



# FOTOVOLTAICO CAVA RIANO

COMUNI DI RIANO (RM) e ROMA

## PROGETTO DEFINITIVO

**Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 387/2003 per un impianto fotovoltaico di superficie pari a 48,6 ha costituito da tracker monoassiali, strutture fisse e strutture su parete (37,6 MWp) presso la ex cava di tufo in località "Quadro" nel Comune di Riano (RM) con cavidotto e SEU nel Comune di Roma**

CODICE ELABORATO:

R.3

TITOLO ELABORATO:

Relazione Idraulica

SCALA:

-

FORMATO:

A4

PROPONENTE:

**CAVA SOLAR s.r.l.s.**  
Via Salari, 12 Montalto di Castro CAP 01014 (VT)  
C.F. e P.IVA 02417800568  
mail [cavasolar.srls@legalmail.it](mailto:cavasolar.srls@legalmail.it)

AMMINISTRATORE UNICO

**Lopez Francesch Jordi**

PROGETTISTA:

**Studio Santi**  
Innovation in Energy  
We support the Sustainable Development Goals CERTIFIED ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001  
**Studio Santi srl con socio unico**  
Via Latina n. 57 - 00058 Santa Marinella (RM)  
[www.studiosanti.eu](http://www.studiosanti.eu) - [info@studiosanti.eu](mailto:info@studiosanti.eu)  
tel +39 0766 53 68 98

Ing. Federico Santi  
Ordine degli Ingegneri di Roma N. A20930

**iride**  
Istituto per la Ricerca e l'Ingegneria Dell'Ecosostenibilità

**Istituto I.R.I.D.E. Srl**  
Via Cristoforo Colombo 163 - 00147 Roma  
[www.istituto-iride.com](http://www.istituto-iride.com) - [iride@pec.istituto-iride.com](mailto:iride@pec.istituto-iride.com)  
Tel +39 06 51606033

Ing. Mauro Di Prete  
Ordine degli Ingegneri di Roma N. A14624

REV.	DATA	STATO	PREPARATO	RIESAMINATO	APPROVATO
00	28-03-2024	PRIMA EMISSIONE	R. SBARRA	Fra. CASTELLANI	F. SANTI

Questo documento o parte di esso non può essere riprodotto, salvato, trasmesso, riutilizzato in altri progetti in alcuna forma sia essa elettronica, meccanica, fotografica senza la preventiva autorizzazione di Studio Santi srl. Le informazioni contenute nel presente documento sono da intendersi valide limitatamente all'oggetto del documento stesso. Altre informazioni sono da ritenersi non valide ai fini dell'esecuzione. Le informazioni riportate nel presente documento non sono da intendersi "shop drawing" e pertanto l'esecutore delle opere dovrà verificare in campo quanto necessario per l'acquisto dei materiali.

---

## Sommario

1	PREMESSA.....	2
2	NORMATIVE DI RIFERIMENTO .....	3
3	DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
4	CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO .....	5
4.1	ASSETTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	5
4.2	ASSETTO IDROLOGICO DELL'AREA.....	7
4.3	USO DEL SUOLO .....	9
5	DETERMINAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO .....	11
5.1	PIOGGE DI DURATA INFERIORE AD UN ORA.....	16
5.2	DETERMINAZIONE DELLE PIOGGE NETTE .....	17
6	VALUTAZIONE IDRAULICO – IDROLOGICA DEL PROGETTO .....	19
6.1	IMPATTO DELLE OPERE .....	19
6.1.1	Rack e Tracker.....	19
6.1.2	Viabilità interna e manufatti accessori .....	21
7	PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE .....	22
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI .....	22
7.2	CUNETTE DRENANTI.....	23
7.3	TRINCEE DRENANTI .....	24
8	CONCLUSIONI .....	26

## 1 PREMESSA

Vengo trattati di seguito gli aspetti idrologici ed idraulici relativi ad un campo fotovoltaico a terra, da realizzare all'interno di una cava di tufo non più in esercizio, sita nel Comune di Riano (RM).

L'area oggetto di intervento è ubicata a sud dell'abitato di Riano e fa parte di una serie di cave di tufo site in località "QUADRO ALTO – PIAN DELL'OLMO".

Lo studio idrologico e idraulico è stato condotto analizzando il reticolo idrografico dell'area di intervento e del bacino idrografico di cui fa parte, tenendo in considerazione i seguenti elementi per la verifica della compatibilità idraulica delle opere:

1. Analisi delle condizioni idrologiche attuali;
2. Analisi dell'interazione delle opere da realizzare con l'assetto idrologico dell'area;
3. Individuazione delle criticità idrauliche ed idrogeologiche;
4. Definizione delle opere idrauliche e di mitigazione da realizzare.

Nell'immagine seguente è individuata l'area di intervento.



*Immagine 1 Immagine satellitare con individuazione dell'area di intervento.*

## 2 NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Si riporta di seguito l'elenco delle principali normative di settore prese in considerazione per lo sviluppo del presente studio.

1. DIRETTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO del 23 ottobre 2007 relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni.
2. D.Lgs. 23/02/2010, n. 49 – “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni”.
3. LEGGE 28 dicembre 2015, n. 221 Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali.
4. Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 -Norme in materia ambientale.
5. LEGGE 18 maggio 1989, n. 183 Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
6. DELIBERA n°20 del 20/12/2019 della conferenza istituzionale permanente dell'autorità di bacino distrettuale dell'appennino centrale.
7. “Piano stralcio per l'assetto idrogeologico” (PAI), predisposto dall'Autorità dei Bacini Regionali e delle relative “Norme di Attuazione”.
8. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio, approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale del Lazio n. 17 del 4 Aprile 2012 (B.U.R.L. n. 21 del 7 Giugno 2012 – supplemento ordinario n. 35)
9. P.T.Q. - “Piano per la Tutela Quantitativa - Individuazione e classificazione delle aree a regime idraulico e idrologico alterato. Linee di intervento e provvedimenti” approvato con Delibera di Giunta Regionale 1317/03 e DGR 445/09.

### 3 DESCRIZIONE DEL PROGETTO

Il progetto prevede la realizzazione di un campo fotovoltaico a terra, connesso alla Rete Elettrica Nazionale, e delle relative opere accessorie.

La configurazione plano-altimetrica del sito e le sue particolari caratteristiche morfologiche, hanno portato allo sviluppo di una soluzione progettuale che prevede l'impiego delle tre distinte tipologie di strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici come di seguito indicate:

- Tracker: strutture dotate di un sistema ad inseguimento che consente di variare l'angolo di tilt dei moduli fotovoltaici;
- Rack: strutture con angolo di tilt fisso (non sono presenti parti mobili).
- Strutture su funi: i moduli fotovoltaici sono ancorati a funi di acciaio fissate nel terreno mediante strutture metalliche.

I Tracker saranno utilizzati nelle zone in cui le pendenze del terreno sono modeste, i rack invece saranno utilizzati dove le pendenze e l'orientamento sono tali da non consentire il corretto funzionamento degli inseguitori, infine le strutture su funi saranno utilizzate per installare i moduli sui fronti di cava (pendenze quasi verticali) e in generale sulle zone con forti pendenze del terreno.

