

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE

POTENZA IMPIANTO 24,54 MWp
COMUNI DI GONNOSFANADIGA E GUSPINI (SU)

Proponente

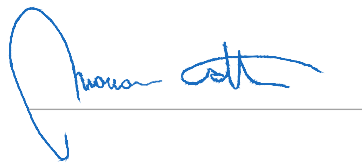
EG ATLANTE SRL

VIA DEI PELLEGRINI, 22 - 20122 MILANO (MI) - P.IVA: 12084630966 - PEC: egatlante@pec.it

Progettazione



Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy



Titolo Elaborato

(R) - Elaborati tecnico-descrittivi
4 - Relazione idrologica e idraulica

LIVELLO PROGETTAZIONE	CODICE ELABORATO	FILENAME	FORMATO	SCALA
PROGETTO DEFINITIVO	IBSE713PDRrid004R0	PD.R.4	A4	/

Revisioni

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	09/2022	PRIMA EMISSIONE	EG	MG	DG



COMUNE DI GONNOSFANADIGA (SU)
REGIONE SARDEGNA



CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	2

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	09-2022	Prima emissione	EG	MG	DG

COMMITTENTE



PROGETTISTA



CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	3

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2.1	RIFERIMENTI CARTOGRAFICI	5
3	OPERE IDRAULICHE DI PROGETTO.....	9
4	TRINCEE DRENANTI.....	10
5	INFORMAZIONE IDROLOGICA.....	12
5.1	MODELLO TCEV SARDEGNA.....	12
5.2	CALCOLO DELLA C.P.P. (T=50 ANNI)	16
5.3	CALCOLO DELLA C.P.P. (T=5 ANNI)	18
5.4	SUPERFICI DI INFLUENZA.....	19
6	MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI.....	20
6.1	INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA	20
6.2	IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	21
6.3	IL CALCOLO DELLE PORTATE PER IL DIMENSIONAMENTO DEL FDG TIPO 2.....	24
6.4	VERIFICA DELLE PORTATE DI PROGETTO	25
6.5	OPERE DI PROGETTO.....	27
7	DIMENSIONAMENTO DELLE TRINCEE DRENANTI.....	29
7.1	GENERALITA'	29
7.2	AREA DRENATA	29
7.3	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA	30
8	GEOLOGIA DI PROGETTO	42
9	INVARIANZA IDRAULICA.....	47
9.1	INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE DI PROGETTO	47
9.2	DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DELLE AREE INTERESSATE DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO.....	47
10	PAI.....	51

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	4

1 PREMESSA

In linea con gli indirizzi di politica energetica nazionale ed internazionale relativi alla promozione dell'utilizzo delle fonti rinnovabili e alla riduzione delle emissioni di gas climalteranti, la società EG Atlante S.r.l. (con sede in Via dei Pellegrini 22 – 20122 Milano (MI) – P-Iva 12084630966) ha avviato un progetto per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile del tipo fotovoltaico, su un sito ricadente nel territorio dei Comuni di Guspini (SU) e Gonnosfanadiga (SU).

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo ai fini autorizzativi. Il progetto definitivo consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra, interamente su strutture ad inseguimento monoassiale (trackers) su suolo agricolo da ubicarsi in Regione Sardegna e delle relative opere di connessione alla Rete a 36 kV, presso la nuova SE Terna RTN, da inserire in entra-esce alla linea 220 kV “Sulcis-Oristano” sita nel Comune di Guspini, Provincia Sud Sardegna.

L'impianto fotovoltaico ha potenza di picco pari a 24,54 MWp (19,8 MW in immissione) e sarà composto complessivamente da n.6 aree relative a 6 Power Station dalla potenza variabile da 3,96 MW a 4,15 MW, collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna a 36 kV.

Presso ciascuna area di impianto verranno realizzate le Power Station e la cabina principale di impianto (MSS – Main switch station), dalla quale si dipartono le linee di collegamento a 36 kV interrate verso il punto di consegna, ubicato in un lotto di terreno a pochi km di distanza presso la nuova Stazione Elettrica Terna.

