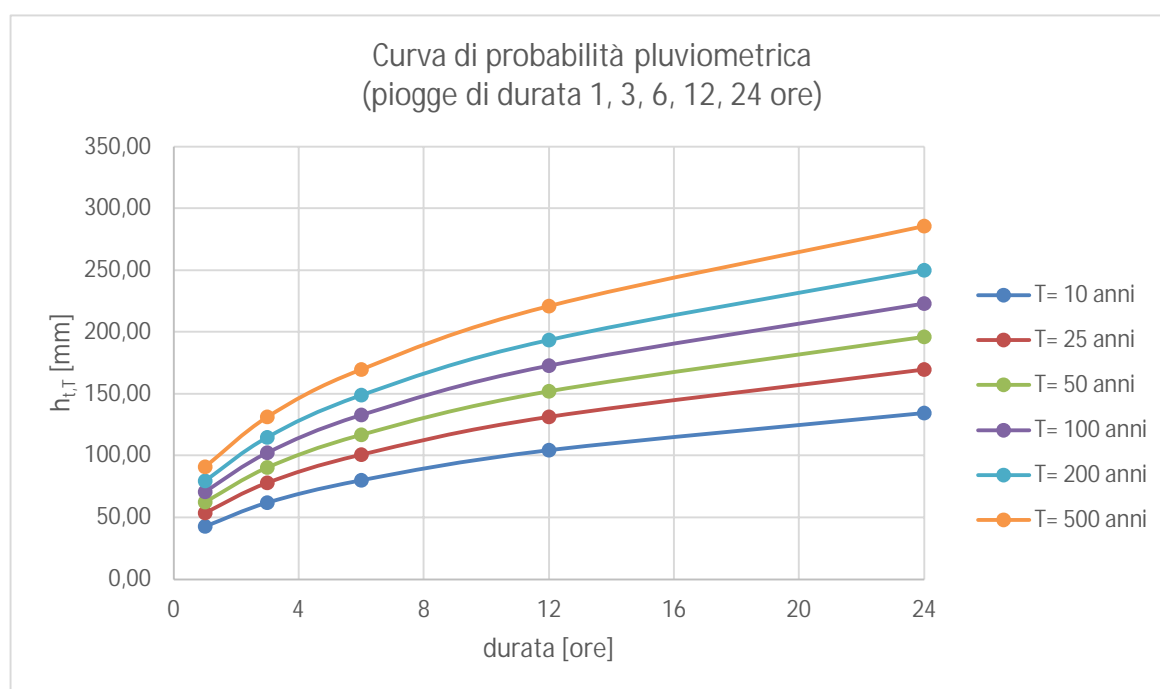


Figura 11: Curva di probabilità pluviometrica di piogge di durata 1-3-6-12-24 ore per tempi di ritorno 10-25-50-100-200-500 anni

### 6.2.2. Curve di pioggia inferiori all'ora

È necessario inoltre osservare che poiché gli eventi di pioggia brevi e quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche, dai campioni di altezze  $h_t$  aventi durate  $1 \div 2 \text{ ore} \leq t \leq 24$  non può essere tratta alcuna informazione inerente agli eventi brevi.

La curva di probabilità pluviometrica, costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere pertanto estrapolata per valori della durata  $t$  inferiore ad un'ora. È stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia  $h_{t,T}$  con  $t$  minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia  $h_{60,T}$  di durata pari a 60 minuti e pari tempo di ritorno  $T$  è relativamente poco dipendente dalla località e dipendente solo dalla durata  $t$  espressa in minuti, secondo la seguente formula:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left( \frac{t}{60} \right)^s$$

La definizione delle curve di possibilità pluviometrica, per gli eventi di durata inferiori all'ora, è stata effettuata mediante l'applicazione della formula di Bell (1969):

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0,54 \cdot d^{0,25} - 0,50$$

Dove:

- $d$  è la durata dell'evento espressa in min;
- $T$  è il tempo di ritorno in anni;
- $h_{60,T}$  è l'altezza di pioggia per un evento di pioggia di durata 60 min e tempo di ritorno  $T$ .

