



**REGIONE  
LAZIO**

**COMUNI DI : CELLERE (VT) E PIANSANO (VT)**

**Centrale Solare "Uliveto agrivoltaico del Lazio" da 64.898,64 kWp**



**Proponente: SKI 16 S.R.L.**

Via Caradosso N. 9 - 20123 Milano ( MI)



**Statkraft**

**Investitore agricolo  
superintensivo :**

**OXY CAPITAL  
ADVISORS**

**OXY CAPITAL ADVISORS S.R.L.**

Via A. Bertani, 6 - 20154 Milano - Italia

**Partner:**

**Titolo: Relazione di inquadramento idraulico**



**N° Elaborato: 9**

**Progetto dell'inserimento paesaggistico  
e mitigazione**

**Cod: VR\_05**

**Progettista:**

Agr. Fabrizio Cembalo Sambiasi  
Arch. Alessandro Visalli

**Collaboratori:**

Agr. Rosa Verde  
Arch. Anna Sirica  
Urb. Enrico Borrelli  
Urb. Daniela Marrone  
Urb. Patrizia Ruggiero

**Progettazione elettrica e civile**

**Progettista:**

Ing. Rolando Roberto  
Ing. Marco Balzano

**Collaboratori:**

Ing. Simone Bonaldi  
Ing. Giselle Roberto

**Consulenza geologia**

Geol. Gaetano Ciccarelli

**Consulenza archeologia**

Archeol. Concetta C. Costa



**tipo di progetto:**

- RILIEVO
- PRELIMINARE
- DEFINITIVO
- ESECUTIVO

rev.	descrizione	data	formato	elaborato da	controllato da	approvato da
00	Consegna	Dicembre 2022	A4	Alessandro Visalli	Rosa Verde	Fabrizio Cembalo Sambiasi
01						
02						
03						
04						

INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
2.1	Localizzazione dell'area d'intervento .....	4
2.2	Pianificazione di assetto idrogeologico.....	5
3	Vincoli.....	8
4	STUDIO IDROLOGICO .....	12
4.1	Metodologia di calcolo della portata .....	19
4.1.1	Dati pluviometrici.....	19
4.1.2	Metodo SCS-CN .....	23
4.1.3	Metodo HEC-HMS .....	29
5	STUDIO IDRAULICO .....	34
5.1	Software HEC-RAS .....	34
5.1.1	Codice di calcolo.....	34
5.1.2	Coefficiente di scabrezza.....	37
5.2	Modellazione idraulica .....	39
5.3	Mappatura di pericolosità idraulica .....	43
6	Invarianza idraulica .....	50
7	Conclusioni.....	51

8 Indice delle tabelle.....62

## 1 PREMESSA

Lo studio idrologico effettuato permette di calcolare l'entità delle piogge relative ad un determinato tempo di ritorno, determinare la pioggia netta e modellare l'esondazione sull'area; tale studio, come stabilito nelle prescrizioni del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Lazio, è stato realizzato per tre tempi di ritorno significativi: 30, 200 e 500 anni.

Lo studio idraulico è stato effettuato con il software HEC-RAS, tramite il quale sono state modellate le condizioni per i tre tempi di ritorno assegnati. Questo consente di evidenziare chiaramente le criticità dell'area oggetto di studio, ottimizzando gli interventi.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1 Localizzazione dell'area d'intervento

L'area oggetto di studio interessa il comune di Cellere, provincia di Viterbo.

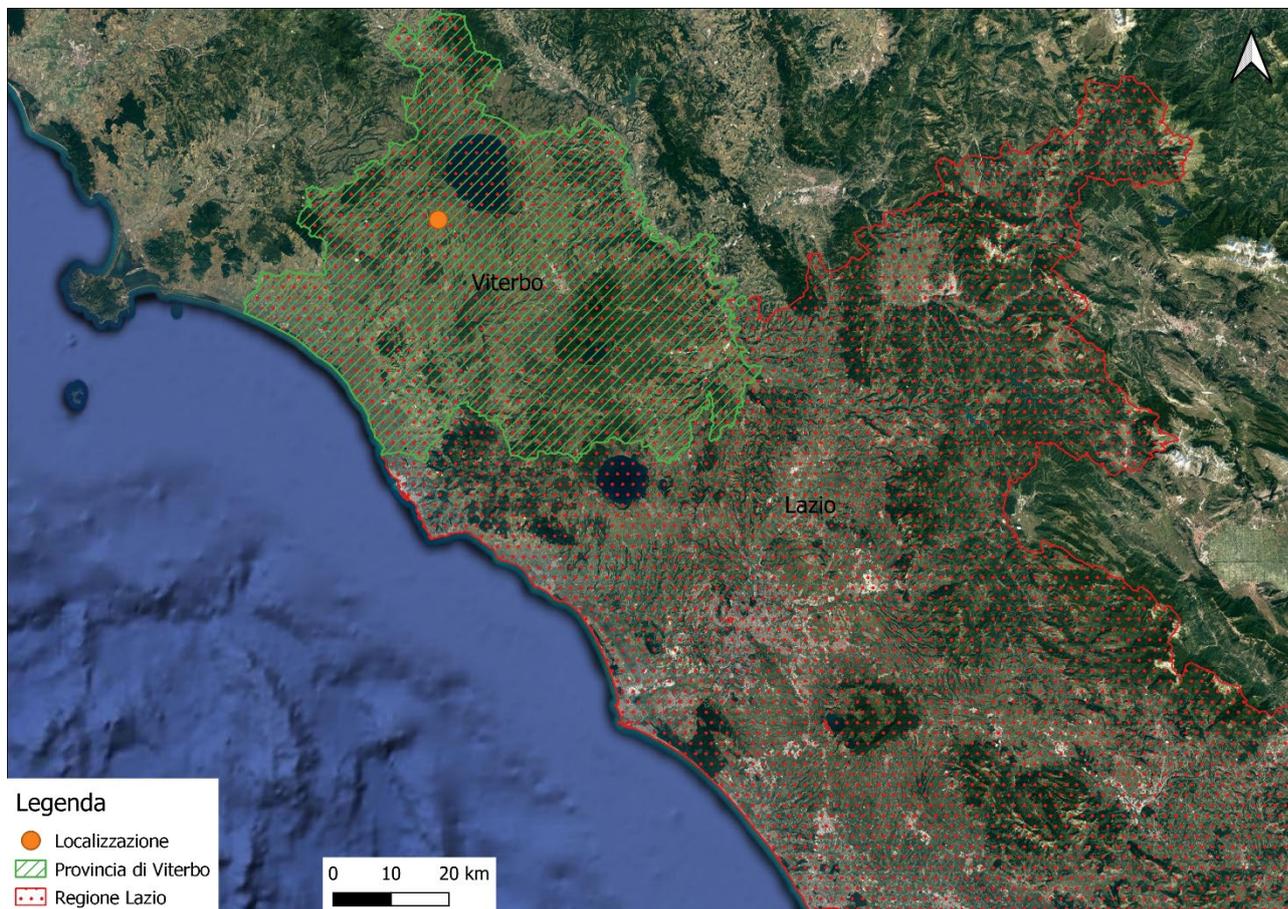


Figura 1 – Inquadramento generale



Figura 2 – Particolare localizzazione aree di intervento

## 2.2 Pianificazione di assetto idrogeologico

“Il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (in seguito denominato PAI) ha valore di piano territoriale di settore e rappresenta lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale l’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio (in seguito denominata “Autorità”), nell’ambito del territorio di propria competenza, pianifica e programma le azioni e le norme d’uso finalizzate alla tutela e alla difesa delle popolazioni, degli insediamenti, delle infrastrutture, del suolo e del sottosuolo.

Con il PAI l’Autorità svolge, ai sensi del Dlgs. 152/2006 e della Legge Regionale 39/96, le attività di pianificazione, programmazione e coordinamento degli interventi attinenti la difesa del suolo.

*In particolare, il PAI riguarda sia l'assetto geomorfologico, relativo alla dinamica dei versanti e al pericolo d'erosione e di frana, sia l'assetto idraulico, relativo alla dinamica dei corsi d'acqua e al pericolo d'inondazione, nonché la definizione delle esigenze di manutenzione, completamento ed integrazione dei sistemi di difesa esistenti in funzione del grado di sicurezza compatibile e del loro livello di efficienza ed efficacia".*

Il bacino idrografico è inteso come "il territorio dal quale le acque pluviali o di fusione delle nevi e dei ghiacciai, defluendo in superficie, si raccolgono in un determinato corso d'acqua direttamente o a mezzo di affluenti, nonché il territorio che può essere allagato dalle acque del medesimo corso d'acqua, ivi compresi i suoi rami terminali con le foci in mare ed il litorale marittimo prospiciente".

L'intero territorio nazionale è pertanto suddiviso in bacini idrografici classificati di rilievo nazionale, interregionale e regionale.

Strumento di governo del bacino idrografico è il Piano di Bacino, che si configura quale documento di carattere conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, difesa e valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

L'art. 7 delle NTA del PAI Lazio individua le aree a pericolo inondazione come segue:

Il presente Piano riporta le situazioni di pericolo d'inondazione stimate ai sensi del DPCM 29/09/1998 dall'Autorità tramite indagini o segnalazioni locali nell'ambito del territorio di propria competenza.

Sulla base delle caratteristiche dei fenomeni rilevati o attesi il Piano disciplina l'uso del territorio, nell'ambito delle fasce individuate nella Tavola 2, in funzione di tre classi di pericolosità:

- **fasce a pericolosità A:**

aree ad alta probabilità di inondazione, ovvero che possono essere inondate con *frequenza media trentennale*.

Le fasce a pericolosità A sono a loro volta suddivise in due sub-fasce:

- sub-fasce a pericolosità A1:

aree che possono essere investite dagli eventi alluvionali con dinamiche intense e alti livelli idrici;

- sub-fasce a pericolosità A2:

aree, ubicate nelle zone costiere pianeggianti, ovvero ad una congrua distanza dagli argini, tale da poter ritenere che vengano investite dagli eventi alluvionali con dinamiche graduali e con bassi livelli idrici;

**- fasce a pericolosità B:**

aree a moderata probabilità di inondazione, ovvero che possono essere inondate con *frequenza media compresa tra la trentennale e la duecentennale*.

Le fasce a pericolosità B sono a loro volta suddivise in due sub-fasce:

- sub-fasce a pericolosità B1:

aree che possono essere investite dagli eventi alluvionali con dinamiche intense e alti livelli idrici;

- sub-fasce a pericolosità B2:

aree, ubicate nelle zone costiere pianeggianti, ovvero ad una congrua distanza dagli argini, tale da poter ritenere che vengano investite dagli eventi alluvionali con dinamiche graduali e con bassi livelli idrici;

**- fasce a pericolosità C:**

aree a bassa probabilità di inondazione, ovvero che possono essere inondate con *frequenza media compresa tra la duecentennale e la cinquecentennale*.

### 3 Vincoli

I vincoli idraulici presenti sull'area sono stati ricavati dalla documentazione messa a disposizione sul sito del Ministero dell'Ambiente.

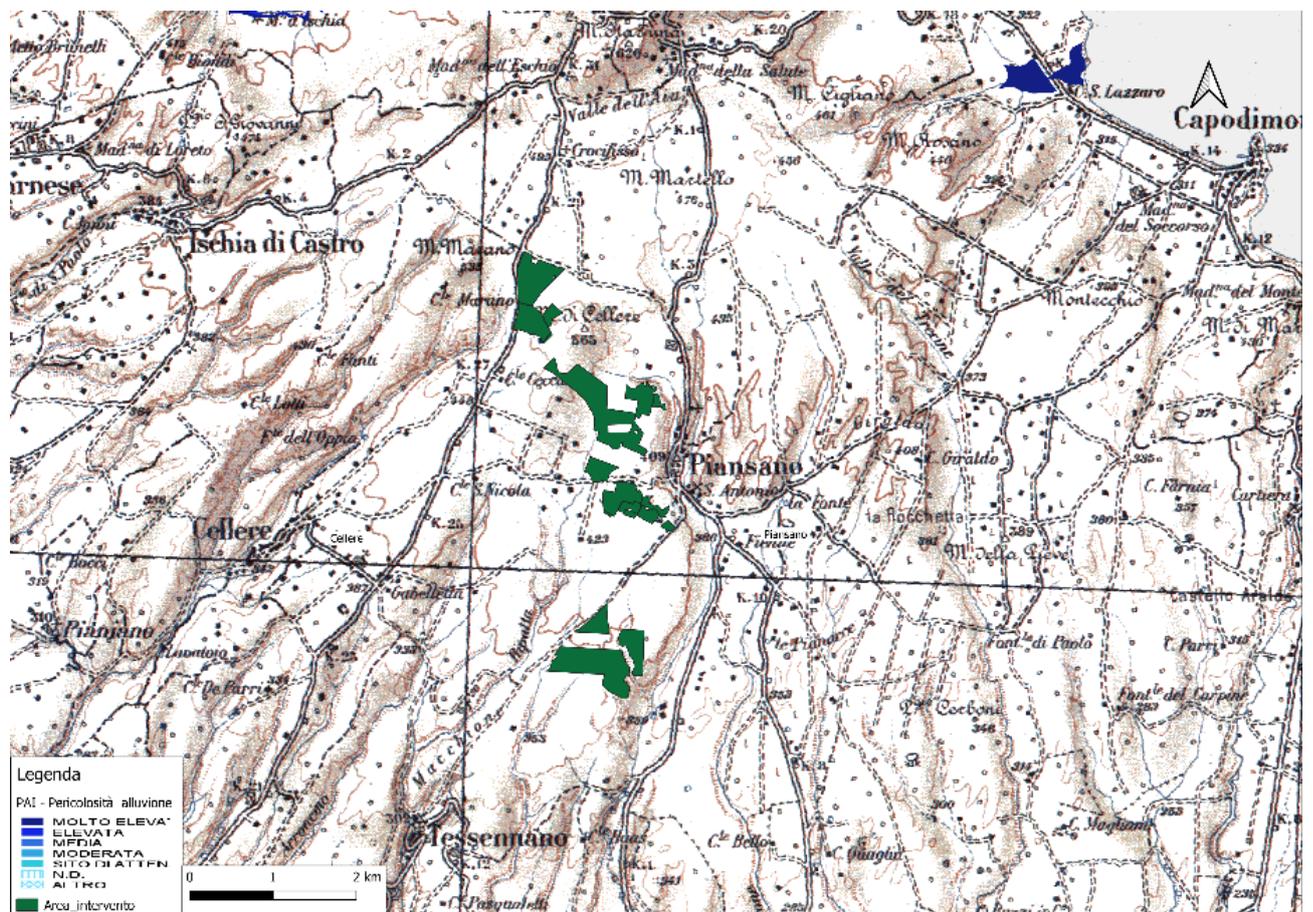


Figura 3 - Mappatura pericolosità idraulica P.A.I.

Come si vede nell'immagine, la mappa di pericolosità alluvione del P.A.I. non perimetra l'area di intervento.