In adiacenza a quest'ultima sarà realizzato un edificio produttore per la messa a terra, la misura e il parallelo delle linee a 36 kV.

La presente relazione descrive gli **interventi per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche** dalle superfici interne all'impianto fotovoltaico “EG ATLANTE” e **mostra sia i criteri utilizzati che le risultanze dei dimensionamenti delle principali opere previste in questa fase di progetto definitivo**. Il sistema di fossi di guardia previsti in progetto e degli opportuni sistemi di recapito rispetta l'equilibrio idrogeologico preesistente. Le scelte progettuali sono state condotte in modo tale da avere opere ad “impatto zero” sull'esistente reticolo idrografico, recapitando le acque superficiali convogliate dai fossi di guardia presso gli impluvi ed i solchi di erosione naturali o talvolta, ove questo non fosse possibile, drenate per mezzo di trincee drenanti opportunamente dimensionate per la dispersione delle portate di deflusso nel sottosuolo. L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di intercettare e allontanare tempestivamente le acque di scorrimento superficiale all'interno del parco fotovoltaico, al fine di garantire la vita utile delle opere civili, riducendo le operazioni di manutenzione al minimo indispensabile.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	5

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Il nuovo impianto fotovoltaico in oggetto insisterà su un lotto di terreno sito nel comune di Gonnosfanadiga (Sud Sardegna) di estensione pari a circa 39,6 ha (41,6 ha proprietà catastale complessiva).

La stazione elettrica di connessione SE Terna ricade invece nel territorio del Comune di Guspini (Sud Sardegna). Dal punto di vista cartografico, le opere in progetto sono individuate all'interno delle seguenti cartografie e Fogli di Mappa:

1) Impianto fotovoltaico “EG ATLANTE”:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche “225_IV_SE Guspini”;
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1: 10.000, fogli n° 546080, n° 547050;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Gonnosfanadiga n°203, p.lle 104, 105, 18, 110 e 109;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Gonnosfanadiga n°204, p.lle 1, 5, 6, 7, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 28, 29, 30, 40, 68, 79, 110, 11, 128, 129.

2) Cavidotto di connessione impianto:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche “225_IV_SE Guspini”;
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1: 10.000, fogli n° 546080, n° 547050, n° 546040;

Tutto il tracciato del cavidotto si svilupperà lungo viabilità esistenti: Strada vicinale di Truscelli S'Ossegoni, Strada vicinale Villacidro, Strada vicinale vecchia per Villacidro; Strada vicinale vecchia di Cagliari, Strada vicinale Gonnusus, Ferrovia di Montevecchio, Strada comunale Meaboli.

3) Edificio produttore:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche “225_IV_SE Guspini”
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1: 10.000, foglio n° 546040;
- Fogli di mappa catastale del Comune di Guspini n°330, p.lla 117.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	6

Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 33 WGS84 dell'impianto fotovoltaico e della sottostazione elettrica:

COORDINATE ASSOLUTE NEL SISTEMA UTM 33 WGS84			
DESCRIZIONE	E	N	H [m s.l.m.]
Parco fotovoltaico	471727	4375504	H=115/124
Cabina MSS	471650	4375091	H=124
Edificio Produttore	468369	4378436	H=97
SE TERNA	468467	4378553	H=94

Tabella 1 - Coordinate assolute del parco FV, della SE e dell'edificio produttore a 36 kV

