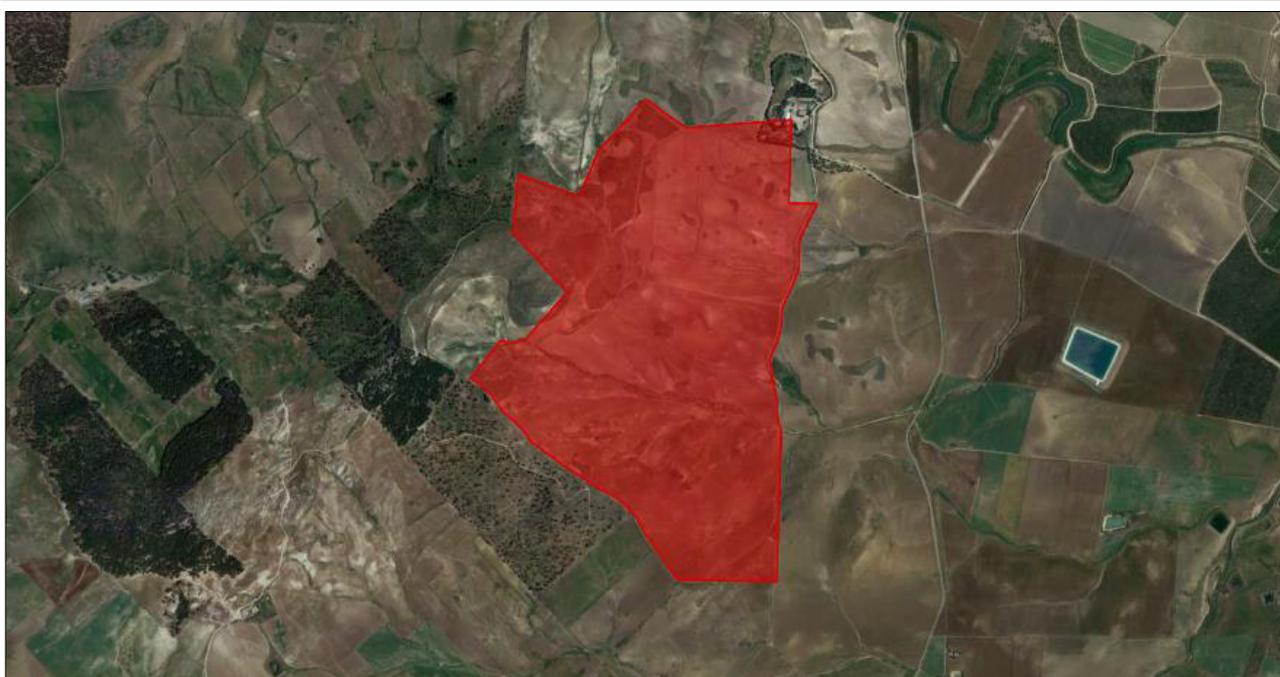


REGIONE SICILIANA
COMUNE DI AIDONE
PROVINCIA DI ENNA

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
FOTOVOLTAICO DA 50.000 KWP DENOMINATO
"AGRIVIFRA"**

RELAZIONE SULL'INVARIANZA IDRAULICA

(ai sensi del D.D.G. n. 102 del 23/06/2021)



Il Committente
VIFRA ENERGY S.r.l.

Il Tecnico
Dott. Ing. Geol. Paolo Rizzo



Rev. 0
Data 25/05/2023



REGIONE SICILIANA
COMUNE DI AIDONE
PROVINCIA DI ENNA

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO
FOTOVOLTAICO DA 50.000 KWP DENOMINATO
“AGRIVIFRA”**

<p>RELAZIONE SULL’INVARIANZA IDRAULICA (ai sensi del D.D.G. n. 102 del 23/06/2021)</p>

1.	<u>PREMESSA</u>	4
2.	<u>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</u>	5
3.	<u>GEOMORFOLOGIA</u>	8
4.	<u>GEOLOGIA</u>	9
5.	<u>ANALISI DEI VINCOLI P.A.I.</u>	11
6.	<u>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</u>	18
6.1	FALDE E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA	19
7.	<u>INQUADRAMENTO IDROGRAFICO</u>	20
8.	<u>CENNI SULLA CLIMATOLOGIA</u>	22
9.	<u>IDROLOGIA</u>	23
9.1	CALCOLO DELLE PORTATE IDRICHE MASSIME	23
9.2	DATI PLUVIOMETRICI	24
9.3	CURVE DI POSSIBILITA’ PLUVIOMETRICA	25
10.	<u>MISURE TECNICHE DI MITIGAZIONE</u>	30
10.1	INTERVENTI TECNICI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE	30

10.2	INTERVENTI TECNICI DI MITIGAZIONE MISURE TECNICHE ANTROPICHE	31
11.	<u>CONCETTO DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA</u>	34
11.1	DEFINIZIONI	36
12.	<u>VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI ANTE OPERAM</u>	41
13.	<u>VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI POST OPERAM</u>	49
14.	<u>CONFRONTO TRA LE PORTATE DI DEFLUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM</u>	52
15.	<u>CONCLUSIONI</u>	53
ALLEGATI		
	Corografia 1:10.000	6
	Stralcio catastale 1:10.000	7
	Carta geologica 1:10.000	10
	Carta delle pericolosità e del rischio geomorfologico 1:10.000	12
	Carta dei dissesti 1:10.000	13
	Carta aree di esondazione per collasso diga Ogliastro 1:10.000	14
	Carta delle pericolosità idraulica 1:10.000	15
	Carta del rischio idraulico 1:10.000	16
	Layout impianto su ortofoto	17
	Opere di regimazione (canali in terra)	33
	Carta idrologica 1:10.000	46

1. PREMESSA

La presente relazione sull'invarianza idraulica, è stata redatta dallo scrivente Dott. Ing. Geol. Paolo Rizzo, iscritto all'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Agrigento al n. B121 e iscritto all'Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia al n. 1945, a seguito di incarico conferito dalla Vifra Energy S.r.l. nella persona del legale Rappresentante Nicolò Madonia, società che intende realizzare un impianto fotovoltaico denominato "Agrivifra".

La relazione sull'invarianza idraulica ha lo scopo di valutare gli impatti delle opere in progetto sull'assetto idrologico ed idraulico dell'area di interesse, attraverso l'analisi dettagliata delle caratteristiche idrogeologiche e idrologiche/idrauliche "ante operam" e "post operam". Sulla base di quanto eventualmente emerso si potranno, così, definire le misure tecniche di mitigazione al fine di dimensionare le opere di regimazione e captazione delle acque superficiali al fine di mantenere l'equilibrio idraulico preesistente o, comunque, per ridurre e/o azzerare l'impatto ambientale sul territorio indotto dalle opere da realizzare, in modo da garantire il rispetto delle norme sul "*Principio di invarianza idraulica ed idrologica*", come riportato nel D.D.G. della Regione Sicilia n. 102 del 23/06/2021.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

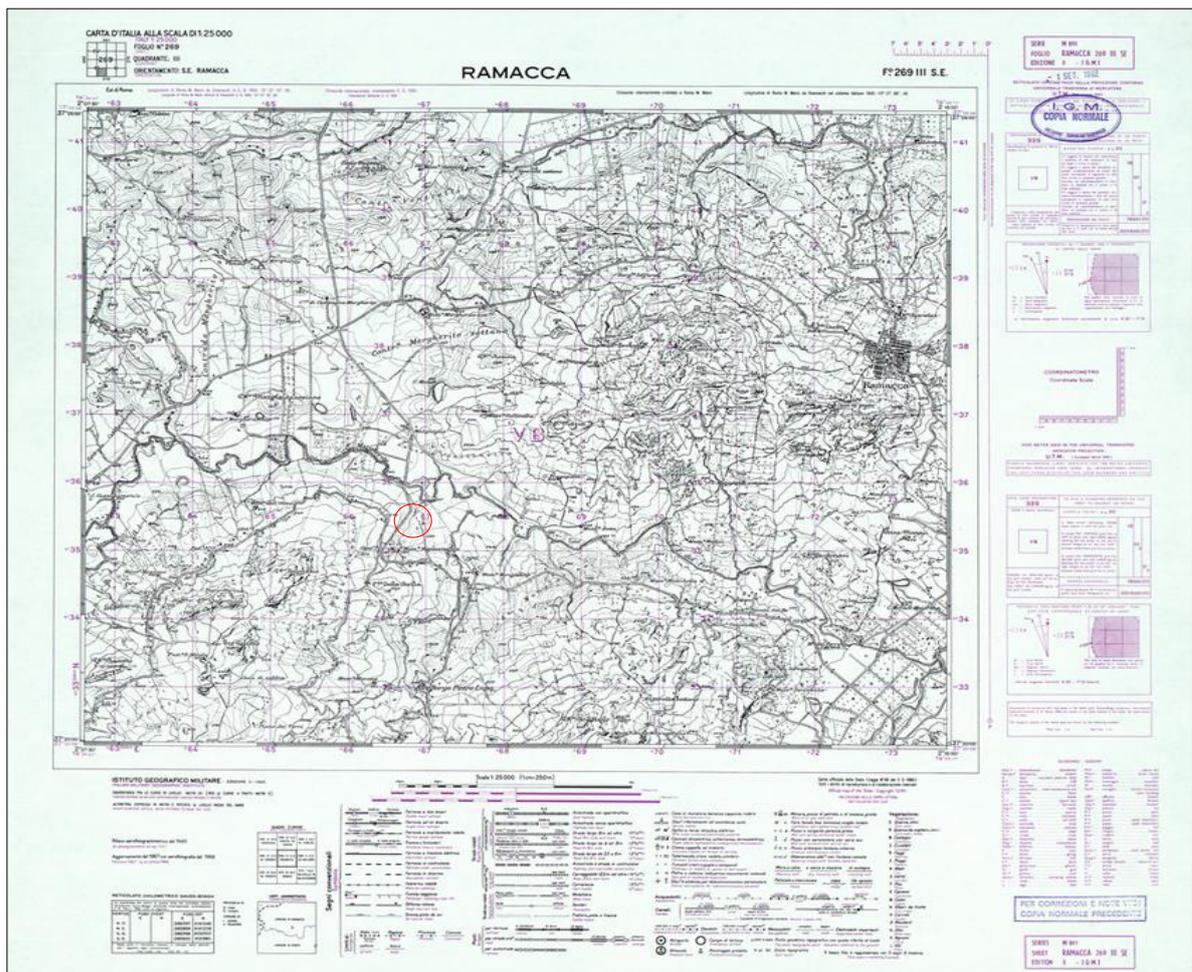
L'area ove ricadrà l'impianto fotovoltaico, si trova nel territorio del Comune di Aidone (EN), in prossimità della Strada Provinciale n. 73 nella contrada Cugno.

E' censita al Catasto del Comune di Aidone al Foglio n. 59 particelle 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 45, 46, 47, 67, 68, 69, 71, 72.

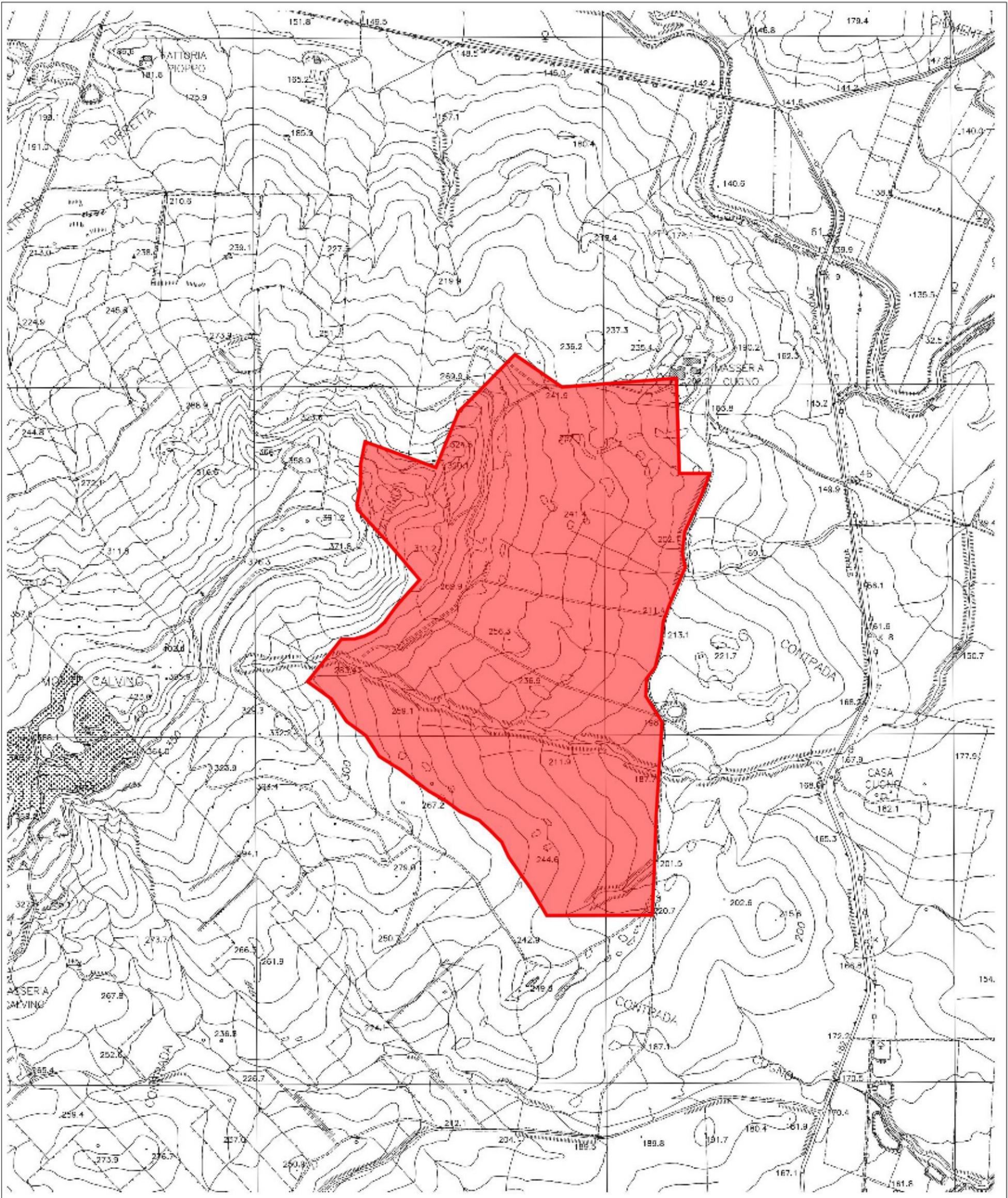
Cartograficamente risulta individuata nella tavoletta I.G.M. della Carta d'Italia denominata: "Ramacca" Foglio 269 III quadrante S.E..

Le coordinate geografiche sono:

- Latitudine $37^{\circ}25'34,06''$ N;
- Longitudine $14^{\circ}36'10,39''$ E.