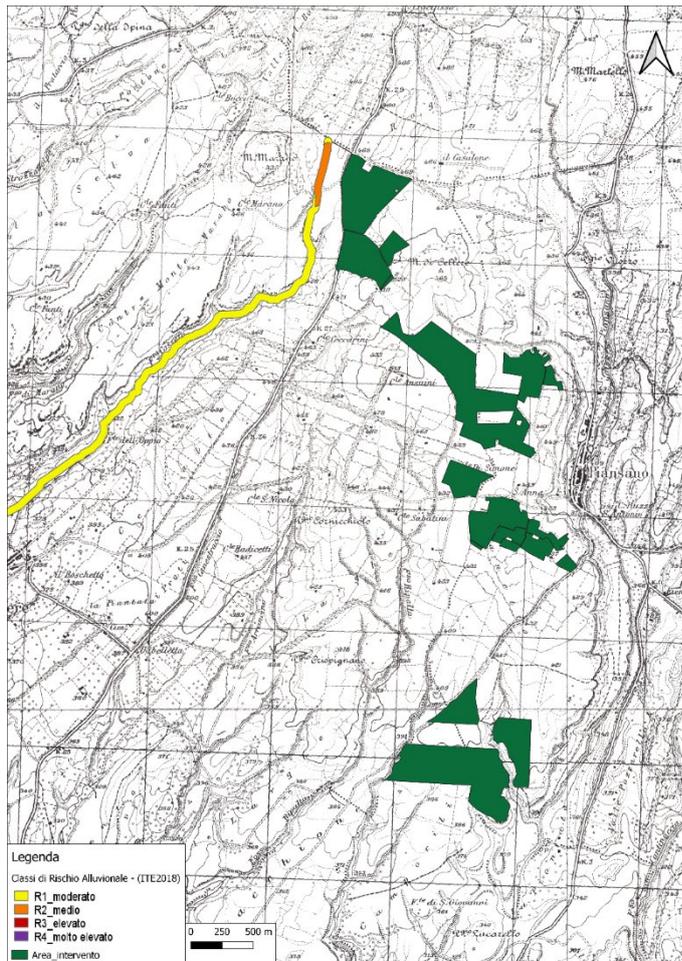


Figura 4 – Mappatura Classi di Rischio Alluvione P.G.R.A.

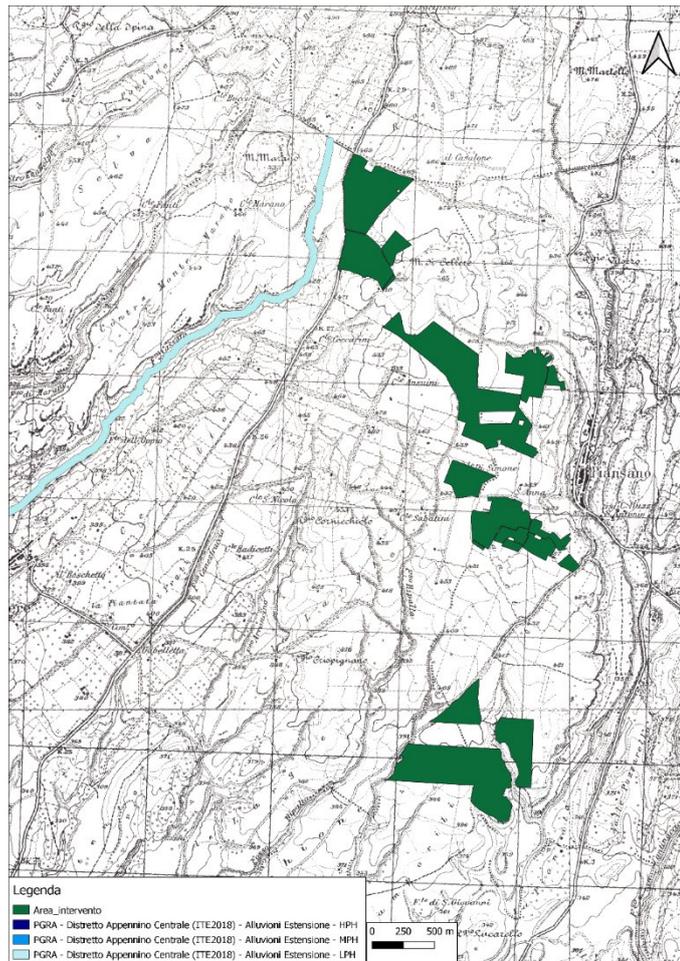


Figura 5 – Mappatura Pericolosità Alluvione P.G.R.A.

La mappatura del PGRA perimetra a rischio medio/moderato e bassa pericolosità l'area di studio più a nord senza però intersecarla. La distanza fra l'area alluvionale prevista e l'area di intervento è superiore a 100metri.

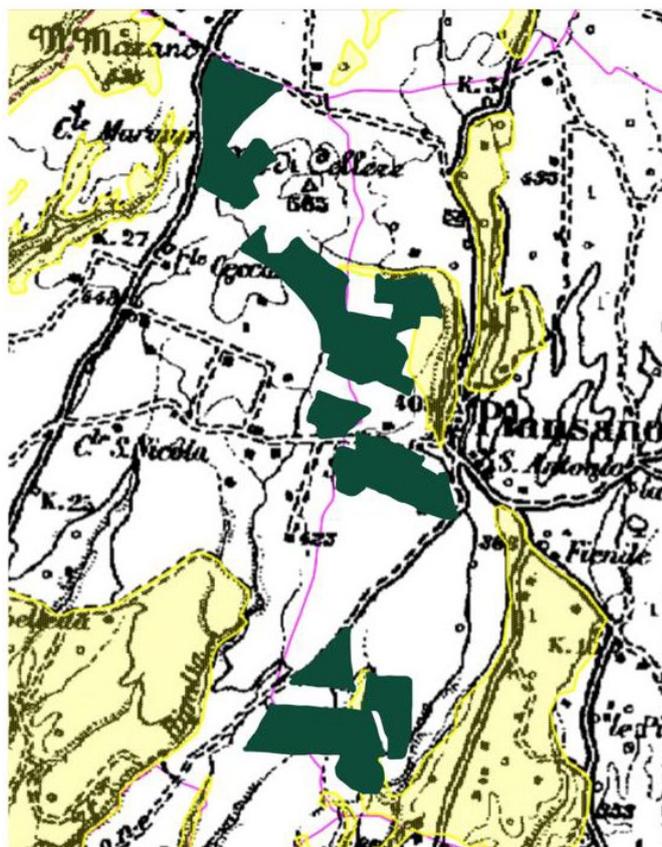


Figura 6 - Vincolo idrogeologico – Estratto dal SIT di Viterbo

Per quanto riguarda i vincoli idrogeologici, alcune aree ricadono nel vincolo previsto, sarà quindi necessario richiedere il relativo parere.

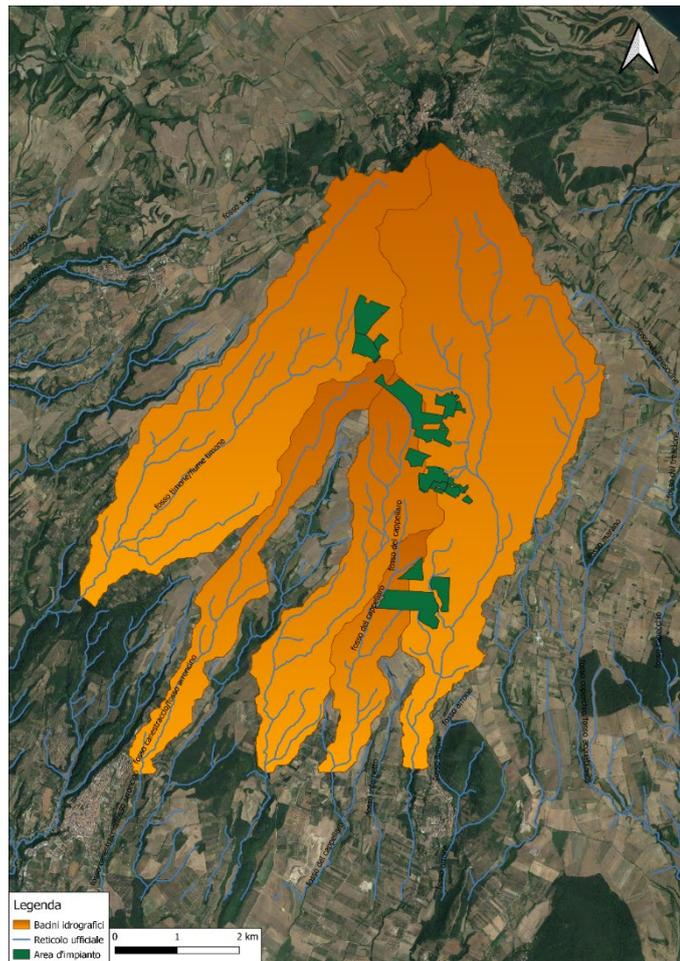
#### 4 STUDIO IDROLOGICO

Il presente capitolo ha l'obiettivo di definire la pioggia netta sul bacino. Non verrà quindi calcolata la portata in una data sezione di chiusura, ma la pioggia netta e tramite modellazione le aree di allagamento. Verrà prima studiata la geometria del bacino e, successivamente, verrà effettuato uno studio idrologico dell'area.

Il bacino è definito come quella porzione di territorio il cui deflusso idrico superficiale viene convogliato verso una fissata sezione di un corso d'acqua definita sezione di chiusura del bacino. I limiti del bacino sono delineati da uno spartiacque che consiste in una linea di displuvio che attraversa la sommità dei rilievi e che lo separa dai bacini adiacenti.

Si è proceduto, innanzitutto, alla delimitazione del bacino idrografico tramite software GIS con l'ausilio dei Modelli Digitali del Terreno (DTM) con risoluzione 5metri.

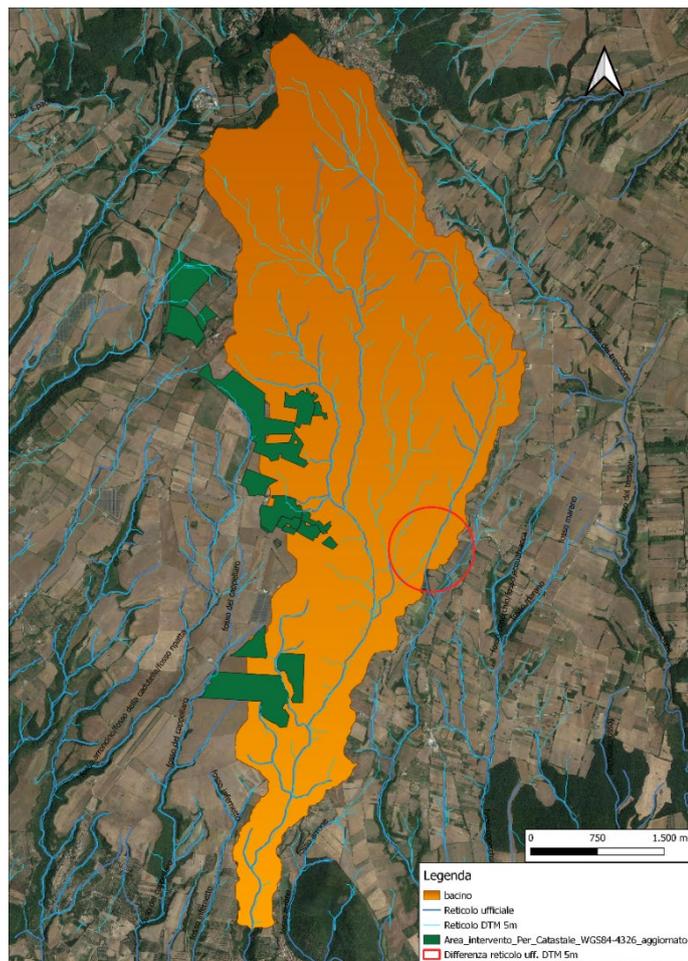
Questo raster non è disponibile nel database del SIT laziale, quindi è stato estrapolato dalle curve di livello con passo 5 metri disponibili sul medesimo sito (Database GeoTopografico (DBGT) - Scala 1:5.000 - v. 2014 - Formato SpatiaLite).



*Figura 7 – Bacini idrografici*

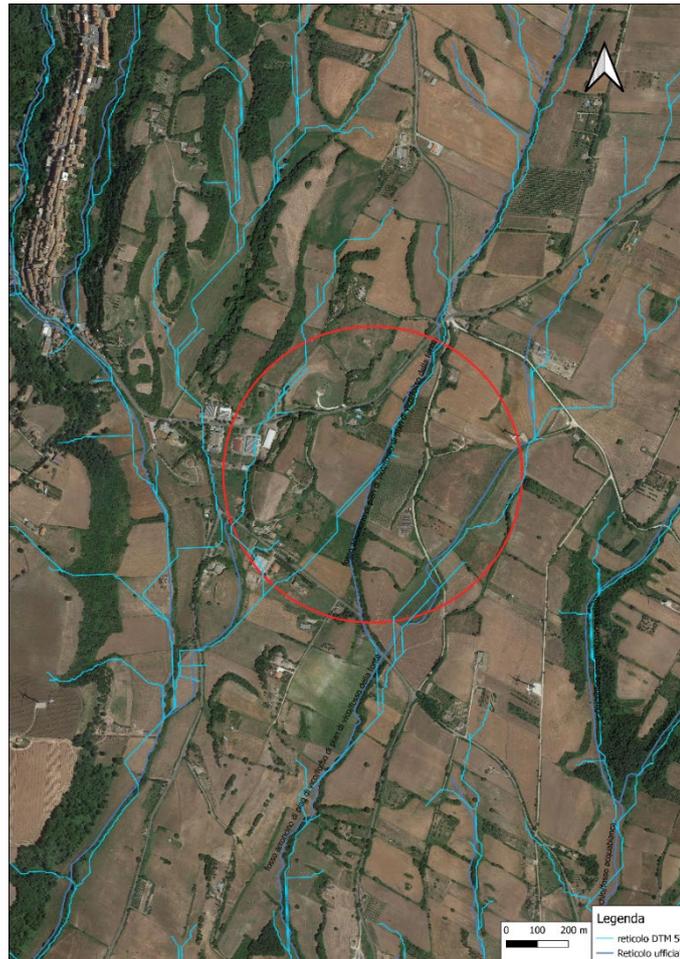
Sono stati estratti 5 bacini che intercettano le aree oggetto di intervento.

A differenza del bacino più a est, gli altri 4 intersecano le aree d'intervento solo marginalmente ed in nessun caso sottendono sottobacini estesi. Il bacino ad est, inoltre, contiene il 49.4% del totale delle aree di impianto, per tale ragione, non dovendo estrapolare le portate, ma la pioggia netta sull'area, si è scelto di studiare tale bacino ed estendere le considerazioni a quelli limitrofi.



*Figura 8 – Differenze con il reticolo ufficiale*

Si è riscontrata una difformità tra il reticolo estratto e il reticolo idrografico del Ministero dell’Ambiente, in particolare il primo amplia il bacino di studio con parte di uno limitrofo. La correttezza del reticolo ufficiale è confermata dalle incisioni nel terreno.



*Figura 9 – Incisioni da mappa satellitare*

Per tale ragione il bacino è stato ridotto come segue.