## 4 CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

### 4.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

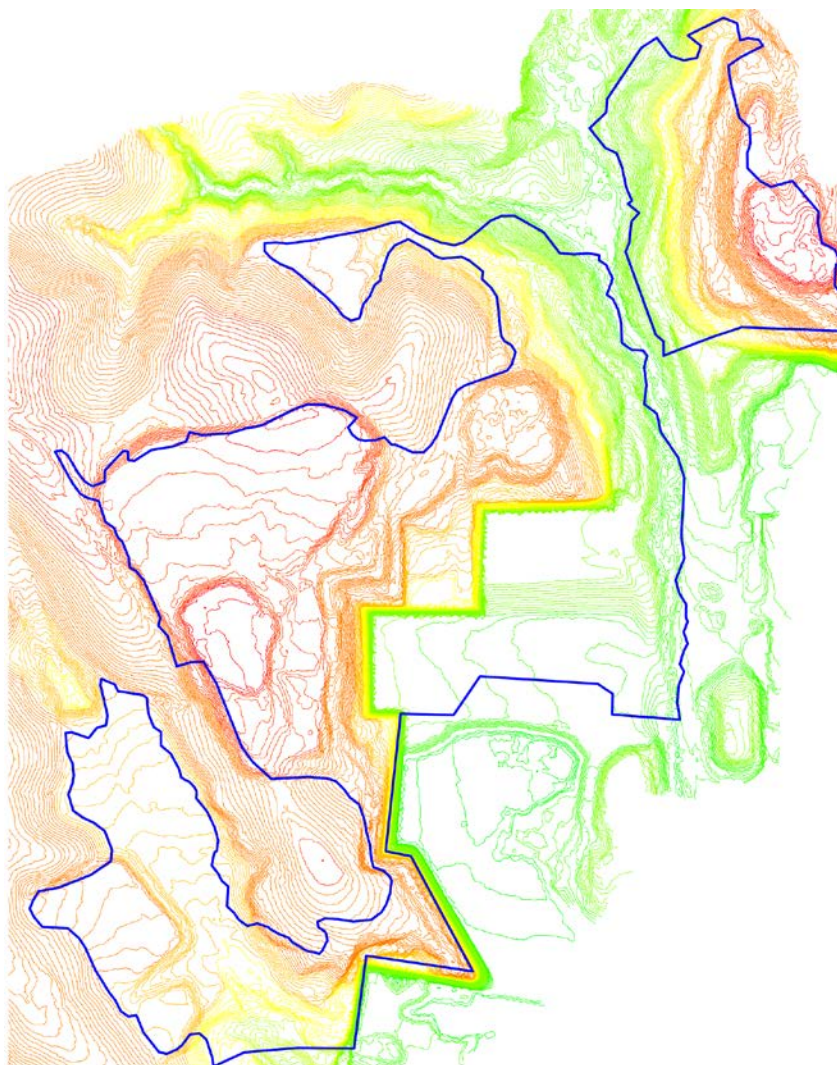
L'assetto geomorfologico attuale del sito è fortemente caratterizzato dall'attività estrattiva esercitata negli ultimi decenni, che è stata tale da modificare quasi totalmente l'assetto naturale originario.

La coltivazione della cava ha portato alla realizzazione di una serie di fronti di scavo con andamento sub verticale con altezze che raggiungono i 50 metri. Questi, dalle verifiche effettuate, risultano essere stabili e non soggetti a fenomeni franosi attivi.

Il fondo cava è invece caratterizzato dalla presenza di riporti dello spessore di circa 30 metri posti sopra il piano di sfruttamento della cava e livellati in modo da formare una serie di terrazzamenti.

Sono presenti riporti significativi anche nella parte nord del sito con un andamento del piano campagna più eterogeneo.

Nell'immagine seguente è riportato il rilievo topografico dell'area di intervento dal quale si possono notare i fronti di cava sub verticale e le zone di riporto poste a sud e a nord di questi.



*Immagine 2 Rilievo topografico dell'area di intervento.*

**R.3 - Relazione Idraulica**

Il sito di intervento ha una quota che va da 57 m s.l.m. dei piazzali, fino ad una quota di circa 140 m s.l.m. della parte nord a monte dei fronti di cava. L'andamento plano altimetrico della parte a nord dei fronti di cava risulta essere caratterizzato da pendenze generalmente modeste che aumentano rapidamente andando verso il perimetro del lotto e verso i fronti di cava stessi.

La parte a sud dei fronti di cava ha un andamento a gradoni con andamento pianeggiante e scarpate di collegamento.

La determinazione della quota della falda è stata condotta facendo riferimento a studi bibliografici e a indagini in sito. In primo luogo, si è analizzata la cartografia del Piano di Stralcio PS5 dell'EX Autorità di Bacino del Fiume Tevere secondo cui, la falda principale nella zona in esame, è posta ad una quota di circa 60 m s.l.m. È stata quindi condotta una misura diretta della quota di falda in un pozzo posto in prossimità dell'area di intervento, che ha dato una quota di falda di 45 m s.l.m. nel mese di gennaio 2024.

Sulla base di quanto detto in precedenza, si può dedurre che tutte le zone del lotto sono al di sotto della zona di falda, anche se non è da escludere, per le zone a quota più bassa a sud dei fronti di cava, un eventuale risalita della falda fino alla quota del piano campagna, dovuta a fenomeni di oscillazione della falda. Per ovviare a tale problematica nelle si prevede di realizzare in queste zone un sistema interrato di drenaggio e allontanamenti delle acque di falda eventualmente affioranti.

La cartografia del P.A.I. – Fiume Tevere individua sull'area di intervento delle zone classificate come "Area con orlo di scarpata di frana – fenomeno presunto" poste in corrispondenza delle creste dei fronti di cava; mentre nella parte nord – ovest viene segnalata una zona con presenza di una "frana complessa-fenomeno attivo". In quest'ultima zona non saranno installati moduli fotovoltaici.



Immagine 3 Stralcio PAI – Fiume Tevere.

## 4.2 ASSETTO IDROLOGICO DELL'AREA

L'area di intervento ricade all'interno del bacino idrografico del fosso Fontanalarga, un piccolo affluente in destra idraulica del fiume Tevere.

Il Piano di Gestione delle Acque (PGA) e il Piano Gestione Rischio Alluvioni della Regione Lazio (PGRA) ricomprendo l'area di intervento all'interno dei seguenti Sub Bacini:

- **Sub bacino PGA:**
  - o Nome: Fiume Tevere 3
  - o Codice (WFD2000/60) IT12N010\_TEVERE3\_14SS5D
  - o Area (kmq) 384,5
  - o Bacino prioritario Tevere (corso principale)
- **Sub bacino PGRA:**
  - o Nome: Bacino Medio Tevere dal Farfa a Castel Giubileo
  - o Codice: AO3\_3.1\_4
  - o Area (kmq): 723,8
  - o Bacino prioritario: Tevere

Nell'immagine seguente è individuato il reticolo idrografico dell'area di intervento e delle zone limitrofe.



Immagine 4 Reticolo idrografico dell'area.

Le principali caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico del fosso di Fontanalarga sono riportate di seguito:

- Superficie: 7,91 kmq;



**R.3 - Relazione Idraulica**

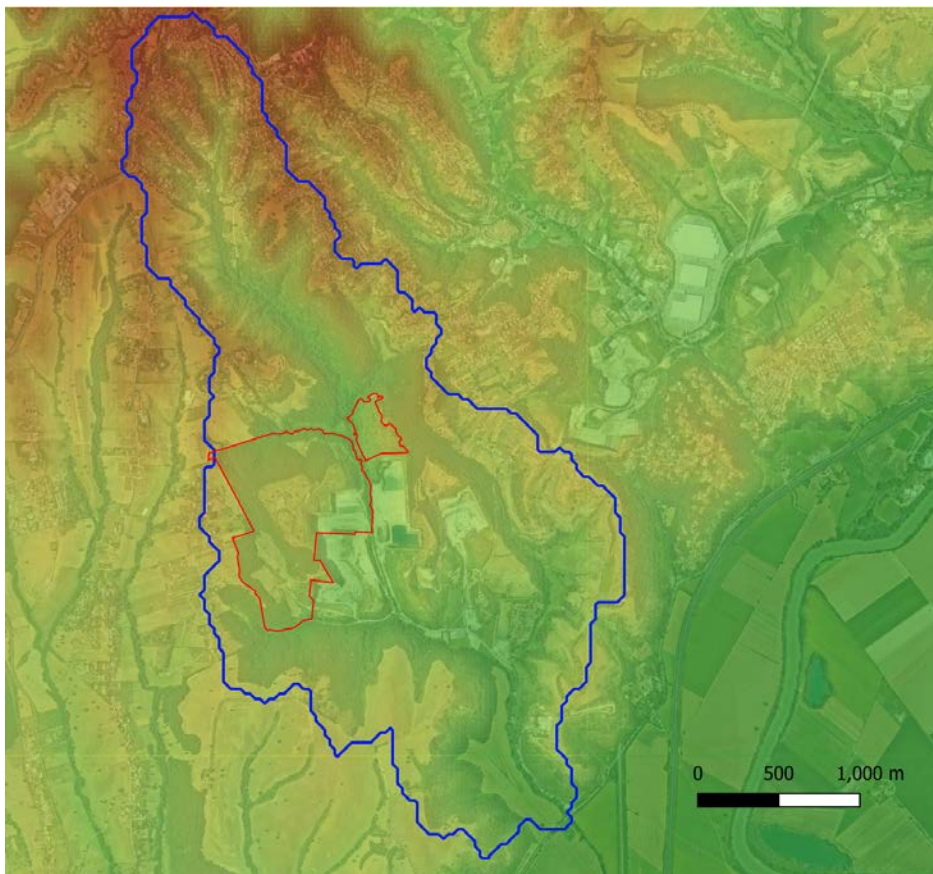
- Perimetro: 18,61 km;
- Quota minima: 26,2 m s.l.m.;
- Quota massima: 231,3 m s.l.m.;
- Quota media: 112,6 m s.l.m..