COMUNE DI AIDONE (EN)



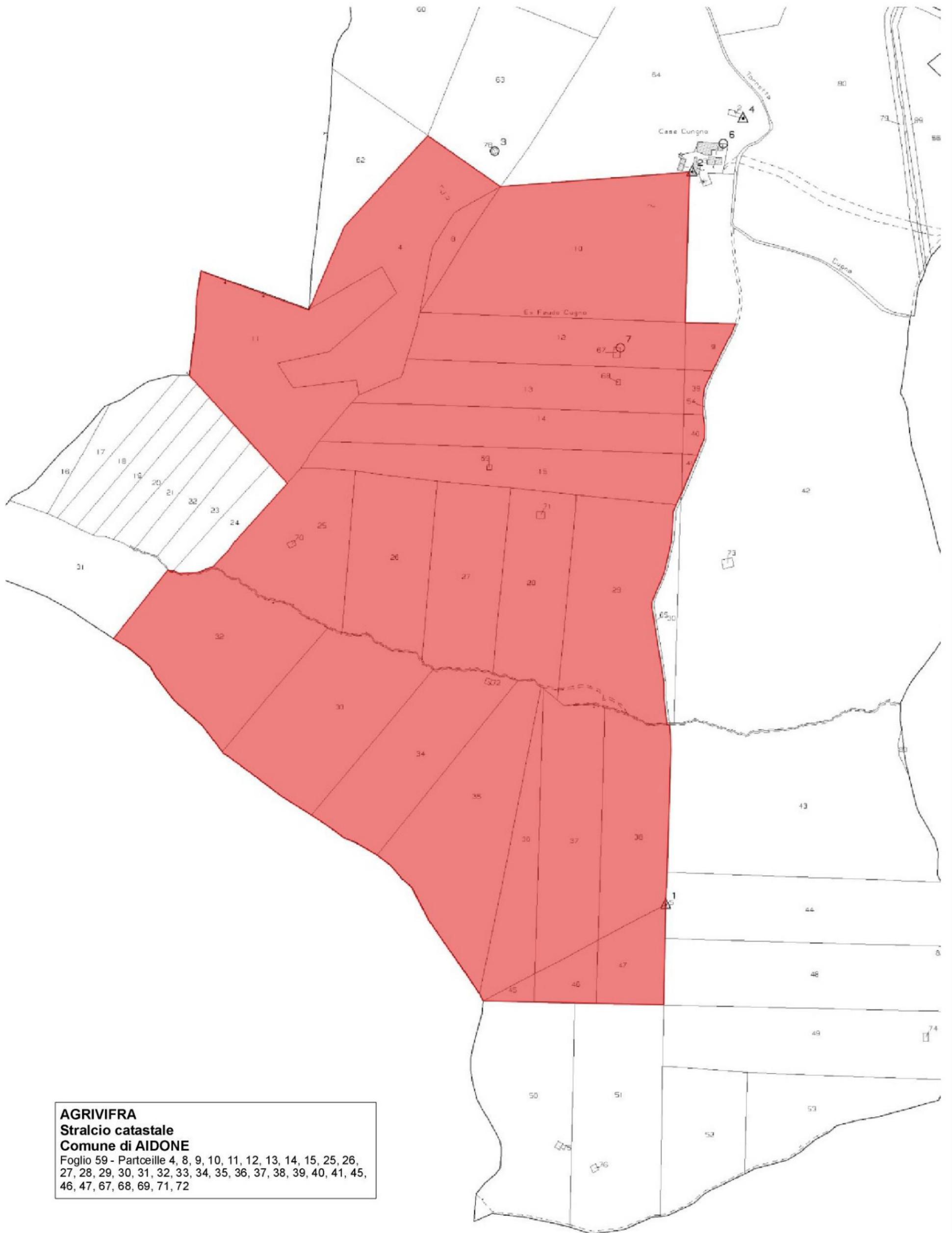
LEGENDA

 Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"

COROGRAFIA

SCALA 1 : 10.000





AGRIVIFRA
Stralcio catastale
Comune di AIDONE
 Foglio 59 - Partcelle 4, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 25, 26,
 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 45,
 46, 47, 67, 68, 69, 71, 72

3. GEOMORFOLOGIA

Le aree interessate dall'impianto fotovoltaico ricadono lungo il fianco di un versante che degrada, con pendenza di circa 5°, verso Sud-Est. Si sviluppa in una fascia di terreni a morfologia collinare con quota media di circa m 230,00 s.l.m.. L'intorno è caratterizzato dalla presenza di forme degradanti sia nella medesima direzione, sia verso Nord-Est. Si configura in un contesto geomorfologico caratterizzato da affioramenti a differente comportamento, interessati da processi evolutivi che in genere vanno ad interferire con le infrastrutture presenti generando dissesti, anche se di modesta entità, di cui si dovrà tenere conto in fase esecutiva progettuale. Un ruolo non marginale nell'assetto geomorfologico viene svolto dal reticolo idrografico che, esercita una accentuata azione erosiva in corrispondenza di affioramenti argillosi e argillo – marnosi o argillo – sabbiosi affioranti nei luoghi in studio.

La rete idrografica a pattern dendritico, nell'area di studio risulta ampiamente sviluppata, con incisioni più o meno accentuate in funzione dell'acclività dei terreni, della natura dei terreni affioranti, della mancanza di opere di regimazione, della copertura vegetale dei suoli. Si osservano fenomeni di erosione diffusa e dissesti superficiali in corrispondenza del reticolo afferente al fiume Cornalunga.

4. GEOLOGIA

Nell'area interessata dall'impianto fotovoltaico, al fine di ricostruire la locale serie litostratigrafica, in modo da accertare lo spessore del suolo di copertura e definire le caratteristiche strutturali e giaciture, sono state condotte delle ricognizioni di campagna che hanno interessato un contorno ritenuto sufficientemente significativo.

La successione stratigrafica generale dell'areale di territorio ove ricade l'impianto "Agrivifra", dall'alto verso il basso è di seguito riportata.

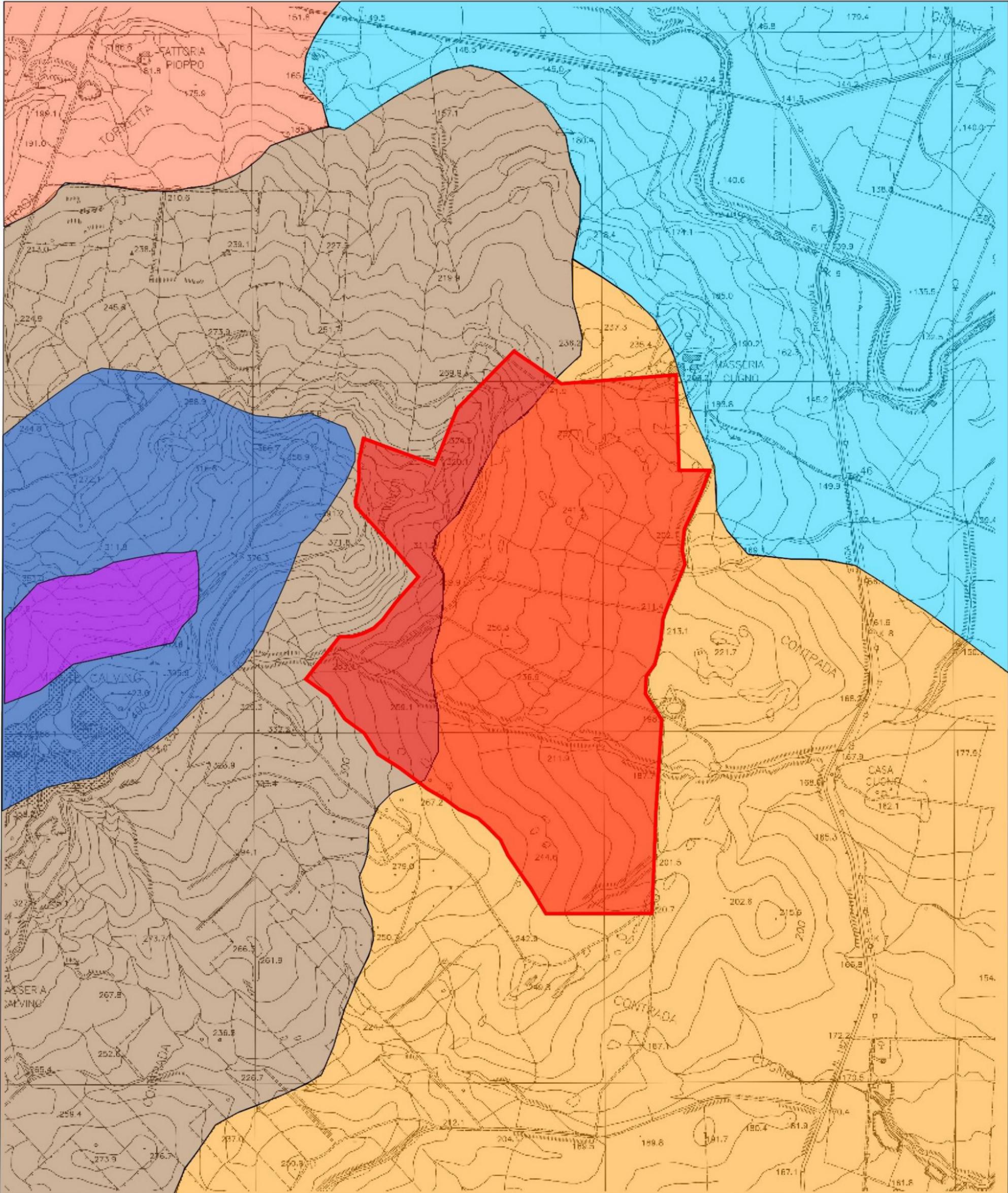
Terreno agrario

Si tratta di una copertura di spessore variabile di suolo agrario. In continuità si riscontrano le argille alterate degli agenti chimico-fisici. Lo spessore stratigrafico risulta essere variabile, non raggiungendo, comunque, spessori notevoli. Tale termine, originatosi dal rimaneggiamento e trasporto dei materiali in posto, caratterizza zone di copertura poste sopra le argille.

Argille

Si tratta di un litotipo di natura argillosa, al tetto di colore giallastro perché alterate, che passano in profondità dal verde al grigio azzurro. Presentano giacitura caotica, sono generate in gran parte da materiale risedimentato. In genere, si presentano con struttura scagliettata, normalmente umide, plastiche e piuttosto compatte e consistenti con l'aumentare della profondità. Localmente, soprattutto in affioramento, possono dar luogo a prodotti di alterazione superficiale.

COMUNE DI AIDONE (EN)



LEGENDA

- | | |
|---|---|
|  Alluvioni |  Argille |
|  Argille varicolori |  Calcari marnosi |
|  Sequenze argillose |  Gessi |
|  Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra" | |

CARTA GEOLOGICA

SCALA 1 : 10.000



5. ANALISI DEI VINCOLI P.A.I.

Dall'esame del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Bacino Idrografico del Fiume Simeto (094), Area tra i bacini del Simeto e del S. Leonardo (094A), Laghi di Pergusa (094B) e Maletto (094C) e dalla consultazione delle carte n. 98 della pericolosità e del rischio geomorfologico, dei dissesti, delle aree di esondazione per collasso della diga Ogliastro, del rischio idraulico per fenomeni di esondazione e della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione in allegato, si constata che l'area vista nel suo complesso:

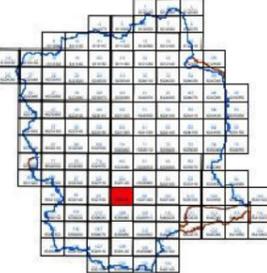
- presenta porzioni identificate con livello della pericolosità e del rischio geomorfologico P2 medio (codici: 094-4AI-175; 094-4AI-176; 094-4AI-177; 094-4AI-178) e, dissesti attivi per deformazione superficiale lenta (codici: 094-4AI-175; 094-4AI-176; 094-4AI-178) e per colamento lento (codice: 094-4AI-177);
- non ricade all'interno di zone di esondazione per collasso della diga Ogliastro, di rischio idraulico per fenomeni di esondazione e di pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione.

Mentre, le aree strettamente interessate dall'impianto, come meglio indicato puntualmente nel layout su ortofoto di seguito allegato, non ricadono all'interno di zone con pericolosità e rischio geomorfologico e dissesti.

REPUBBLICA ITALIANA
 Regione Siciliana
 Assessorato Territorio e Ambiente
 DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
 Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"
Piano Stralcio di Bacino
 per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
 Bacino Idrografico del Fiume Simeto(094)
 area tra i bacini del Simeto e del S. Leonardo (094A)
 Laghi di Pergusa (094B) e Maletto (094C)

CARTA DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO N° 98
 COMUNI DI AIDONE - RAMACCA
 Scala 1:10.000

Anno 2005

LEGENDA

LIVELLI DI PERICOLOSITA'

-  P0 basso
-  P1 moderato
-  P2 medio
-  P3 elevato
-  P4 molto elevato
-  Sito d'attenzione

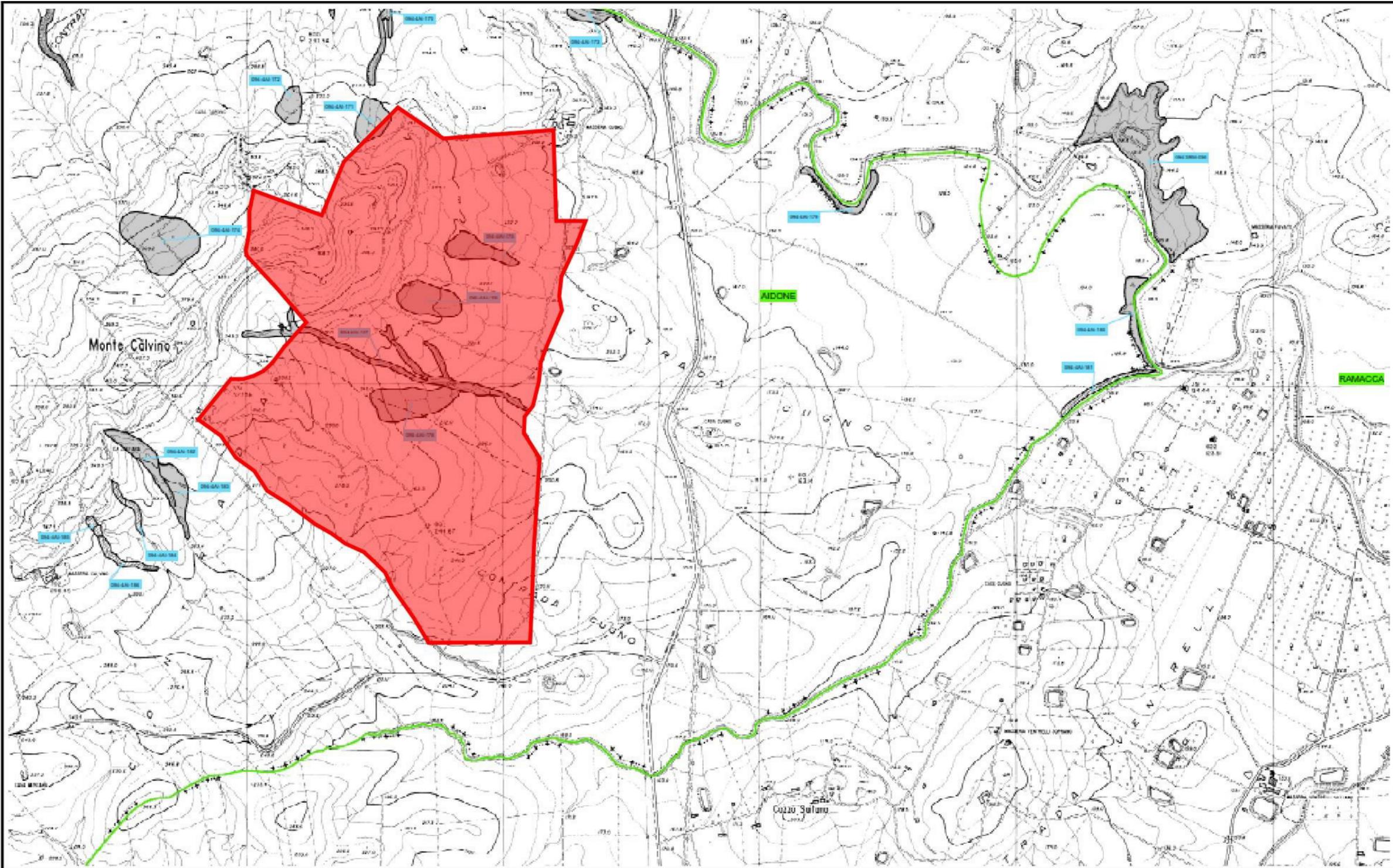
LIVELLI DI RISCHIO

-  R1 moderato
-  R2 medio
-  R3 elevato
-  R4 molto elevato

 Limite bacino idrografico

 Limite area intermedia e laghi di Pergusa e Maletto

 Limite comunale

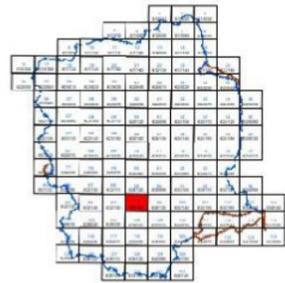


Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"