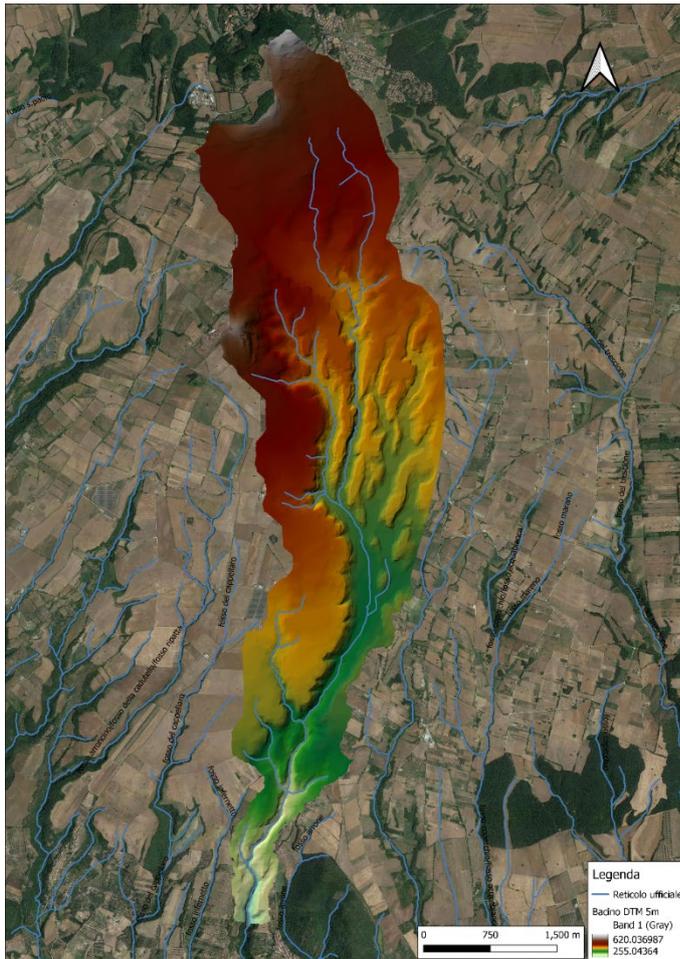


Figura 11 – Bacino idrografico con DTM 5x5

La direzione di flusso delle singole celle è stata classificata per colori secondo il seguente schema:

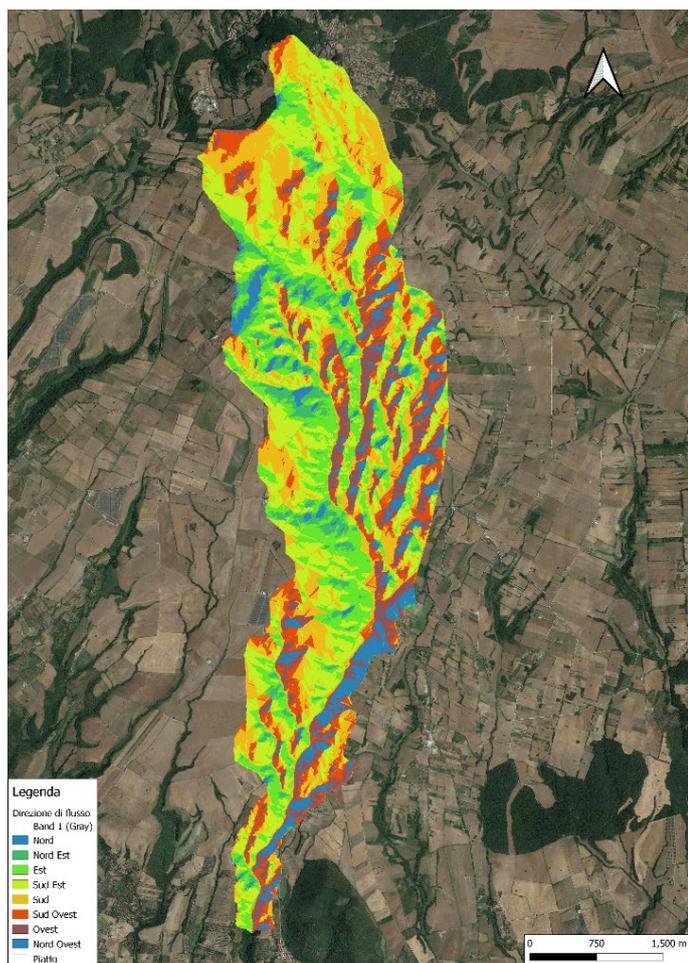


Figura 12 – Direzione di flusso

Sono state quindi ricavate le caratteristiche geometriche del bacino.

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche del bacino

<b>Area bacino [km<sup>2</sup>]</b>	14.96
<b>Lunghezza asta principale [km]</b>	10.28
<b>Quota massima [m]</b>	620.04
<b>Quota media [m]</b>	426.85
<b>Quota minima [m]</b>	260.19
<b>Pendenza media dell'asta principale</b>	13%
<b>Pendenza media del bacino</b>	11.6%
<b>Perimetro [km]</b>	29.66

Successivamente, con l'analisi delle intensità di precipitazione sono stati estratti i dati relativi alle curve di probabilità pluviometrica per il tempo di ritorno associato.

## **4.1 Metodologia di calcolo della portata**

### **4.1.1 Dati pluviometrici**

Dato il carattere aleatorio degli eventi di pioggia, la descrizione del regime delle piogge intense si deve fondare su una analisi statistica delle osservazioni pluviometriche. In particolare, per ricercare la durata della pioggia critica e quindi l'intensità critica della pioggia è necessario conoscere la legge di variazione dell'intensità di pioggia al variare della durata. Per caratterizzare il grado di rarità (ovvero di probabilità che un evento si ripeta) dei valori di altezza pioggia si fa ricorso al concetto di tempo di ritorno  $T_R$ . Per stimare un evento di piena di fissato tempo di ritorno, ovvero l'intervallo di tempo in anni per il quale un valore di altezza di pioggia assegnato è mediamente superato una volta, è indispensabile costruire un algoritmo che definisca l'evento di pioggia in funzione del tempo di ritorno; la determinazione di tale evento di precipitazione si ottiene attraverso l'elaborazione dei dati storici di eventi di pioggia misurati che portano alla definizione di una relazione detta "curva di probabilità pluviometrica" che si rappresenta usualmente con l'espressione monomia:

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

dove  $h$  è l'altezza di pioggia (mm),  $t$  è la durata (ore) ed  $a$  ed  $n$  sono parametri che variano a seconda della serie storica delle precipitazioni registrata nel bacino e si ricavano dall'analisi statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata.

I dati storici di precipitazione non sono altro che i dati relativi a piogge di breve durata e di massima intensità che annualmente vengono registrati dalle stazioni pluviometriche di durata pari a 1 – 3 – 6 – 12 - 24 ore.

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due popolazioni distinte legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è peraltro giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche di piogge di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

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

$$F_x(x) = \exp \left\{ -\Lambda_1 \exp \left( -\frac{x}{\Theta_1} \right) - \Lambda_2 \exp \left( -\frac{x}{\Theta_2} \right) \right\}$$

L'espressione può essere ulteriormente semplificata facendo riferimento alla variabile adimensionale  $K_{t,Tr} = X_{t,Tr} / \mu(X_t)$  dove con  $\mu(X_t)$  si è indicato il valore indice (la media della variabile). La funzione di probabilità cumulata di questa nuova variabile  $K_{t,Tr}$  è la cosiddetta curva di crescita la quale dipende dai parametri  $\Lambda^*, \Theta^*, \Lambda_1$  e  $\Theta_1$ , l'ultimo dei quali è rappresentabile analiticamente in funzione della media.

Su queste relazioni si basa la strutturazione regionale della stima dei parametri del modello TCEV.

La procedura di regionalizzazione adottata nello studio regionale è di tipo gerarchico strutturata su tre livelli (Versace et al. 1989), individuando:

#### *I° Livello di regionalizzazione:*

Si assume che il coefficiente di asimmetria  $C_A$  sia costante in una regione molto ampia (l'intera Italia Appenninica ed insulare ad eccezione della Sardegna). Ciò implica, per quanto detto in precedenza, la costanza dei parametri  $\Lambda^*, \Theta^*$  del modello TCEV nella medesima zona.

#### *II° Livello di regionalizzazione*

Al secondo livello di regionalizzazione si assume che la regione omogenea rispetto a  $\Lambda^*, \Theta^*$  possa suddividersi in sottozone in cui il coefficiente di variazione CV risulti costante, nel senso che vari con piccoli scarti di disturbo spaziale intorno a valori medi differenti da una zona all'altra.

#### *III° Livello di regionalizzazione*

Il terzo livello di regionalizzazione consiste nell'individuazione di aree omogenee nelle quali sia possibile determinare le relazioni che legano la media  $\mu(X_t)$  (valore indice) alle caratteristiche fisiche di interesse.

Nel caso in esame il secondo livello di regionalizzazione è quello del Compartimento di Roma e Pescara (Zona A – Tirrenica), mentre il terzo è quello relativo all'area A4 – Arrone -Sud Bracciano.



Figura 13 – Sottostazione omogenea

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAMPO FOTOVOLTAICO

Per la sottozona A-Tirrenica il Fattore di Crescita  $K_T$  (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni) è stato ricavato con i parametri della distribuzione TCEV.

Si riportano di seguito i valori di  $K_T$  tabellati.

*Tabella 2 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$*

$T_R$	2	5	10	30	50	100	200	500	1000
$K_T$	0.89	1.22	1.49	2.04	2.45	2.98	3.52	4.23	4.77

*Tabella 3 – Altezze di pioggia Bacino*

<b>T</b>	<b>H<sub>1</sub></b>	<b>H<sub>3</sub></b>	<b>H<sub>6</sub></b>	<b>H<sub>12</sub></b>	<b>H<sub>24</sub></b>
<b>2</b>	38.1	52.1	61.6	72.2	84.1
<b>5</b>	52.2	71.4	84.5	99.0	115.2
<b>10</b>	63.8	87.2	103.2	120.8	140.7
<b>30</b>	87.3	119.5	141.4	165.5	192.8
<b>50</b>	104.8	143.4	169.7	198.7	231.4
<b>100</b>	127.5	174.4	206.4	241.7	281.5
<b>200</b>	150.6	206.0	243.8	285.5	332.5
<b>500</b>	181.0	247.6	293.0	343.1	399.6

*Tabella 4 – Parametri caratteristici della CPP Bacino*

<b>Tr</b>	<b>a</b>	<b>n</b>
<b>2</b>	38.87	0.25
<b>5</b>	53.29	0.25
<b>10</b>	65.08	0.25
<b>30</b>	89.15	0.25
<b>50</b>	107.01	0.25
<b>100</b>	130.16	0.25
<b>200</b>	153.75	0.25
<b>500</b>	184.76	0.25

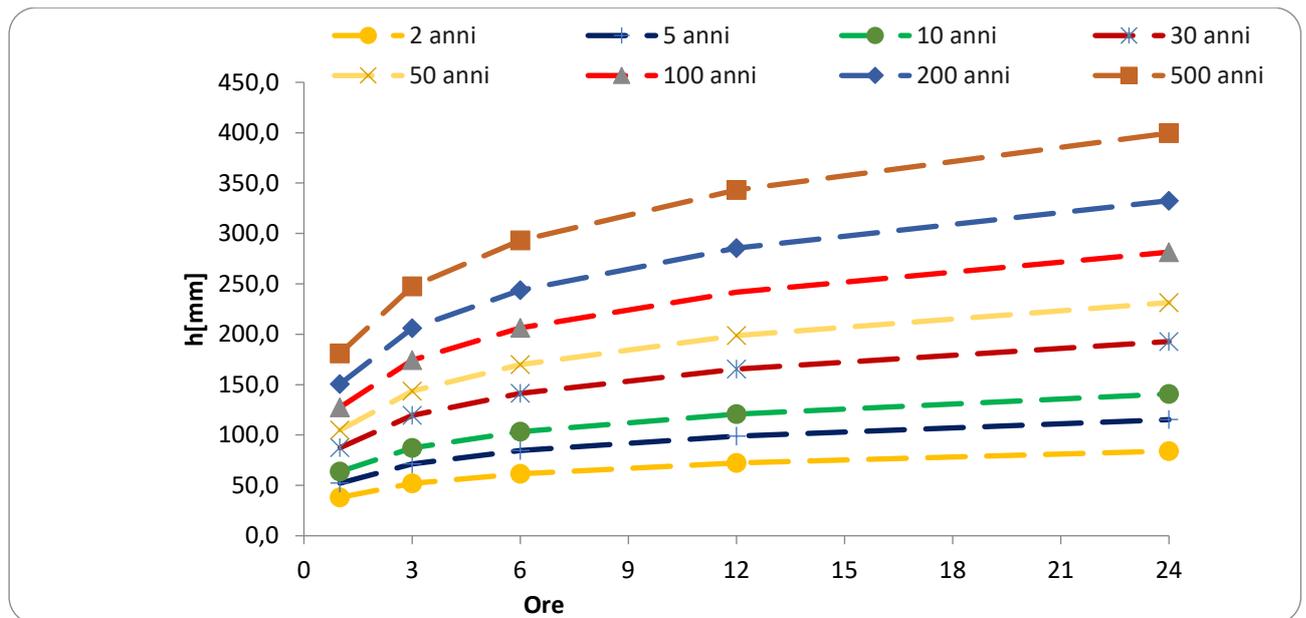


Figura 14 – Curva di possibilità pluviometrica Bacino

#### 4.1.2 Metodo SCS-CN

Esistono numerosi approcci nella letteratura idrologica per la stima del deflusso. Tra i vari metodi disponibili in letteratura, uno dei più noti ed affidabili è il così detto metodo di rifiuto del terreno o Curve Number del Soil Conservation Service (SCS-CN), che è frequentemente utilizzato per il calcolo diretto del deflusso superficiale per determinate piogge in bacini non delimitati (Muttharam et al., 1997). Tale metodo, validato da numerosi ed importanti studi per le applicazioni nel contesto geografico italiano, è stato introdotto dall'allora Soil Conservation Service (SCS), attualmente Natural Resource Conservation Service, ed è diventato di uso comune a metà degli anni Cinquanta. Il metodo SCS-CN, che stima la risposta idrologica "prima" e "dopo" gli eventi, è fondamentalmente empirico e fornisce una base coerente per stimare l'entità del deflusso in funzione dell'uso del suolo e della litologia.

Questo metodo si basa sulla semplificazione concettuale del processo idrologico assumendo che, in un evento di piena, il *volume di deflusso superficiale*,  $V$ , sia proporzionale alla *precipitazione* al netto dell'assorbimento iniziale del terreno,  $P_n = P - I_a$ , in ragione del rapporto tra *volume infiltrato nel terreno*,  $W$  e il *volume idrico effettivamente immagazzinato*,  $S$ , che caratterizza la *massima ritenzione potenziale* del terreno.

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

Le perdite iniziali del terreno possono essere stimate con la seguente:

$$I_a = \lambda S$$

Poiché l'assorbimento iniziale  $I_a$ , che rappresenta il volume specifico di pioggia che a priori non dà luogo a deflussi superficiali per effetto di complesse fenomenologie (quali l'imbibimento iniziale del terreno, l'intercettazione della vegetazione ed altri), è di stima assai problematica, tale rapporto è stato giustificato empiricamente sulla base di misurazioni in bacini di dimensioni inferiori a 10 acri, anche se esisteva una notevole dispersione nel grafico  $I_a - S$  risultante (SCS, 1985). NEH-4 (SCS, 1985) ha riportato che il 50% dei punti di dati si trovano all'interno del range  $0.095 \leq \lambda \leq 0.38$ , portando ad un valore standard di  $\lambda = 0.2$  (Ponce and Hawkins, 1996).