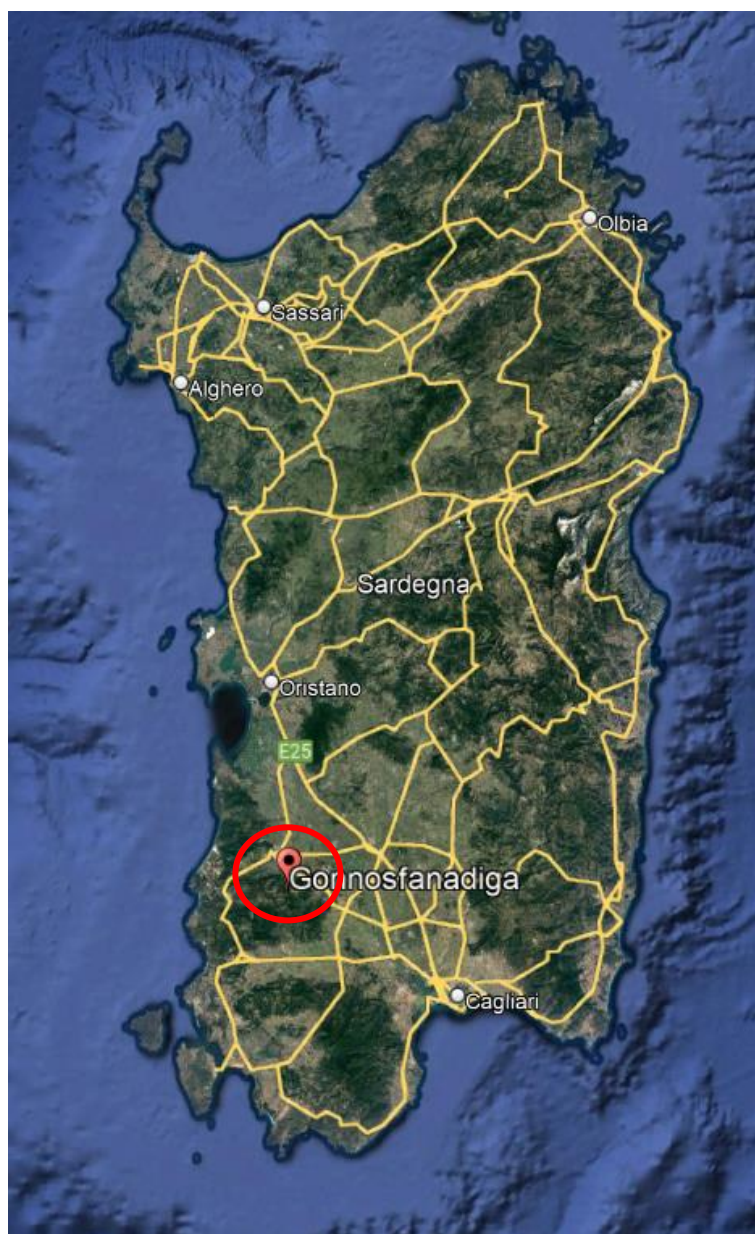


Figura 2.1 - Ubicazione area di impianto da satellite

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	7

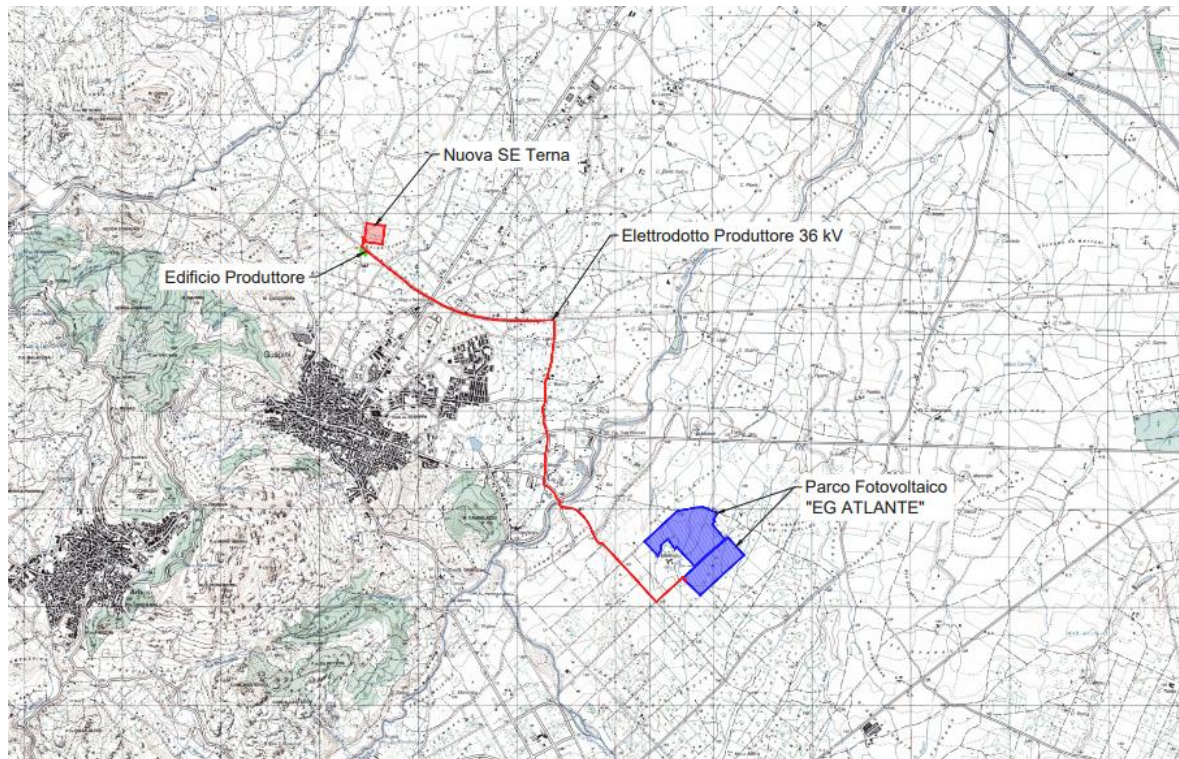


Figura 2.2 - Inquadramento impianto