CARTA DEI DISSESTI N° 98

COMUNI DI AIDONE - RAMACCA
 Scale 1:10.000



Anno 2005

LEGENDA

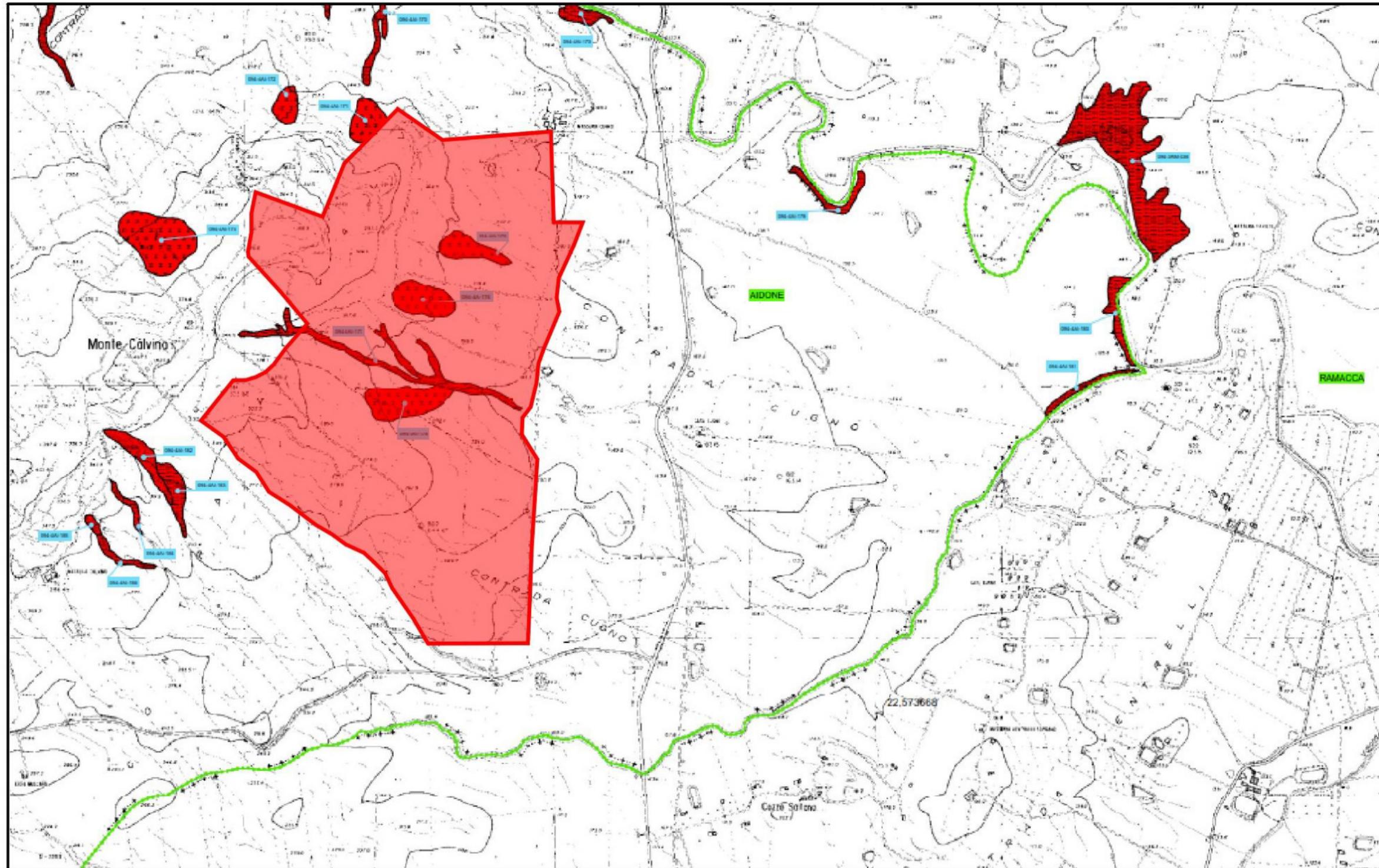
TIPOLOGIA

- Crollo o ribaltamento
- Colamento rapido
- Sprofondamento
- Scorrimento
- Frana complessa
- Espansione laterale o deformazione gravitativa (DGPV)
- Colamento lento
- Area a frangibilità diffusa
- Deformazione superficiale lenta
- Calarico
- Dissesti conseguenti ad erosione accelerata
- Sito d'attenzione

STATO DI ATTIVITA'

- Attivo
- Inattivo
- Quiescente
- Stabilizzato artificialmente o naturalmente

- Limite bacino idrografico
- Limite area intermedia e laghi di Pergusa e Maletto
- Limite comunale



Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"

REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente

Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)

Bacino Idrografico del Fiume Simeto (094)
area tra i bacini del Simeto e del S. Leonardo (094A)
Laghi di Pergusa (094B) e Maletto (094C)

CARTA DELLE AREE DI ESONDAZIONE PER COLLASSO E MANOVRA
DEGLI ORGANI DI SCARICO DELLA DIGA OGLIASTRO N° 98

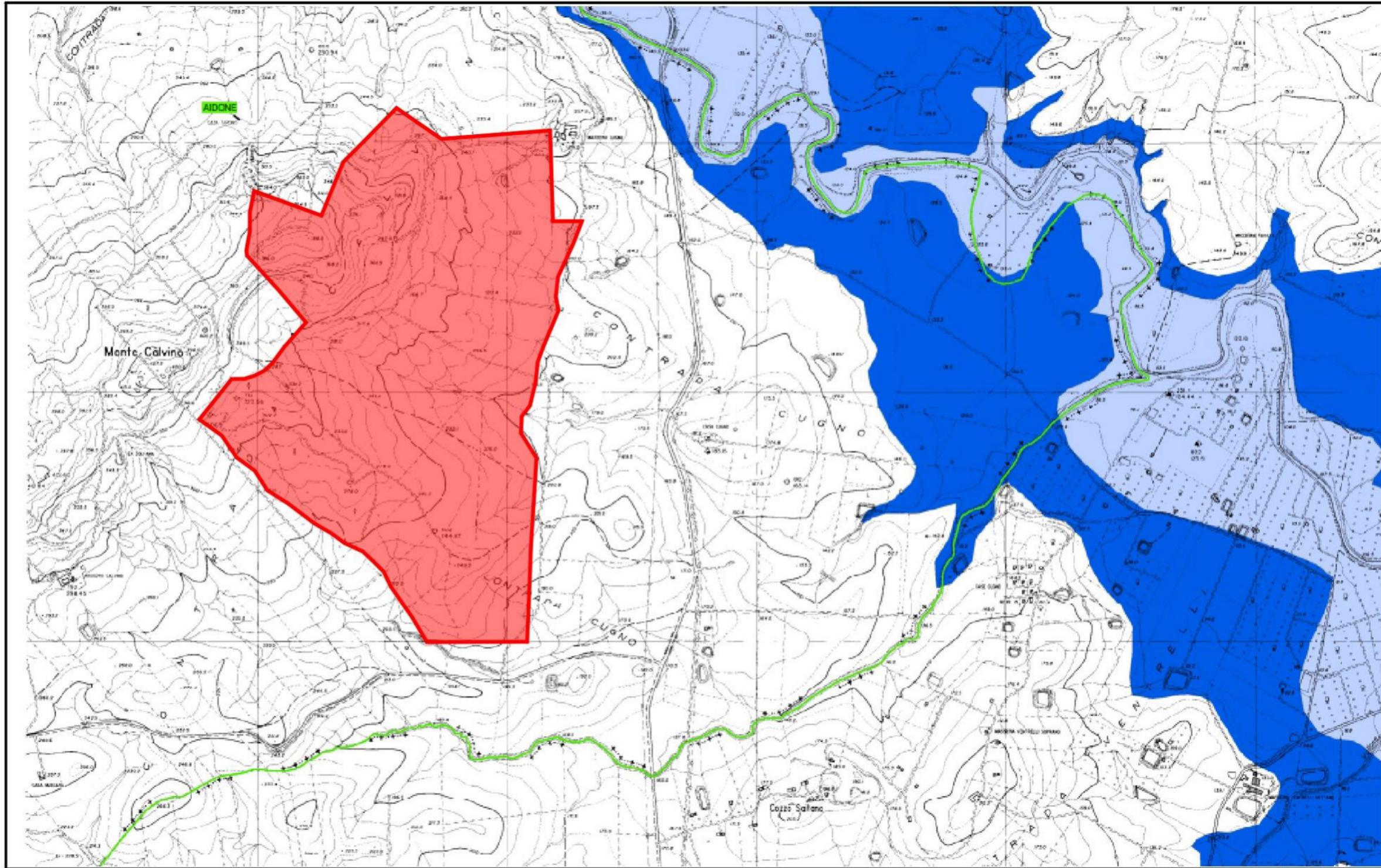
COMUNE DI
ANTINUPOLIS
Scale 1:10.000

Anno 2005



LEGENDA

-  Diga Ogliastro
-  Area invaso d'ga Ogliastro
-  Area di esondazione per collasso della diga Ogliastro
-  Area di esondazione per manovra di apertura degli scarichi della diga Ogliastro
-  Limite bacino idrografico
-  Limite area intermedia e laghi di Pergusa e Maletto
-  Limite comunale



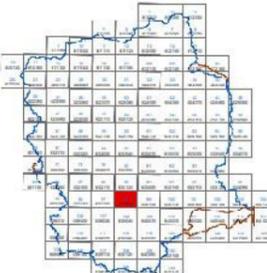
Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"

REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
DIPARTIMENTO TERRITORIO E AMBIENTE
Servizio di "ASSESSO" TERRITORIO E INFRASTRUTTURE SICILIE
Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)
Bacino Idrografico del Fiume Simeto (094)
area tra i bacini del Simeto e del S. Leonardo (094A)
Laghi di Pergusa (094B) e Maletto (094C)

CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA
PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 98

COMUNI DI
AIDONE-RAMACCA
Scala 1:10.000

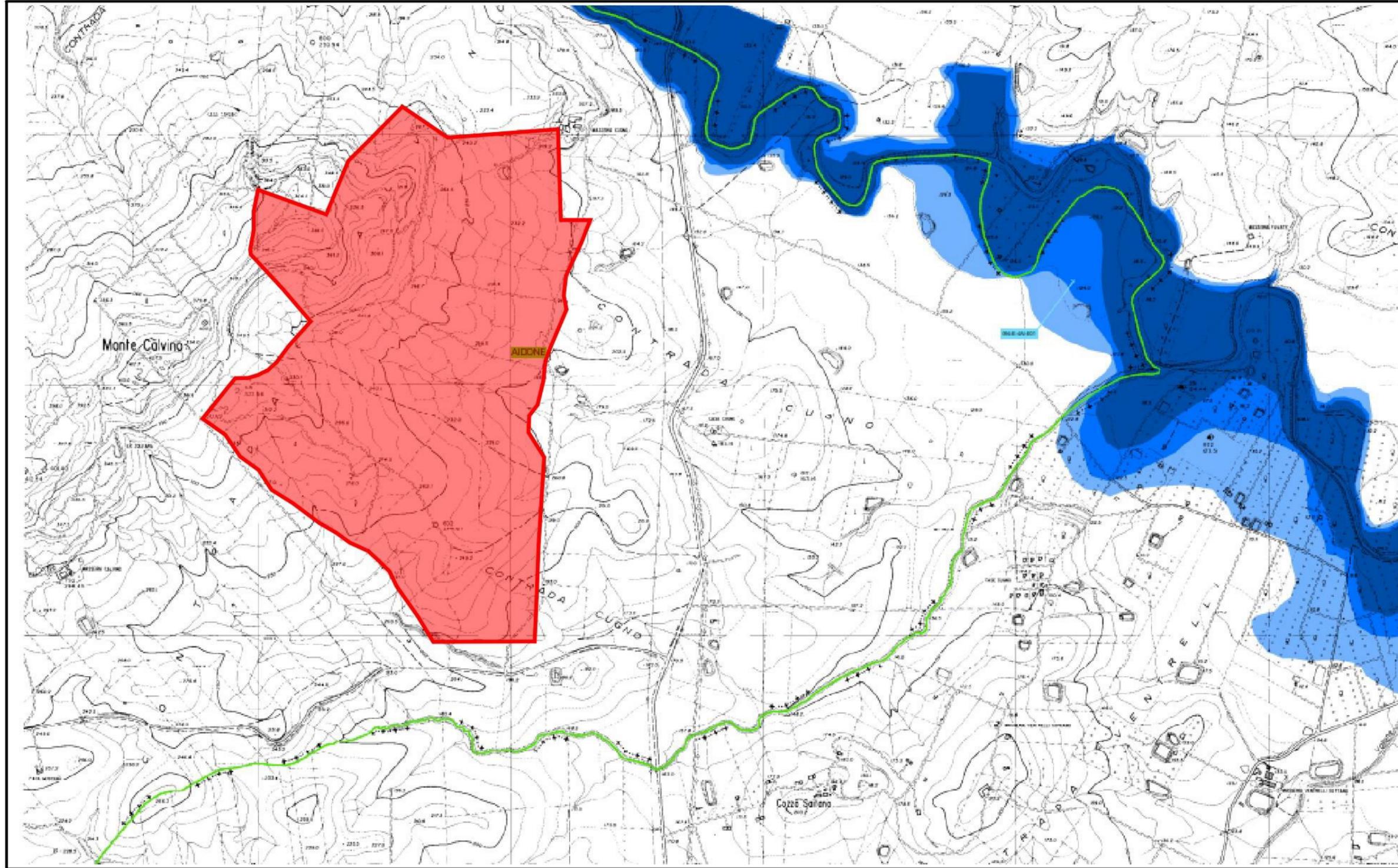
Anno 2005

LEGENDA

VALORI DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

-  P1 Pericolosità bassa
-  P2 Pericolosità moderata
-  P3 Pericolosità alta
-  Sito d'attenzione