Nella detta ipotesi, posto che la pioggia netta si ripartisce tra il volume di deflusso superficiale e il volume invasato nel terreno  $P_n = V - W$ , il bilancio di massa consente di ottenere la relazione:

$$V = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Che definisce la stima del volume specifico di ruscellamento in funzione di quello di pioggia e di due parametri caratteristici del bacino: la capacità di assorbimento iniziale,  $I_a$ , e la massima ritenzione potenziale,  $S$ .

Per un certo stato iniziale di imbibimento del bacino al verificarsi dell'evento di pioggia, la massima ritenzione superficiale,  $S$ , dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori, la natura del terreno e l'uso del suolo; l'effetto combinato di questi due fattori viene rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN, legato a  $S$  dalla relazione:

$$S = S_0 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Dove:

- CN è un parametro adimensionale che rappresenta l'attitudine del terreno a generare deflusso e varia nel seguente range  $0 \leq CN \leq 100$ ;
- $S_0$  è una costante di scala, che riflette l'unità di misura adottata e che, per valori di S, V e P misurati in mm, è pari a 254 mm, ovvero 10 pollici.

Poiché il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena.

Lo stato di imbibimento viene espresso, in funzione di un indice di pioggia (ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento di piena)  $API_5$ ; a seconda del valore di  $API_5$  vengono individuate tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition) I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno: molto asciutto (<50 mm), standard (tra 50 e 110 mm) e molto umido (oltre 110 mm).

Noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, ossia  $CN_{II}$ , i valori relativi alle classi AMC I e III si valutano rispettivamente tramite le relazioni

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.38 - 0.0138 \cdot CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 \cdot CN_{II}}$$

Il valore di CN varia, a seconda sia delle caratteristiche idrologiche del suolo (in relazione alla permeabilità), sia della tipologia di uso del suolo stesso (copertura vegetale, grado di antropizzazione).

Tabella 5 - Gruppi di suolo in base alla capacità di assorbimento (Soil Conservation Service, 1972)

DEFINIZIONE	GRUPPO
<i>Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso.</i> Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.	A
<i>Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso.</i> Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi rispetto al gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.	B
<i>Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta.</i> Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.	C
<i>Potenzialità di deflusso molto elevata.</i> Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.	D

La variabilità spaziale del suolo porta alla valutazione a scala di bacino del valore medio di S, partendo dai singoli valori di S, a causa della relazione non lineare che intercorre tra S e CN. In particolare, la media della massima ritenzione potenziale S rispetto la media del CN è più corretta, in quanto il primo metodo è più razionale del secondo per ragioni di equilibrio idrico. Mishra e Singh (2003) hanno sottolineato che il deflusso calcolato con i due approcci di cui sopra si discosterebbe significativamente per un'ampia gamma di CN. In generale, il metodo CN pesato è meno dispendioso in termini di tempo, ma tende ad essere meno accurato rispetto all'effettivo deflusso misurato.

Per la trasformazione afflussi-deflussi, si è scelto di utilizzare il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo (IUH) del Soil Conservation Service.

Tale metodo utilizza, per ogni bacino, un tempo di ritardo o di lag, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto; ed il Curve Number calcolato in precedenza per la stima della pioggia efficace.

Il tempo di ritardo del bacino si calcola attraverso la formula di Mockus (SCS 1972):

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Dove:

- $s$  = pendenza del bacino espressa in %;
- $L$  = lunghezza dell'asta principale [km].

Poiché la precipitazione critica per il bacino è quella avente una durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$ , la durata dell'evento meteorico di riferimento  $t_p$  viene imposta pari a  $t_c$ .

Il SCS ha dedotto empiricamente che il rapporto tra il tempo di lag ed il tempo di corrivazione è pari a 0.6, quindi:

$$t_c = \frac{t_L}{0.6}$$

Possiamo calcolare, quindi, il tempo di accumulo come:

$$t_a = 0.5t_p + t_L$$

Per il calcolo della portata al colmo  $Q_p$  ( $m^3/s$ ) si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in  $m^3$ , ha la seguente espressione:

$$V_{TOT} = \frac{Q_p(t_a + t_e)}{2} = \frac{Q_p t_b}{2}$$

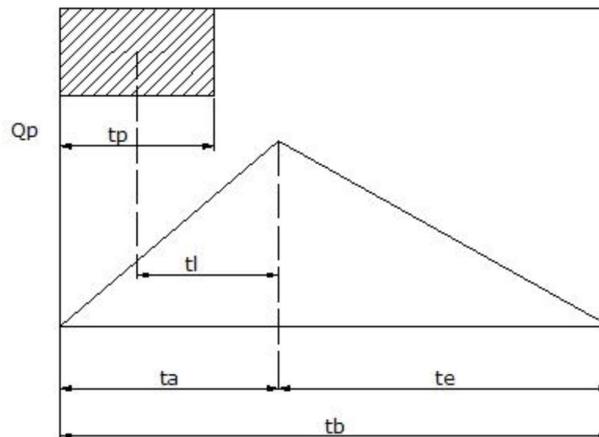


Figura 15 – Idrogramma di Mockus

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale  $V_{TOT}$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$ . Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo la pioggia netta  $P_n$  in mm, il tempo  $t_a$  in ore, l'area  $A$  del bacino in  $\text{km}^2$ , si ottiene:

$$0.375 \frac{Q_p}{2} (t_b) = \frac{Q_p}{2} (t_a)$$

Cioè:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Da cui sostituendo la precedente nell'espressione che lega volume e  $t_b$ , esprimendo il volume di deflusso  $V$  (precipitazione netta che defluisce dalla sezione di controllo) in mm, l'area del bacino in  $\text{km}^2$  e  $t_a$  in ore, si ottiene la portata al colmo in  $\text{m}^3/\text{s}$ :

$$Q_p = 0.208 \frac{V \cdot A}{t_a}$$

Tabella 6 – Risultati metodo Curve Number

Tr [anni]	30	200	500
S	79.16	79.16	79.16
CN <sub>II</sub>	76.24	73.06	73.06
CN <sub>III</sub>	88.18	86.32	86.32
S3	34.04	40.27	40.27
t lag	1.18	2.39	2.39
tc (ore)	1.96	3.98	3.98
h [mm]	105.37	181.7	218.4
h <sub>netta</sub>	73.26	146.4	182.3
t <sub>a</sub>	2.16	2.2	2.2
Q <sub>T</sub> [m <sup>3</sup> /s]	105.71	211.3	263.0

#### 4.1.3 Metodo HEC-HMS

Il software HEC-HMS è un sistema di modellizzazione idrologica progettato per descrivere le proprietà fisiche dei bacini idrografici, la meteorologia che si verifica su di essi e il deflusso risultante. Questo modello è prodotto dallo “Hydrologic Engineering Center” del US Army Corps of Engineers a Davis, CA, <http://www.hec.usace.army.mil/>.

Questo modello, sviluppato come descritto nel seguito, ha permesso la definizione della curva di precipitazione sul bacino, utilizzata per la modellazione idraulica.



Figura 16 - Geometria bacino HEC\_HMS

Come si vede dall'immagine il bacino calcolato dal software è leggermente più piccolo rispetto a quello tracciato manualmente che, a vantaggio di sicurezza, ingloba la parte alta dello stesso. I risultati però, come già detto, verranno usati per l'estrazione della curva di precipitazione; quindi, nella modellazione si assumerà che la pioggia ottenuta sia uguale anche nella parte di bacino qui esclusa. L'estensione del bacino è pari a 12.9 km<sup>2</sup>, quindi una riduzione di circa il 13.5%.

Per definire la portata di progetto sono stati ricostruiti gli ietogrammi sintetici lordi a partire dalle CPP, utilizzando il modulo *Meteorological Models* del modello HEC-HMS. Tra i metodi

proposti vi è la possibilità di considerare delle serie storiche di pioggia, registrate nelle stazioni pluviografiche ricadenti nell'area di studio, ovvero ricostruire ietogrammi sintetici a partire dai dati di altezze di pioggia di massima intensità e fissata durata registrati. Ai fini di quest'applicazione, il modello meteorologico scelto è il *Frequency Storm* che permette di ricostruire ietogrammi sintetici di progetto di tipo "Chicago" per fissato tempo di ritorno e fissata durata critica. Tale durata critica viene posta pari al tempo di corrivazione del bacino in esame.

I modelli di formazione del deflusso superficiale permettono di depurare lo ietogramma delle piogge lorde  $i(t)$  dagli effetti dell'intercettazione da parte della copertura vegetale, della detenzione superficiale nei piccoli invasi naturali, dell'infiltrazione del terreno e dell'effetto di saturazione dello stesso, per valutare l'intensità di pioggia netta  $p(t)$  che contribuisce al deflusso di piena. Per quanto riguarda la scelta del modello di formazione del deflusso di piena, questa è stata effettuata utilizzando il modulo *Loss methods – Initial and Constant* di HEC-HMS. Tale modulo offre la possibilità di scegliere tra i più comuni modelli di pioggia netta. La scelta è caduta su di un modello empirico a base fisica che si presta ad un utilizzo con dati spazialmente distribuiti: il metodo Curve Number (CN-SCS) del Soil Conservation Center (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972), descritto in precedenza.

Il calcolo dell'idrogramma di piena in ogni sezione di interesse è stato effettuato utilizzando il modulo *SCS Unit Hydrograph* del modello HEC-HMS. Il Peak Rate Factor scelto è il 250 di HEC-HMS, perché meglio approssima le portate. In questi casi l'unico dato di input è costituito dal tempo di ritardo (lag), variabile in funzione delle caratteristiche del corso d'acqua (lunghezza, pendenza, scabrezza) e della corrente.

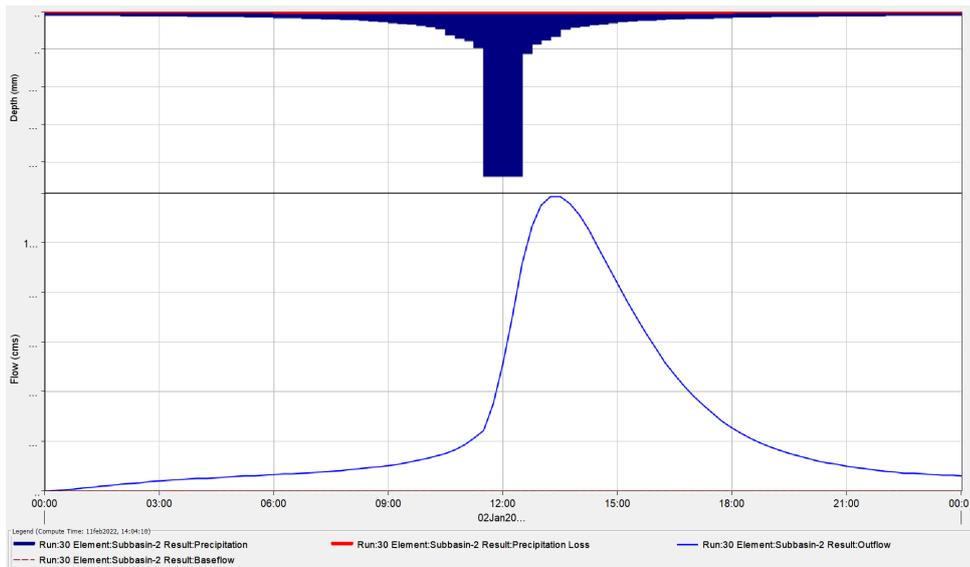


Figura 17 - Idrogramma di piena e di precipitazione Tr 30 anni

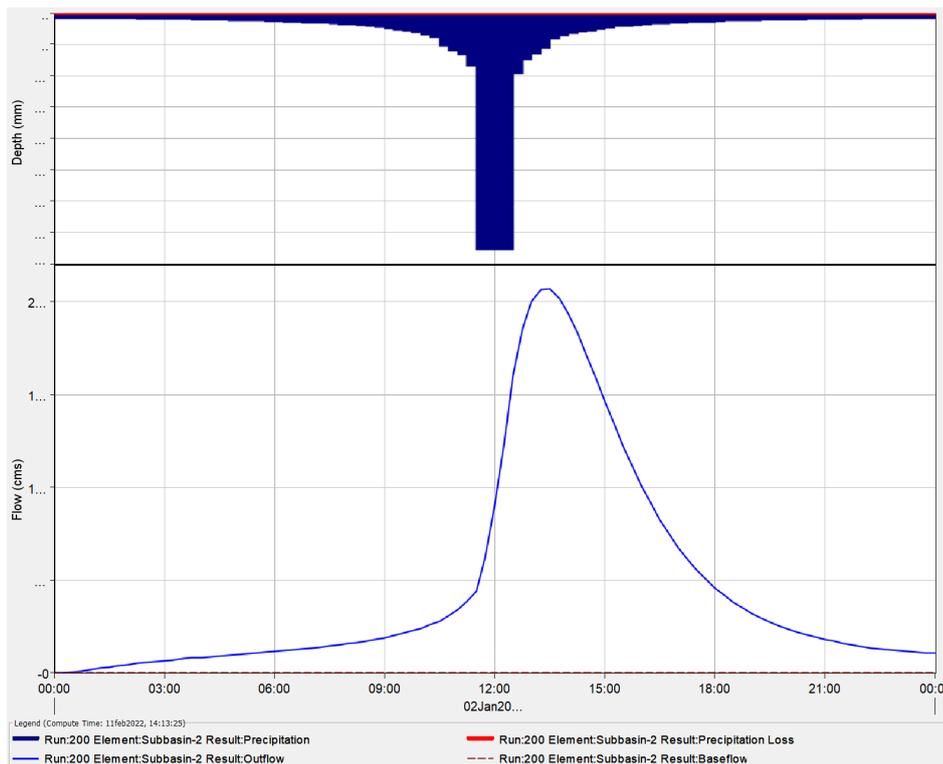


Figura 18 - Idrogramma di piena e di precipitazione Tr 200 anni

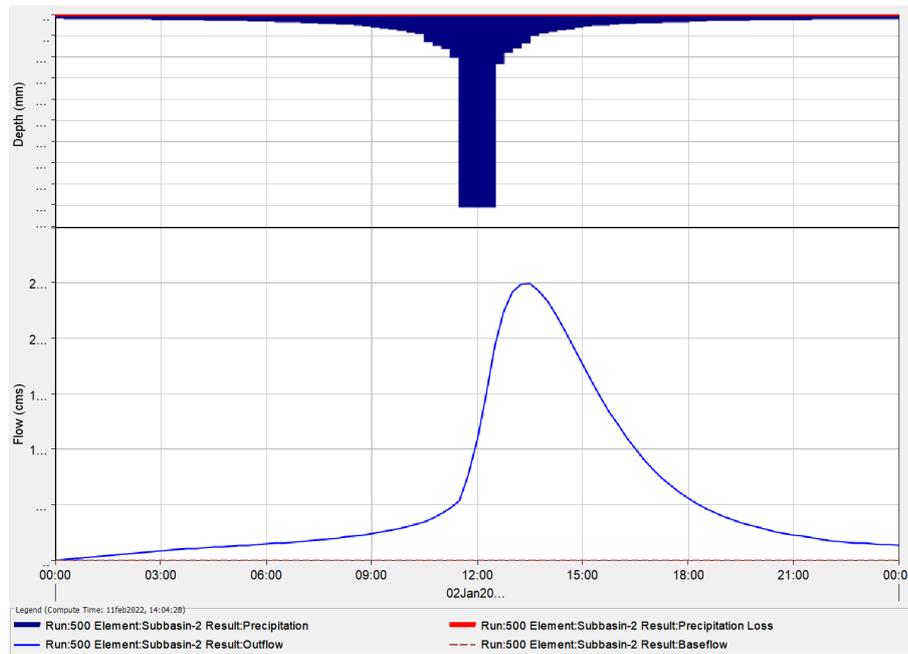


Figura 19 - Idrogramma di piena e precipitazione Tr 500 anni bacino 5

Confrontando i risultati con il modello Curve Number notiamo un buon adattamento dei massimi di portata, considerando anche che il bacino in HMS è leggermente più piccolo.