FV - EG ATLANTE e relative opere di connessione alla rete a 36 kV su IGM 1:25.000

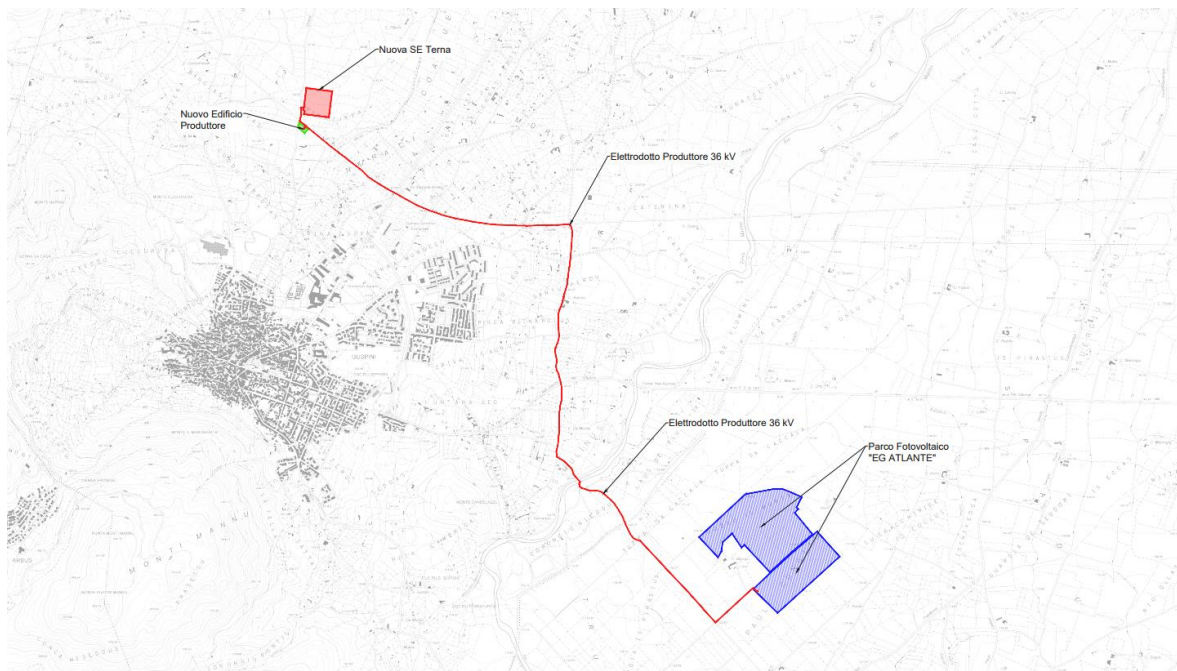


Figura 2.3- Inquadramento Impianto FV - EG ATLANTE e relative opere di connessione alla rete a 36kV su CTR

