



AGROVOLTAICO VITERBO - COMUNE DI VITERBO

PROGETTO DEFINITIVO

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 387/2003 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in loc. Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

CODICE ELABORATO:		TITOLO ELABORATO:	
A.8		Relazione idraulica	
SCALA:	FORMATO:		
-	A4		

PROPONENTE:
APOLLO VITERBO S.R.L.
Viale della Stazione 8, 39100 Bolzano (BZ)
C.F. e P.IVA 03231580212
apolloviterbosrl@legalmail.it

PRESIDENTE CDA
Diego Garfias

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 - info@studiosanti.eu
tel +39 0766 53 68 98

 **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 - iride@pec.istituto-iride.com
Tel +39 06 51606033

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

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



REV.	DATA	STATO	PREPARATO	RIESAMINATO	APPROVATO
00	15-01-2024	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	6
4.1	ASSETTO IDROGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	6
4.2	USO DEL SUOLO	9
5	VALUTAZIONE IDRAULICO – IDROLOGICA DEL PROGETTO	11
5.1	IMPATTO DELLE OPERE	11
6	DETERMINAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO	15
6.1	PIOGGE DI DURATA INFERIORE AD UN ORA	20
7	PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE	22
7.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	22
7.2	SISTEMA DI RACCOLTA E DRENAGGIO ACQUE PIOVANE PANNELLI FOTOVOLTAICI.....	23
7.3	CUNETTE DRENANTI	24
7.4	TRINCEE DRENANTI	25
8	CONCLUSIONI	27

1 PREMESSA

La presente Relazione Idraulica riguarda la realizzazione di un **Impianto Agrovoltaiico** della potenza nominale di 60 MWp e connessione a 36 kV alla RTN presso la SE Grotte Santo Stefano nel Comune di Viterbo (VT).

L'impianto Agrovoltaiico sarà realizzato nel Comune di Viterbo (VT) in località Vaccareccia, in un'area a sud-est del centro abitato ad una distanza di circa 5 km da esso.

Il progetto si sviluppa su una superficie totale di circa 107,38 ha. L'area è caratterizzata da un'orografia prevalentemente pianeggiante, ideale per l'installazione degli inseguitori a sostegno dei moduli fotovoltaici.

Le coordinate geografiche dell'impianto sono le seguenti:

Latitudine	42° 24'13.54" N
Longitudine	12°02'18.88" E
Quota media s.l.m.	230 m

Tabella 1

Nell'immagine seguente è riportata l'area di intervento su cui sarà realizzato il campo Agrovoltaiico.

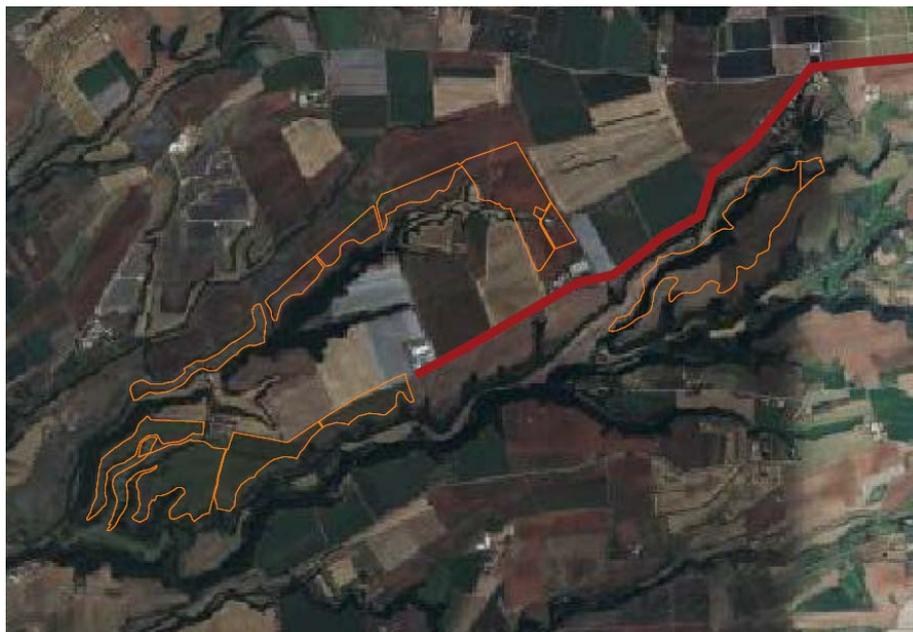


Immagine 1: Individuazione dell'area di intervento.

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 Impianto Agrivoltaiico del tipo Avanzato; questa tipologia di impianto rappresenta la massima integrazione tra l'attività agricola e la produzione di energia elettrica mediante pannelli fotovoltaici.

L'impianto sarà costituito da n° 87.696 moduli fotovoltaici bifacciali in silicio monocristallino della potenza nominale di 690 Wp/cad, montati con schema 1V (1 modulo posizionato verticalmente) su inseguitori monoassiali (TRACKER). L'asse di rotazione degli inseguitori sarà orientato nella direzione nord-sud, in modo tale da garantire una produzione ottimale.

Gli inseguitori avranno uno schema strutturale "a telaio piano" costituito da una serie di pilastri verticali (parte fissa) collegati in testa con un traverso orizzontale (parte mobile), sul quale saranno installati i moduli fotovoltaici.

Tutti gli elementi strutturali degli inseguitori saranno realizzati in carpenteria metallica. I pilastri saranno ancorati al suolo senza la realizzazione di fondazioni superficiali in calcestruzzo o altro tipo di lavorazioni impattanti sull'ambiente.

Al fine di ottimizzare la produzione energetica del campo fotovoltaico, si prevede di realizzare tre tipologie di inseguitori:

- Tipologia 1: in grado di sostenere 56 moduli;
- Tipologia 2: in grado di sostenere 28 moduli;
- Tipologia 3: in grado di sostenere 14 moduli.

L'interasse tra gli inseguitori è fissato in 5,50 m, in questo modo lo spazio libero fra i moduli fotovoltaici varierà da un minimo di 3,03 m (nel caso di moduli perfettamente orizzontali) a un massimo di 4,05 m (nel caso di moduli alla massima inclinazione di 35°); questa geometria di installazione consente di effettuare le lavorazioni agricole previste dal piano agronomico e non inficia in alcun modo l'attività agricola dal punto di vista della produttività.

L'altezza minima da terra dei moduli fotovoltaici sarà di 2,10 m misurata alla massima inclinazione degli inseguitori, garantendo la possibilità di lavorazione dell'intera superficie agraria sottostante ai moduli.