 Limite bacino idrografico
 Limite area intermedia e laghi di Pergusa e Maletto
 Limite comunale



Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"

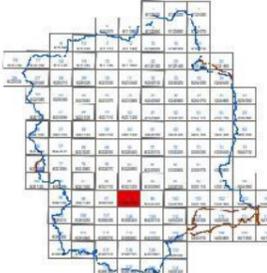
REPUBBLICA ITALIANA

Regione Siciliana
Assessorato Territorio e Ambiente
LIPSAE (Istituto LIGURIANO PER LO STUDIO E LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE)
Servizio 4 "ASSETTO DEL TERRITORIO E DIFESA DEL SUOLO"

**Piano Stralcio di Bacino
per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)**
Bacino Idrografico del Fiume Simeto(094)
area tra i bacini del Simeto e del S. Leonardo (094A)
Laghi di Pergusa (094B) e Maletto (094C)

CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO
PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 98

COMUNE DI
AIDONE-ORLANDO
Scala 1:10.000

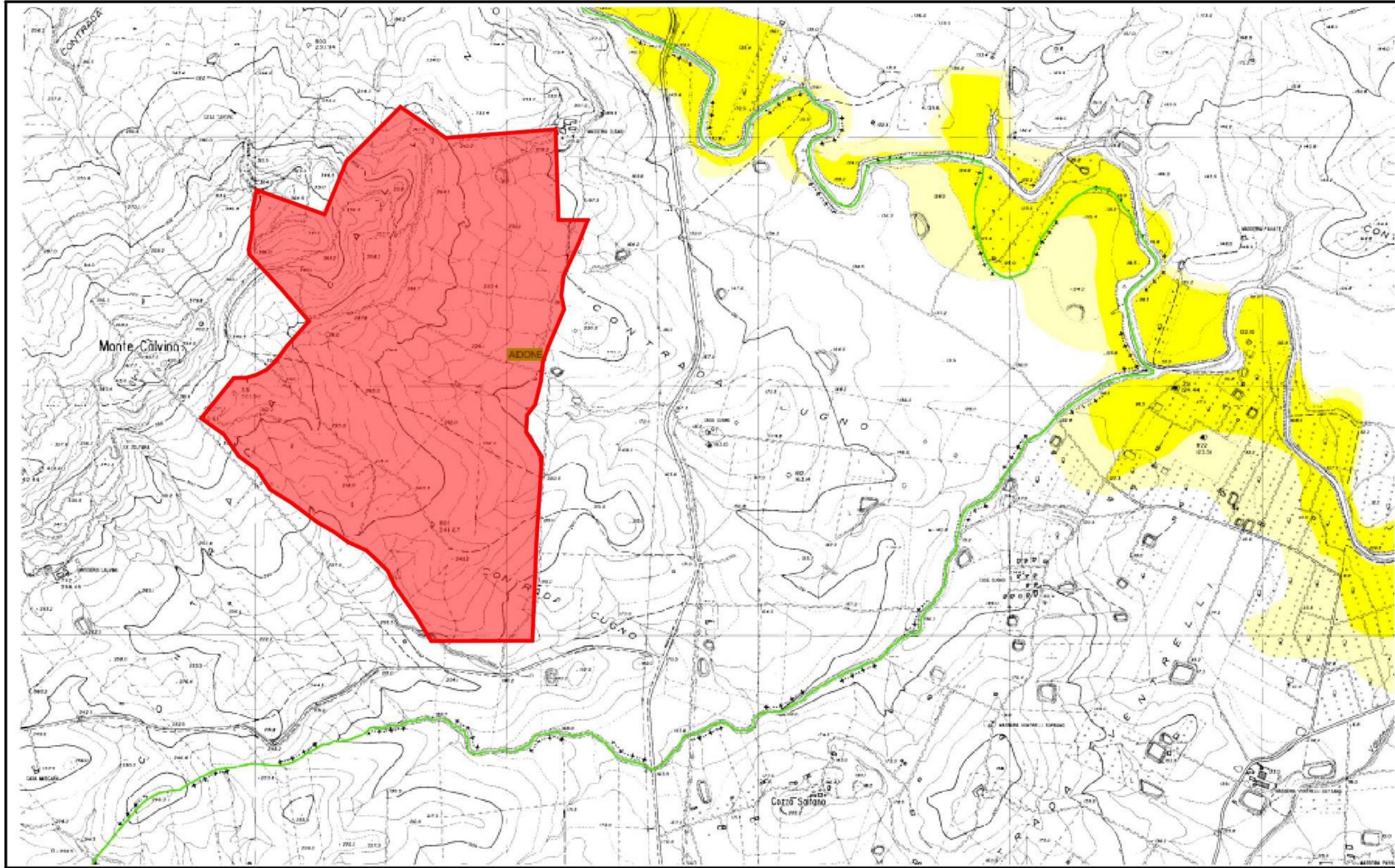
Anno 2005

LEGENDA

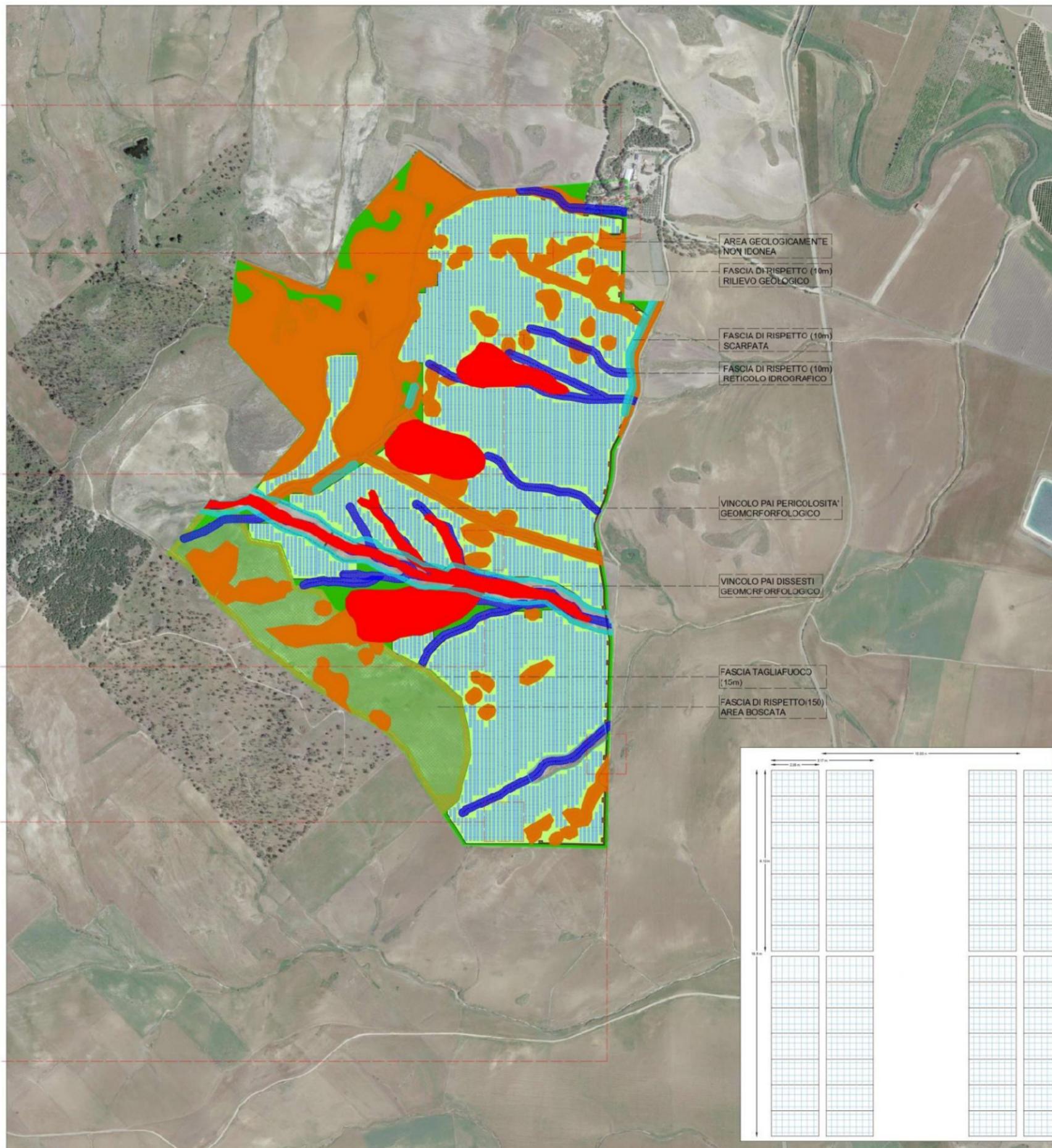
VALORI DEL RISCHIO IDRAULICO

-  R1 Rischio moderato
-  R2 Rischio medio
-  R3 Rischio elevato
-  R4 Rischio molto elevato

-  Limite bacino idrografico
-  Limite area intermedia e laghi di Pergusa e Maletto
-  Limite comunale



Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"

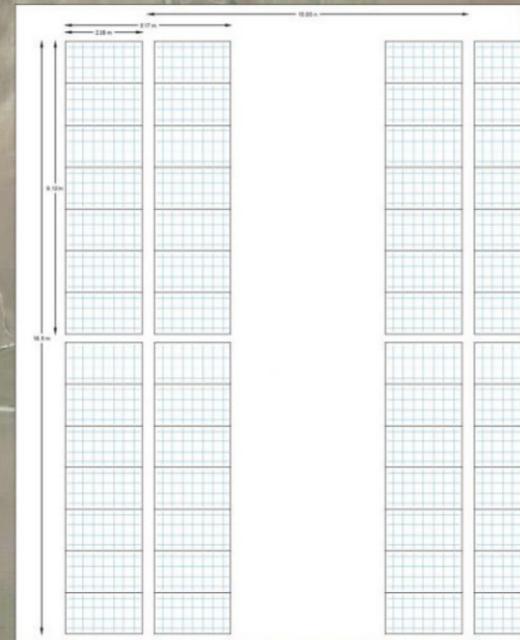


DATI IMPIANTO	
NOME IMPIANTO	AIDONE 4
LOCALITA'	Aidone
PROVINCIA	Enna
POTENZA IMPIANTO	47.613 kWp
MODULI	71.064 Da 0.67 kWp
SUP. CAPTANTE	221.719,68 mq
COORDINATE	Lat. 37° 25' 34.06" N ; Long. 14° 36' 10.39" E
QUOTA	241 s.l.m.
TIPOLOGIA	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A INSEGUIMENTO MONOASSIALE
VIABILITA'	STRADA PROVINCIALE 73
AREA IMPIANTO	735.092 mq

Legenda	
	Area a disposizione per impianto Aidone 4

Legenda	
	Fascia di mitigazione
	Viabilità interna
	Area agricola
	Cabina di campo
	Pannelli fotovoltaici
	Corso d'acqua
	Vincolo PAI-Pericolosità geomorfologica
	Rilievo geologico
	Fascia di rispetto rilievo geologico
	Fascia di rispetto reticolo idrografico
	Fascia di rispetto scarpata
	Fascia di rispetto area boscata
	Fascia tagliafuoco

Legenda_Dettaglio aree	
Area totale	1.371.228 mq
Area verde	716.730 mq
Area viabilità	7.538 mq
Area ingombro pannelli	221.720 mq
Area vincolate o non idonee	425.240 mq



Layout impianto su ortofoto / Fonte: Google.com_maps

Particolare: Distanze tra stringhe / 1:10

6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Il deflusso superficiale delle acque in posto, è strettamente legato alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti in relazione alla loro permeabilità, cioè l'attitudine a lasciarsi attraversare dall'acqua sotto l'effetto di un gradiente idraulico. La permeabilità esprime la resistenza del mezzo al deflusso dell'acqua che lo attraversa.

I terreni di copertura rilevati nella zona di interesse, influenzano la circolazione idrica sotterranea in quanto dotati di una permeabilità medio-bassa. Infatti, sono caratterizzati da una permeabilità di tipo primario (per porosità e fratturazione) che assume grado diverso da zona a zona, in relazione alla composizione granulometrica e allo stato di alterazione dei sedimenti. Può essere considerata come una formazione semipermeabile con circolazione discontinua e ridotta.

In profondità, come rilevato in fase di studio, si riscontra la formazione argillosa che si presume presentare una permeabilità estremamente bassa se non nulla.

In relazione alle caratteristiche litologiche dei termini costituenti la successione stratigrafica, è stata effettuata una classificazione delle formazioni litologiche rilevate nella zona studiata associando ad ognuna di esse un grado di permeabilità:

- terreni a permeabilità medio-bassa;
- terreni a permeabilità bassa.

Terreni a permeabilità medio-bassa

Vi appartengono i terreni di copertura, di ridotto spessore, rappresentati da terreno agrario, poco consistente ed umido frammisto a detriti e livelli terrosi. Trattandosi di depositi sciolti, sono caratterizzati

da una permeabilità medio-bassa ($10^{-3} < K < 10^{-5}$ cm/s, da letteratura) di tipo primario (per porosità e fratturazione), che assume grado diverso da zona a zona in relazione alla composizione granulometrica e allo stato di alterazione e fratturazione.

Terreni a permeabilità bassa

Vi appartengono le argille, dotate di una permeabilità estremamente bassa risultando quasi del tutto impermeabili ($10^{-5} < K < 10^{-7}$ cm/s). Costituiscono il substrato impermeabile del sovrastante terreno di copertura.

6.1 FALDE E CIRCOLAZIONE IDRICA SOTTERRANEA

In considerazione della pendenza e del ridotto spessore dei termini permeabili, si può ragionevolmente supporre che, le acque superficiali permeano all'interno della copertura fino al sottostante substrato marnoso-argilloso, per poi defluire secondo la pendenza a quote più basse, con una circolazione idrica sotterranea soggetta essenzialmente ad oscillazioni stagionali, valutabili nell'ordine di alcuni decimetri.

7. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

La rete idrografica dell'area di interesse ha un pattern dendritico e risulta abbastanza sviluppata, con incisioni più o meno accentuate in funzione dell'acclività dei terreni, della natura dei terreni affioranti, della mancanza di opere di regimazione, della copertura vegetale dei suoli. Il bacino idrografico di pertinenza in cui si ricade è quello della sinistra idrografica del Fiume Cornalunga, la cui area territoriale è localizzata a Sud-Ovest dei Monti Erei. A Nord-Ovest dell'area di studio, ricade il lago Ogliastro.

Il drenaggio di superficie del territorio interessato, viene espletato da una fitta rete idrografica di forma dendritica.

Le linee principali di impluvio, che nel contesto dell'ambito di studio sono rappresentate dai rami del Fiume Cornalunga, denotano il loro carattere di corsi d'acqua del tutto connesso strettamente alle piovosità.

L'esame morfometrico dei bacini presenti, manifesta un'elevata frequenza dei bassi ordini cui segue un'elevata densità di drenaggio.

L'erosione che essi esercitano lungo i versanti, viene favorita sia dalla natura geologica degli affioramenti, sia dall'assenza di vegetazione arborea, praticandosi sui suoli prevalentemente colture seminate semplici, con sporadiche alberature e, la serricoltura. In conseguenza di ciò si assiste principalmente a erosioni di fondo delle aste torrentizie.

L'andamento piano - altimetrico delle strutture favorisce il trasporto verso valle delle acque meteoriche che, esercitano col tempo il loro potere di dissoluzione sui suoli di impatto e su cui scorrono. Tali fenomeni caratterizzano l'evoluzione geomorfologica dinamica del territorio.

Il reticolo idrografico esercita una accentuata azione erosiva in corrispondenza di affioramenti argillosi, configurando processi evolutivi.

8. CENNI SULLA CLIMATOLOGIA

Dal punto di vista climatico, le aree di interesse sono caratterizzate da un clima temperato caldo con notevole variazione termica tra il mese più caldo e quello più piovoso. Le escursioni termiche risultano massime in inverno e, minime nel periodo estivo.

Il regime pluviometrico è del tipo “Oceanico”, tipico della Sicilia, essendo caratterizzato da precipitazioni massime in inverno e minime nel periodo estivo.

In questo contesto pluviometrico, assumono particolare importanza i fenomeni di ruscellamento superficiale, di infiltrazione e di evapotraspirazione.

L’evapotraspirazione è sempre modesta, sia nei mesi freddi che nei mesi caldi.

Nelle aree dove affiorano i termini argillosi, il ruscellamento superficiale risulta evidente in occasione di piogge di forte intensità e di breve durata.

9. IDROLOGIA

9.1 CALCOLO DELLE PORTATE IDRICHE MASSIME

Il presente paragrafo ha l'obiettivo di definire il reticolo idrografico e le fasce critiche dal punto di vista idrologico, per il corretto posizionamento dei pannelli fotovoltaici sulle rispettive aree di interesse progettuale e, calcolare le portate idriche più significative, nonché, l'individuazione dei canali di convogliamento per la regimazione delle acque di deflusso superficiale.

Il bacino idrografico è definito come quella porzione di territorio il cui deflusso idrico superficiale viene convogliato verso una fissata sezione di un corso d'acqua o strada (in ambito urbano), chiamata 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 lo separa dai bacini adiacenti. Lo spartiacque viene tracciato considerando le curve di livello di una carta topografica, individuando le culminazioni topografiche con maggiore quota.

Successivamente, con l'analisi delle intensità di precipitazione si ricavano i dati relativi alle curve di probabilità pluviometrica per il tempo di ritorno associato. Gran parte dei metodi che l'idrologia propone, in merito alla determinazione di eventi di piena, utilizza modelli di trasformazione pioggia/portata.

Il calcolo delle portate di deflusso meteorico è stato effettuato con il metodo razionale.

9.2 DATI PLUVIOMETRICI

Considerato 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 h 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", comunemente rappresenta dall'espressione monomia:

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

dove "h" è l'altezza di pioggia (in mm), "t" è la durata (in ore), "a" ed "n" sono parametri che variano in funzione 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 calcolo del quantitativo di pioggia relativa all'area in esame, è stato effettuato utilizzando i dati di precipitazione registrati dalle stazioni pluviometriche più vicine, sia in termini spaziali, sia in termini idrologici, ovvero quelle di Piazza Armerina.

DATI PLUVIOGRAFICI					
(Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)					
Stazione di :		Piazza Armerina			
Quota (m s.l.m.):		575		Numero di osservazioni : N = 15	
Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1993	21,00	67,00	37,40	37,60	44,00
1997	35,20	55,00	55,00	55,00	81,00
1998	36,00	36,00	38,20	39,00	57,00
1999	28,40	30,60	52,40	77,40	119,00
2000	39,40	40,60	52,60	52,60	61,40
2001	35,20	38,40	38,40	38,40	38,40
2002	30,60	36,20	36,20	36,20	36,40
2004	40,00	62,00	75,20	80,60	84,40
2006	12,80	30,60	48,40	66,60	113,60
2007	13,00	26,40	52,20	85,00	117,00
2008	40,60	64,60	78,00	78,00	79,60
2011	25,40	36,00	57,00	90,40	98,20
2013	26,40	29,00	41,80	49,80	52,80
2014	26,00	40,00	59,60	79,60	88,80
2015	41,00	46,40	55,80	68,20	104,00

9.3 CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA

Per definire le curve di possibilità pluviometrica, bisogna disporre di un periodo sufficientemente lungo di osservazioni pluviografiche per una determinata località. Per ognuna delle osservazioni si estrapolano 5 durate (1, 3, 6, 12 e 24 ore), ordinate in N valori in ordine decrescente e rappresentate in un diagramma cartesiano avente in ascissa la durata t (ore) ed in ordinata le altezze di pioggia (mm).

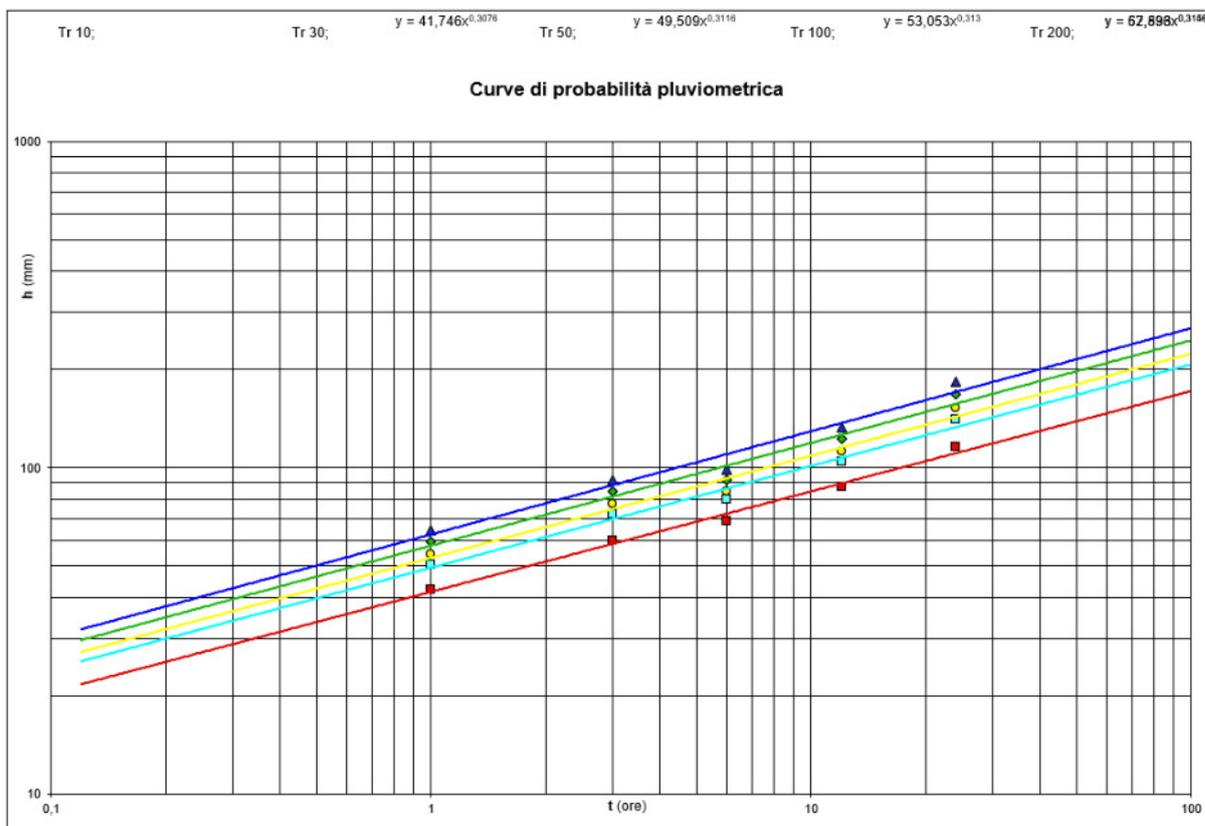
La curva che interpola le altezze maggiori viene denominata curva dei primi casi critici, rappresenta gli eventi di pioggia raggiunti o superati una sola volta nel periodo di osservazione. Tali eventi hanno una frequenza empirica di raggiungimento o superamento pari ad $1/N$. Analogamente, è possibile definire le curve dei secondi, terzi ed n-esimi casi critici. Tali curve sono denominate curve di probabilità pluviometrica.

Per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica, ci si basa sull'analisi delle curve di frequenza cumulata (CDF), costruite per le serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore, adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri, un predefinito modello probabilistico, nel nostro caso "Gumbel".

**ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOGRAFICI
(Metodo di Gumbel)**

Tabella 1 - Valori per ciascuna durata t , della media $\mu(h_t)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")

N =	15	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		30,07	42,59	51,88	62,29	78,37
$\sigma(h_t)$		9,38	13,41	12,75	19,23	28,69
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0,14	0,10	0,10	0,07	0,04
$u_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		25,85	36,55	46,14	53,64	65,46



Curve di Probabilità Pluviometrica Gumbel

Dalla relazione fra altezza [h] e durata [t] della pioggia per un assegnato tempo di ritorno T_R ,

$$h = at^n$$

i parametri [a] ed [n] variano con il tempo di ritorno e vengono calcolati interpolando i valori ottenuti dalle (cinque) funzioni di distribuzione di probabilità. Si ottiene, ovviamente, una curva per ogni tempo di ritorno T_R .

Il metodo più veloce per determinare i parametri [a] ed [n] di ciascuna linea segnalatrice, consiste nell'interporli linearmente in un piano in scala bi-logaritmica (ovvero in un piano in cui in ascissa vi sia $\log t$ ed in ordinata $\log h$). Infatti, passando ai logaritmi si ottiene una retta (per ogni T_R):

$$h = at^n \rightarrow \log h = \log a + n \log t$$

L'interpolazione può essere effettuata graficamente, con risultati approssimati, o analiticamente mediante una semplice procedura di regressione lineare tra i punti dati (che normalmente sono 5 relativi alle cinque durate orarie).

Le procedure di regressione lineare applicano il metodo dei minimi quadrati, che consiste nell'individuare il set di parametri, nel caso in esame pendenza [n] ed intercetta [log(a)], che rendono minima la sommatoria dei quadrati degli scarti, ovvero delle distanze tra i 5 valori osservati ed i corrispondenti valori sulla retta interpolante.

$x = \log(t)$	$y = \log(h)$	$b = \log(a)$	$m = \text{numero punti (5)}$
---------------	---------------	---------------	-------------------------------

$$n = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^2 \sum_{i=1}^m y_i - \sum_{i=1}^m x_i \sum_{i=1}^m x_i y_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - (\sum_{i=1}^m x_i)^2}$$

Dopo aver ottenuto i valori dei parametri in scala logaritmica è necessario ritornare alle dimensioni lineari.

$$\log h = \log a + n \log t \rightarrow h = at^n$$

Questo si ottiene semplicemente con l'uguaglianza tautologica:

I valori di "a" ed "n" calcolati ed i relativi valori estratti di altezze di precipitazione sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 2 - Altezze massime di pioggia regolarizzate (mm)

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	42,29	60,07	68,51	87,37	115,79
30 anni	$h_{max} =$	50,58	71,91	79,78	104,36	141,15
50 anni	$h_{max} =$	54,36	77,32	84,92	112,12	152,73
100 anni	$h_{max} =$	59,46	84,62	91,86	122,58	168,34
200 anni	$h_{max} =$	64,55	91,89	98,77	133,01	183,90

Tabella 3 -

Tr		LEGGE DI PIOGGIA	$h = a \times t^n$
10 anni	→		$h=41,746xt^{0,3076}$
30 anni	→		$h=49,509xt^{0,3116}$
50 anni	→		$h=53,053xt^{0,313}$
100 anni	→		$h=57,833xt^{0,3146}$
200 anni	→		$h=62,596xt^{0,3159}$

Dati Pluviometrici con i Tr

Dalla stima del tempo di corrivazione è necessario, inoltre, osservare che poiché gli eventi di pioggia brevi e quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche, dai campioni di altezze h_t aventi durate $1 \div 2$ ore $\leq t \leq 24$ ore non può essere tratta alcuna informazione inerente dagli eventi brevi.

La curva di probabilità pluviometrica, costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere pertanto estrapolata per valori della durata t inferiore ad un'ora.

È stato però dimostrato che, il rapporto tra l'altezza di pioggia $h_{t,T}$ con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia $h_{60,T}$ di durata pari a 60 minuti e pari tempo di ritorno T è relativamente poco dipendente dalla località e dipendente solo dalla durata t espressa in minuti.

10. MISURE TECNICHE DI MITIGAZIONE

Il progetto non può ritenersi un intervento di trasformazione urbanistica, in senso stretto, per il marginale impatto ambientale che si configura ben lontano dall'impatto prodotto da una impermeabilizzazione del terreno mediante interventi caratterizzati da intensa cementificazione (fabbricati in c.a., strade e opere di urbanizzazione di qualsiasi tipo) che portano ad un consumo di suolo irreversibile.

Dai risultati ottenuti dal presente studio idrologico ed idraulico, si può affermare che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico non avrà un'incidenza ambientale notevole, in quanto gli impatti derivanti sono assenti o poco significativi, ed in questo caso specifico produrranno effetti anche positivi sull'ambiente rispetto allo stato attuale dei luoghi.

10.1 INTERVENTI TECNICI DI MITIGAZIONE AMBIENTALE

Facendo riferimento all'Allegato 2 punto B) del D.D.G. Regione Sicilia n. 102 del 23/06/2021, le tipologie costruttive per la realizzazione delle "Misure di ritenzione naturale delle piene (NWRM)" più idonee sono rappresentate dalle trincee drenanti (sigla U08) ed opere di laminazione come i fossi di guardia, laddove affiorano i suoli con prevalente frazione argillosa poco permeabile.

Altre misure potranno e dovranno essere previste, come ad esempio l'inerbimento della superficie occupata dalle stringhe di pannelli e la creazione di fasce arboree e arbustive perimetralmente ai confini dell'area di progetto.