Facendo riferimento ai tempi di ritorno 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni sono stati ottenuti i seguenti risultati:

T [anni]	10		25		50		100		200		500	
t [min]	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
	42,21	0,36	53,18	0,36	61,59	0,36	70,03	0,36	78,47	0,36	89,63	0,36
5	12,98		16,35		18,94		21,53		24,13		27,56	
10	19,43		24,48		28,35		32,23		36,12		41,25	
15	23,75		29,93		34,66		39,41		44,16		50,43	
30	32,24		40,62		47,05		53,49		59,94		68,46	
45	37,93		47,79		55,35		62,93		70,52		80,54	
60	42,34		53,34		61,77		70,24		78,70		89,89	

**Tabella 5: Calcolo della Curva di probabilità pluviometrica per piogge di durata inferiore all'ora**



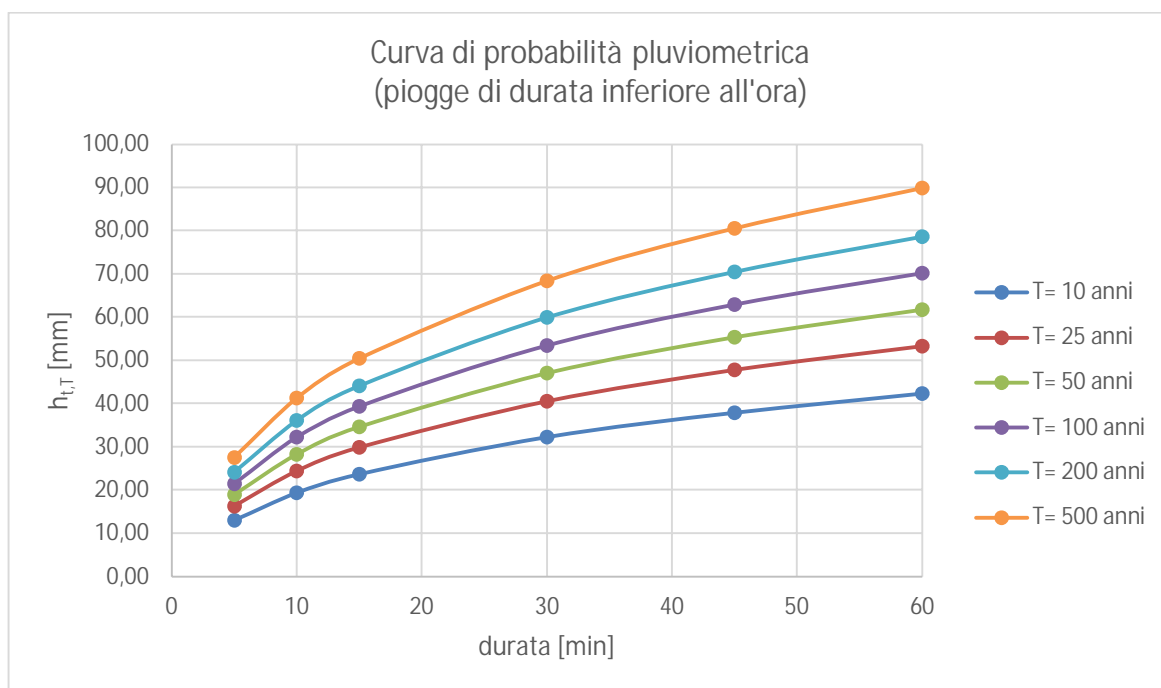


Figura 12: Curva di probabilità pluviometrica di piogge di durata inferiore all'ora per tempi di ritorno 10-25-50-100-200-500 anni

## 7. INVARIANZA IDRAULICA

All'interno dell'allegato A del DGR Lazio n. 117 del 24 marzo 2020, viene effettuata una classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici. Tale classificazione consente di definire soglie dimensionali in base alle quali si applicano considerazioni differenziate in relazione all'effetto atteso dell'intervento. La classificazione è riportata nella seguente tabella.