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	8

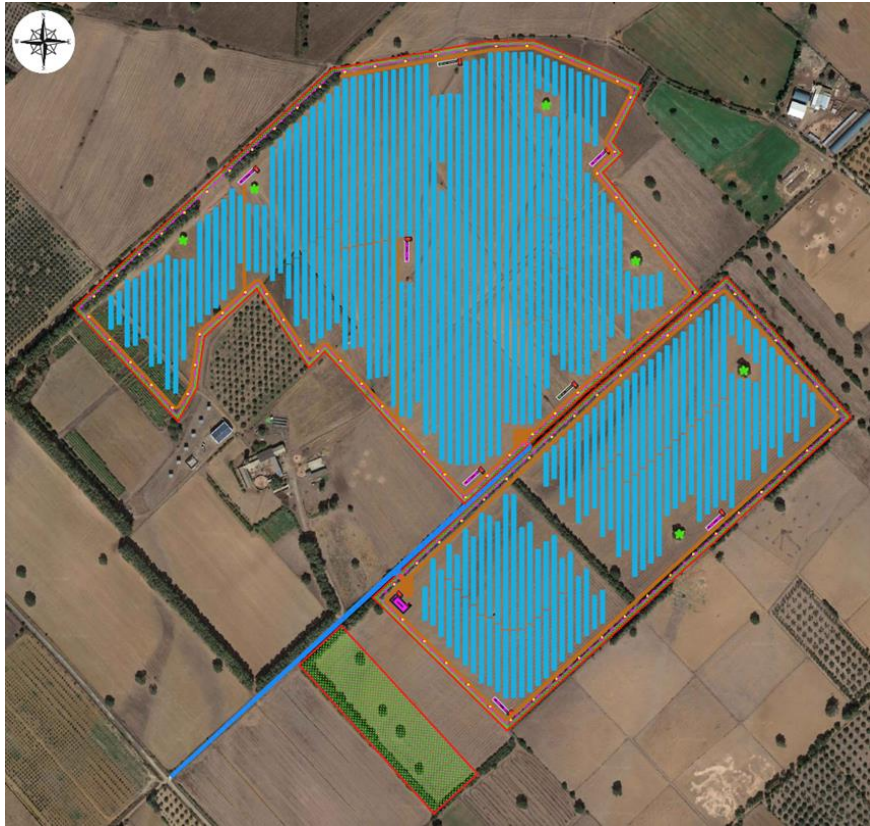


Figura 2.4- Inquadramento su ortofoto Impianto FV EG ATLANTE



Figura 2.5 Inquadramento su catastale Impianto FV EG ATLANTE

COMMITTENTE



PROGETTISTA



CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	9

3 OPERE IDRAULICHE DI PROGETTO

La durabilità dell'area di impianto e dell'impianto stesso dal punto di vista strutturale è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche.

Gli interventi da realizzarsi nell'area in esame sono stati sviluppati secondo due differenti linee di obiettivi:

- i. mantenimento delle condizioni di “equilibrio idrogeologico” preesistenti (*ante* realizzazione del parco fotovoltaico *EG ATLANTE*);
- ii. regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità (aree tra le stringhe) del parco fotovoltaico, attraverso la realizzazione di una adeguata rete drenante, volta a proteggere le opere civili presenti nell'area.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dal rilievo topografico dell'area e dalla progettazione del layout dell'impianto fotovoltaico, individuando le vie preferenziali di deflusso, gli impluvi (e gli eventuali solchi di erosione) interferenti con le opere in progetto nonché le caratteristiche plano-altimetriche delle diverse aree di impianto.