Tabella 7 – Confronto portate di picco

Metodo	Q <sub>30</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>200</sub> [m <sup>3</sup> /s]	Q <sub>500</sub> [m <sup>3</sup> /s]
SCS-CN	105.7	211.3	262.9
HEC-HMS	118.6	206.8	249.1

## 5 STUDIO IDRAULICO

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

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

### 5.1 Software HEC-RAS

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

#### 5.1.1 Codice di calcolo

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

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

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

Dove:

$Y_2, Y_1$  sono i tiranti idrici;

$Z_1, Z_2$  sono le quote geodetiche;

$V_1, V_2$  sono le velocità medie;

$\alpha_1, \alpha_2$  sono i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche;

$g$  è l'accelerazione di gravità;

$h_e$  è la perdita di carico totale nel tratto considerato.

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

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

con:

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

Dove:

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

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

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

con:

- K conveyance espressa in m<sup>3</sup>/s;
- n coefficiente di scabrezza di Manning espressa in m<sup>1/3</sup>/s;
- A area relativa al deflusso espressa in m<sup>2</sup>;
- R raggio idraulico espresso in m.

Il valore della conveyance viene calcolato per le singole sezioni di deflusso, ottenendo quindi un valore totale della stessa, come somma dei contributi di K<sub>rob</sub>, K<sub>lob</sub> e K<sub>ch</sub>.

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

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

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

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

1. Scelta di un valore di primo tentativo per la quota della superficie libera WS<sub>1</sub>, in corrispondenza della sezione di monte per correnti lente, o di valle per correnti veloci;
2. Calcolo a partire dal valore definito al punto 1, dei corrispondenti valori di conveyance totale e di altezza cinetica;
3. Stima di S<sub>f</sub> e soluzione dell'equazione delle perdite di carico per il calcolo delle perdite di carico totali h<sub>e</sub>;

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

### 5.1.2 Coefficiente di scabrezza

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

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

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

Il coefficiente di Manning è stato stimato partendo dalla carta d'uso del suolo "Corine Land Cover 2018" ed integrando con la conoscenza dei luoghi. Sono state determinate 8 aree a cui sono stati assegnati i rispettivi coefficienti sulla base dei valori ricavati dal manuale di HEC-RAS:

- Tessuto urbano discontinuo (cod. 112),  $n=0.016 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Seminativi in aree non irrigue (cod. 211),  $n=0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Uliveti (cod. 223),  $n=0.06 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Colture annuali associate a colture permanenti (cod. 241),  $n=0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ ;

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAMPO FOTOVOLTAICO

- Sistemi colturali e particellari permanenti (cod. 242),  $n=0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Aree occupate da colture agrarie con spazi naturali (cod. 243),  $n=0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Boschi di latifoglie (cod. 311),  $n=0.12 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- Corso d'acqua (cod. 511),  $n=0.08 \text{ s/m}^{1/3}$ .

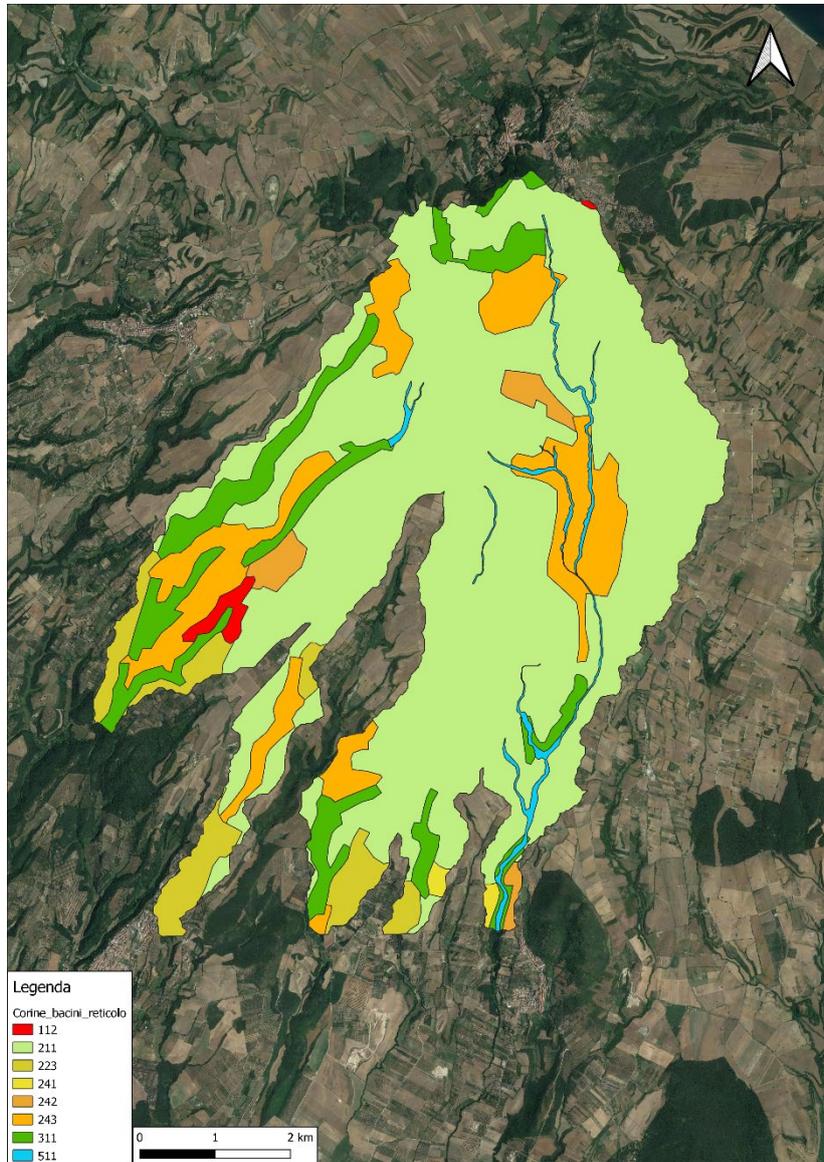


Figura 20 – Corine Land Cover 2018

## 5.2 Modellazione idraulica

La modellazione idraulica è stata effettuata per i tre tempi di ritorno assegnati ed è finalizzata all'individuazione delle altezze dei tiranti idrici e delle velocità per definire la pericolosità dell'area, come descritto dall'art. 7 NTA-PAI Lazio.

La simulazione usa come dato in input la precipitazione estratta dallo studio idrologico ottenuto dal software HEC-HMS per il bacino principale.

Data l'orografia del terreno con alvei poco incisi, si è scelto di effettuare una simulazione che ha come input la precipitazione sul bacino, anziché la classica portata massima in testa al reticolo.

Il risultato è stato verificato confrontando i grafici dei volumi dell'HEC-HMS e dell'HEC-RAS alla sezione di chiusura del bacino principale ed i risultati sono molto simili.

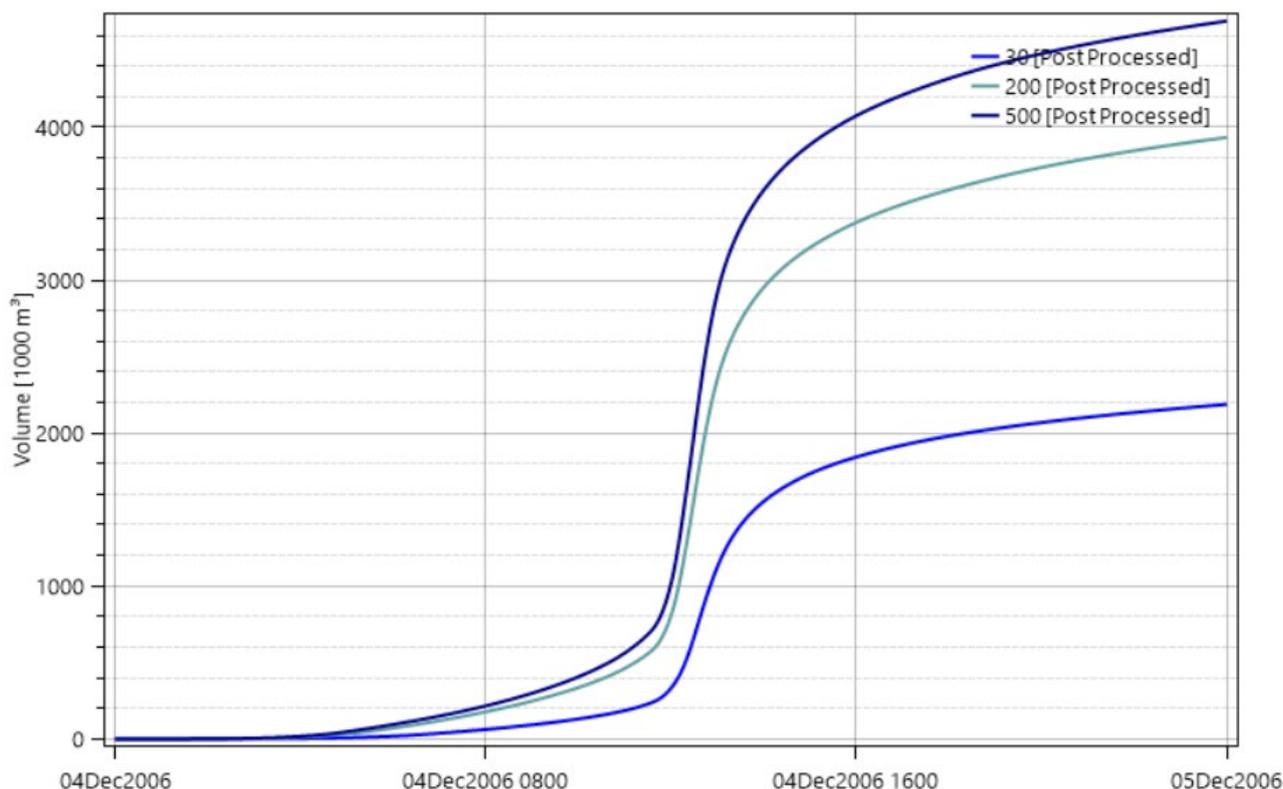


Figura 21 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC RAS

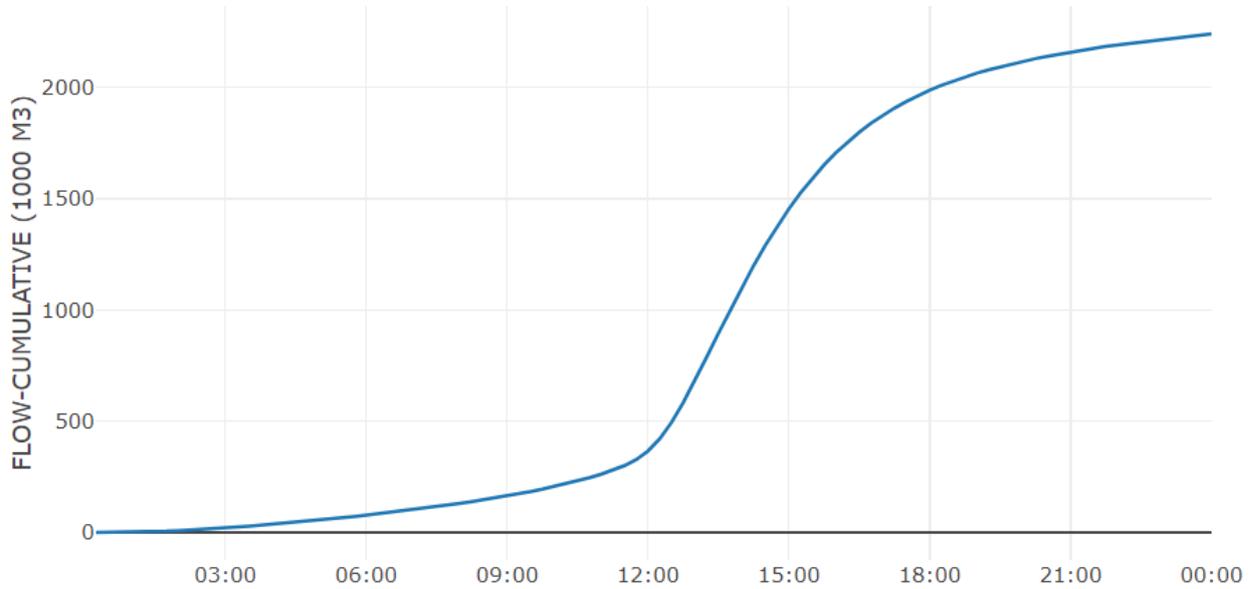


Figura 22 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC-HMS – Tr 30anni

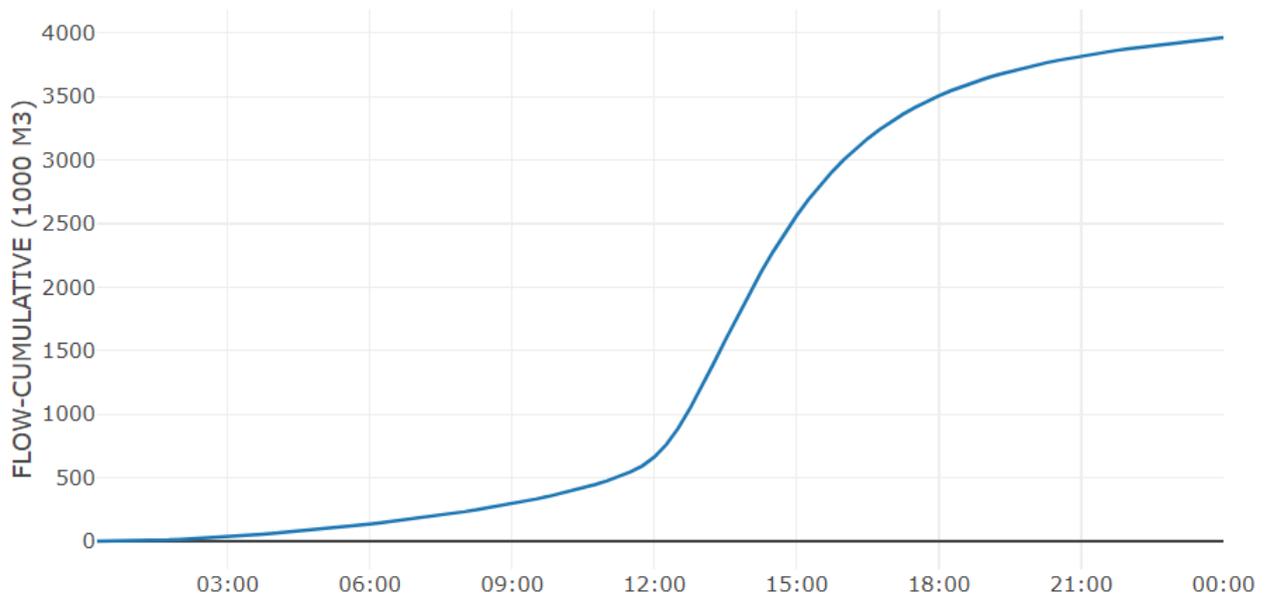


Figura 23 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC-HMS – Tr 200 anni