I benefici derivanti da queste misure saranno notevoli e possono prevedere come effetti positivi:

1. mediante la pratica dell'inerbimento, unitamente alla presenza delle stringhe di pannelli, il suolo riceverà una diretta azione di protezione dagli agenti atmosferici e produrrà una conseguente sensibile riduzione dell'erosione del terreno, a causa dell'impatto dell'acqua sul suolo e a causa di eventuali acque dilavanti in esubero che si potrebbero accumulare durante eventi piovosi di forte intensità. Inoltre, l'azione erosiva verrà inibita anche dalla cessazione dalle lavorazioni agrarie, che provoca la compattazione e l'impermeabilizzazione dei suoli;
2. mentre i principali effetti benefici derivanti dall'impianto delle fasce arboree e arbustive sull'assetto idrologico – idrografico ed idrogeologico, possono riassumersi nella purificazione dell'acqua di infiltrazione nel terreno, con conseguente e graduale eliminazione dell'inquinamento delle acque superficiali e il conseguente drenaggio negli alvei torrentizi locali ed il progressivo abbassamento della vulnerabilità agli agenti inquinanti degli eventuali acquiferi superficiali e profondi.

10.2 INTERVENTI TECNICI DI MITIGAZIONE

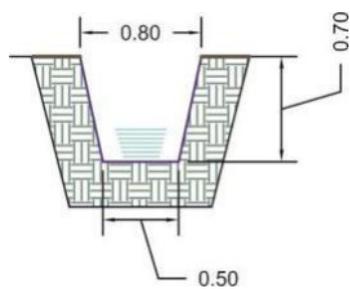
MISURE TECNICHE ANTROPICHE

In questa categoria di interventi sono comprese tutte quelle opere idrauliche drenanti (materassi in pietrame, canalette drenanti, fossi di guardia, savanelle di guado in pietrame, ecc..), per la canalizzazione delle acque dilavanti lungo le linee di impluvio naturali (per le quali è

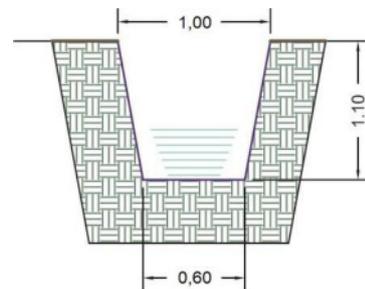
prevista una fascia di rispetto di 10 m per lato), in relazione alla natura del terreno affiorante e alla pendenza dei versanti. Il tutto allo scopo di drenare le acque verso le incisioni torrentizie presenti nelle aree esaminate neutralizzandone il loro potere erosivo. Le misure tecniche di mitigazione, nella maggior parte dei casi, sono attuate in modo tale da avere opere ad “impatto zero” sugli esistenti reticoli idrografici.

Le acque defluenti dall'area di impianto verranno raccolte ed allontanate da opere idrauliche per la regimazione delle acque, consistenti principalmente in due tipologie di canali in terra e/o fossi di guardia (Tipo “A” e Tipo “B”) che, verranno realizzati intorno all'area dell'impianto, in modo da assicurare la raccolta e l'allontanamento delle acque di scorrimento verso gli impluvi naturali più a Sud.

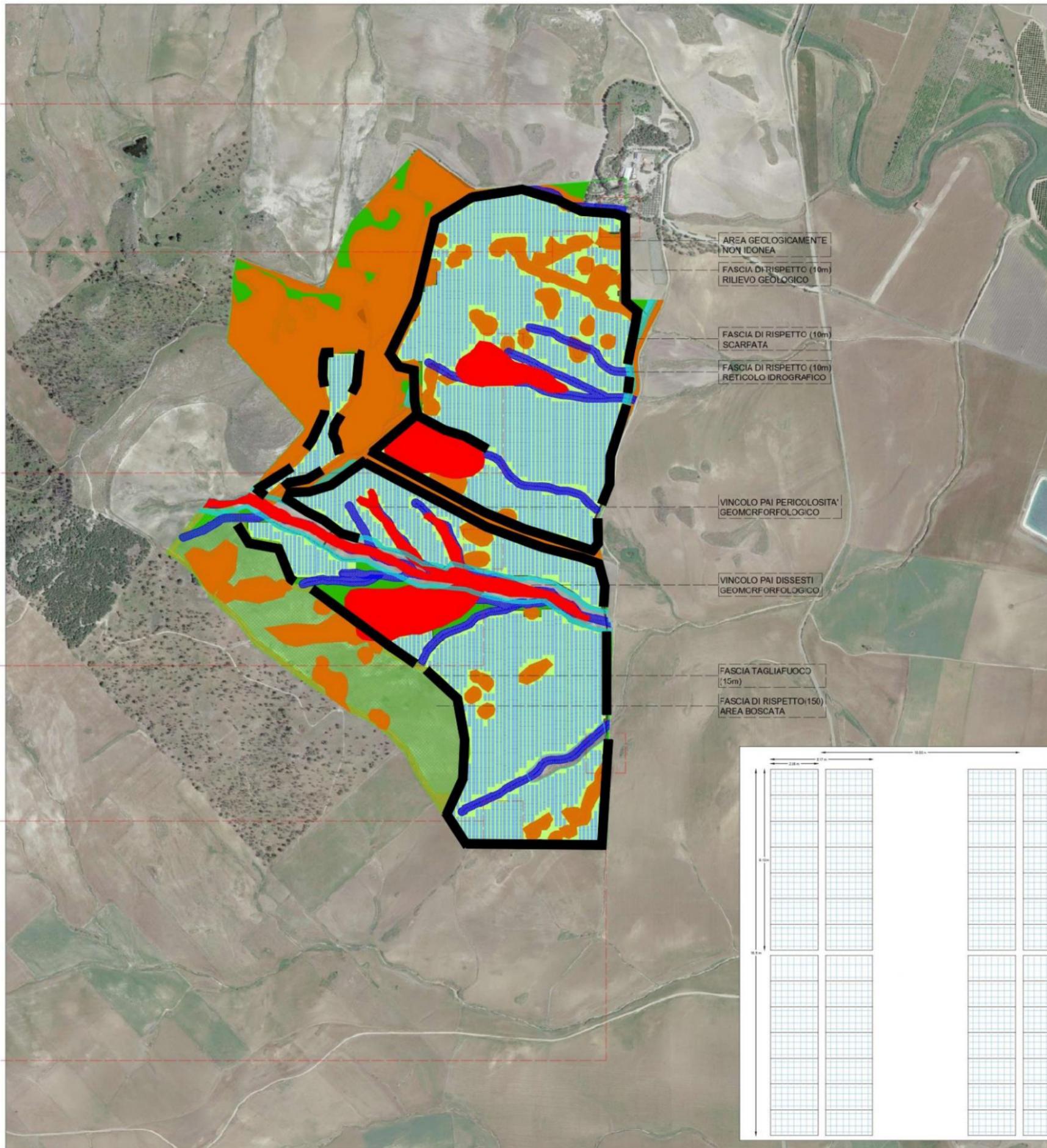
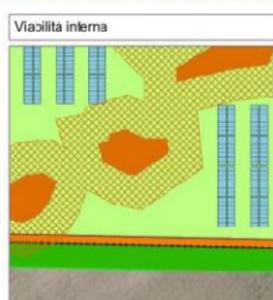
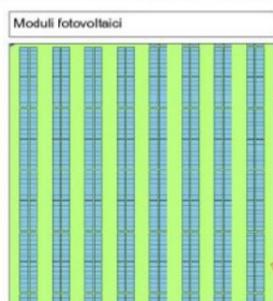
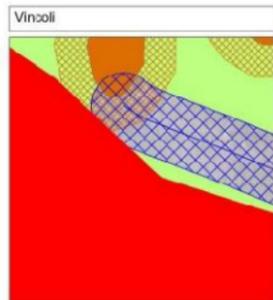
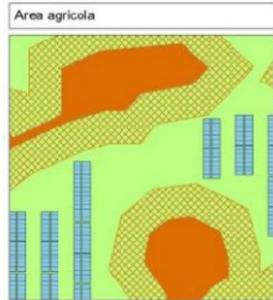
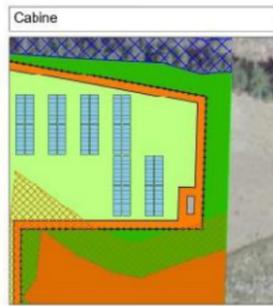
I fossi di guardia e/o canali, così come verificato, dovranno avere le dimensioni di seguito riportate.



Tipo “A”



Tipo “B”

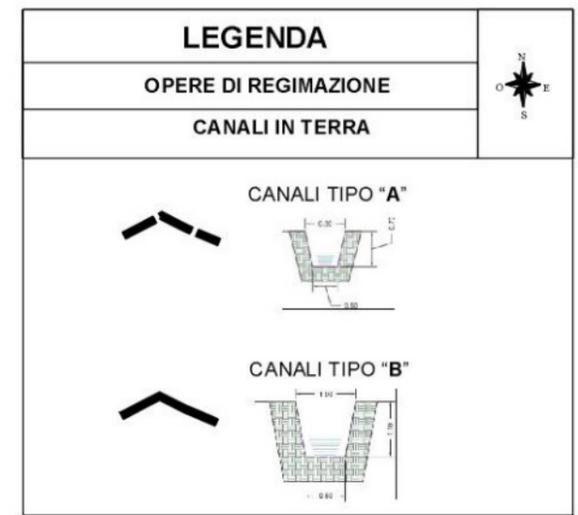
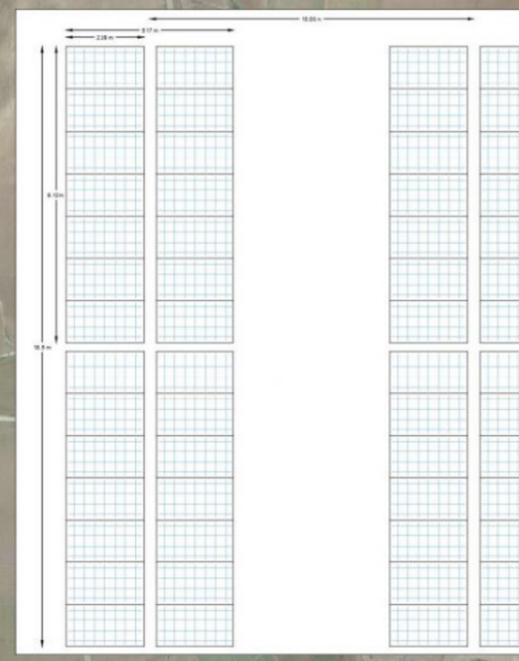


DATI IMPIANTO	
NOME IMPIANTO	AIDONE 4
LOCALITA'	Aidone
PROVINCIA	Enna
POTENZA IMPIANTO	47.613 kWp
MODULI	71.064 Da 0.67 kWp
SUP. CAPTANTE	221.719.68 mq
COORDINATE	Lat. 37° 25' 34.06" N ; Long. 14° 36' 10.35" E
QUOTA	241 s.l.m.
TIPOLOGIA	IMPIANTO FOTOVOLTAICO A INSEGUIMENTO MONOASSIALE
VIABILITA'	STRADA PROVINCIALE 73
AREA IMPIANTO	735.092 mq

Legenda	
	Area a disposizione per Impianto Aidone 4

Legenda	
	Fascia di mitigazione
	Viabilità interna
	Area agricola
	Cabina di campo
	Pannelli fotovoltaici
	Corso d'acqua
	Vincolo PAI-Pericolosità geomorfologica
	Rilievo geologico
	Fascia di rispetto rilievo geologico
	Fascia di rispetto reticolo idrografico
	Fascia di rispetto scarpata
	Fascia di rispetto area boscata
	Fascia tagliafuoco

Legenda_Dettaglio area	
Area totale	1.371.228 mq
Area verde	716.730 mq
Area viabilità	7.538 mq
Area ingombro pannelli	221.720 mq
Area vincolate o non idonee	425.240 mq



Layout impianto su ortofoto / Fonte: Google.com_maps

Particolare: Distanze tra stringhe / 1:10

11. CONCETTO DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA

L'invarianza idraulica e idrologica sono concetti richiamati a livello nazionale, regionale e comunale. Sebbene il concetto di base sia conosciuto in modo molto chiaro, meno chiare sono le modalità con cui ottenere l'invarianza idraulica e come progettare le opere. In tal senso, negli ultimi anni, sono state emanate delle norme che danno indirizzi precisi sui criteri di progettazione che rispettino il "*Principio di invarianza idraulica e idrologica*", in particolare per la Sicilia tramite il Decreto del Dirigente Generale della Regione Sicilia n. 102 del 23/06/2021.

Un bacino naturale presenta la caratteristica di lasciare infiltrare una certa quantità di acqua durante gli eventi di piena e, di restituire i volumi che non si infiltrano in modo graduale. L'acqua ristagna nelle depressioni superficiali, segue percorsi articolati, si spande in aree normalmente non interessate dal deflusso, in questo modo le piene hanno un colmo di portata relativamente modesto ed una durata delle portate più lunga. Quando un bacino subisce un intervento antropico (urbanizzazione), i deflussi vengono canalizzati e le superfici regolarizzate. Si ha quindi una accelerazione del deflusso stesso, con conseguente aumento dei picchi di piena e delle condizioni di rischio idraulico. L'impermeabilizzazione dei suoli, determina un aumento dei volumi d'acqua che, scorrono in superficie, aggravando ulteriormente le possibili criticità.

Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento della velocità di corrivazione, deve essere associato ad azioni correttive volte a mitigarne gli effetti. Tali azioni sono da rilevare

essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso, finalizzati alla laminazione e/o all'infiltrazione che, se sono attuate in modo da mantenere inalterati i colmi di piena, prima e dopo la trasformazione, si parla di invarianza idraulica delle trasformazioni di uso del suolo (Pistocchi, 2001).

È importante sottolineare che, la predisposizione dei volumi di invaso di laminazione – raccolta e/o infiltrazione, a compensazione delle opere antropiche impermeabilizzanti, non è finalizzata a trattenere le acque di piena nel lotto, ma a mantenere inalterate le prestazioni complessive del bacino sotteso.

Il concetto di invarianza idraulica, in definitiva presuppone la realizzazione, nelle aree che subiranno una perdita di permeabilità in seguito a trasformazioni d'uso del suolo, di interventi il cui scopo è quello di mantenere invariata la portata superficiale defluente verso l'esterno.

Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione (invarianza idrologica) nel terreno dei volumi idrici in eccesso rispetto alle condizioni ante-trasformazione, oppure laminando le portate (invarianza idraulica).

In merito, il Punto C.5.4 dell'Appendice C (Contenuti tecnici degli studi di compatibilità idraulica) del P.A.I. Sicilia (aggiornamento 2021) recita: *“Nel caso di trasformazione dell'uso del suolo che comporti una riduzione della permeabilità superficiale, si dovranno prevedere “interventi in situ” di infiltrazione o di temporanea ritenzione e accumulo (laminazione) delle acque, volti a mantenere invariato il*

coefficiente udometrico dell'area oggetto d'intervento, preservandone la capacità di scolo e di deflusso ante operam”.