CLASSI DI INTERVENTO	SOGLIE DIMENSIONALI
1) Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha (1.000 m <sup>2</sup> )
2) Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione maggiore di 0,1 ha (1.000 m <sup>2</sup> ) ed inferiore ad 1 ha (10.000 m <sup>2</sup> )
3) Significativa impermeabilizzazione potenziale	<ul style="list-style-type: none"><li>– Intervento su superfici di estensione maggiore di 1 ha (10.000 m<sup>2</sup>) ed inferiore a 10 ha (100.000 m<sup>2</sup>);</li><li>– Intervento su superfici di estensione superiore a 10 ha (100.000 m<sup>2</sup>) con <math>Imp^{(*)} &lt; 0,3</math></li></ul>
4) Marcata impermeabilizzazione potenziale	Interventi su superfici di estensione superiore a 10 ha (100.000 m <sup>2</sup> ) con $Imp^{(*)} > 0,3$

(\*): frazione della superficie totale che sarà impermeabilizzata

Nel caso in esame la superficie fondiaria è di 155.257,00 m<sup>2</sup> (15,50 ha), mentre l'area occupata dall'intervento è di circa 1.870,00 m<sup>2</sup> (0,19 ha), dunque una classe di intervento: **Modesta impermeabilizzazione potenziale**.

A tal proposito si è tenuto conto dei criteri di progettazione e verifica per assicurare i requisiti di invarianza idraulica contenuti nel paragrafo 4.2 del DGR Lazio n. 117/2020.

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.

In analogia con quanto definito dalla DGR n. 117/2020, i criteri da rispettare per la verifica di compatibilità idraulica ed il livello di approfondimento dell'indagine idraulica da svolgere, sono definiti in funzione della importanza dell'intervento come riportato in tabella. La superficie di riferimento è quella per la quale è prevista la modificazione di uso del suolo.

CLASSE DI INTERVENTO	DEFINIZIONE
<b>Classe 1</b> Intervento su superfici di estensione inferiore a 0,1 ha	È sufficiente adottare buoni criteri costruttivi per ridurre le superfici impermeabili, e comunque assicurare un invaso minimo di 200 m <sup>3</sup> /ha di cui 100 m <sup>3</sup> /ha in condotta. In ogni caso deve essere assicurato il mantenimento degli invasi esistenti.
<b>Classe 2</b> Intervento su superfici comprese fra 0,1 e 1 ha	Nel caso in cui lo scarico delle acque meteoriche dell'area avvenga in rete di ordine superiore, privata o pubblica, dimensionata o dotata di strutture od impianti, in grado di laminare la portata di piena, si applicano i criteri previsti per la classe 1. Negli altri casi il dimensionamento dei volumi di invaso dovrà essere eseguito secondo i criteri definiti al paragrafo 4.2 Qualora le opere destinate a garantire i volumi di invaso si trovino in condizioni di notevole prevalenza idraulica rispetto ai ricettori è indispensabile che siano adottati metodi di controllo dei deflussi in grado di rendere efficienti i volumi di invaso stessi.
<b>Classe 3</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha;</li> <li>– interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con incidenza delle superfici impermeabilizzate inferiore al 30%</li> </ul>	Oltre alla previsione di invasi adeguati secondo i criteri di Invarianza idraulica cui al paragrafo 4.2, vanno dimensionati i tiranti idrici ammessi nell'invaso e le luci di scarico in modo da garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione.
<b>Classe 4</b> Intervento su superfici superiori a 10 ha con incidenza delle superfici impermeabilizzate superiore al 30%	È necessaria l'elaborazione di uno studio idraulico di dettaglio

**Tabella 6: Classificazione dei criteri di applicazione invarianza idraulica**



### 7.1. CALCOLO DEL VOLUME D'INVASO

Il volume minimo d'invaso atto a garantire l'invarianza idraulica, in termini di portate di deflusso meteorico, provenienti dalle aree oggetto di trasformazioni dell'uso del suolo (urbanistiche o di singolo intervento) e recapitate nei corpi idrici ricettori di valle, è stabilito dalla seguente espressione, ricavata dal "metodo dell'invaso"

$$W = W^0(\phi/\phi^0)^{1/(1-n)} - 15I - W^0$$

nella quale:

- $w^0$  = 50 mc/ha: volume di riferimento da assumersi nei territori *"non impermeabilizzati in ambito urbano"*;
- $\phi$ : coefficiente di deflusso *post trasformazione*;
- $\phi^0$ : coefficiente di deflusso *ante trasformazione*
- $n = 0,48$ : esponente delle curve di probabilità pluviometrica di durata inferiore all'ora;
- $I$ : quota (%) dell'area oggetto d'intervento, interessata dalla trasformazione.
- $P$ : quota (%) dell'area oggetto d'intervento, non interessata dalla trasformazione, tale che  $[I + P = 100\%]$ .