Utilizzando i dati indicati sopra è stato ricavato il tempo di corrivazione del bacino di Fontanalarga tramite la formula seguente:

$$T_c = \frac{4 \sqrt{A} + 1.5 L}{0.8 \sqrt{H_m}}$$

Tale espressione fornisce un tempo di corrivazione  $T_c$  di 2,60 ore.

Nell'immagine seguente è riportato il perimetro del bacino idrografico del fosso di Fontanalarga su base DEM con risoluzione di 20 m.



*Immagine 5 Perimetrazione del Bacino Idrografico del Fosso Fontanalarga.*

### 4.3 USO DEL SUOLO

L'area di intervento è stata suddivisa in due lotti separati, dal fosso di Fontanalarga, e denominati Lotto A e Lotto B.

Il lotto B, il più esteso dei due, è caratterizzato dalla presenza di boschi (aree non interessate dall'installazione dei moduli fotovoltaici) e zone assimilabili ad arbusteti e/o cespuglieti. La parte di fondo è pressoché priva di vegetazione, visto il susseguirsi di lavorazioni di riporto e livellamento di terreno che sono state effettuate negli ultimi anni.

Il lotto A è caratterizzato, per la quasi totalità, da un uso del suolo assimilabile ad arbusteti e/o cespuglieti e per una parte marginale destinato a boschi.

La carta d'uso del suolo dell'area di intervento è riportata nell'immagine seguente.

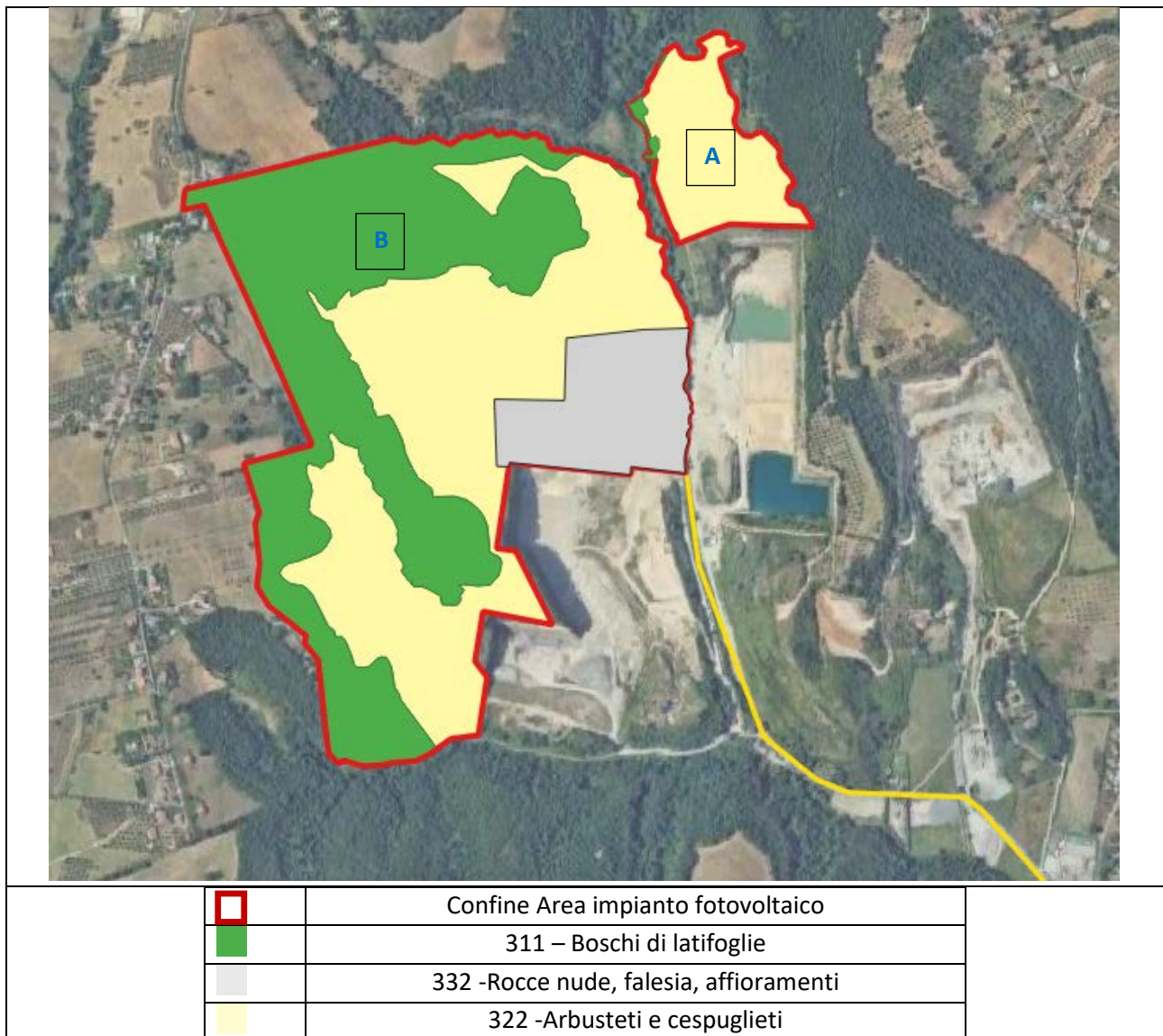


Immagine 6 Carta uso del suolo dell'area di intervento.

**R.3 - Relazione Idraulica**

Nella tabella seguente è riportato l'uso del suolo dettagliato per i vari lotti che costituiscono l'area di intervento.

<b>LOTTO</b>	<b>Uso del suolo</b>	<b>Area (ha)</b>
<b>A</b>	311 – Boschi di latifoglie	0,188
	321 – Aree a pascolo e praterie d'alta quota	7,42
<b>B</b>	311 – Boschi di latifoglie	33,73
	322 – Arbusteti e cespuglieti	32,76
	332 – Rocce nude, falesie, affioramenti	8,26

*Tabella 1 Dettaglio dell'uso del suolo dell'area di intervento.*

## 5 DETERMINAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

I parametri idrologici dell'area oggetto di intervento sono stati ricavati utilizzando la procedura indicata nel Progetto VAPI (VALutazione Piene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, sviluppato dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche.

La metodologia utilizzata nel progetto VAPI per determinare i parametri idrologici di un sito, si basa sulla regionalizzazione dei parametri idrologici e si articola in tre fasi distinte:

- nella prima fase sono stati regionalizzati i massimi annuali delle piogge giornaliere;
- nella seconda la regionalizzazione è stata estesa alle relazioni intensità-durata-frequenza;
- nella terza fase, infine, si è proceduto alla regionalizzazione delle portate di piena.

Per garantire l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati a livello nazionale, nel progetto VAPI è stato utilizzato un modello regionale del tipo TCEV, modificato al terzo livello di regionalizzazione attraverso l'introduzione di un modello a tre parametri per la valutazione delle piogge intense. Tale modello è basato sulla distribuzione dei valori estremi del tipo a due componenti (TCEV1), che rappresenta la distribuzione del massimo valore di una mistura di due popolazioni costituite da:

- una componente base contenente i valori medi e bassi
- una componente straordinaria, contenente i valori più elevati.