Tutti gli inseguitori che si prevede di installare saranno in grado di orientare i moduli in un range che va da +/- 35°. Il movimento degli inseguitori sarà gestito in automatico da un PLC basato su orologio astronomico, oltre ad essere programmato con un software in grado di ottimizzare gli ombreggiamenti reciproci dei tracker che si verifica tipicamente nelle prime ore giorno e in prossimità del tramonto.

Il sistema di gestione dei moduli sarà inoltre collegato a delle stazioni meteorologiche, in modo da poter orientare i moduli in posizione di salvaguardia in caso di forti venti, ovvero di posizionare i moduli in modo da attivare il sistema di raccolta acque come meglio descritto di seguito.

Sulla superficie agricola dell'intero campo Agrivoltaiico, saranno inserite le più adeguate specie agrarie da gestire con tecniche agronomiche sostenibili al fine di ottenere una produzione della componente cibo

soddisfacente e al contempo il miglioramento delle caratteristiche di qualità del suolo con l'intento di incrementarne, dove possibile, le potenzialità produttive.

Il sistema consociato complesso Agrivoltaiico sarà strutturato combinando differenti sistemi colturali singolarmente organizzati in modo da ottenere condizioni di buon livello di biodiversità. Le principali colture proposte nel sistema consociato complesso Agrivoltaiico sono le seguenti:

- Asparago;
- Patata;
- Cavolo a foglia;
- Erbai.

4 CARATTERIZZAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

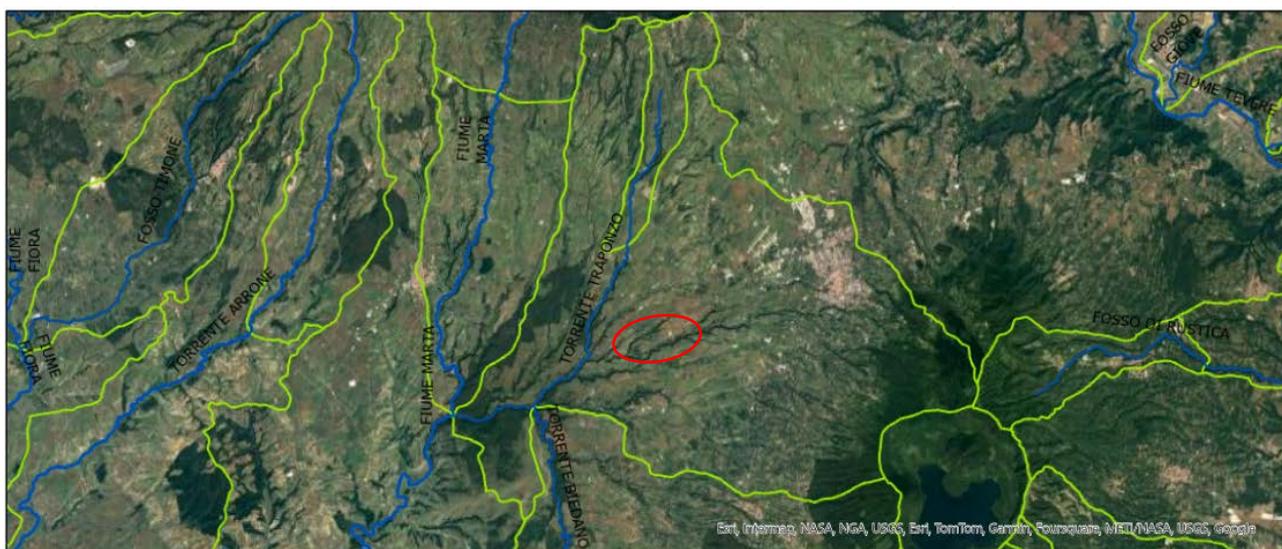
4.1 ASSETTO IDROGRAFICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

L'area oggetto di intervento ricade all'interno del Sub Bacino Idrografico denominato "Torrente Traponzo 2" che si sviluppa complessivamente per una superficie di 280.4 km².

L'assetto morfologico dell'area è prevalentemente pianeggiante interrotto da profonde incisioni prodotte dall'attività erosive dei corsi d'acqua che hanno generato vere e proprie forre con dislivelli anche superiori a 30 metri dalla sommità.

La morfologia dell'area è caratterizzata nelle parti sommitali da pendenze modeste, riconducibili alla parte superiore del plateau tufaceo, interrotta da valli fortemente incise. Le zone sommitali si raccordano al fondovalle con pareti sub - verticali.

L'assetto idrografico dell'area è fortemente condizionato dalla natura geologica del sito, caratterizzata dalla presenza di uno strato superiore costituito da tufo vulcanico facilmente erodibile.



Legenda

 Distretto Appennino centrale	 Sub bacini PGA
 Principale	 DB Prior: Fiumi
	 Fiumi

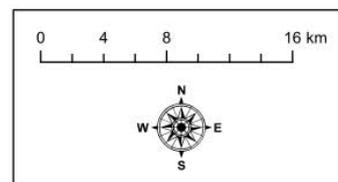


Immagine 2: Sub bacino idrografico Torrente Traponzo 2.

Il reticolo idrografico dell'area di intervento è formato da corsi d'acqua a carattere torrentizio che si sviluppano prevalentemente lungo l'asse Nord Est – Sud Ovest. I principali corsi d'acqua presenti nell'area sono: Fosso Cerquetello, Fosso Reganella e Fosso Freddano con il loro reticolo costituito da altri piccoli fossi e impluvi di subordinata importanza che solcano l'area di studio.

Il Piano Stralcio Difesa Alluvioni dell’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio non individua nell’area di intervento rischi idraulici per fenomeni di esondazione e di alluvionamento, anche se non è possibile escludere in questa fase la possibilità di verificarsi di fenomeni locali di allagamento ovvero ristagno d’acqua. Tali aspetti puntuali saranno trattati nelle fasi successive di sviluppo del progetto.