I valori dei coefficienti deflusso disponibili in letteratura e normalmente adottati per il calcolo dell'invarianza idraulica sono i seguenti:

TIPOLOGIA AREA	Coeff. Di deflusso
Agricola	0,1
Permeabili (aree verdi)	0,2
Semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato)	0,6
Impermeabili (strade, tetti, marciapiedi)	0,9

Per determinare i coefficienti  $\phi^0$  e  $\phi$  si dovrà far riferimento alle seguenti relazioni:

$$\phi^0 = 0,9 \times \text{Imp}^0 + 0,2 \times \text{Per}^0$$

$$\phi = 0,9 \times \text{Imp} + 0,2 \times \text{Per}$$

nelle quali:

- $\text{Imp}^0$ : quota parte dell'area totale da ritenersi impermeabile, **prima** della trasformazione;
- $\text{Per}^0$ : quota parte dell'area totale da ritenersi permeabile, **prima** della trasformazione;
- $\text{Imp}$ : quota parte dell'area totale da ritenersi impermeabile, **dopo** la trasformazione;
- $\text{Per}$ : quota parte dell'area totale da ritenersi permeabile, **dopo** la trasformazione.

Si riportano di seguito le superfici suddivise per modalità di utilizzo, a partire dalle quali è stato effettuato il calcolo dei parametri necessari a loro volta per il calcolo dell'invarianza idraulica.

Superficie impermeabile ante	500	m <sup>2</sup>
Superficie permeabile ante	154717	m <sup>2</sup>
Superficie impermeabile post	1870	m <sup>2</sup>
Superficie permeabile post	153347	m <sup>2</sup>
Superficie I	19685	m <sup>2</sup>
Superficie P	135532	m <sup>2</sup>

Dal calcolo dei parametri si è passati al calcolo dell'invarianza idraulica di ciascuno dei bacini individuati, utilizzando il seguente foglio di calcolo.

Superficie fondiaria-lotto (mq) =		155217.00	mq	Inserire la superficie totale dell'intervento												
<b>ANTE OPERAM</b>																
Superficie impermeabile esistente =		500.00	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)												
Imp° =		0.00														
Superficie permeabile esistente (mq) =		154717.00	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)												
Per° =		1.00														
Imp° + Per° =		1.00														
<b>POST OPERAM</b>																
Superficie impermeabile trasformata o di progetto =		1870.00	mq	Inserire il 100% della superficie impermeabile più l'eventuale % della superficie trasformata con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)												
Imp =		0.01														
Superficie permeabile di progetto =		153347.00	mq	Inserire il 100% della superficie permeabile (verde o agricola) più l'eventuale % della superficie presente con materiali semipermeabili (es. betonelle, grigliati)												
Per =		0.99														
Imp + Per =		1.00														
<b>INDICI DI TRASFORMAZIONE DELL'AREA</b>																
Superficie trasformata/livellata =		19685.00	mq	superficie impermeabile più superficie permeabile trasformata rispetto all'agricola												
I =		0.13														
Superficie agricola inalterata =		135532.00	mq	superficie inalterata												
P =		0.87														
I + P =		1.00														
<b>CALCOLO DEI COEFFICIENTI DI DEFLUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM</b>																
$\phi^o$	$0,9 \times Imp^o + 0,2 \times Per^o$	=	0.9	x	0.00	+	0.2	x	1.00	=	0.20					
$\phi$	$0,9 \times Imp + 0,2 \times Per$	=	0.9	x	0.01	+	0.2	x	0.99	=	0.21					
$W$	$w = w^o \left( \frac{\phi}{\phi^o} \right)^{1/(1-n)}$	=	50	x	1.06	-	15	x	0.13	-	50	x	0.87	=	7.42	mc/ha
$W^o$	15 l - w°P															
$\left( \frac{\phi}{\phi^o} \right)^{1/(1-n)}$	1.03															
	1.92															
<b>VOLUME MINIMO DI INVASO</b>			7.42	:	10'000.00	x	155'217.00	=	115.13	mc						

Figura 13: Calcolo del volume di invaso

Quindi procedendo ad arrotondamenti prudenziali per eccesso si avrà che il volume minimo di invaso atto a garantire l'invarianza idraulica è pari a 120 m<sup>3</sup>.