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN CAMPO FOTOVOLTAICO

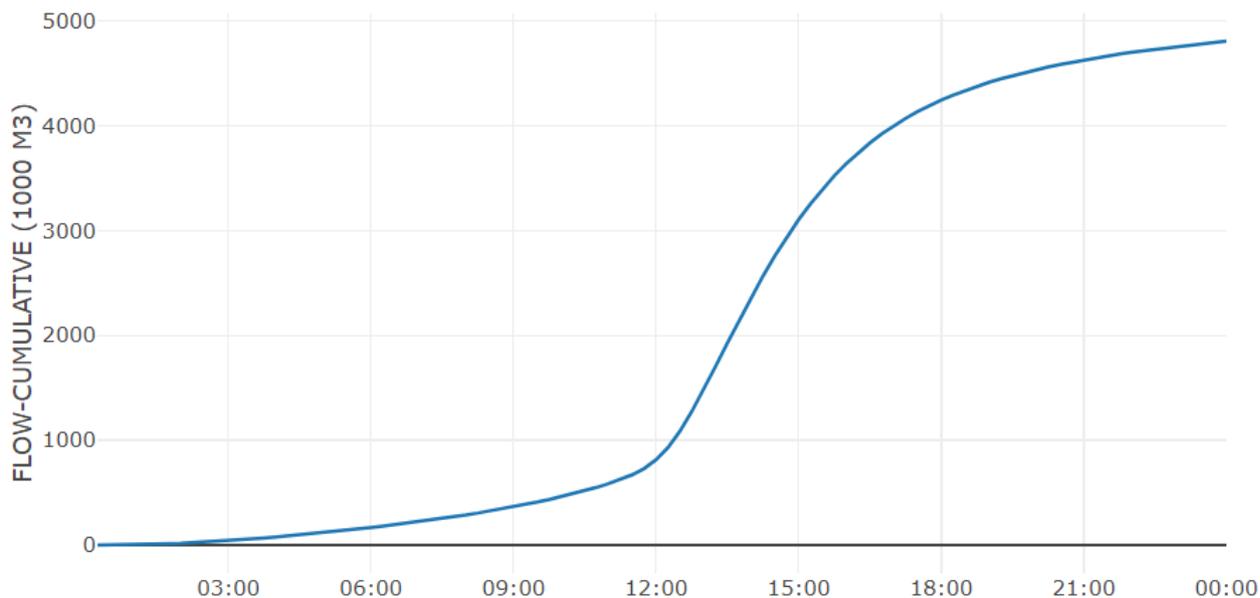


Figura 24 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC-HMS – Tr 500 anni

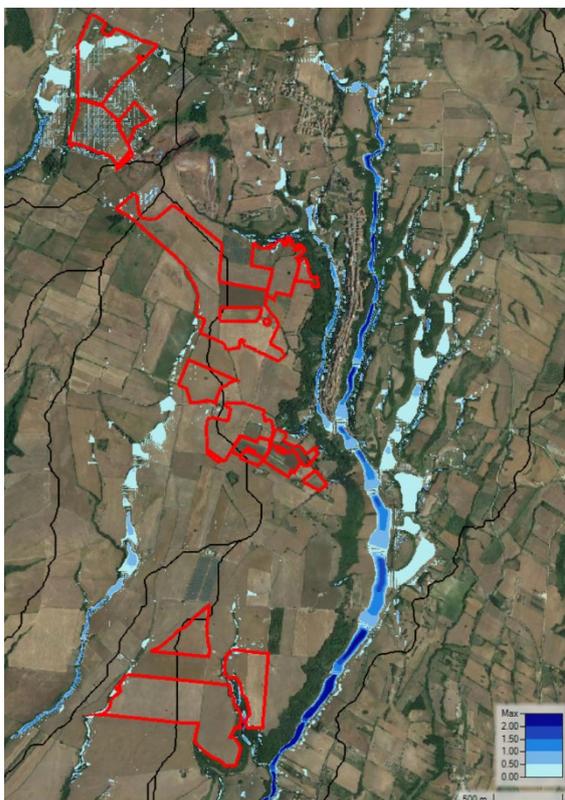


Figura 25 – Mappa delle altezze d'acqua - Tr 30

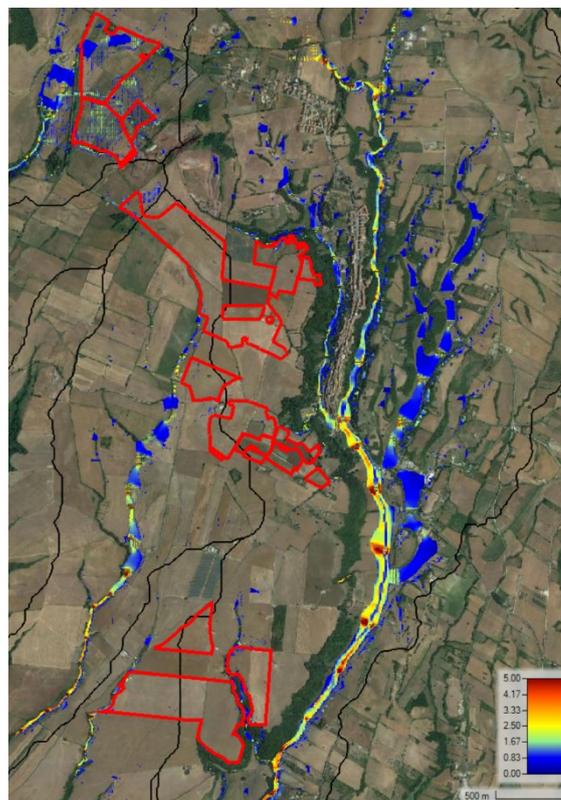


Figura 26 – Mappa delle velocità - Tr 30

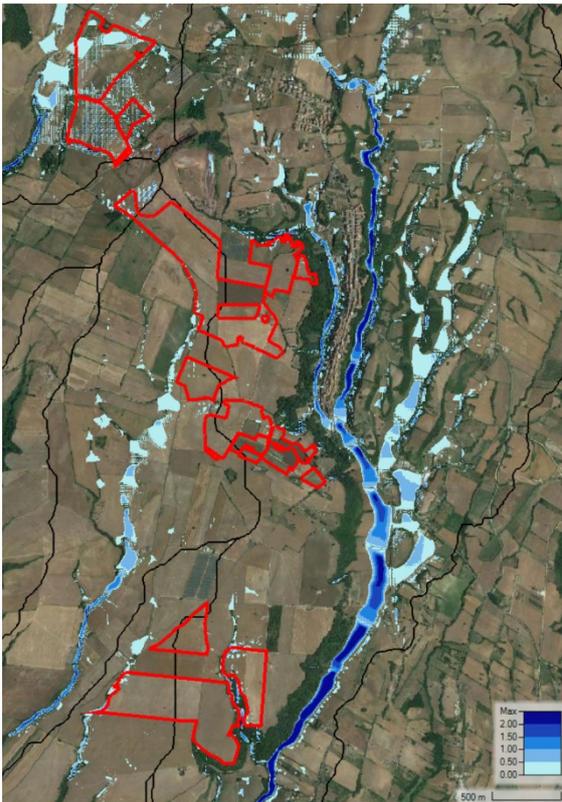


Figura 27 – Mappa delle altezze d'acqua-  
Tr 200

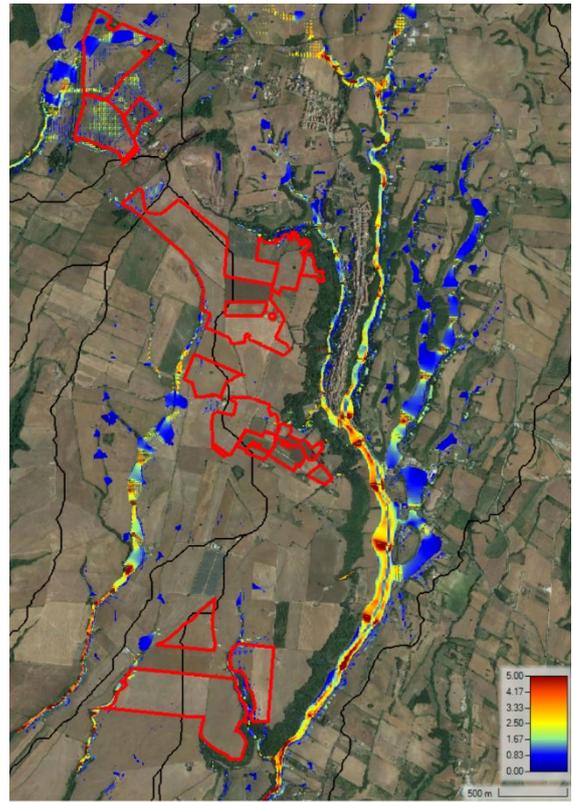


Figura 28 – Mappa delle velocità - Tr 200

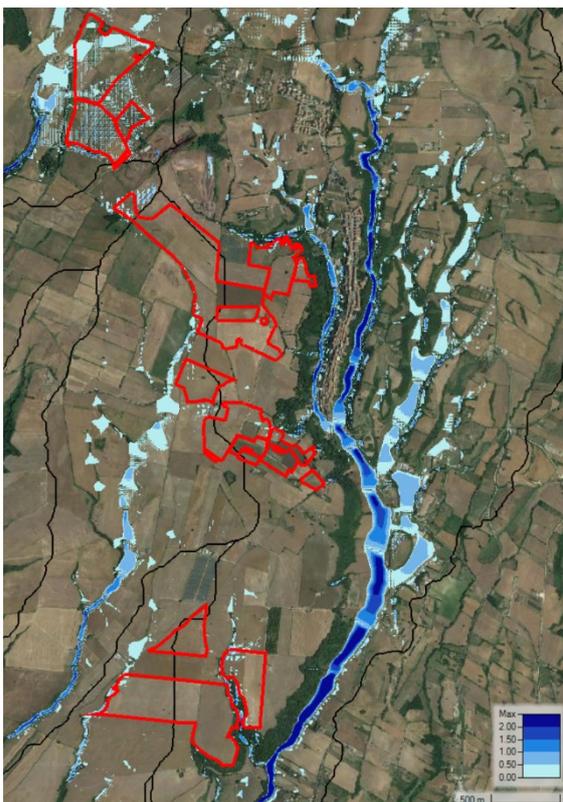


Figura 29 – Mappa delle altezze d’acqua - Tr 500

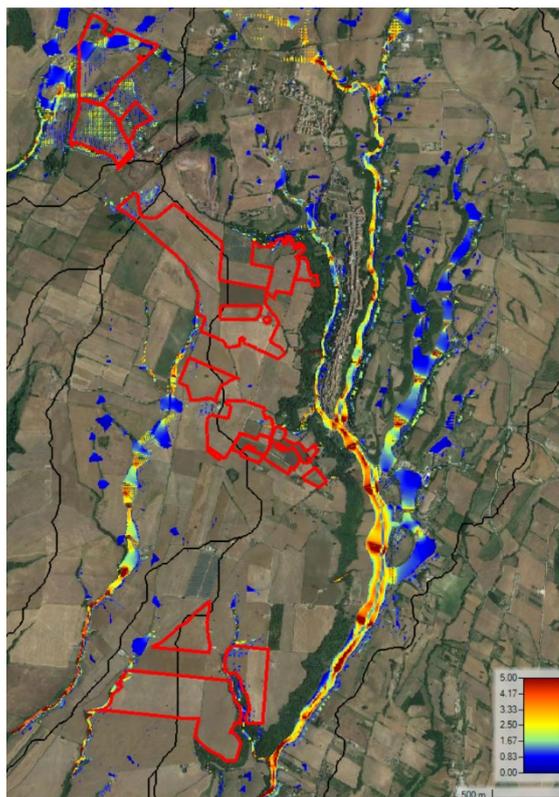


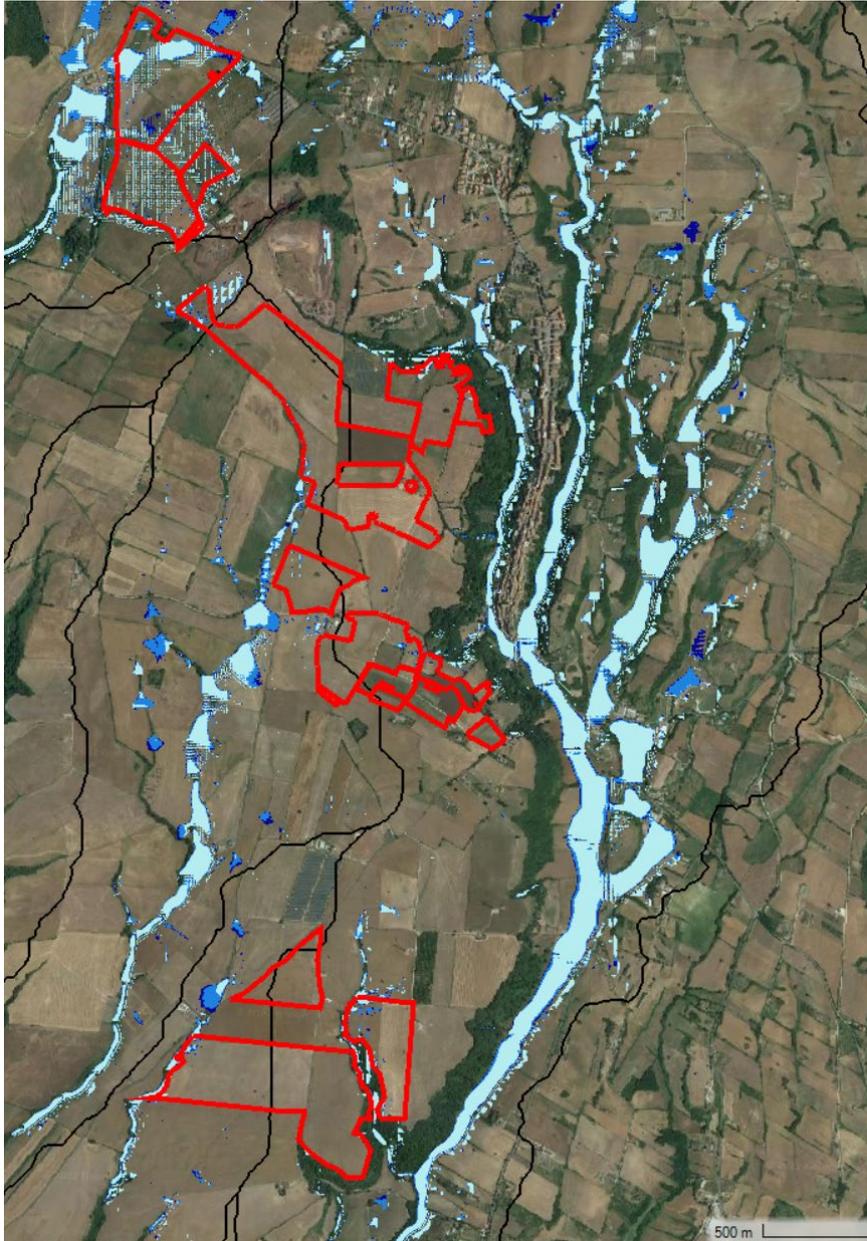
Figura 30 – Mappa delle velocità - Tr 500

### 5.3 Mappatura di pericolosità idraulica

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio.