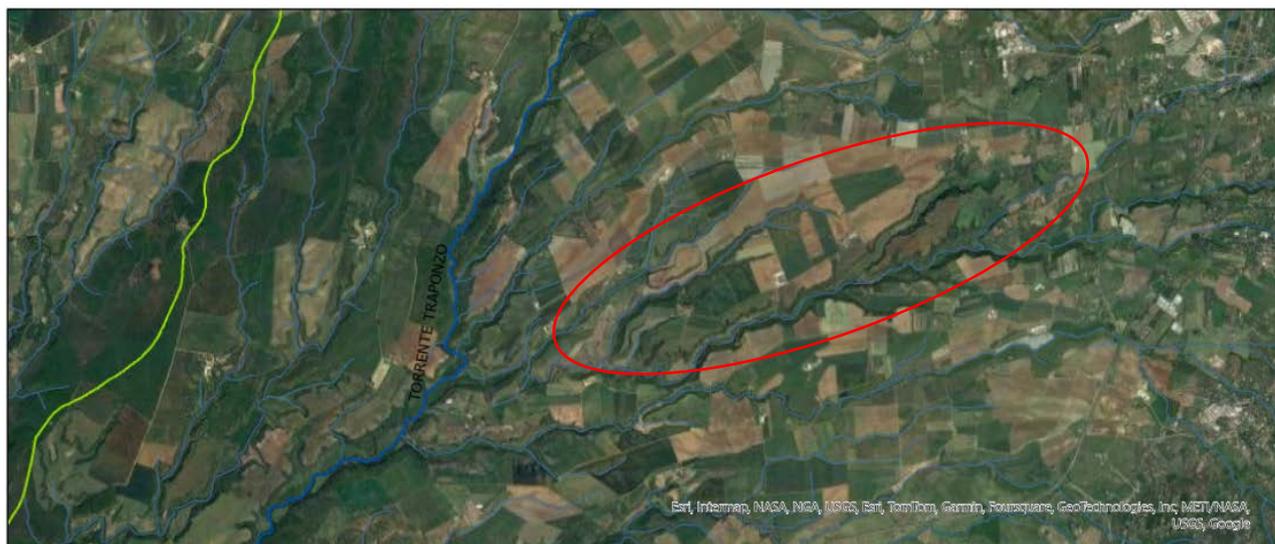


Immagine 3: Dettaglio reticolo idrografico.

L’attività erosiva dei corsi d’acqua presenti ha avuto una notevole influenza sulle condizioni di stabilità geomorfologica dell’area. Come descritto in precedenza, l’azione di morfogenetica dell’acqua ha portato alla formazione di incisioni con pareti sub verticali, spesso in corrispondenza di strutture geologiche facilmente erodibili.

Nelle zone prospicienti l’area di intervento sono stati rilevati dissesti franosi e di instabilità dei versanti tufacei estremamente acclivi. Questi fenomeni sono caratterizzati principalmente da crollo e/o frane da ribaltamento che coinvolgono in genere volumi modesti di terreno.

Nell’area di intervento sono inoltre presenti fenomeni di instabilità recenti con cinematismo da crollo e andamento prevalentemente lineare.

Nella tavola del P.A.I. (Tavola 2.04 Nord” del PAI dell’Autorità dei Bacini Regionali del Lazio - Autorità di Bacino distrettuale dell’Appennino Centrale), sull’area di intervento vengono individuati i seguenti elementi di instabilità:

- P.A.I. A.B.R. Lazio - Aree sottoposte a tutela per Pericolo di Frana A - Molto Elevato (c. 2 art. 6 e art. 16).
- P.A.I. A.B.R. Lazio - Aree sottoposte a tutela per Pericolo di Frana B-Elevato (c. 2 art. 6 e art. 17);

A.8 - Relazione idraulica

Dalla consultazione dell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiano non risultano censiti nell'intorno dell'area fenomeni di instabilità gravitativa.



Immagine 4: Stralcio cartografia PAI rischio frana.

4.2 USO DEL SUOLO

I terreni su cui sarà realizzato il Campo Agrivoltaiico sono classificati prevalentemente come “Seminativi in aree non irrigue”; sono presenti all’interno dell’area di intervento anche zone con uso del suolo di verse dal precedente ma comunque affini ad attività agricole o comunque ad esse collegate, come frutteti od oliveti. Una porzione del terreno sito in Località Vaccareccia possiede un uso denominato “Boschi di latifoglie” e “Cespuglieti ed arbusteti”, che rappresentano la porzione boschiva del terreno. Nella tabella seguente sono riassunti i vari usi del suolo dell’area di intervento.

Tipologia di suolo	Superficie [mq]
Frutteti e frutti minori	10'097
Oliveti	18'702
Boschi di latifoglie	10'702
Cespuglieti ed arbusteti	997
Insediammento industriale o artigianale	1'465
Tessuto residenziale sparso	77
Seminativi in aree non irrigue	1'031'760
Totale	1'073'800

Tabella 2: Superfici e relativi usi del suolo dell’area di intervento.

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

LOTTO	Uso del suolo	Superficie [mq]
A	Frutteti e frutti minori	10'097
	Boschi di latifoglie	7'685
	Cespuglieti ed arbusteti	9
	Insediammento industriale o artigianale	1'465
	Seminativi in aree non irrigue	351'615
B	Oliveti	18'702
	Boschi di latifoglie	1'762
	Cespuglieti ed arbusteti	825
	Tessuto residenziale sparso	77
	Seminativi in aree non irrigue	394'805
C	Boschi di latifoglie	1'255
	Cespuglieti ed arbusteti	163
	Seminativi in aree non irrigue	285'339

Tabella 3: Dettaglio uso del suolo dei lotti.

Nelle immagini seguenti è rappresentato l'uso del suolo dei terreni oggetto di intervento.