Il volume di invaso necessario per il perseguimento del principio dell'invarianza idraulica può essere garantito attraverso la progettazione di trincee drenanti situate nell'area agricola oggetto di intervento a valle della naturale direzione di ruscellamento.

### 7.1.1. Dimensionamento trincea drenante

Il dimensionamento di una trincea drenante va eseguito confrontando le portate in arrivo al sistema con la capacità di infiltrazione del terreno e con l'eventuale capacità di immagazzinamento del sistema. Il confronto è espresso con una equazione di continuità, che rappresenta il bilancio delle portate entranti ed uscenti attraverso il mezzo filtrante, in cui si trascura, per semplicità, il contributo legato alla evaporazione:

$$\Delta W = (Q_p - Q_f) \Delta t$$

dove:

- $Q_p$ : portata in ingresso in m<sup>3</sup>/s
- $Q_f$ : portata infiltrata in m<sup>3</sup>/s
- $\Delta t$ : intervallo di tempo in secondi
- $\Delta W$ : variazione del volume invasato nel mezzo filtrante, nell'intervallo  $\Delta t$  in m<sup>3</sup>

Il progetto della trincea prevede di fissarne la larghezza  $l$  e la profondità  $h$ , ricavando, dall'equazione di continuità sopra riportata, la lunghezza  $L$ . La variazione di volume invasato può essere determinata con la seguente espressione:

$$\Delta W = (l \cdot h \cdot L) n$$

dove:

- $L$ : lunghezza della trincea in m
- $l$ : larghezza della trincea in m
- $h$ : altezza della trincea in m
- $n$ : porosità del materiale di riempimento della trincea assunto pari a 0,30.

Nel caso in progetto, il valore di  $\Delta W$  è noto in quanto coincidente volume minimo di invaso richiesto precedentemente calcolato.

Applicando la formula ed assegnando i valori ai parametri geometrici della trincea abbiamo:

$$Trincea \rightarrow (l \cdot h \cdot L) n = 0,80 \cdot 1,20 \cdot 430 \cdot 0,3 = 123,84 \text{ mc} > 120 \text{ mc}$$