In questo modo è possibile utilizzare variabili anche fortemente asimmetriche, che difficilmente le distribuzioni usuali riescono a rendere.

Per l'area oggetto di intervento si ritiene sia possibile utilizzare una legge di distribuzione della probabilità delle massime altezze di pioggia giornaliera  $h_d$ , del tipo TCEV, espressa nella forma:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1 e^{-\frac{h_d}{\mu_{hd}} \beta}} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\frac{h_d}{\theta_* \mu_{hd}} \beta}$$

Dove si è indicato con:

- $h_d$ : massima altezza di pioggia giornaliera;
- $\mu_{hd}$ : valore medio delle massime altezze di pioggia giornaliera;
- $\Lambda_*$  e  $\theta_*$ : sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione di probabilità;
- $\Lambda_1$ : è un parametro che, insieme ai due parametri riportati al punto precedente, determina il coefficiente di variazione;
- $\beta$ : è un coefficiente funzione dei tre parametri precedenti.

Il metodo VAPI è stato sviluppato su tre livelli di regionalizzazione successivi. Al primo livello di regionalizzazione non è stato possibile identificare un'unica regione omogenea rispetto al coefficiente di asimmetria. Il territorio è stato quindi suddiviso in tre regioni omogenee, definite:

- 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 propaggini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i

**R.3 - Relazione Idraulica**

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 ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

Nella tabella seguente sono riportati i valori regionali dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ .

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

Tabella 2 parametri di primo livello di regionalizzazione.

Al secondo livello di regionalizzazione sono state considerate le stesse tre regioni individuate al primo livello con l'ipotesi che ciascuna fosse omogenea anche rispetto al coefficiente di variazione. I valori regionali dei parametri  $\Lambda_1$  e  $\beta$  sono riportati nella tabella seguente.

REGIONE	A	B	C
$\Lambda_1$	29.314	22.017	27.806
$\beta$	4.480	4.359	5.301

Tabella 3: parametri secondo livello di regionalizzazione.

Invertendo l'equazione precedente, per ogni assegnato tempo di rito T, è possibile determinare i fattori di crescita  $K_T$ .

T [anni]	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
KT(SZOA)	0,89	1,22	1,49	1,84	1,97	2,29	2,45	2,98	3,52	4,23	4,77
KT(SZOB)	0,96	1,25	1,45	1,64	1,70	1,83	1,89	2,07	2,26	2,51	2,70
KT(SZOC)	0,90	1,29	1,59	1,90	2,01	2,22	2,32	2,64	2,96	3,38	3,70

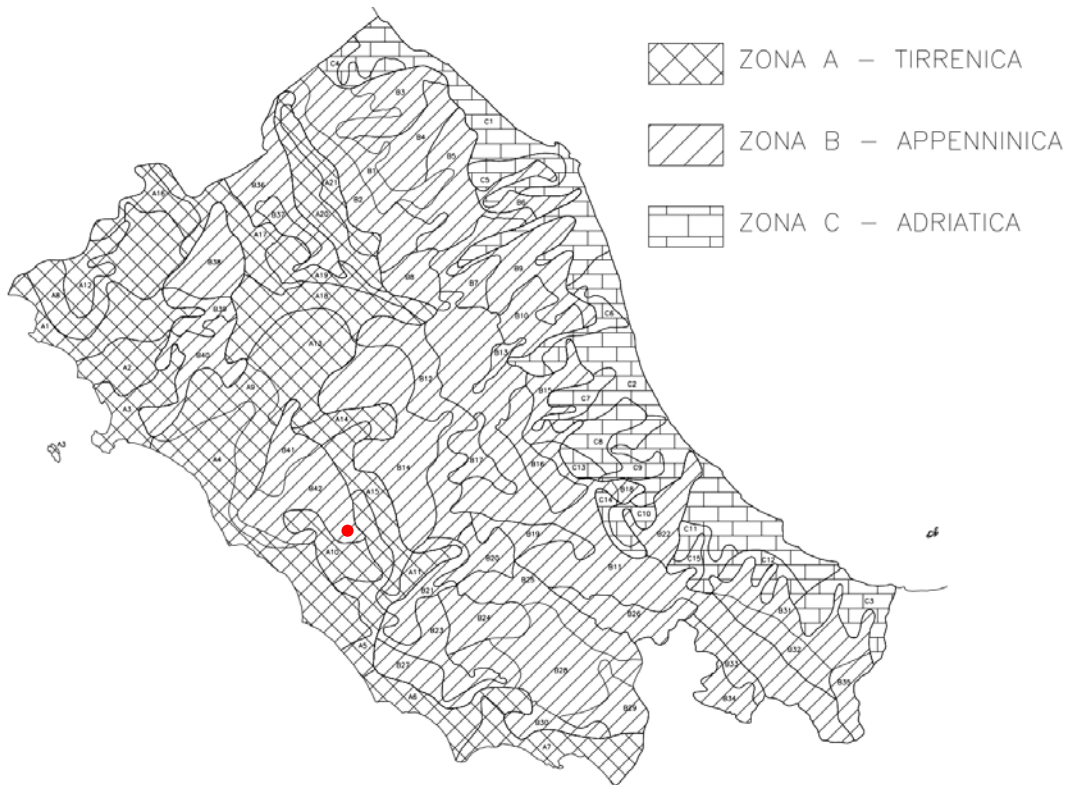
Tabella 4: fattori di crescita.

Al terzo livello di regionalizzazione sono state individuate delle zone omogenee in cui è accettabile l'ipotesi che la media del massimo annuale dell'altezza giornaliera  $\mu_{hd}$ , che prende il nome di pioggia indice, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione:

$$\mu_{hd} = cz + d$$

I parametri c e d non assumono unico valore per l'intera regione esaminata, ma sono caratteristici delle aree pluviometriche omogenee (APO). Sono state individuate 78 APO, in cui i parametri della regressione assumono valori diversi.

Nell'immagine seguente viene riportata la suddivisione in zone e sottozone dell'Italia Centrale con indicata la localizzazione dell'area di intervento.



*Immagine 7 Individuazione delle sottozone omogenee dell'Italia Centrale.*

Per le piogge brevi il progetto VAPI utilizza un modello probabilistico basato sull'ipotesi che la curva di crescita relativa ai massimi valori delle piogge giornaliere, sia utilizzabile anche per rappresentare la distribuzione di probabilità dei coefficienti probabilistici di crescita dei massimi annuali delle piogge di durata inferiore. Questo consente di utilizzare gli stessi valori  $K_T$  calcolati per le piogge giornaliere variando esclusivamente la procedura per determinare la pioggia indice per le piogge brevi (durata compresa tra 1 e 24 ore). Infatti, il terzo livello di regionalizzazione per le piogge di massima intensità e breve durata è stato sviluppato a partire dalla legge intensità-durata-frequenza a tre parametri, come di seguito illustrato.

Per la determinazione dell'intensità di pioggia si è fatto riferimento alla legge Intensità – Durata – Frequenza (IDF) la cui espressione è riportata di seguito.

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b + t)^m}$$

Dove si è indicato con:

- $T$ : tempo di ritorno;
- $t$ : durata della pioggia critica;
- $b$ : parametro di deformazione della scala temporale indipendente sia dal tempo  $t$  che dal periodo di ritorno  $T$ ;
- $m$ : parametro adimensionale compreso tra 0 e 1 indipendente sia da  $t$  che da  $T$ ;
- $a(T)$ : è un parametro dipendente esclusivamente dal tempo di ritorno.