In sintesi, l'obiettivo dell'invarianza idraulica è richiedere, a chi propone una trasformazione di uso del suolo, di garantire, attraverso opportune azioni compensative, nei limiti di incertezza del modello adottato per i calcoli dei volumi, le condizioni di funzionalità ante operam del bacino interessato, in modo da mantenere le condizioni di sicurezza territoriale nel tempo.

11.1 DEFINIZIONI

La perdita di suolo permeabile concorre, in modo determinante, all'incremento del coefficiente di deflusso delle acque di pioggia ed al conseguente aumento del deflusso per ettaro di superficie, detto coefficiente udometrico delle aree trasformate. Per contrastare tale fenomeno, ogni trasformazione urbanistica o edilizia che provochi una variazione di permeabilità superficiale, dovrà prevedere specifici interventi di mitigazione e compensazione volti a mantenere costante il coefficiente udometrico, secondo il “*Principio dell'invarianza idraulica e idrologica*”, utilizzando misure sostenibili e naturali di ritenzione e infiltrazione delle acque pluviali. A tal proposito, si fa riferimento al D.D.G. della Regione Sicilia n. 102 del 23/06/2021, che riporta le definizioni:

Coefficiente di deflusso (ϕ): è il rapporto tra il volume defluito attraverso una assegnata sezione in un definito intervallo di tempo, e il volume meteorico totale precipitato nell'intervallo stesso. Il coefficiente di deflusso viene valutato considerando le caratteristiche di permeabilità

e, quindi, di utilizzo, delle diverse superfici presenti in ogni singola area interessata da una trasformazione urbanistica o all'interno di un intero bacino imbrifero drenante. Un alto coefficiente di deflusso, quindi, indica un'elevata impermeabilizzazione potenziale del territorio poiché rappresenta quella aliquota di precipitazione che, in occasione di un evento di pioggia, scorre in superficie senza infiltrarsi nel suolo.

Coefficiente udometrico (ψ): contributo unitario al deflusso superficiale causato dalle piogge (al netto delle perdite per infiltrazione, evaporazione, detenzione e intercettazione da parte della vegetazione) espresso in litri al secondo per ettaro di superficie. La presente norma assume, in sede di prima applicazione, un coefficiente udometrico preesistente alle aree di nuova urbanizzazione pari a 20 l/s*ha (valore dimezzato per lo scarico in aree a pericolosità P3 e P4 del P.A.I.), che individua il valore limite da non superare allo scarico nel ricettore finale (corpo idrico superficiale). L'obiettivo dell'invarianza idraulica e idrologica è, dunque, quello di garantire che il valore del coefficiente udometrico, nella situazione post operam, rimanga immutato rispetto alla situazione ante operam.

Invarianza idraulica: principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione. Tecnicamente l'invarianza idraulica si ottiene, prevalentemente, con la laminazione (accumulo temporaneo) delle portate/volumi di piena.

Invarianza idrologica: principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori

naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione. Tecnicamente l'invarianza idrologica si ottiene, prevalentemente, mediante sistemi di infiltrazione nel terreno.

Modifica significativa di permeabilità: si considera significativa la variazione di permeabilità quando la superficie di trasformazione urbanistica, che includa aree permeabili ed impermeabili, superi il valore complessivo di 1 ha (un ettaro) e/o la variazione del coefficiente di deflusso successivo alla trasformazione sia superiore al 50% di quello preesistente.

Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile (SUDS): metodi di gestione delle acque meteoriche di scorrimento superficiale che replicano i modelli di drenaggio naturali, utilizzando soluzioni economiche a basso impatto ambientale, mediante accumulo, laminazione e infiltrazione, che consentano il lento rilascio nei corpi idrici superficiali (naturali o artificiali), nelle fognature o nelle falde acquifere (infiltrazione). Il volume da destinare alla laminazione e/o all'infiltrazione delle piogge dovrà garantire che la portata allo scarico non ecceda il valore nella situazione ante operam ovvero l'eventuale valore concordato o imposto dall'ente gestore.

Misure di Ritenzione naturale delle Piene (NWRM): metodi di gestione delle acque meteoriche di infiltrazione che utilizzano soluzioni economiche a basso impatto ambientale, mediante infiltrazione efficace, che consentono il lento percolamento nelle falde acquifere. Il volume di infiltrazione delle piogge post operam non deve superare il volume nella situazione ante operam, in modo da rispettare il principio di invarianza idrologica.

Superficie permeabile: la parte di superficie fondiaria priva di costruzioni sia fuori terra che interrata e di pavimentazione, mantenuta in condizioni naturali o sistemata a verde o comunque con soluzioni filtranti alternative, destinata principalmente a migliorare la qualità dell'intervento e del contesto urbano, in grado di assorbire direttamente, in tutto o in parte, le acque meteoriche. A tal fine:

- a) sono considerate superfici permeabili anche quelle artificialmente trasformate che assorbono, in tutto o in parte, le acque meteoriche senza necessità che esse vengano convogliate altrove mediante sistemi di drenaggio e canalizzazione. Tra di esse vi sono: le superfici non pavimentate (finite a prato, orto o comunque coltivate, in terra, terra battuta, ghiaia); superfici finite con pavimentazioni (masselli o blocchetti di calcestruzzo su fondo sabbioso sovrastante il terreno naturale, non cementate con posa degli elementi con fuga permeabile, oltre a quelle che impiegano materiali idonei a garantire il passaggio dell'acqua quali ad es. autobloccanti forati per il drenaggio);
- b) sono considerate altresì superfici permeabili le superfici aventi le caratteristiche di cui alla lettera a) realizzate a copertura di costruzioni interrate con terreno di riporto contiguo al terreno naturale o a sistemazioni artificiali, di spessore non inferiore a metri lineari 0,50 rispetto al piano di copertura della costruzione.

Superfici impermeabili: sono considerate superfici impermeabili quelle artificialmente trasformate, coperte da costruzioni anche interrate o altri manufatti impermeabili (tettoie, serre, ecc.) e le superfici scoperte, per le quali vanno previsti e realizzati opportuni sistemi di smaltimento o

convogliamento delle acque meteoriche che evitino azioni di dilavamento e ruscellamento.

Acque di infiltrazione: l'infiltrazione è il fenomeno fisico per il quale l'acqua presente sulla superficie del terreno penetra al suo interno. Questo movimento avviene sotto la spinta sia della forza gravitazionale che per capillarità. Per quanto riguarda lo smaltimento delle acque, l'infiltrazione consiste nel lasciar defluire acque di scarico attraverso il suolo (infiltrazione superficiale o dispersione) o nella loro immissione direttamente nel sottosuolo (infiltrazione profonda).

Acque di ritenzione: la ritenzione consiste nel creare un volume di accumulo per le acque di scarico meteoriche, con lo scopo di regolarizzare i quantitativi smaltiti, riducendo i picchi di deflusso. La ritenzione non influisce sulle modalità di smaltimento delle acque (infiltrazione, scarico in ricettore o in canalizzazione), ma permette un'evacuazione controllate delle acque contribuendo così a evitare di sovraccaricare gli impianti di infiltrazione, i collettori o i ricettori.

Tempo di corrivazione: inteso come il tempo che impiega una goccia d'acqua a raggiungere la sezione di chiusura del bacino dal punto idraulicamente più lontano dello stesso. È una grandezza caratterizzata da una significativa incertezza nella sua determinazione; infatti le molteplici procedure di stima e definizioni presenti in letteratura mostrano una eccessiva variabilità che ne può pregiudicare un adeguato utilizzo.

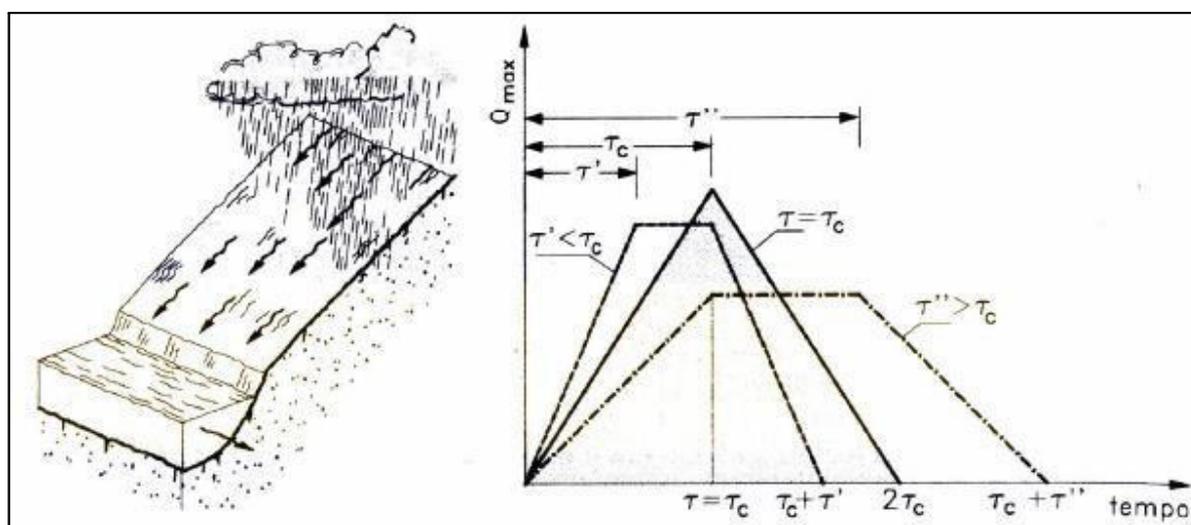
12 VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI ANTE OPERAM

La valutazione dei flussi ante operam viene effettuata con il “Metodo razionale”, usato per il calcolo della massima portata defluente dalla sezione di chiusura del bacino, conseguente ad un’assegnata precipitazione incidente su tutta l’area in un certo intervallo di tempo. Alla base di tale metodologia vi è l’assunzione di una serie di ipotesi semplificative:

- 1) la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
- 2) la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell’evento;
- 3) il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

Se la durata della pioggia “ t ” è minore del tempo di corrivazione “ t_c ”, non tutto il bacino contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso; alla fine della precipitazione (istante t), tutte le parti più distanti del bacino non avranno ancora contribuito al deflusso nella sezione di controllo e quando questo avverrà, dopo un intervallo di tempo $t_c - t$, le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno cessato di impegnare la stessa. Viceversa, se la pioggia ha una durata $t > t_c$, tutto il bacino contribuirà contemporaneamente al deflusso per un intervallo di tempo $t - t_c$ in cui la portata resterà costante e pari al valore massimo.

Si riporta di seguito uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione). Per un tempo di pioggia pari a quello di corrivazione, l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.



Idrogramma di piena - Metodo razionale

Il tempo di corrivazione (t_c) è inteso quale tempo intercorrente fra l'inizio della pioggia efficace (cioè che dà luogo ai deflussi superficiali) ed il colmo della piena, ritenuto uguale al tempo necessario perché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino pervenga alla sezione di chiusura. Esso costituisce un parametro del modello indipendente dalla portata e dal tempo. Tale parametro risulta di difficile determinazione, ma come ampiamente consolidato in letteratura, si assume che la durata della precipitazione critica sul bacino coincida con il tempo di corrivazione del bacino stesso; nella letteratura tecnica vengono riportate numerose formulazioni, tutte legate alle caratteristiche morfologiche e fisiografiche del bacino. Tra le formule più comunemente usate, per piccoli bacini, ci sono:

Tempo di corrivazione T_c [ore]	
Kirpich	$t_c = 0,0662 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i_m}}\right)^{0,77}$
Pezzoli	$t_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i_m}}$
Puglisi	$t_c = 6 \cdot L^{2/3} (h_{max} - h_{min})^{-1/3}$
Ventura	$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$
Pasini	$t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$
Viparelli	$t_c = \frac{L}{3,6 \cdot V}$
Giandotti	$t_c = \frac{4\sqrt[2]{A} + 1,5 \cdot La}{0,8 \cdot \sqrt[2]{(Q_{bac} - Qv)}}$
Tournon	$t_c = 0,396 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_m}} \left(\frac{A}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{i_m}{i_b}}\right)^{0,72}$

Formule Tempo di corrivazione

dove:

t_c = tempo di corrivazione [h];

L = lunghezza asta principale;

i_m = pendenza media asta;

i_b = pendenza media del bacino idrografico;

H_{max} = quota massima bacino;

H_{min} = quota sezione di chiusura;

A = area bacino;

V = velocità media deflusso all'interno del canale [1÷1,5].

L'espressione analitica per la valutazione della portata di piena assume la seguente forma, meglio conosciuta come formula di "Turazza" o "Metodo Razionale":

$$Q = 0.2778 \frac{C \cdot h_c \cdot A}{t_c}$$

con:

Q = portata di piena [m³/s];

C = coefficiente di deflusso [adimensionale];

h= altezza di pioggia [mm];

A= superficie scolante [km²];

t_c= tempo di corrivazione [ore];

0.2778 = fattore di omogeneizzazione delle unità di misura.

Il valore del coefficiente di deflusso assume particolare importanza all'interno della modellazione, rappresentando la percentuale di portata che contribuirà al deflusso finale. Tale coefficiente può essere ricavato dalle tabelle di letteratura seguenti:

<i>Tipo di suolo</i>	<i>Copertura del bacino</i>		
	<i>Coltivi</i>	<i>Pascoli</i>	<i>Boschi</i>
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0,20	0,15	0,10
Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla). Terreni di medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
Suoli poco permeabili Suoli fortemente argillosi o simili. con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile.	0,50	0,45	0,40

Formule Coefficienti di Deflusso (1)

oppure:

Vegetazione e pendenza		Tipi di suolo		
		Terreno leggero	Terreno di medio impasto	Terreno compatto
Boschi	>10%	0.13	0.18	0.25
	<10%	0.16	0.21	0.36
Pascoli	>10%	0.16	0.36	0.56
	<10%	0.22	0.42	0.62
Colture agrarie	>10%	0.40	0.60	0.70
	<10%	0.52	0.72	0.82

Formule Coefficienti di Deflusso (2)