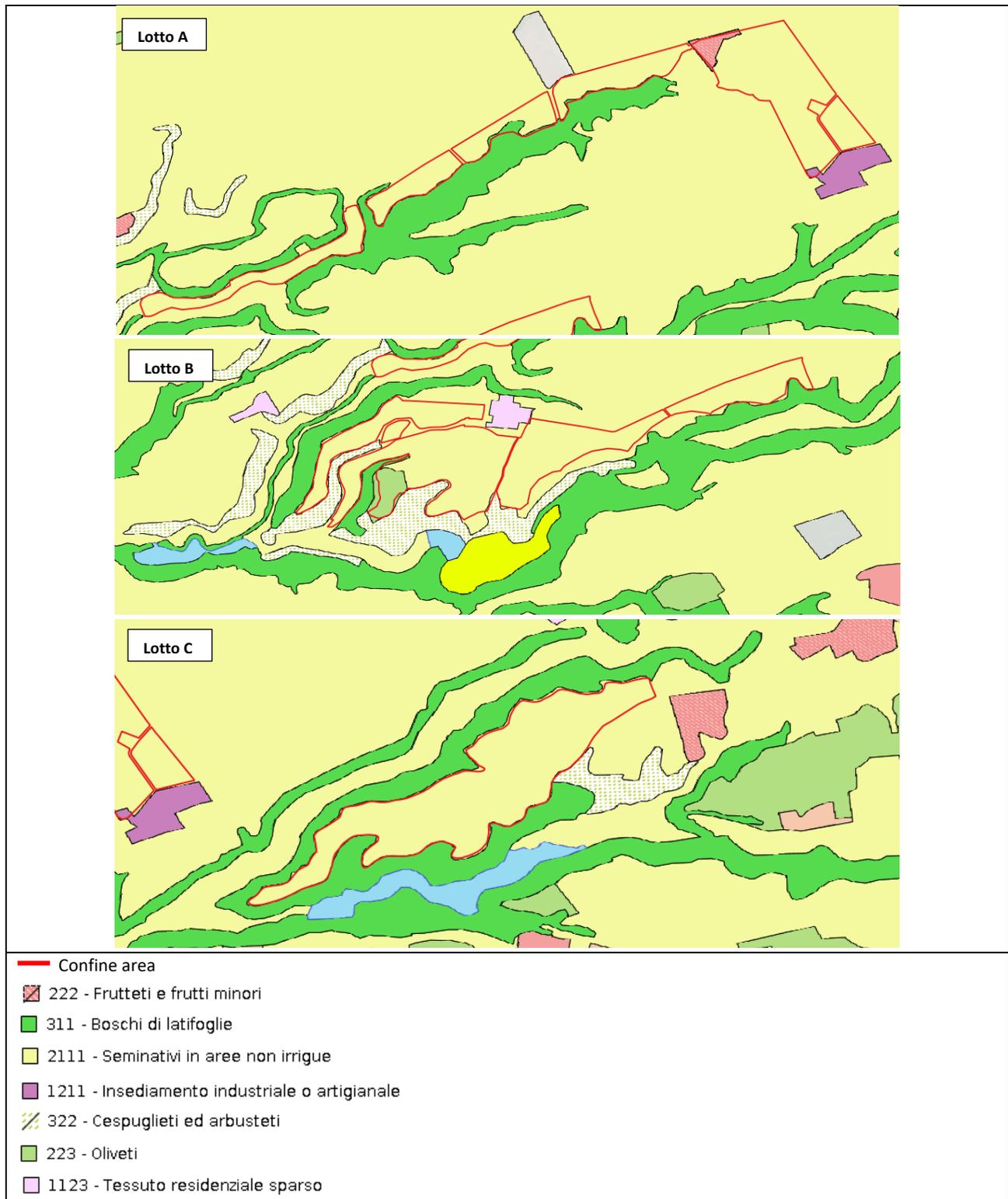


Immagine 5: Stralcio planimetria carta Uso del Suolo aree di intervento.

5 VALUTAZIONE IDRAULICO – IDROLOGICA DEL PROGETTO

5.1 IMPATTO DELLE OPERE

La realizzazione del Campo Agrivoltaiico prevede la costruzione di una serie di opere che producono, in misura diversa, una variazione delle condizioni idrologiche del sito, con particolare incidenza sul deflusso delle acque superficiali.

Le principali opere civili che saranno realizzate sono le seguenti:

- Inseguitori di supporto per i moduli fotovoltaici;
- Viabilità interna;
- Locali trasformatori, cabine elettriche e edificio servizi.

Nella progettazione del Campo Agrivoltaiico e delle sue 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 progettuali scelte per garantire l'invarianza idraulica.

Inseguitori di supporto per i moduli fotovoltaici:

I Tracker rappresentano l'opera più rilevante da realizzare e di maggior impatto sul deflusso delle acque. Queste strutture, se pur non portano ad un'impermeabilizzazione del terreno, sono del tutto assimilabili a delle tettoie e quindi 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, agenti su larga scala, comportano una variazione del flusso superficiale delle acque e dei relativi processi di infiltrazione nel sottosuolo;

Le tematiche legate all'interferenza tra il deflusso delle acque e la realizzazione di impianti fotovoltaici a terra sono state ampiamente trattate in numerosi studi condotti a livello internazionale. Nel caso specifico si è fatto riferimento ai risultati ottenuti dal progetto "*Photovoltaic Stormwater Management Research and Testing (PV-SMaRT)*", a cui si rimanda per maggiori approfondimenti.

Questo studio ha individuato quattro elementi chiave, che vanno monitorati e controllati per tenere mitigare gli effetti sul deflusso delle acque meteoriche in un impianto fotovoltaico a terra di larga scala:

- 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.
- Profondità dello strato oggetto di lavorazioni agricole: va valutata con attenzione la profondità dello strato lavorato del terreno anche in funzione della profondità delle radici delle coltivazioni presenti.
- Copertura del terreno: è indispensabile prevedere e mantenere un'adeguata copertura del suolo tra le file dei tracker e sotto di essi:
- Interasse tra i tracker: è necessario prevedere un'adeguata distanza tra le file dei tracker in modo da garantire un'adeguata infiltrazione delle acque.

Si riporta di seguito un'immagine esplicativa di come la presenza dell'impianto fotovoltaico modifichi l'infiltrazione delle precipitazioni nel sottosuolo.

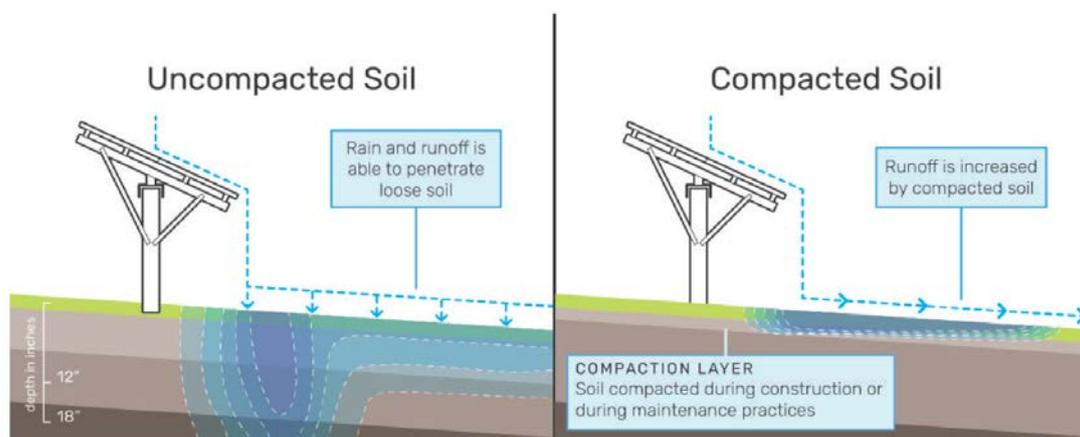


Immagine 6: Effetto della concentrazione del deflusso dovuto alla presenza di un impianto fotovoltaico.

Per ovviare alle problematiche descritte in precedenza, gli inseguitori saranno dotati di un sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche costituito dai seguenti elementi:

- Canale orizzontale di gronda posto su un bordo esterno dei pannelli fotovoltaici in grado di raccogliere l'acqua piovana;
- Tubazione verticale di raccolta e convogliamento delle acque collegate ai pilastri dei Tracker;
- Tubazione drenante interrata per lo smaltimento delle acque.

Il canale orizzontale di raccolta acque sarà solidale con il piano dei pannelli fotovoltaici e quindi libero di ruotare; in caso di eventi di pioggia il sistema di controllo dei tracker porterà gli stessi alla massima inclinazione, verso il lato sul quale è installato il canale orizzontale.