L'equazione può essere anche esplicitata nella forma:

$$i_t(T) = i_0(T) \left( \frac{b}{b+t} \right)^m$$

Dove  $i_0(T)$  è l'intensità istantanea per un determinato tempo di ritorno T. La pioggia indice è quindi data dalla media dei valori di  $i_t$ .

$$\mu_{i_t} = \mu_{i_0} \left( \frac{b}{b+t} \right)^m$$

Per ricavare tali parametri sono state fatte le seguenti ipotesi:

- A. l'intensità di pioggia media di 24 ore è proporzionale all'intensità media giornaliera:

$$\mu_{i_{24}} = \delta \cdot \mu_{i_d}$$

Con  $\delta$  costante e pari a 1.15

- B. il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area, da cui si ricava per ciascuna zona omogenea il coefficiente di trasformazione temporale:

$$b = \frac{1 - 0.0833 \cdot r^{1/m}}{r^{1/m} - 1}$$

- C. sulle zone omogenee identificate per i massimi giornalieri dell'anno, l'intensità istantanea media è dipendente dalla quota z del sito secondo la relazione:

$$\frac{\mu_{i0}(z)}{\overline{\mu_{i0}}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\overline{\mu_{hd}}}$$

- D. l'esponente m ed il parametro di trasformazione temporale b sono indipendenti dal tempo di ritorno T.

I parametri che compaiono nelle equazioni riportate sopra sono tabellati in funzione della sottozona di interesse.

Come si può osservare dall'Immagine 7 Individuazione delle sottozone omogenee dell'Italia Centrale., l'area oggetto di intervento ricade all'interno della sottozona omogenea B42.

**R.3 - Relazione Idraulica**

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati di seguito per la determinazione delle curve di caso critico relative all'area oggetto di intervento.

PRIMO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE ZONA B	$\Lambda^*$	0.762
	$\Theta^*$	1.241
SECONDO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE ZONA B	$\Lambda_1$	22.02
	$\beta$	4.359
TERZO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE SOTTOZONA B42	c	0.02237
	d	71.2
	b	0.1279
	m	0.719
	$\mu_{i0} / \mu_{i24}$	43.29

Tabella 5 parametri di regionalizzazione.

Le curve di possibilità pluviometrica per le piogge di breve durata sono rappresentate seguente.

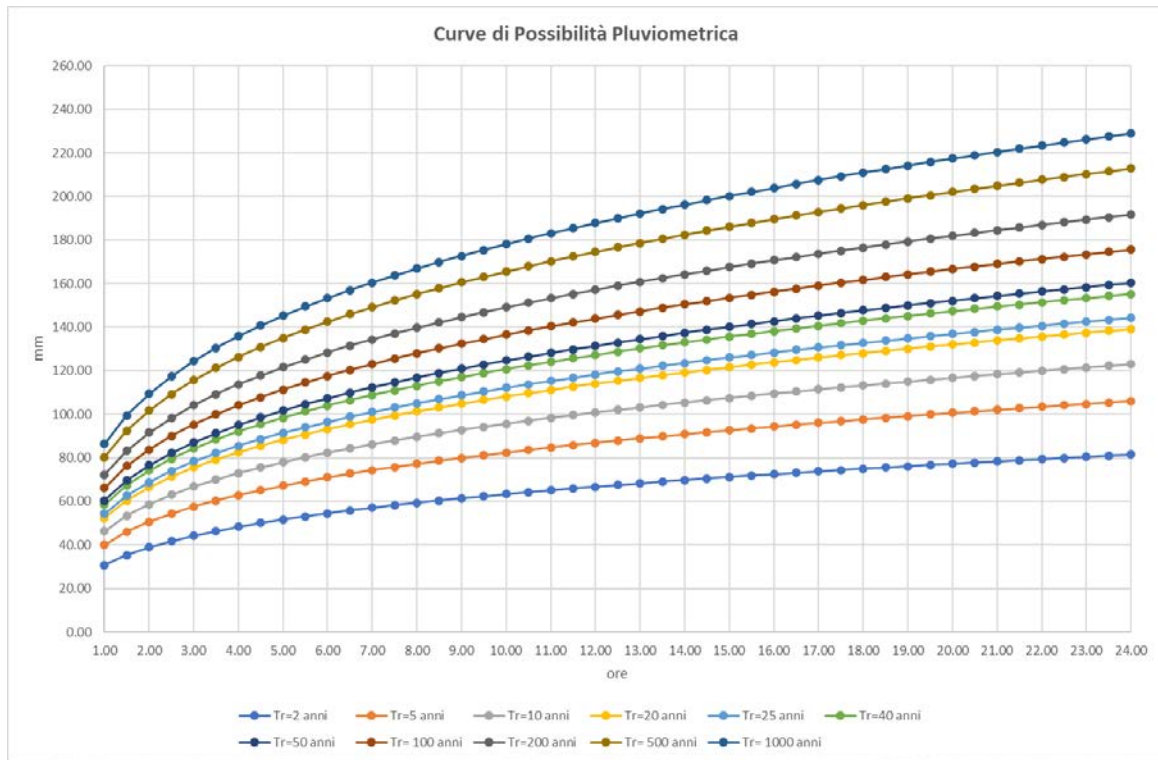


Immagine 8 Curve di possibilità pluviometrica del sito.



## 5.1 PIOGGE DI DURATA INFERIORE AD UN'ORA

La determinazione delle altezze di pioggia con durata inferiore ad un'ora non può essere effettuata con le procedure descritte in precedenza. Per ovviare a tale problema si è fatto ricorso alla correlazione empirica proposta da Bell che lega, per un assegnato tempo di ritorno T, l'altezza di pioggia di durata pari a 60 minuti  $h_{60,T}$  con l'altezza di pioggia di durata t, con t minore di 60 minuti  $h_{t,T}$ .

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = 0.54 \cdot t^{0.25} - 0.5$$

Noti quindi i valori di  $h_{60,T}$  ricavati tramite il metodo VAPI descritto in precedenza, sono stati calcolati i valori di  $h_{t,T}$ .

Nell'immagine seguente sono raffigurate le curve di possibilità pluviometrica per le piogge di durata inferiore ai 60 minuti.

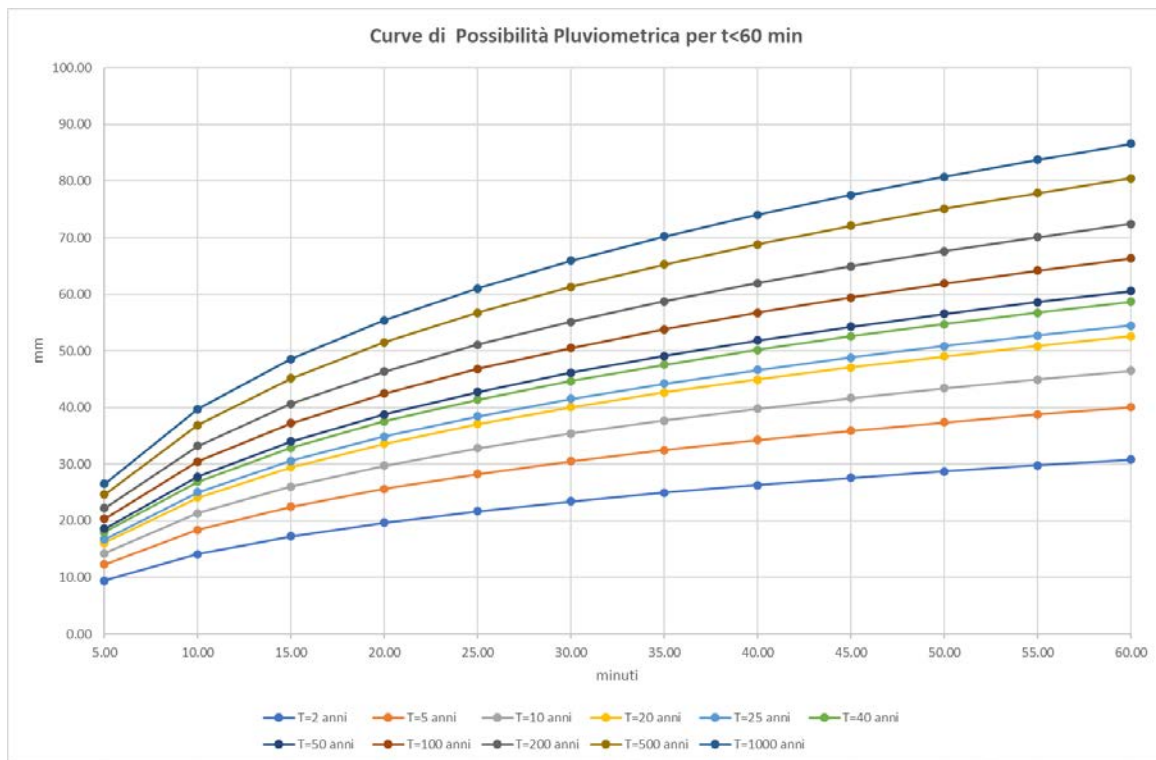


Immagine 9 Curve di possibilità pluviometrica per eventi di pioggia di durata inferiore a 60 minuti.