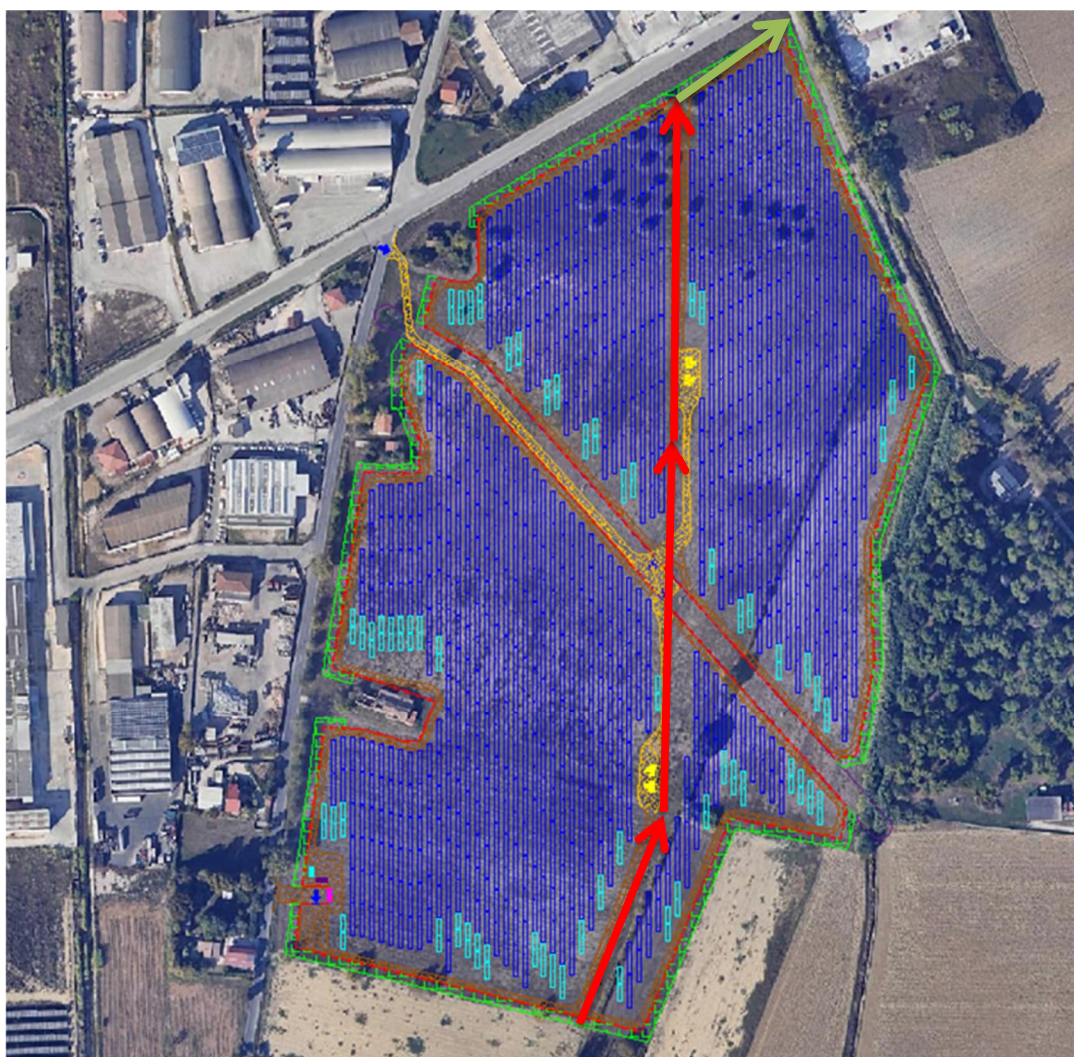
## 8. SOLUZIONI TECNICHE PROPOSTE

Sulla base del calcolo del Volume di invaso necessari a garantire l'invarianza idraulica, in funzione della normativa vigente è stato calcolato il volume di invaso disponibile all'interno dell'area di impianto; in generale, può essere considerato volume di invaso utile alla verifica di invarianza idraulica la trincea drenante.

### Trincee drenanti:

Le tubazioni fessurate della nuova rete di drenaggio interrata saranno disposte all'interno di trincee drenanti di dimensioni pari a 0,80 m x 1,20 m. All'interno di tali trincee verrà installata una tubazione drenante in PEAD corrugato con un diametro nominale (DN) minimo di 400 mm. Tali trincee dovranno convogliare le acque nel corpo idrico vicino all'area di impianto.

Secondo quanto riportato nel capitolo 2 della presente relazione, dove sono indicate le interferenze e le relative fasce di rispetto presenti nella planimetria del parco agrivoltaico, una possibile soluzione è quella di realizzare una trincea drenante di fianco la condotta del consorzio di bonifica, per come indicato in figura (viene indicato anche il verso di scorrimento):



**Figura 14: indicazione del tracciato per la realizzazione delle trincee drenanti (in rosso) e del tracciato di immissione (in verde) al più vicino recapito (fosso di scolo consortile)**

La lunghezza minima prevista secondo quanto calcolato nel paragrafo 7.1.1 è pari a 430 m.

## 9. CONCLUSIONI

La Delibera della Giunta Regionale (DGR) n. 117 del 24 marzo 2020, con particolare riferimento alla gestione dell'invarianza idraulica permette di classificare e definire le soglie dimensionali e misure compensative specifiche in relazione all'effetto atteso dell'intervento.

Nel caso in esame, l'area di intervento complessiva è di 1.870,00 m<sup>2</sup>, rientrando nella categoria di "modesta impermeabilizzazione potenziale". È stato applicato il principio dell'invarianza idraulica, che prevede che la portata al colmo di piena rimanga costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo. Le misure compensative includono la predisposizione di volumi di invaso 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.

La classificazione degli interventi è suddivisa in quattro classi, ciascuna con criteri specifici di progettazione e verifica. 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. Questo è stato determinato in base ai coefficienti di deflusso convenzionali e ai volumi di invaso specifici. Il calcolo del volume di invaso necessario ha portato a un valore di 120,00 m<sup>3</sup>.

Per garantire l'invarianza idraulica, a seguito di valutazione sul layout di progetto è stata scelta la realizzazione di una trincea drenanti di lunghezza minima pari a 430 m da realizzare di fianco all'esistente condotta del consorzio di bonifica. La trincea drenante dovrà essere di dimensioni specifiche e convogliare le acque nel corpo idrico vicino (fosso di scolo consortile). Per maggiori dettagli e definizione delle caratteristiche della trincea drenante si rimanda alla fase esecutiva.