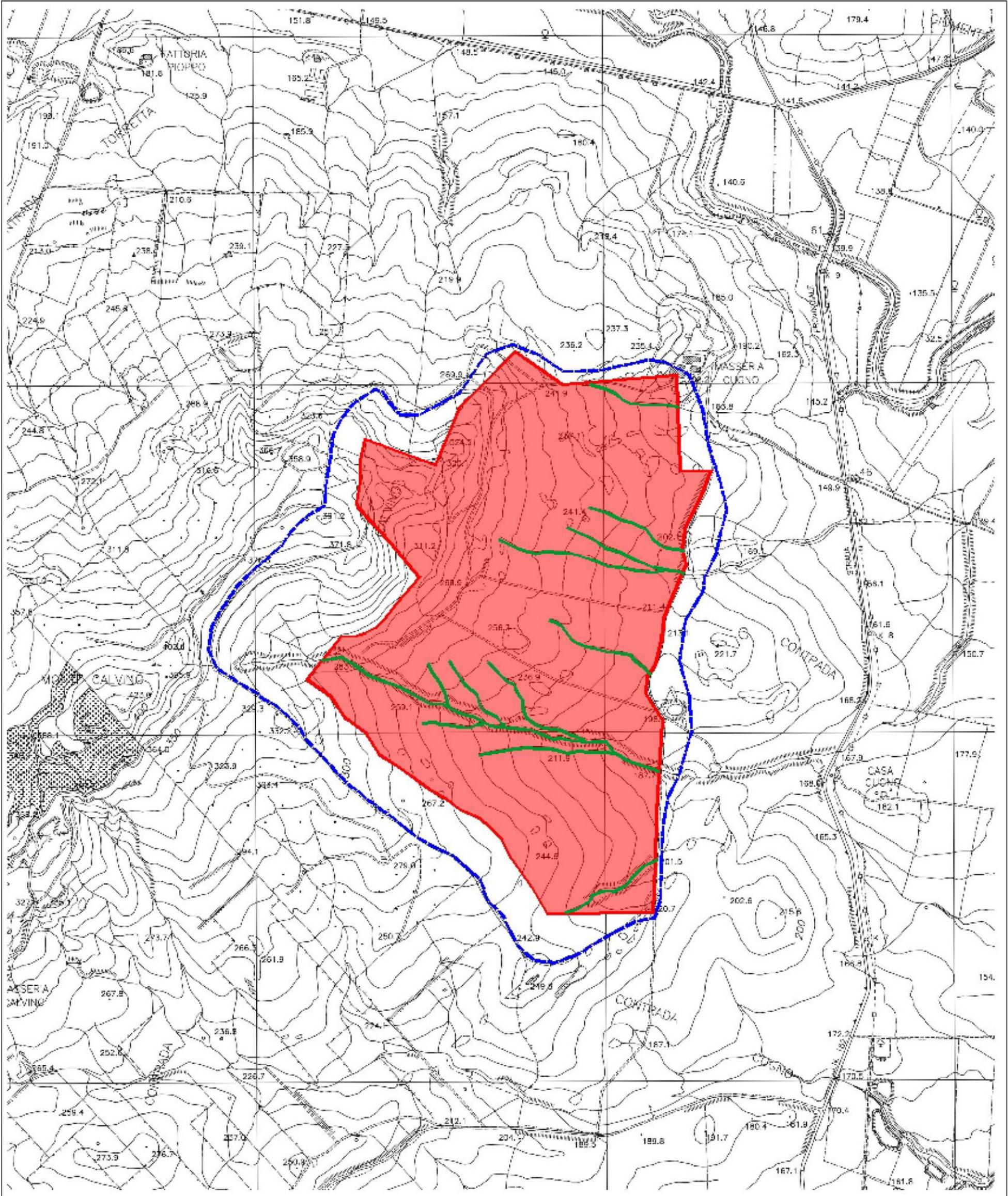
Caratteristiche del bacino			Coefficienti di deflusso C		
Manto vegetale	Morfologia del suolo	Pendenza dell'asta principale della rete idrografica [%]	Terreno con sabbia grossa	Terreno con argilla e limo	Terreno con argilla compatta
Bosco	pianeggiante	0 ÷ 5	0.10	0.30	0.40
	ondulato	5 ÷ 10	0.25	0.35	0.50
	montuoso	10 ÷ 30	0.30	0.50	0.60
Pascolo	pianeggiante	0 ÷ 5	0.10	0.30	0.40
	ondulato	5 ÷ 10	0.16	0.36	0.55
	montuoso	10 ÷ 30	0.22	0.42	0.60
Coltivato	pianeggiante	0 ÷ 5	0.30	0.50	0.60
	ondulato	5 ÷ 10	0.40	0.60	0.70
	montuoso	10 ÷ 30	0.52	0.72	0.82

Formule Coefficienti di Deflusso (3) - Tabella di Frevert

Per la stima della portata generata da deflusso superficiale, si è proceduto calcolando il coefficiente udometrico relativo all'intero bacino dell'impianto di interesse, applicando il valore del coefficiente udometrico ricavato per i tempi di ritorno di 10, 30 e 50 anni.

Il coefficiente udometrico [l/s/Ha] è preso come riferimento unitario per la stima delle portate di deflusso dei bacini significativi dal punto di vista idrologico.

COMUNE DI AIDONE (EN)



LEGENDA

 Bacino idrografico
 Impluvio

 Area progetto impianto fotovoltaico "Agrivifra"

CARTA IDROLOGICA

SCALA 1 : 10.000



Nella modellazione idrologica non si tiene conto, ai fini cautelativi, della presenza di alcun canale di scolo di qualunque ordine.

Il coefficiente di deflusso ipotizzato, considerate le caratteristiche del suolo del bacino, viene considerato pari a 0,30.

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA			TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)																																				
Superficie del Bacino	$S =$	0,50 Km ²	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} =$ 0,50																																				
Lunghezza percorso idraulico principale	$L =$	0,70 Km																																					
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} =$	390,00 m (s.l.m.)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kirpich, Watt-} \\ \text{Chow, Pezzoli} \end{array} \right. \Rightarrow t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8} =$																																				
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 =$	200,00 m (s.l.m.)																																					
Pendenza media percorso idraulico	$P =$	0,27 (m/m)																																					
Altitudine max bacino	$H_{max} =$	390,00 m (s.l.m.)																																					
Altitudine sezione considerata	$H_0 =$	200,00 m (s.l.m.)																																					
Altitudine media bacino	$H_m =$	295,00 m (s.l.m.)																																					
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 =$	95,00 m																																					
CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO (FORMULA del METODO RAZIONALE)																																							
$Q_{max} = \frac{ch_{(t, T)}S}{3.6t_c}$																																							
con : $h_{(t, T)}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm) S = superficie del bacino (km ²) t_c = tempo di corrivazione (ore) $3,6$ = fattore di conversione che permette di ottenere la Q_{max} in m ³ /sec																																							
RISULTATI																																							
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Deflusso $c =$</td> <td>0,30</td> <td>S (km²) =</td> <td>0,50</td> <td>t_c (ore) =</td> <td>0,50</td> </tr> </table>				Deflusso $c =$	0,30	S (km ²) =	0,50	t_c (ore) =	0,50																														
Deflusso $c =$	0,30	S (km ²) =	0,50	t_c (ore) =	0,50																																		
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>T_r (anni)</th> <th>a</th> <th>n</th> <th>t_c (ore)</th> <th>$h_{(t, T)}$ (mm)</th> <th>Q_{max} (m³/sec)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10</td> <td>41,7463</td> <td>0,3076</td> <td>0,50</td> <td>33,68</td> <td>2,82</td> </tr> <tr> <td>30</td> <td>49,5088</td> <td>0,3116</td> <td>0,50</td> <td>39,83</td> <td>3,34</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>53,0527</td> <td>0,3130</td> <td>0,50</td> <td>42,64</td> <td>3,57</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>57,8329</td> <td>0,3146</td> <td>0,50</td> <td>46,43</td> <td>3,89</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>62,5957</td> <td>0,3159</td> <td>0,50</td> <td>50,20</td> <td>4,21</td> </tr> </tbody> </table>				T_r (anni)	a	n	t_c (ore)	$h_{(t, T)}$ (mm)	Q_{max} (m ³ /sec)	10	41,7463	0,3076	0,50	33,68	2,82	30	49,5088	0,3116	0,50	39,83	3,34	50	53,0527	0,3130	0,50	42,64	3,57	100	57,8329	0,3146	0,50	46,43	3,89	200	62,5957	0,3159	0,50	50,20	4,21
T_r (anni)	a	n	t_c (ore)	$h_{(t, T)}$ (mm)	Q_{max} (m ³ /sec)																																		
10	41,7463	0,3076	0,50	33,68	2,82																																		
30	49,5088	0,3116	0,50	39,83	3,34																																		
50	53,0527	0,3130	0,50	42,64	3,57																																		
100	57,8329	0,3146	0,50	46,43	3,89																																		
200	62,5957	0,3159	0,50	50,20	4,21																																		

Da cui è possibile stimare le portate al colmo che defluiscono attraverso la sezione di chiusura considerata del bacino per un fissato tempo di ritorno, in condizioni ante operam:

Area bacino km ²	Tempi di ritorno [anni]	Tc [h]	a	n	h t,T [mm]	Q t,T [m ³ /s]	F Coefficiente Udometrico [l/s/Ha]
0,50	10	0,50	41,7463	0,3076	33,68	2,82	56
	30	0,50	49,5088	0,3116	39,83	3,34	67
	50	0,50	53,0527	0,3130	42,64	3,57	71

Risultati idrologici in funzione ai Tr

13 VALUTAZIONE DEI DEFLUSSI POST OPERAM

Le opere costituenti l'impianto come già descritto, non esercitano una significativa riduzione della permeabilità del sito, infatti, la superficie occupata dai pannelli fotovoltaici non può essere intesa come superficie impermeabilizzante, in quanto l'acqua piovana cadente sugli stessi verrà permeata nel terreno naturale, inoltre, considerato che le strutture fotovoltaiche verranno installate mediante infissione di pali nel terreno fino alla profondità di 1,30 m da piano di campagna, senza realizzazione di opere artificiali di fondazione che possano alterare la permeabilità del suolo, l'acqua sarà in grado di infiltrarsi naturalmente senza provocare nessuna modifica del regime idraulico ante operam.

Le uniche strutture facenti parte dell'impianto, che possono essere considerate una impermeabilizzazione del suolo ai fini della valutazione dei flussi post operam, sono le superfici destinate ad opere di servizio e viabilità che, rappresentano circa l'1% della superficie complessiva del sito. Questa condizione restituisce la dimensione dell'incremento di portata dei deflussi meteorici, correlata alla crescita del coefficiente di permeabilità in considerazione del valore del coefficiente di deflusso ante operam (C_{pre}) dell'intero bacino che è pari a 0,30:

$$C_{post} = (1 - 0,01) * C_{pre} + 1 * 0,01 = 0,307$$

dove:

C_{pre} = coefficiente di deflusso medio dell'intero bacino su cui insiste l'area di impianto prima della realizzazione dell'opera;

C_{post} = coefficiente di deflusso dell'area di impianto ipotizzando la realizzazione dell'opera che provoca un'impermeabilizzazione del 1% della superficie del lotto.

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTO SO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA		TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)
Superficie del Bacino	$S = 0,50$ Km ²	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m \cdot H_0}} = 0,50$
Lunghezza percorso idraulico principale	$L = 0,70$ Km	
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} = 390,00$ m (s.l.m.)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Kirpich, Watt-} \\ \text{Chow, Pezzoli} \end{array} \right. \Rightarrow t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8} =$
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 = 200,00$ m (s.l.m.)	
Pendenza media percorso idraulico	$P = 0,27$ (m/m)	
Altitudine max bacino	$H_{max} = 390,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine sezione considerata	$H_0 = 200,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine media bacino	$H_m = 295,00$ m (s.l.m.)	
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 = 95,00$ m	

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO
(FORMULA del METODO RAZIONALE)

$$Q_{max} = \frac{ch_{(t,T)}S}{3.6t_c}$$

con :

- c = coefficiente di deflusso
- $h_{(t,T)}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)
- S = superficie del bacino (km²)
- t_c = tempo di corrivazione (ore)
- $3,6$ = fattore di conversione che permette di ottenere la Q_{max} in m³/sec

RISULTATI

Deflusso $c =$	0,31	S (km ²) =	0,50	t_c (ore) =	0,50
----------------	-------------	--------------------------	-------------	---------------	-------------

Tr (anni)	a	n	t_c (ore)	$h_{(t,T)}$ (mm)	Q_{max} (m ³ /sec)
10	41,7463	0,3076	0,50	33,68	2,92
30	49,5088	0,3116	0,50	39,83	3,45
50	53,0527	0,3130	0,50	42,64	3,69
100	57,8329	0,3146	0,50	46,43	4,02
200	62,5957	0,3159	0,50	50,20	4,35

Da cui è possibile stimare le portate al colmo che defluiscono attraverso la sezione di chiusura considerata del bacino per un fissato tempo di ritorno, in condizioni post operam:

Area bacino km ²	Tempi di ritorno [anni]	Tc [h]	a	n	h t,T [mm]	Q t,T [m ³ /s]	F Coefficiente Udometrico [l/s/Ha]
0,50	10	0,50	41,7463	0,3076	33,68	2,92	58
	30	0,50	49,5088	0,3116	39,83	3,45	69
	50	0,50	53,0527	0,3130	42,64	3,69	74

Risultati idrologici in funzione ai Tr

14 CONFRONTO TRA LE PORTATE DI DEFLUSSO ANTE OPERAM E POST OPERAM

La portata al colmo determinata per il tempo di ritorno di 50 anni nella sezione di chiusura del bacino in esame risulta pari a:

$$Q_{50,pre} = 3,57 \text{ m}^3/\text{s}$$

con un coefficiente udometrico $F = 71 \text{ l/s/Ha}$, nella situazione ante operam, mentre risulta pari a:

$$Q_{50,post} = 3,69 \text{ m}^3/\text{s}$$

con un coefficiente udometrico $F = 74 \text{ l/s/Ha}$, nella situazione post operam.

Il che si traduce in un incremento della portata transitante nella sezione di chiusura considerata pari al 3,25% circa.

La verifica effettuata dimostra che, l'incidenza dei deflussi prodotti dal bacino di riferimento nella condizione di post operam è trascurabile rispetto alla condizione ante operam.

15. CONCLUSIONI

L'analisi e le calcolazioni prodotte hanno dimostrato la poca significatività dell'impatto dell'impianto in progetto all'interno del bacino idrografico di riferimento, in termini di variazione nel regime idrologico dello stesso.

Infatti, grazie al trascurabile incremento di superfici impermeabilizzate coadiuvato dall'attuazione di misure compensative per la minimizzazione dei deflussi meteorici, il regime idrologico dell'area in esame non subisce sostanziali modificazioni.

L'intervento previsto in progetto non comporta una significativa variazione 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 normalmente si generano superfici completamente impermeabili, come riportato nella casistica dell'allegato C al punto "5.4 - Invarianza idrologica ed idraulica" delle Norme di Attuazione del PAI.

A riguardo, l'opera in progetto non crea un sostanziale incremento di deflusso superficiale delle acque e, di conseguenza, non altera l'equilibrio idrologico ed idraulico, anzi, ne mitiga il comportamento erosivo in quanto le acque di deflusso verranno regimate dai canali in terra e/o fossi di guardia.

Si evidenzia, inoltre, 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.

Inoltre, le piantumazioni erbacee e colture sottostanti le stringhe di pannelli, garantiscono un'ulteriore protezione del suolo contro l'erosione.

Con la realizzazione degli interventi in progetto, non si avrà una trasformazione dell'uso del suolo tale da comportare la riduzione della permeabilità superficiale, in quanto non si avrà una variazione sensibile del coefficiente udometrico tra la fase ante operam e quella post operam. Anzi, la presenza dei canali porterà i seguenti benefici:

1. la regimazione controllata delle acque di deflusso superficiale;
2. incremento del tempo di corrivazione.

Tali interventi di miglioramento idraulico (fossi/canali) ottimizzeranno globalmente tutto il sistema di deflusso attuale delle acque del lotto di studio.

Data 25/05/2023

Il Tecnico

Dott. Ing. Geol. Paolo Rizzo