## 5.2 DETERMINAZIONE DELLE PIOGGE NETTE

Le precipitazioni che cadono su una determinata area (dette piogge lorde) solo in parte concorrono alla formazione delle portate di deflusso superficiale, questo perché sono soggette ad infiltrazione nel terreno, ovvero sono trattenute dalla vegetazione o immagazzinate in piccoli avvallamenti naturali. La frazione di pioggia che contribuisce alla formazione del deflusso superficiale viene definita pioggia netta ed è ottenuta depurando le piogge lorde da tutte le perdite idrologiche.

In letteratura esistono diverse metodologie per determinare le portate di deflusso superficiale a partire dalle precipitazioni, tra i quali uno dei più utilizzati è il metodo del *Curve Number*. Questo metodo, messo a punto dal "Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture", permette di determinare la pioggia netta che concorre alla formazione della portata di deflusso superficiale, sulla base delle caratteristiche idrologiche del bacino.

Il metodo CN si basa sul bilancio fra i valori cumulati nel tempo a partire dall'inizio dell'evento di precipitazione, della pioggia  $R(t)$ , del deflusso superficiale  $V(t)$ , delle perdite iniziali  $I_a(t)$ , prima della produzione di deflusso e di quelle successive  $F(t)$ . Il parametro CN (Curve Number) esprime in maniera sintetica l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale); il suo valore è compreso tra 0 e 100. Maggiore è il valore del CN, maggiore è il deflusso prodotto da una determinata area a parità di precipitazione. I principali parametri utilizzati nel metodo SCS sono i seguenti:

- P: precipitazione totale [mm];
- $I_a$ : perdite iniziali;
- $P_n$ : pioggia netta (frazione di precipitazione che giunge al suolo);
- F: volume specifico infiltrato;
- $P_e$ : pioggia efficace [mm];
- S: capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione [mm].

L'ipotesi di base del metodo consiste nel supporre che il rapporto fra volume di deflusso ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite.

$$\frac{V}{R - I_a} = \frac{F}{S}$$

S'ipotizza inoltre che le perdite iniziali siano proporzionali alle massime perdite possibili, secondo la relazione seguente:

$$I_a = \beta \cdot S$$

Essendo  $\beta$  un parametro che varia tra 0.1 e 0.3 generalmente posto pari a 0.2.

Il metodo SCS prevede che la pioggia efficace possa essere stimata utilizzando la seguente espressione:

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

Il valore di S viene ricavato dalla seguente espressione:

$$S = 50 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

**R.3 - Relazione Idraulica**

Il parametro S0 è un fattore di scala pari a 254 mm. Il parametro CN viene determinato in maniera tabellare in funzione delle seguenti caratteristiche dell'area di intervento:

- Uso del suolo;
- Trattamento o pratica;
- Condizione idrologica;
- Classe del suolo.

Facendo riferimento all'utilizzo attuale dell'area oggetto di studio, i parametri utilizzati per la determinazione del CN sono i seguenti:

1. Uso del suolo.
2. Trattamento o pratica.
3. Condizione idrologica.
4. Categoria del suolo.

La caratterizzazione dei terreni ricadenti nell'area di intervento è stata eseguita a partire dalla carta d'Uso del Suolo della Regione Lazio di cui si riporta uno stralcio nell'Immagine 6.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri del metodo CN di prima approssimazione, riferiti all'intera area di progetto determinati come media pesata dei parametri relativi alle varie sottozone.

Determinazione parametro CNII						
Tipologia di suolo	Sup	Tipo Idrologico	Uso del suolo	CNII	S	la
[--]	[mq]	[--]	[--]	[--]	[mm]	[mm]
311 – Boschi di latifoglie	1880	B	Boschi in presenza di copertura rada senza sottobosco	66	130.85	26.17
321 – Aree a pascolo e praterie d'alta quota	74200	B	Prati	58	183.93	36.79
Totale	413380	--	--	64.56	182.62	36.52

Tabella 6 parametro CNII del lotto A.

Determinazione parametro CNII						
Tipologia di suolo	Sup	Tipo Idrologico	Uso del suolo	CNII	S	la
[--]	[mq]	[--]	[--]	[--]	[mm]	[mm]
311 – Boschi di latifoglie	337200	B	Boschi in presenza di copertura rada senza sottobosco	66	130.85	26.17
322 – Arbusteti e cespuglieti	327600	B	Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	61	162.39	32.48
332 – Rocce nude, falesie, affioramenti	82600	B	Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	79	67.52	13.50
Totale	747400			65.25	137.68	27.54

Tabella 7 parametro CNII del lotto B.

---

## 6 VALUTAZIONE IDRAULICO – IDROLOGICA DEL PROGETTO

### 6.1 IMPATTO DELLE OPERE

La realizzazione del Campo Fotovoltaico prevede la costruzione di una serie di opere che producono, in misura diversa, una modifica delle condizioni idrologiche del sito con conseguente variazione del deflusso delle acque superficiali.

Le opere civili che hanno maggiore incidenza sulle condizioni di deflusso delle acque sono:

- Rack e Tracker;
- Viabilità interna e manufatti accessori.

Nella progettazione del Campo Fotovoltaico e delle opere accessorie, si è scelta come strategia progettuale quella di garantire l'invarianza delle portate di deflusso sull'intera area di progetto in modo da:

- Preservare la stabilità idrologica del sito;
- Non apportare aggravio del rischio idraulico dell'area di intervento e dei territori a valle della stessa.

Tali obiettivi possono essere raggiunti prevedendo l'utilizzo di sistemi razionali di deflusso che favoriscano l'infiltrazione delle acque nel terreno, in modo da non incrementare le portate di superficiali.

Di seguito viene analizzato l'impatto che ogni opera da realizzare ha sul deflusso delle acque meteoriche e le relative soluzioni di mitigazione che verranno adottate.

#### 6.1.1 Rack e Tracker

Queste strutture sono le opere più rilevanti da realizzare e, se pur non portano ad un'impermeabilizzazione diretta del terreno, concentrano le acque di pioggia che incidono su di esse, in una lama d'acqua che viene scaricata direttamente al suolo su una porzione molto limitata di terreno.

Tale condizione determina:

- l'effetto di compattazione del suolo dovuto alla caduta dall'alto dell'acqua scolante dai pannelli;
- la veloce saturazione della porzione di terreno su cui incide l'acqua derivante dai pannelli producendo rapidamente volumi di deflusso superficiale.

Questi aspetti visti su larga scala, se non opportunamente mitigati comportano una variazione del flusso superficiale delle acque e dei relativi processi di infiltrazione nel sottosuolo.

Gli effetti descritti in precedenza sono trascurabili, o comunque molto limitati, nelle zone dove saranno installati i tracker in quanto, la variazione dell'inclinazione dei moduli, distribuisce le acque meteoriche su una superficie estesa e comunque variabile.

Le tematiche legate all'interferenza tra il deflusso delle acque e la realizzazione di impianti fotovoltaici a terra sono ampiamente trattate in numerosi studi condotti a livello internazionale, che hanno individuato quattro elementi chiave, che vanno monitorati e controllati per mitigare gli effetti sul deflusso delle acque meteoriche in un impianto fotovoltaico a terra di larga scala:

- **A - Compattazione del suolo:** va considerato attentamente lo stato di compattazione del suolo (in termini di densità apparente) e di un eventuale variazione a seguito della realizzazione dell'impianto.
- **B – Profondità del suolo:** la profondità del suolo, detta anche profondità di radicazione, definisce la capacità del sito di infiltrare l'acqua. La profondità del suolo è lo spessore di terreno misurato dal

piano campagna fino al primo strato impermeabile oltre il quale l'acqua (e le radici) non possono più infiltrarsi.