In questa configurazione, tramite una tubazione inclinata posta al termine del canale di gronda, l'acqua piovana sarà scaricata nella tubazione verticale mediante un sistema ad imbuto posto sulla testa della stessa tubazione.

A.8 - Relazione idraulica

La tubazione verticale sarà collegata ad una tubazione drenante interrata posta al di sotto della profondità massima di lavorazione del terreno agricolo in modo da non creare interferenze con le attività agrarie previste in sito.

Il sistema di drenaggio le acque piovane descritto consentirà di convogliare direttamente nel sottosuolo le portate di pioggia incidenti sui pannelli fotovoltaici, favorendo il ricarica della falda e riducendo le portate di deflusso superficiale.

Nell'immagine seguente viene riportato uno schema esemplificativo del sistema di smaltimento delle acque meteoriche derivanti dai Tracker.

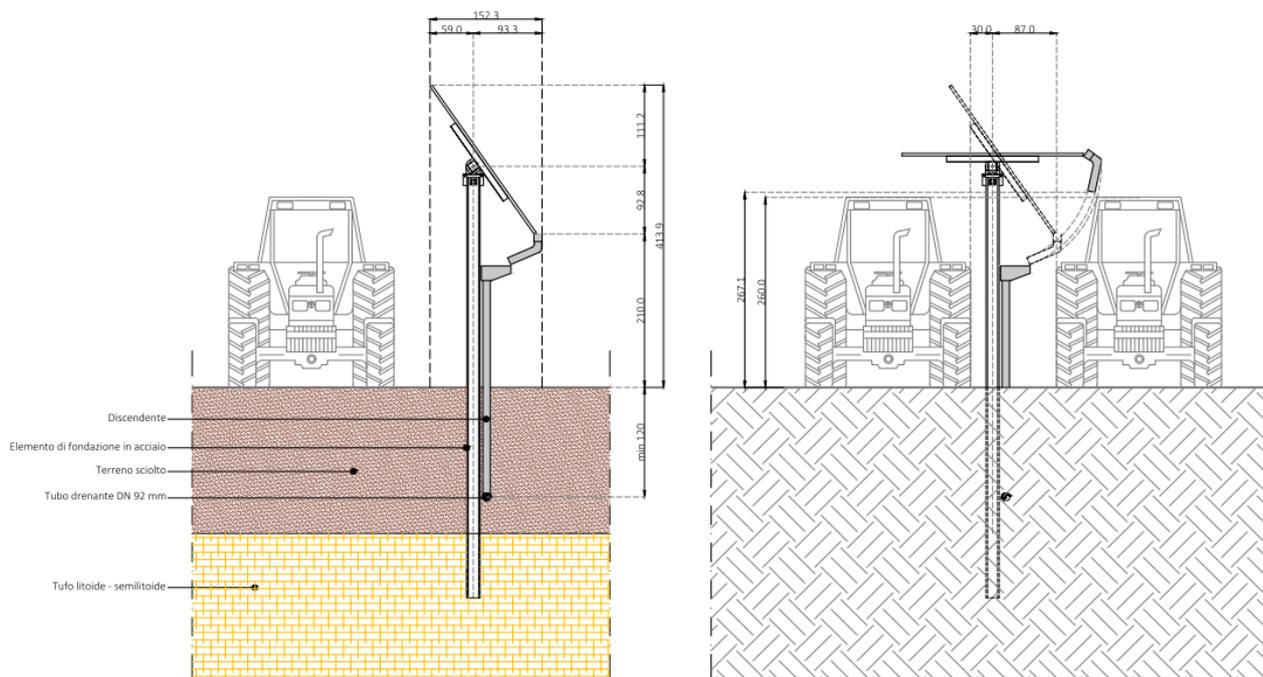


Immagine 7: Schema tipologico sistema di smaltimento acque meteoriche Tracker.

Viabilità interna:

All'interno del Campo Agrivoltaco e lungo il suo perimetro, sarà realizzata 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 massicciata 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 sottostanti trincee drenante.

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

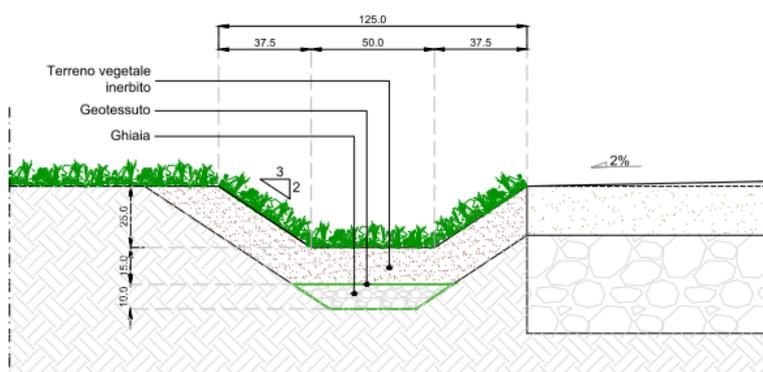


Immagine 8 Sezione tipologica cunetta drenante.

Locali trasformatori, cabine elettriche e edificio servizi:

La realizzazione dei locali trasformatori, delle cabine elettriche e dell'edificio servizi, 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.

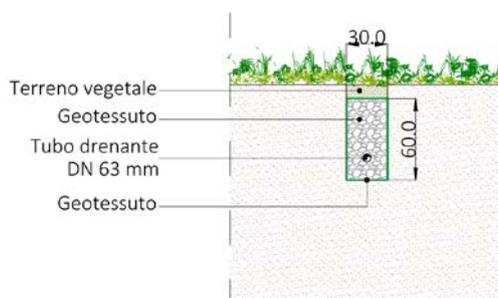


Immagine 9: Trincea drenante smaltimento acque Locali trasformatori, cabine elettriche e edificio servizi.

6 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:

1. nella prima fase sono stati regionalizzati i massimi annuali delle piogge giornaliere;
2. nella seconda la regionalizzazione è stata estesa alle relazioni intensità-durata-frequenza;
3. 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;
- μ_{hd} : valore medio delle massime altezze di pioggia giornaliera;
- Λ_* e θ_* : sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione di probabilità;
- Λ_1 : è un parametro che, insieme ai due parametri riportati al punto precedente, determina il coefficiente di variazione;
- β : 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;

A.8 - Relazione idraulica

- 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 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 Λ^* e Θ^* .

REGIONE	Λ^*	Θ^*
A	0.174	3.490
B	0.762	1.241
C	0.795	2.402

Tabella 4 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 Λ_1 e β sono riportati nella tabella seguente.

REGIONE	A	B	C
Λ_1	29.314	22.017	27.806
β	4.480	4.359	5.301

Tabella 5: 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 6: 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 μ_{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.