Le acque di deflusso superficiale verranno raccolte ed allontanate dalle opere idrauliche in progetto descritte a seguire:

- sistema di fossi di guardia interni, da realizzarsi tra le stringhe di impianto, al fine di raccogliere e convogliare le acque verso il perimetro dell'impianto e limitare fenomeni erosivi in grado di diminuire la durabilità delle opere civili;
- sistema di trincee drenanti per lo più perimetrali, in grado di raccogliere le acque provenienti dai bacini di monte (vedasi elaborato di progetto PD-G.2.3.6.2) e drenare le acque grazie alla presenza di depositi alluvionali altamente permeabili presenti in sito (come dimostrato dallo studio geologico allegato al presente progetto definitivo). Questa soluzione consentirà di smaltire le acque provenienti da monte senza alterare in alcun modo il “reticolo idrografico” delle aree;
- un fosso di guardia perimetrale denominato FDG TIPO 2; tale opera scarica i volumi idrici verso un impluvio esistente, ove attualmente (configurazione ante operam) sono convogliate le portate dello stesso bacino di progetto.
- opere di dissipazione da prevedere in corrispondenza dei punti di immissione dal FDG 2 all'impluvio naturale esistente a valle (area nord-est) dell'impianto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	10

4 TRINCEE DRENANTI

Verrà realizzato un sistema di trincee drenanti lungo le porzioni perimetrali di impianto mediante scavo a sezione rettangolare di profondità variabile in funzione dei bacini individuati dal presente studio idraulico (vedasi tavola di progetto PD-G.2.6.3.2).

Le trincee drenanti sono costituite da materiale altamente drenante proveniente da cava (con al fondo una tubazione in HDPE corrugato microfessurato DE200) impacchettato all'interno di un geotessuto di separazione in modo tale da evitare l'intasamento del dreno ed aumentare la durabilità dell'opera.

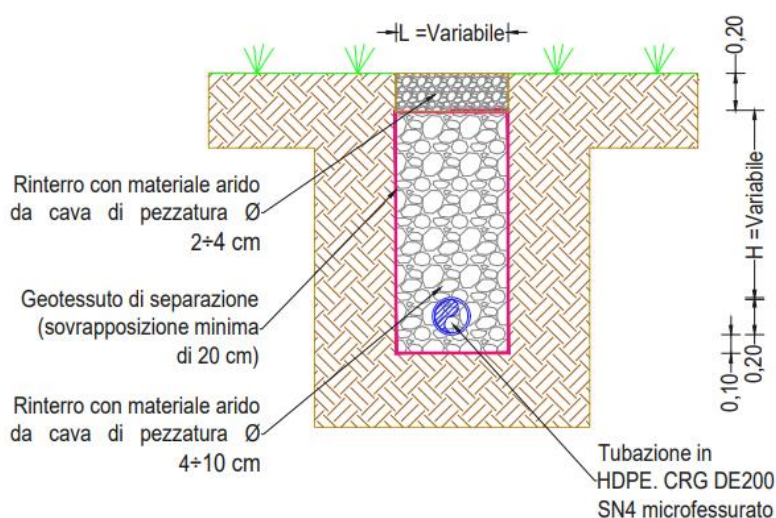


Figura 4.1: Sezioni tipo di scavo delle trincee drenanti, standard (in alto) e ridotta per la presenza dei pannelli fotovoltaici (in basso).

Al di sopra del pacchetto drenante della trincea è previsto uno strato di materiale arido da cava di pezzatura fine $\Phi=2\div4$ cm, di spessore pari a 20 cm, che consentirà sia il drenaggio da parte delle acque meteoriche che la fruizione del terreno da parte degli operatori.

La pendenza della tubazione microfessurata varia tra un valore minimo pari a 0,6% ad un valore massimo pari a 1,2%.

L'utilizzo di materiali di qualità garantisce l'efficienza del sistema drenante a lungo termine evitando il rischio di fenomeni di collasso, intasamento progressivo delle strutture o di deterioramento per aggressioni chimiche e da microrganismi.