- **C - Copertura del terreno:** è indispensabile prevedere e mantenere un'adeguata copertura del suolo tra le file dei tracker e sotto di essi:
- **D - Interasse tra i tracker:** è necessario prevedere un'adeguata distanza tra le file dei tracker in modo da garantire un'adeguata infiltrazione delle acque.

Le problematiche descritte in precedenza sono state affrontate e risolte adottando delle misure di gestione adeguate di seguito indicate come "Best Practices".

La corretta gestione del deflusso delle acque meteorico è strettamente connessa alla compattazione dei suoli misurata in base alla densità apparente del terreno che è l'elemento più significativo per lo sviluppo corretto di un adeguato sistema di gestione dei deflussi, per tale motivo sono state definite una serie di misure gestionali e opere idrauliche mirate a ridurre la densità apparente del suolo e massimizzare l'infiltrazione in loco per tutta la durata del progetto.

Si descrivono di seguito le principali "Best Practices" che saranno utilizzare per la realizzazione e gestione del campo fotovoltaico:

1. È stato scelto un layout di impianto che tende a favorire l'infiltrazione delle acque piovane disponendo il più possibile le file dei tracker e rack parallelamente alle curve di livello del terreno in modo da distribuire in maniera uniforme le acque scolanti dai moduli fotovoltaici sul terreno.
2. Saranno previste delle misure estese della densità apparente del terreno prima in modo da definire correttamente il grado di permeabilità del terreno.
3. Saranno identificati gli standard di compattazione o densità apparente che dovranno essere mantenuti nel tempo.
4. Saranno previste delle lavorazioni di decompattazione del terreno dove necessario.
5. Durante la costruzione limitare l'uso di attrezzature pesanti.
6. Si cercherà la conservazione della vegetazione pre-costruzione.
7. Saranno realizzate delle strutture di contenimento, convogliamento delle acque e stabilizzazione dei pendii basati sull'ingegneria naturalistica.
8. Sarà redatto un piano manutenzione della vegetazione post-costruzione.
9. Nelle zone dove saranno eseguiti movimenti terra ovvero con scarsa copertura vegetale si procederà alla semina di idonee sementi vegetali prima delle attività di costruzione in modo da avere un'adeguata copertura vegetale con radici profonde tra e sotto i moduli, che riduca la densità apparente, aumenti la capacità di infiltrazione e riduca la necessità di manutenzione vegetativa per tutta la durata del progetto.

Relativamente a questo ultimo punto, si prevede di realizzare operazioni di idrosemina sulle zone prive di vegetazione o con scarsa vegetazione, in particolare sulle scarpate e sui pendii. Questo consentirà un più facile attecchimento delle essenze seminate, favorendo la formazione di uno strato vegetale stabile con un'adeguata profondità dell'apparato radicale.

Viene riportata di seguito un'immagine esplicativa di idrosemina.



*Immagine 10 Immagine esemplificativa della tecnica dell'idrosemina.*

#### **6.1.2 Viabilità interna e manufatti accessori**

La viabilità interna e i manufatti accessori (locali trasformatori, power station, ecc) sono degli elementi che, in varia misura, comportano la riduzione della permeabilità del suolo.

Per non incrementare le portate di deflusso, saranno realizzate una serie di opere idrauliche di mitigazione che consentiranno di favorire l'infiltrazione nel terreno delle acque meteoriche nello specifico:

- La viabilità interna sarà dotata di cunette drenanti;
- I manufatti accessori saranno dotati di trincee drenanti per lo smaltimento delle acque meteoriche.

Si rimanda al capitolo successivo per maggiori dettagli.

## 7 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

Nel presente capitolo è riportato il predimensionamento delle opere idrauliche, riferite alle “Best Practices” che si intende utilizzare, finalizzate alla raccolta, infiltrazione e smaltimento delle acque piovane.

### 7.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Le opere idrauliche che saranno realizzate per mitigare gli effetti che hanno le strutture del Campo Fotovoltaico sul deflusso delle acque superficiali sono le seguenti:

- Cunette drenanti;
- Trincee drenanti;

Per il dimensionamento delle opere descritte in precedenza sono state fatte le seguenti considerazioni:

- Le portate di progetto fanno riferimento ad eventi con tempi di ritorno di 5-10 anni in funzione della tipologia ed importanza dell’opera;
- Le piogge di progetto sono state ricavate con la metodologia descritta nel Paragrafo 5;
- Le portate nette di progetto sono state ricavate utilizzando il metodo razionale;
- Per la stima della portata di infiltrazione si è ritenuta valida la legge di Darcy.

Il metodo razionale prevede che la portata di deflusso netta  $Q_{in}$  (in ingresso nel sistema di drenaggio) possa essere determinata come prodotto tra la portata di pioggia di progetto al suolo ed il coefficiente di deflusso (parametro che in maniera globale la portata di deflusso superficiale al netto di quella di infiltrazione nel terreno). La portata  $Q_{in}$  può quindi essere calcolata utilizzando l’espressione seguente:

$$Q_{in} = \varphi \cdot Q_{prog}$$

Nelle tabelle seguenti sono i valori tipici dei coefficienti di deflusso per varie tipologie di superfici.

TIPO DI SUPERFICIE	C
Superfici permeabili (aree agricole, aree verdi, boschi e/o assimilabili)	0,1-0,4
Superfici semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato, ecc.)	0,5-0,7
Superfici impermeabili (tetti, strade, piazzali, ecc.)	0,8-1

Tabella 8: Coefficienti di deflusso – Autorità di bacino fiume Tevere.

Per il dimensionamento dei sistemi drenanti si è fatto riferimento alla legge di Darcy riportata di seguito nella sua formulazione generale:

$$Q_{inf} = K \cdot J \cdot A_f$$

Dove si è indicato con:

- $Q_{inf}$ : portata di infiltrazione;
- K: coefficiente di permeabilità del terreno posto pari a 3,00E-05 m/sec
- J: cadente piezometrica;
- $A_f$ : area di infiltrazione.

## 7.2 CUNETTE DRENANTI

Il Campo Fotovoltaico sarà dotato di una viabilità interna da utilizzarsi per l'ispezione e la manutenzione degli elementi del Campo ed eventualmente per il transito dei mezzi di soccorso.

La viabilità interna all'impianto fotovoltaico sarà realizzata in terra stabilizzata in granulometria con sottostante massiciata fondazione.

La realizzazione delle strade comporta una riduzione (se pur modesta) della permeabilità del terreno; l'incremento del volume di deflusso che ne deriva, sarà compensato realizzando delle cunette inverdite con sottostante strato drenante.

Si riporta di seguito un'immagine esemplificativa delle cunette drenanti che si intende realizzare.

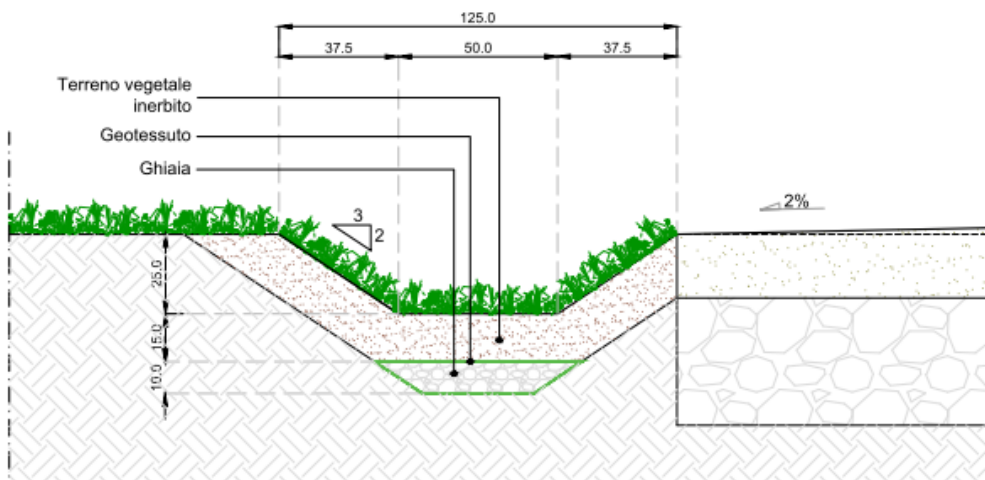


Immagine 11 Sezione tipica cunetta drenante.