A.8 - Relazione idraulica

Nell'immagine seguente viene riportata la suddivisione in zone e sottozone dell'Italia centrale.

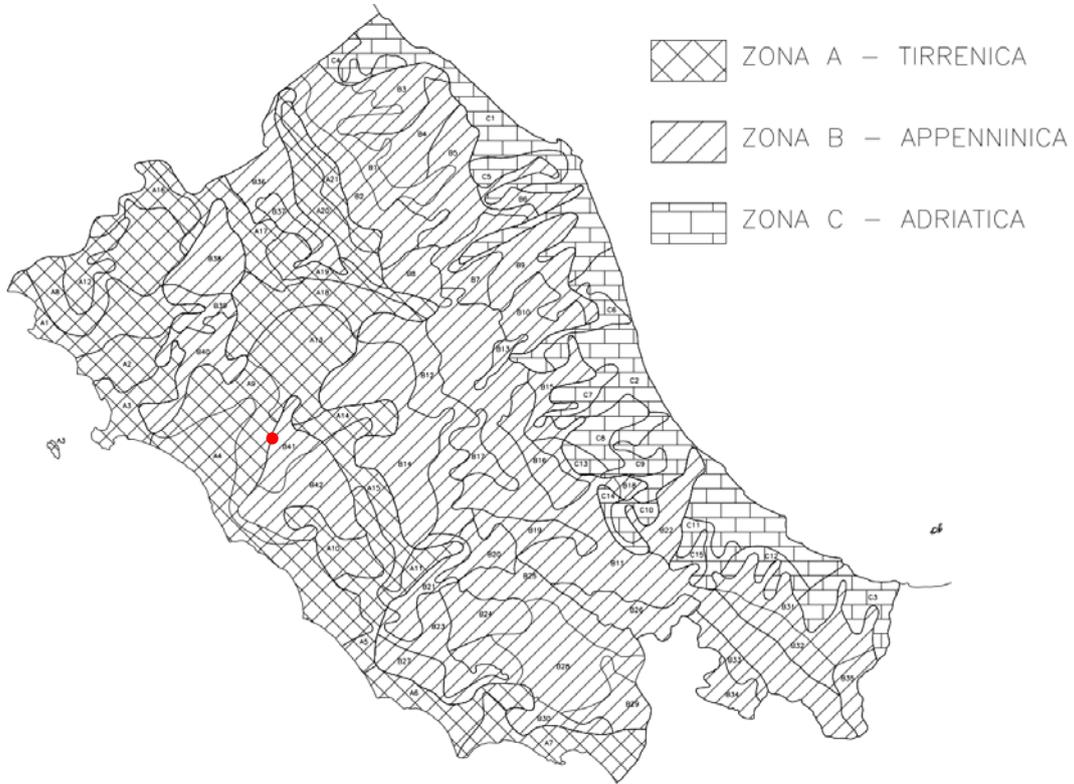


Immagine 10 Individuazione delle sottozone omogenee dell'Italia Centrale.

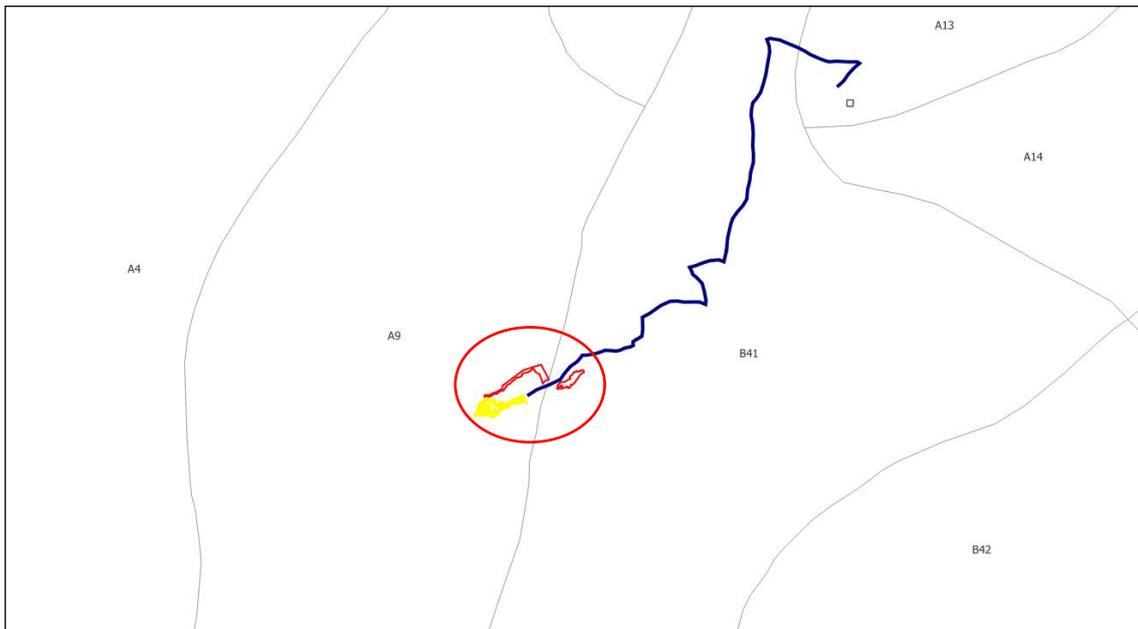


Immagine 11 Individuazione dell'area di intervento.

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 δ 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:

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

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

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

Come si può osservare dall'Immagine 9, l'area oggetto di intervento ricade per la maggior parte all'interno della sottozona omogenea A9, mentre in parte minore all'interno della sottozona B41. Per omogeneità di trattazione ed in prima approssimazione, nel proseguito saranno utilizzati esclusivamente i parametri relativi alla sottozona A9 per l'intera area di progetto.

Nella tabella seguente si riportano i parametri utilizzati di seguito per la determinazione delle curve di caso critico.

PRIMO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE ZONA A	A_*	0.174
	θ_*	3.490
SECONDO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE ZONA A	A_I	29.314
	β	4.480
TERZO LIVELLO DI REGIONALIZZAZIONE SOTTOZONA A9	c	0.02671
	d	61.61
	b	0.1502
	m	0.7555
	μ_{i0} / μ_{i24}	46.45

Tabella 7 parametri di regionalizzazione.