Le NTA del PAI Lazio all’art 7 definiscono tre fasce di pericolosità di inondazione: A – B – C. Queste rappresentano la probabilità di inondazione dell’area che per la fascia A è definita alta, la B moderata e la C bassa. Infine, per identificarle, il criterio utilizzato è: fascia A se viene inondata per tempi di ritorno inferiori ai 30 anni, fascia B tra 30 e 200 anni e C tra 200 e 500 anni.

La mappa di pericolosità che ne deriva è stata classificata con colorazioni che vanno dall’azzurro chiaro per le altezze relative a TR30 fino al blu scuro per TR500.

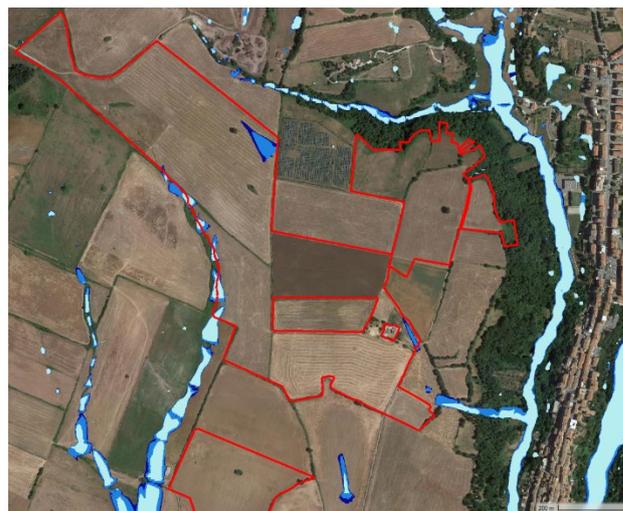


*Figura 31 – Mappatura della pericolosità idraulica*

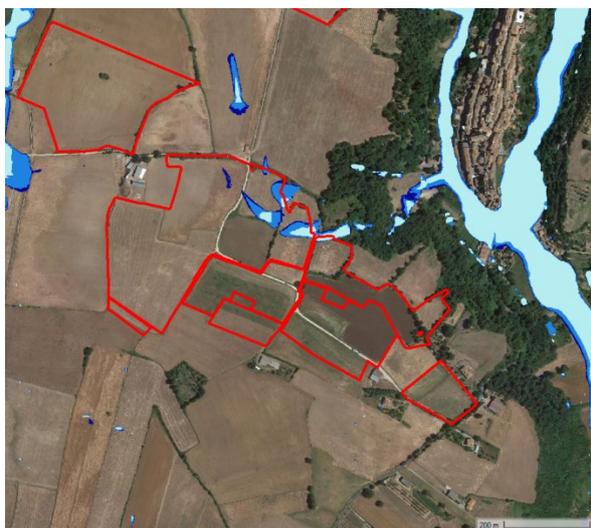
Per una più chiara visualizzazione dei risultati, le aree di impianto sono state divise in 4 sotto aree da nord verso sud.



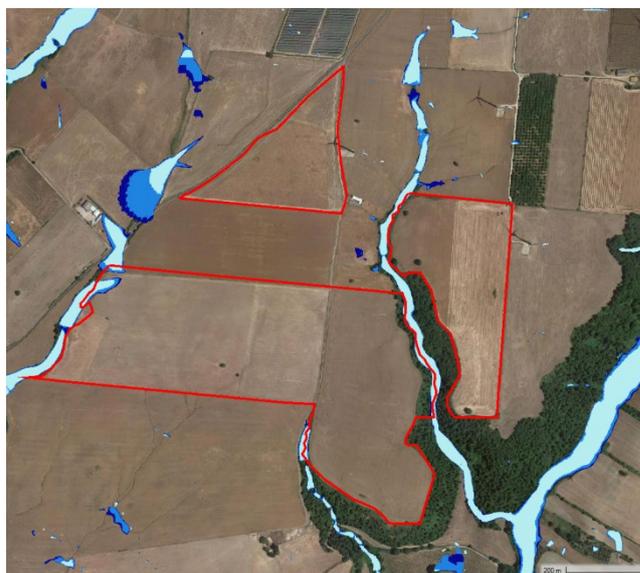
*Figura 32 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 1*



*Figura 33 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 2*



*Figura 34 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 3*



*Figura 35 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 4*

Come si vede la differenza tra l'esondazione trentennale e la cinquecentennale è molto limitata, quindi la maggior parte dell'allagamento tracciato andrebbe classificato come A1.

Risulta importante notare che alcune delle principali aree di alluvione non corrispondono a velocità di scorrimento elevate (minore di 0.5 m/s).

Per tale ragione si è scelto di valutare il danno associato alla presenza umana come indicato nella "Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e rischio", disponibile nel portale del Ministero dell'Ambiente tra le Linee Guida Italiane della direttiva alluvioni (<http://www.pcn.minambiente.it>).

In particolare, vengono riportati gli studi di Ramsbottom et al. (2004) e Penning-Rowsell et al. (2005) in cui si propone, per la definizione del danno sull'uomo, un'equazione semiquantitativa che lega un indice di pericolo da inondazione (Flood Hazard Rating) con l'altezza ( $h$ ) e la velocità dell'acqua ( $v$ ) oltre che con un fattore connesso alla quantità di sedimento trasportato (Debris Factor – DF) secondo la seguente:

$$Flood\ Hazard\ Rating = h(v + 0.5) + DF$$

Questa espressione viene proposta anche in "Flood Risks to People – Phase 2 – Guidance Document" (2006), secondo rapporto tecnico del progetto "Risks to People" del Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA) del Regno Unito. In tale studio vengono riportate le seguenti tabelle per la determinazione del grado di pericolo e per la definizione del Debris Factor.

Tabella 8 – Flood Hazard Rating – Classificazione dei gradi di pericolosità da inondazione

Flood Hazard Rating	Grado di pericolosità da inondazione	Descrizione
< 0.75	Basso	<b>Cautela</b> “Zone inondate da acque fluenti con basso tirante o da acque ferme ma profonde”
0.75 – 1.25	Moderato	<b>Pericolo per qualcuno (bambini)</b> “Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità”
1.25 – 2.5	Significativo	<b>Pericolo per la maggior parte delle persone</b> “Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso”
> 2.5	Estremo	<b>Pericolo per chiunque</b> “Zone inondate da acque profonde o ad elevata velocità di deflusso”

Tabella 9 – Debris Factor

h	Pascolo/Agrario	Bosco	Urbano
0 – 0.25m	0	0	0
0.25m – 0.75m	0	0.5	1
h > 0.75m e/o v > 2m/s	0.5	1	1

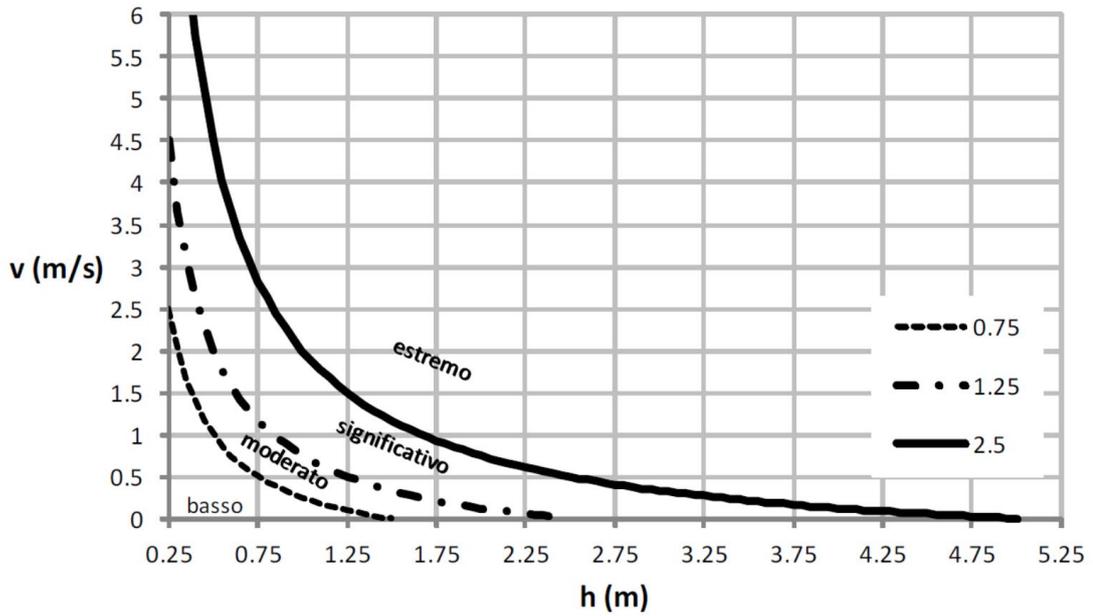


Figura 36 – Curva di pericolosità altezza – velocità

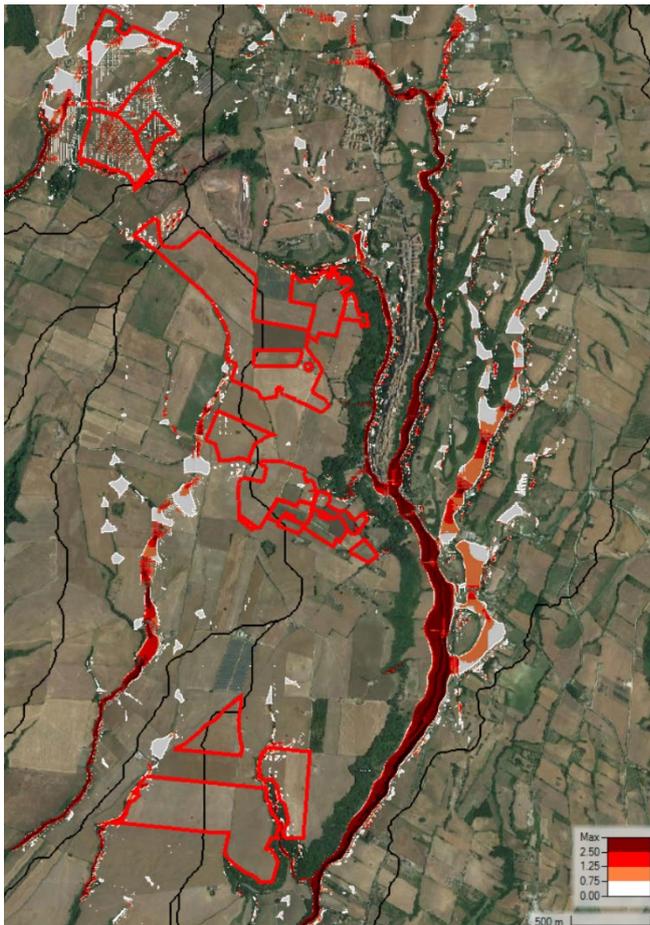


Figura 37 – Flood Hazard Rating



Figura 38 – Flood Hazard Rating – area 1



Figura 39 – Flood Hazard Rating – area 2

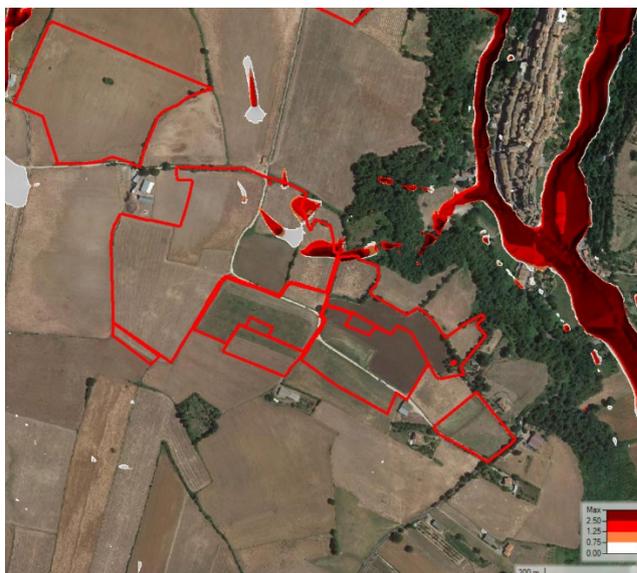


Figura 40 – Flood Hazard Rating – area 3

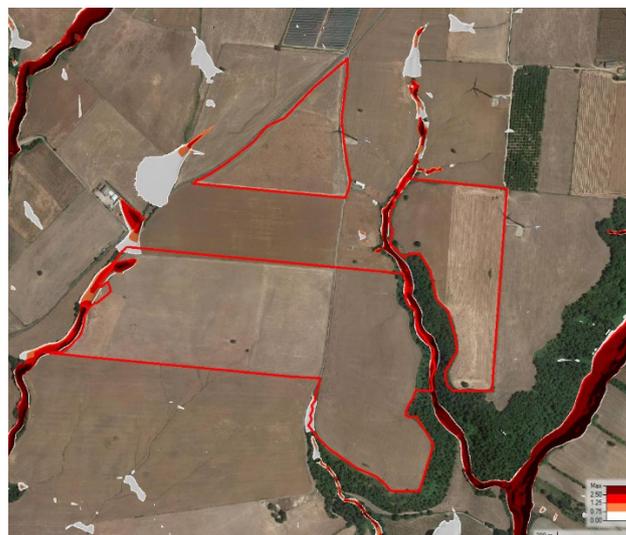


Figura 41 – Flood Hazard Rating – area 4

La mappatura mostra come le aree alluvionali principali restino esterne o limitrofe alle aree di impianto. L'area 1 che presenta l'estensione alluvionale più importante ha anche valori di Flood Hazard Rating bassi, quindi con moderata pericolosità per l'uomo.

In generale, per le aree di impianto che presentano fenomeni di alluvione si possono prevedere opere idrauliche quali canalette che regimentino e facilitino il deflusso superficiale. Tali opere, riducendo l'estensione degli allagamenti e quindi l'infiltrazione degli eventuali ristagni possono apportare effetti benefici anche nei confronti dei fenomeni franosi.

## 6 Invarianza idraulica

L'installazione di impianti fotovoltaici non comporta variazioni significative né della permeabilità dei terreni né del coefficiente di deflusso. Ciò è dovuto al fatto che le stringhe di pannelli da installare non rendono impermeabile il suolo, più di quanto non lo sia già in condizioni ante operam, poiché non si tratta di vera e propria urbanizzazione dove si creano superfici completamente impermeabili.

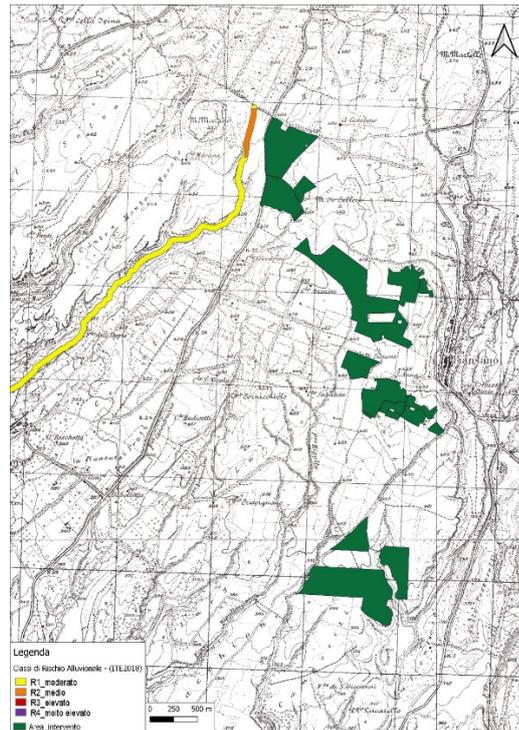
Ciò comporta che l'opera in progetto non crea incremento di deflusso superficiale delle acque o riduzione dell'infiltrazione, non alterando l'equilibrio idrologico ed idraulico, considerato che le stesse acque vengono drenate naturalmente nei fossi e negli impluvi naturali già esistenti.