Le dimensioni della cunetta drenanti sono state determinate imponendo che la portata scolante al suo interno  $Q_{in}$  sia minore della capacità di capacità di smaltimento delle acque per infiltrazione  $Q_{out}$  della cunetta stessa.

Per il dimensionamento delle cunette drenanti si è fatto riferimento ad eventi di pioggia con tempo di ritorno  $T_r$  di 10 anni e durata pari a 2,60 ore (tempo di corrivazione del bacino idrografico di Fontanalarga).

Per determinare la portata di infiltrazione delle cunette drenanti si è fatto riferimento alla seguente espressione:

$$\frac{q}{K \cdot H} = \frac{b}{H} + C$$

Dove il parametro  $C$  è stato ricavato con la formula di V.V. Vedernikow, riportata di seguito:

$$C = a \cdot \left(\frac{b}{H}\right)^m$$

I parametri  $a$  ed  $m$  sono stati ricavati in forma tabellare in funzione del rapporto di scarpa delle sponde della cunetta.

Nella tabella seguente sono riassunti i principali parametri utilizzati per il dimensionamento delle cunette stradali.



Le portate indicate sono riferite ad ogni metro di lunghezza della trincea.

<b>Dimensionamento Cunetta drenante</b>		
Forma	Trapezia	
L influenza	2,5	[m]
parametro di scarpa n	1,500	[--]
larghezza b della trincea	0,500	[m]
K	3,00E-04	[m/sec]
coef deflusso	0,600	[--]
a	1,332	[--]
m	0,380	[--]
b/H	3,000	[--]
C	2,022	[--]
H	0,167	[m]
Qout	1,51E-03	[mc/min]
Qin	1,05E-03	[mc/min]
Qout>Qin	verificata	[--]
Dati riferiti ad una lunghezza di 1m.		

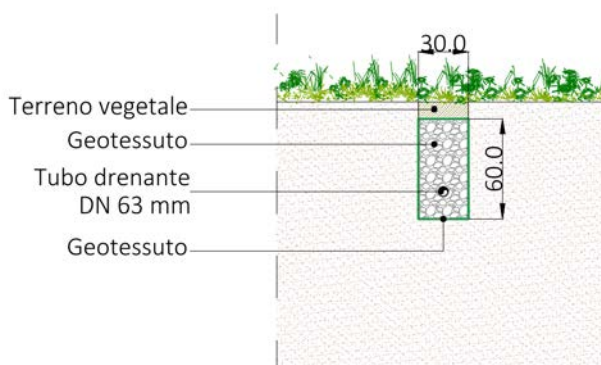
*Tabella 9: Dimensionamento cunetta drenante.*

Le cunette drenanti per le loro dimensioni hanno anche funzione di fosso di guardia e sono in grado di fornire un certo volume di stoccaggio delle acque piovane per eventi di pioggia con maggiori volumi di deflusso. L'acqua piovana, a causa delle naturali pendenze del terreno, potrà in parte defluire all'interno delle cunette che, una volta raggiunta la loro massima portata di filtrazione, potranno immagazzinare acqua per la totalità del proprio volume.

### 7.3 TRINCEE DRENANTI

La realizzazione dei manufatti accessori (locali trasformatori, cabine elettriche, ecc.), comporta l'impermeabilizzazione della superficie su cui verranno realizzati, andando quindi ad aumentare le portate del deflusso superficiale. Per ovviare a tale situazione tutti gli edifici saranno dotati di un sistema di convogliamento delle acque meteoriche collegato ad un sistema di trincee drenanti.

Si riporta di seguito un'immagine esemplificativa della trincea drenante che sarà realizzata.



*Immagine 12 Sezione tipologica trincea drenante.*

Per il dimensionamento delle trincee drenanti, la legge di Darcy viene scritta nel modo seguente:

$$Q_{inf} = \left( \frac{b}{H} + 2 \right) \cdot K \cdot H \cdot l$$

Essendo:

- b: larghezza della trincea;
- H: altezza utile della trincea fissata in 50 cm;
- l: lunghezza della trincea.

Come si può osservare dalla tabella seguente, per ogni metro quadrato di superficie impermeabilizzata da drenare, sarà necessario realizzare un 0,5 m di trincea drenante.

Ainf (area di superficie da drenare)	1.00E+01	[mq]
K	3.00E-05	[m/sec]
B	0.3	[m]
H	0.5	[m]
l	0.5	[m]
Qin	7.41E-04	[mc/min]
Qout	1.17E-03	[mc/min]

*Tabella 10 Predimensionamento trincee drenanti.*

## 8 CONCLUSIONI

Le aree su cui sarà realizzato il Campo Fotovoltaico sono caratterizzate da un'orografia complessa derivante dalla attività estrattive della cava di tufo. Il PAI individua dei fenomeni franosi potenziali in prossimità delle creste dei fronti di cava, mentre indica un'area, sita nel lato nord-ovest dell'area di intervento, con una frana attiva complessa.

Per quanto riguarda le frane potenziali, è stata condotta una verifica di sicurezza (si rimanda per maggiori dettagli alla Relazione Geologica), che ha escluso possibili cinematismi attivi o potenziali di frana. Nella zona dove è individuata una frana attiva complessa non saranno installati moduli fotovoltaici.

Dal punto di vista idrologico, l'area di intervento non presenta zone con potenziale pericolo di alluvione, è stata comunque individuata una strategia progettuale basata sulla gestione razionale della risorsa idrica in relazione all'impatto che le opere in progetto hanno sulle condizioni di rischio idraulico dell'area di intervento e delle aree a valle. A tal proposito sono stati analizzati e sviluppati i seguenti elementi progettuali:

- Analisi di eventuali fattori di rischio presenti nell'area;
- Analisi delle interferenze delle opere sulle condizioni idrologiche – idrauliche dell'area;
- Sviluppo di soluzioni di mitigazione e miglioramento delle condizioni di deflusso.

Le aree su cui saranno installati i moduli fotovoltaici hanno una buona capacità di infiltrazione, valutata tramite il metodo Curve Number, sono state comunque previste delle Best Practices, mirate a migliorare e mantenere nel tempo la capacità drenante dei terreni. In particolare sono state previste delle operazioni di idrosemina delle zone con scarsa o nulla copertura vegetale, in modo da favorire lo sviluppo di adeguata vegetazione tale da migliorare la capacità di immagazzinamento e infiltrazione delle acque meteoriche.

Sono state inoltre previsti dei sistemi di drenaggio delle acque piovane che favoriscono l'infiltrazione delle portate di pioggia nel sottosuolo, favorendo quindi il ricarica della falda e riducendo il deflusso superficiale (causa potenziale del rischio idraulico).

Le acque derivanti dalla viabilità di servizio saranno smaltite per infiltrazione nel terreno mediante cunette drenanti. Queste, per le loro dimensioni, fungeranno anche da fosso di guardia e saranno in grado di fungere da volume di stoccaggio per eventi a cui sono associate portate di pioggia con volumi elevati. Per i manufatti di servizio si è scelto di utilizzare un sistema di smaltimento delle acque meteoriche tramite trincee drenanti.

In base a quanto sopra esposto si può concludere che:

- Le aree oggetto di studio sono dal punto di vista idraulico – idrologico sono idonee alla realizzazione del Campo Fotovoltaico;
- La realizzazione del Campo Fotovoltaico e delle relative opere non comporta aggravio del rischio idraulico delle aree di interesse;
- Le opere idrauliche previste in progetto consentono una gestione razionale della risorsa idrica e favoriscono da un lato l'infiltrazione dell'acqua piovana nel sottosuolo e dall'altro riducono le portate di deflusso superficiale riducendo, quindi, il potenziale rischio idraulico delle aree di intervento.