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

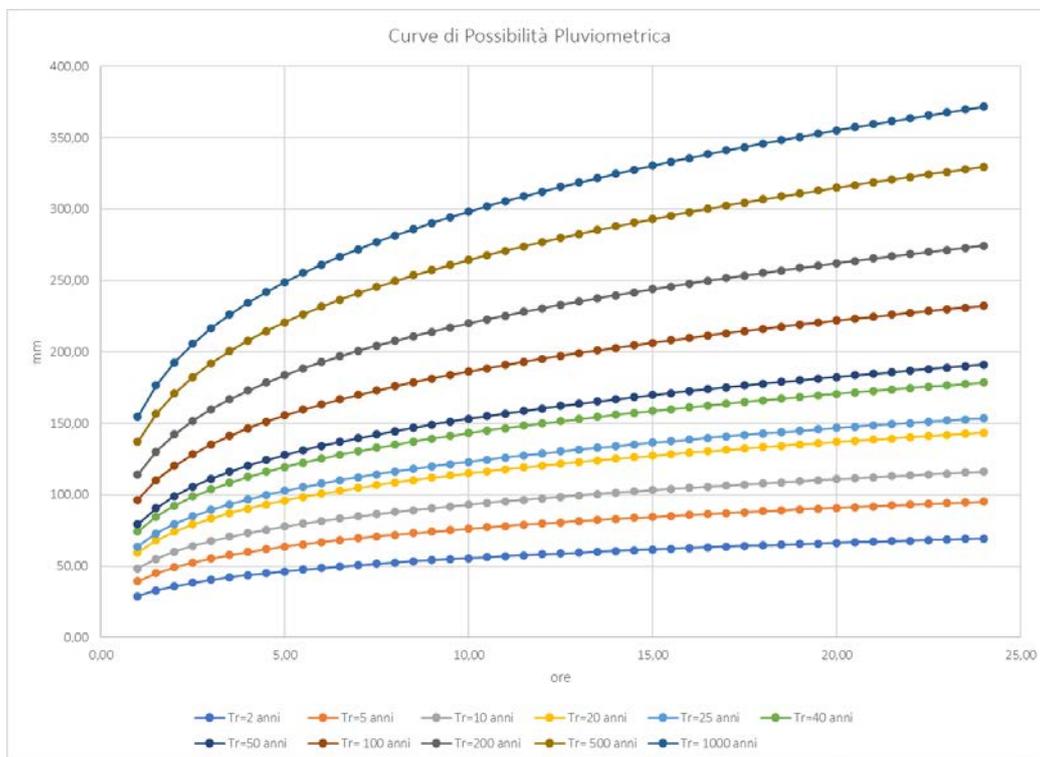


Immagine 12: Curve di caso critico del sito.

6.1 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.

Autorizzazione Unica ai sensi del D.Lgs. 29 dicembre 2003, n. 387 per un impianto agrovoltaiico di superficie pari a 107,38 ha costituito da coltivazioni di patata novella, asparago, cavolo a foglia e erbai integrate ad un impianto fotovoltaico con tracker monoassiali (60 MWp) sito in località Vaccareccia nel Comune di Viterbo (VT)

A.8 - Relazione idraulica

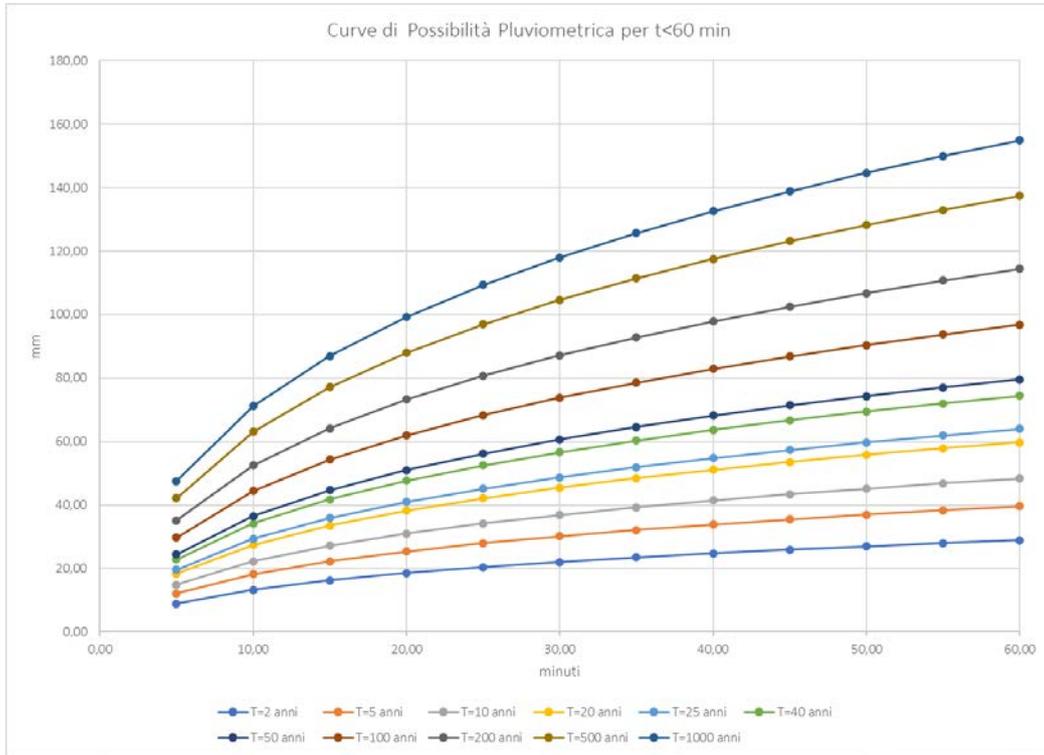


Immagine 13: Curve di possibilità pluviometrica per eventi di pioggia di durata inferiore a 60 minuti.

7 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

7.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

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

- Sistema di raccolta e drenaggio acque piovane pannelli fotovoltaici;
- 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 intensi di breve durata (15 minuti) e tempi di ritorno di 5- anni in funzione della tipologia ed importanza dell'opera;
- Le piogge di progetto sono state ricavate con la metodologia descritta nel Paragrafo 7;
- 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 1,00E-04- m/sec
- J: cadente piezometrica;
- A_f : area di infiltrazione.

7.2 SISTEMA DI RACCOLTA E DRENAGGIO ACQUE PIOVANE PANNELLI FOTOVOLTAICI

I tracker di supporto dei pannelli fotovoltaici saranno dotati di un sistema di raccolta delle acque collegato a delle tubazioni drenanti interrato che avranno lo scopo di smaltire nel sottosuolo per infiltrazione le acque di pioggia. Nell'immagine seguente si riporta un semplice schema concettuale del sistema di smaltimento acque meteoriche che sarà realizzato.