Si evidenzia che la presenza delle strutture di progetto (stringhe di pannelli inclinati e posti ad una prestabilita altezza dal suolo) garantisce una protezione al consumo di suolo in termini di erosione, in quanto l'energia posseduta dalla pioggia zenitale viene dissipata nell'urto con i pannelli.

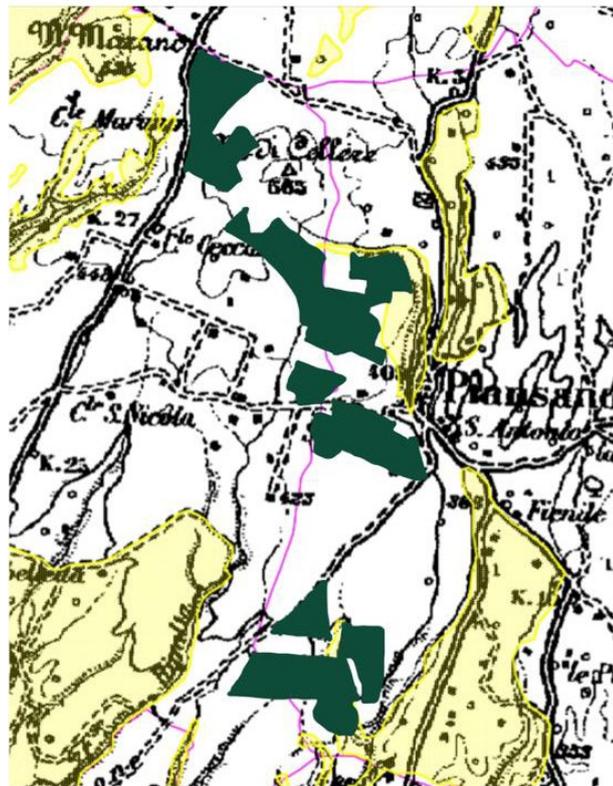
## 7 Conclusioni

L'area oggetto di studio interessa il comune di Cellere, provincia di Viterbo.

Quest'area non risulta perimetrata per la pericolosità e il rischio idraulico nel P.A.I. e nel P.G.R.A. vi è solo un ramo classificato a rischio R1-R2 che si trova ad una distanza dall'impianto di circa 120 metri.



Alcune aree ricadono in quelle perimetrare dal vincolo idrogeologico, quindi andrà richiesto il nulla osta e/o l'autorizzazione per la realizzazione dell'intervento.

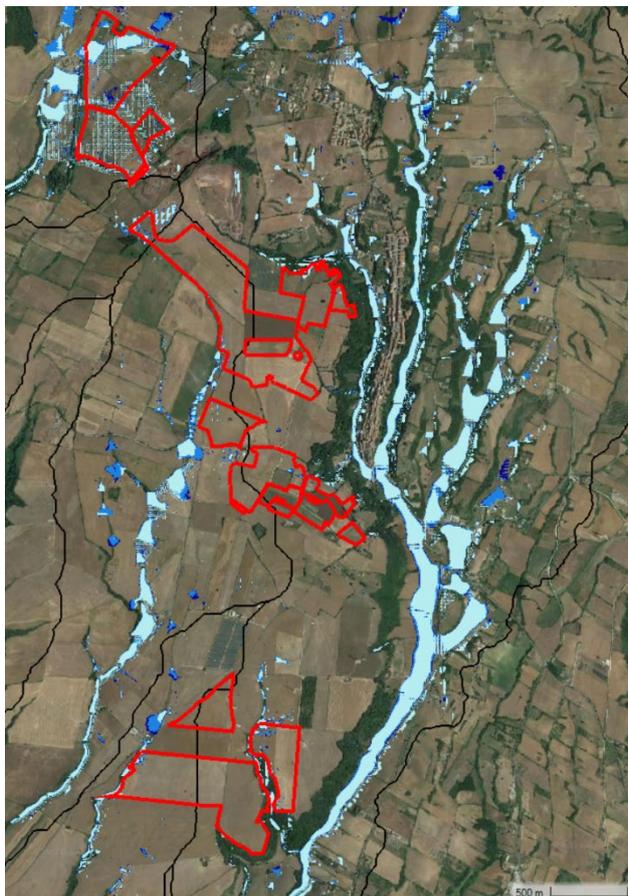


Tramite software GIS è stato possibile, utilizzando il Modello di Elevazione del terreno con precisione 5 metri per 5 metri, tracciare i bacini ed il reticolo idrografico dell'area in studio e ricavarne le caratteristiche geometriche.



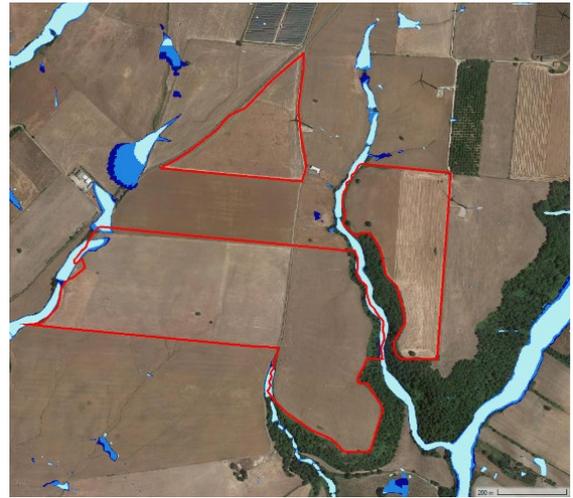
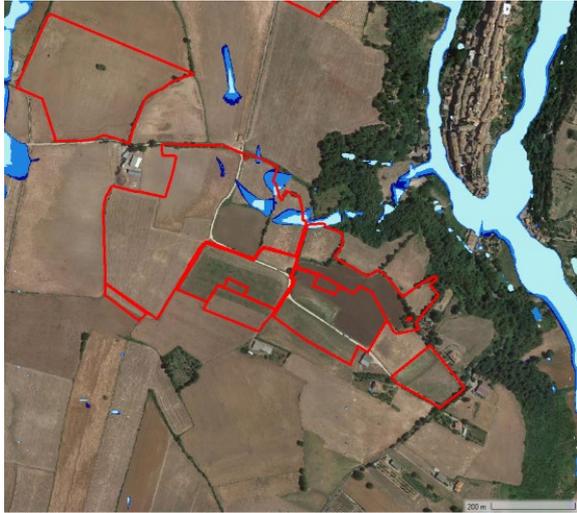


La mappa di pericolosità che ne deriva è stata classificata con colorazioni che vanno dall'azzurro chiaro per le altezze relative a TR30 fino al blu scuro per TR500.



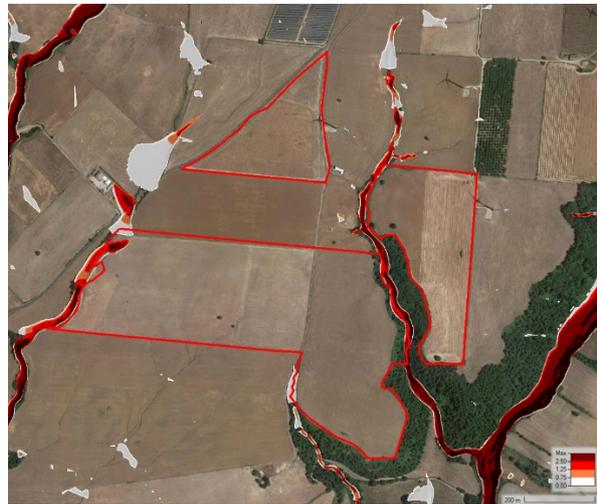
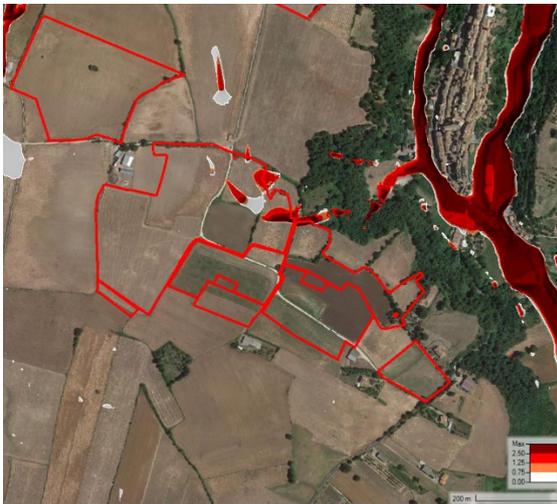
Per una più chiara visualizzazione dei risultati, le aree di impianto sono state divise in 4 sottoaree da nord verso sud.





Come si vede la differenza tra l'esondazione trentennale e la cinquecentennale è molto limitata; quindi, la maggior parte dell'allagamento tracciato andrebbe classificato come a pericolosità idraulica A1.

Risulta importante notare che alcune delle principali aree di alluvione non corrispondono a velocità di scorrimento elevate (minore di 0.5 m/s). Per tale ragione si è scelto di valutare il danno associato alla presenza umana come indicato nella "Proposta metodologica per l'aggiornamento delle mappe di pericolosità e rischio" presente sul sito del Ministero dell'Ambiente.



La mappatura mostra come le aree alluvionali principali restino esterne o limitrofe alle aree di impianto. L'area 1 che presenta l'estensione alluvionale più importante ha anche valori di Flood Hazard Rating bassi, quindi con moderata pericolosità per l'uomo.

In generale, per le aree di impianto che presentano fenomeni di alluvione si possono prevedere opere idrauliche quali canalette che regimentino e facilitino il deflusso superficiale. Tali opere, riducendo l'estensione degli allagamenti e quindi l'infiltrazione degli eventuali ristagni possono apportare effetti benefici anche nei confronti dei fenomeni franosi.

In conclusione, si ritiene che con adeguate opere di sistemazione idraulica, mantenendo una adeguata distanza fra le aree a rischio e le opere, si possa realizzare l'impianto. Nelle due aree perimetrate sarà necessario, quindi, mantenere una distanza tra l'impianto e le aree alluvionali non inferiore a 15 metri per lato e realizzare degli interventi di mitigazione volti a favorire il deflusso superficiale. La distanza di 15 metri tra le opere ed i canali è funzionale anche ad una agevole manutenzione degli alvei. Risultano essenziali gli interventi di manutenzione dei canali, in modo da consentire una adeguata sezione idraulica, oltre che l'opportuna scabrezza.

Dovranno essere previsti percorsi alternativi per il personale, tali da consentire, in caso di piena, un rapido e sicuro allontanamento dall'area che non intersechi il reticolo idrografico e le aree di allagamento. Un'ulteriore misura di salvaguardia può essere quella di prevedere piantumazioni erbacee permanenti sottostanti le stringhe di pannelli, che garantiscano un'ulteriore protezione del suolo contro i fenomeni di erosione.

In merito all'invarianza idraulica, l'intervento previsto non comporta una variazione significativa né di permeabilità dei terreni né del coefficiente di deflusso. Ciò è dovuto al fatto che le stringhe di pannelli da installare non rendono impermeabile il suolo, più di quanto non lo sia già in condizioni ante operam, poiché non si tratta di vera e propria urbanizzazione dove si creano superfici completamente impermeabili. Si evidenzia che la presenza delle strutture di progetto (stringhe di pannelli inclinati e posti ad una prestabilita altezza dal suolo) garantisce una protezione al consumo di suolo in termini di erosione, in quanto l'energia posseduta dalla pioggia zenitale viene dissipata nell'urto con i pannelli.

CG Associati s.r.l.s  
architettura ingegneria geologia

Il tecnico

Ing. Claudio Grillo

Indice delle figure

Figura 1 – Inquadramento generale .....	4
Figura 2 – Particolare localizzazione aree di intervento .....	5
Figura 3 - Mappatura pericolosità idraulica P.A.I. ....	8
Figura 4 – Mappatura Classi di Rischio Alluvione P.G.R.A.....	9
Figura 5 – Mappatura Pericolosità Alluvione P.G.R.A. ....	10
Figura 6 - Vincolo idrogeologico – Estratto dal SIT di Viterbo.....	11
Figura 7 – Bacini idrografici .....	13
Figura 8 – Differenze con il reticolo ufficiale .....	14
Figura 9 – Incisioni da mappa satellitare .....	15
Figura 10 – Bacino modificato .....	16
Figura 11 – Bacino idrografico con DTM 5x5.....	17
Figura 12 – Direzione di flusso .....	18
Figura 13 – Sottostazione omogenea.....	21
Figura 14 – Curva di possibilità pluviometrica Bacino .....	23
Figura 15 – Idrogramma di Mockus .....	28
Figura 16 - Geometria bacino HEC_HMS.....	30
Figura 17 - Idrogramma di piena e di precipitazione Tr 30 anni.....	32
Figura 18 - Idrogramma di piena e di precipitazione Tr 200 anni.....	32
Figura 19 - Idrogramma di piena e precipitazione Tr 500 anni bacino 5.....	33

Figura 20 – Corine Land Cover 2018 .....	38
Figura 21 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC RAS.....	39
Figura 22 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC-HMS – Tr 30anni.....	40
Figura 23 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC-HMS – Tr 200 anni.....	40
Figura 24 – Grafico dei volumi estratto dal software HEC-HMS – Tr 500 anni.....	41
Figura 25 – Allagamento Tr 30 .....	41
Figura 26 – Allagamento Tr 30 .....	41
Figura 27 – Allagamento Tr 200 .....	42
Figura 28 – Allagamento Tr 200 .....	42
Figura 29 – Allagamento Tr 500 .....	43
Figura 30 – Allagamento Tr 500 .....	43
Figura 31 – Mappatura della pericolosità idraulica .....	44
Figura 32 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 1 .....	45
Figura 33 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 2 .....	45
Figura 34 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 3 .....	45
Figura 35 – Mappatura della pericolosità idraulica – area 4 .....	45
Figura 36 – Curva di pericolosità altezza – velocità.....	48
Figura 37 – Flood Hazard Rating.....	48
Figura 38 – Flood Hazard Rating – area 1.....	49
Figura 39 – Flood Hazard Rating – area 2.....	49

Figura 40 – Flood Hazard Rating – area 3..... 49

Figura 41 – Flood Hazard Rating – area 4..... 49

## 8 Indice delle tabelle

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche del bacino.....	18
Tabella 2 – Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita $K_t$ .....	22
Tabella 3 – Altezze di pioggia Bacino.....	22
Tabella 4 – Parametri caratteristici della CPP Bacino .....	22
Tabella 5 - Gruppi di suolo in base alla capacità di assorbimento (Soil Conservation Service, 1972) .....	26
Tabella 6 – Risultati metodo Curve Number .....	29
Tabella 7 – Confronto portate di picco.....	33
Tabella 8 – Flood Hazard Rating – Classificazione dei gradi di pericolosità da inondazione .....	47
Tabella 9 – Debris Factor .....	47