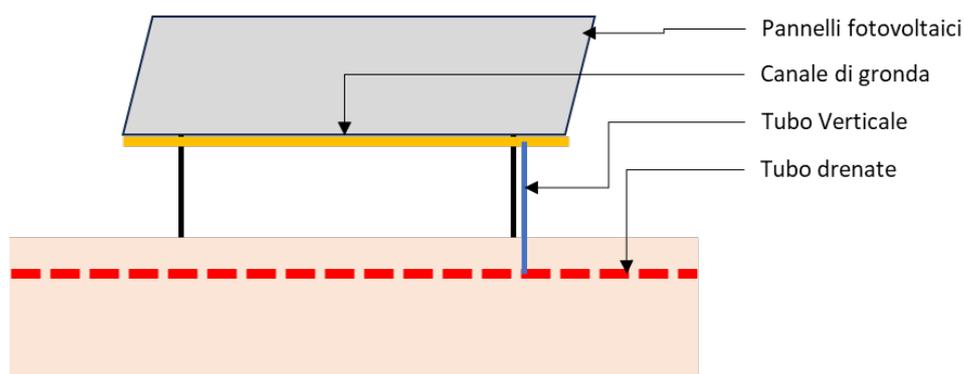


Immagine 14: schema concettuale del sistema di smaltimento acque piovane dei Tracker

Per il dimensionamento delle tubazioni drenanti si è fatto riferimento ad eventi con tempi di ritorno di 5 anni e durata di 15 minuti.

Dimensionamento tubo drenante		
L influenza	1,530	[m]
K	1,00E-04	[m/sec]
J	1,200	[m]
φ	0,900	[--]
Q _{in}	2,04E-03	[mc/min]
A _{f min}	0,284	[mq]
DN dreno	0,092	[m]
A _f	0,289	[mq]
A _f >A _{f min}	verificata	[--]
Dati riferiti ad una lunghezza di 1m.		

Tabella 9: Dimensionamento tubazione drenante.

Il significato dei simboli riportati in tabella è il seguente:

- L influenza: proiezione al suolo dell'area dei pannelli alla massima inclinazione;
- K: coefficiente di permeabilità del terreno;
- φ : coefficiente di deflusso;
- A_{f mini}: area di infiltrazione minima necessaria per smaltire la portata Q_{in};
- DN dreno: diametro del dreno;
- A_f: area di infiltrazione del dreno.

7.3 CUNETTE DRENANTI

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 15 minuti. 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.

Dimensionamento Cunetta drenante		
Forma	Trapezia	
L influenza	2,5	[m]
parametro di scarpa n	1,500	[--]
larghezza b della trincea	0,500	[m]
K	1,00E-04	[m/sec]
coef deflusso	0,600	[--]
a	1,332	[--]
m	0,380	[--]
b/H	3,000	[--]
C	2,022	[--]
H	0,167	[m]
Q_{out}	5,02E-03	[mc/min]
Q_{in}	3,35E-03	[mc/min]
$Q_{out} > Q_{in}$	verificata	[--]
Dati riferiti ad una lunghezza di 1m.		

Tabella 10: 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 massima portata di filtrazione, potranno immagazzinare acqua per la totalità del

proprio volume. L'acqua all'interno delle cunette verrà gradualmente smaltita per filtrazione all'interno del terreno.

7.4 TRINCEE DRENANTI

Le trincee drenanti verranno realizzate per lo smaltimento delle acque piovane derivanti dai Locali trasformatori, dalle cabine elettriche e dall'edificio di servizio.

La legge di Darcy nel caso di moto piano di filtrazione all'interno delle trincee può essere 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 della trincea;
- l: lunghezza della trincea.

Locale trasformatori		
Sup. copertura locale	16,2279	[mq]
K	1,00E-04	[m/sec]
φ	0,900	[--]
Q _{in}	2,17E-02	[mc/min]
b	0,3	[m]
H	0,6	[m]
lung	5	[m]
Q _{out}	4,50E-02	[mc/min]
Q _{out} >Q _{in}	verificata	[--]

Tabella 11: Dimensionamento trincea smaltimento acque meteoriche locale trasformatori.

Cabina elettrica		
Sup	84,6222	[mq]
K	1,00E-04	[m/sec]
φ	0,900	[--]
Q _{in}	1,13E-01	[mc/min]
b	0,3	[m]
H	0,6	[m]
lung	20	[m]
Q _{out}	1,80E-01	[mc/min]
Q _{out} >Q _{in}	verificata	[--]

Tabella 12: Dimensionamento trincea drenante smaltimento acque meteoriche cabina elettrica.

A.8 - Relazione idraulica

Edificio di servizio		
Sup	42,2864	[mq]
K	1,00E-04	[m/sec]
ϕ	0,900	[--]
Qin	5,64E-02	[mc/min]
b	0,3	[m]
H	0,6	[m]
lung	7	[m]
Qout	6,30E-02	[mc/min]
Qout>Qin	verificata	[--]

Tabella 13: Dimensionamento trincea drenante smaltimento acque meteoriche edificio di servizio.

8 CONCLUSIONI

Le aree su cui sarà realizzato il Campo Agrivoltaiico sono per lo più pianeggianti con pendenze modeste interrotte da profonde incisioni con pareti sub verticali (forre), prodotte dall'azione erosiva dei corsi d'acqua. In corrispondenza delle forre sono localizzati fenomeni di instabilità e aree a rischio di frana, caratterizzate principalmente da cinematismi di crollo e ribaltamento delle pareti tufacee.

I pannelli di fotovoltaici e le varie opere previste in progetto, saranno realizzate al di fuori dell'area di interesse dei fenomeni franosi, non andando quindi a produrre aggravio del rischio.

L'assetto idrologico dell'area è caratterizzato da un sistema da corsi d'acqua di tipo torrentizio con andamento sub parallelo e carattere gerarchico non pienamente sviluppato.

Il drenaggio dell'area di intervento avviene principalmente per ruscellamento superficiali o tramite canali di scolo secondari che drenano nel reticolo idrografico principale.

La strategia progettuale scelta nello sviluppo idraulico- idrologico del Campo Agrivoltaiico è 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.

L'analisi dei punti precedenti ha portato allo sviluppo di 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).

È stato quindi sviluppato un sistema di captazione e smaltimento tramite tubi drenanti delle acque di pioggia derivanti dai pannelli fotovoltaici. Questo intervento si svilupperà sull'intera area del Campo Agrivoltaiico e consentirà di ridurre notevolmente, anche rispetto alle condizioni attuali, le portate di deflusso superficiale, favorendo in maniera significativa l'infiltrazione delle acque piovane nel sottosuolo.

Le acque derivanti dalla viabilità perimetrale e 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 locali trasformatori, cabine elettriche e edificio 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 idonee alla realizzazione del Campo Agrivoltaiico;

A.8 - Relazione idraulica

- La realizzazione del Campo Agrivoltico e delle relative opere idrauliche non comporta aggravio del rischio idraulico delle aree di interesse;
- Le opere idrauliche previste in progetto sono incentrate su 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.