Per la realizzazione delle trincee drenanti sono previste le seguenti fasi:

- Esecuzione dello scavo;
- Posizionamento del geotessile non tessuto come elemento filtro-separatore;
- Posa del tubo microfessurato in HDPE DE200 corrugato;
- Riempimento con materiale arido da cava di pezzatura $\Phi=4\div10$ cm;
- Chiusura superiore dell'inerte con il geotessuto;

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	11

- Posa in opera di uno strato drenante con materiale arido da cava di pezzatura $\Phi=2\div4$ cm di spessore pari a circa 20 cm;
- Eventuale trasporto a discarica del materiale scavato.

Dalle trincee, grazie all'elevata permeabilità del suolo, l'acqua si infiltra nel sottosuolo in un tempo Δt di progetto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	12

5 INFORMAZIONE IDROLOGICA

Il presente capitolo ha l'obiettivo di definire la curva di probabilità pluviometrica necessaria alla progettazione delle opere idrauliche per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali e dalle aree di impianto del parco fotovoltaico FV "EG ATLANTE".

La pioggia è all'origine del processo di formazione delle portate di piena nei bacini idrografici relativi all'area in esame. I fenomeni metereologici che generano le precipitazioni sono talmente complessi da non potere essere trattati come un processo deterministico a partire da condizioni iniziali e al contorno note. Pertanto, sotto il profilo pratico, lo studio delle piogge si limita ad utilizzare metodologie statistiche basate sulle osservazioni pluviometriche.

Nel caso in esame, la risposta idrologica dei bacini è condizionata da brevi tempi di corrivazione e, pertanto, le precipitazioni rilevanti sono quelle d'intensità elevata e breve durata. La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione piogge-portate che prevede, come input, la definizione di un particolare evento di pioggia.

Nel caso in oggetto, infatti, non sono disponibili dati di registrazione delle portate; né, tantomeno, potrebbero essere utilizzati, dal momento che l'obiettivo dell'analisi non è studiare il comportamento idrologico/idraulico dei corsi d'acqua presenti nel territorio, ma approfondire le tematiche idrologiche per il dimensionamento di tutte le opere idrauliche del parco fotovoltaico "EG ATLANTE".

In particolare, volendo stimare eventi di piena di dato tempo di ritorno, bisogna prima ricostruire l'evento di pioggia di pari tempo di ritorno (assumendo come vera l'ipotesi che un evento di pioggia di tempo di ritorno T genera un evento di piena con la stessa probabilità di non superamento).

5.1 MODELLO TCEV SARDEGNA

Il modello TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) permette di determinare le altezze di pioggia h e le relative intensità i , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI¹.

¹ Il Progetto VAPI (VALutazione PIene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del *Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche*, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali e delle piogge intense secondo criteri omogenei.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	13

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

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

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

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Sardegna (*GNDCI Linea 1. Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia*).

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni statistici.

Nel *primo livello di regionalizzazione* si ipotizza che tutto il territorio regionale ricada in una unica Zona Omogenea, caratterizzata dalla costanza in tutti i punti del territorio del coefficiente d'asimmetria e dei parametri di modello Λ^* e Θ^* . Le loro stime, effettuate col metodo di massima verosimiglianza (MV), sono risultate le seguenti: $\Theta^* = 2.207$ e $\Lambda^* = 0.5717$.

Il *secondo livello di regionalizzazione* riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risultino costanti, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica ed il parametro Λ_1 .

Al secondo livello di regionalizzazione la Sardegna è suddivisa in n°3 sottozone pluviometriche omogenee (SZO), fig. 4.1.

L'aggregazione delle stazioni in gruppi omogenei è stata condotta con tecniche di *cluster analysis*. La stima dei parametri è stata condotta dapprima col metodo di massima verosimiglianza ed è stata in seguito affinata variando iterativamente i valori dei parametri sino ad ottenere nelle serie generate sinteticamente gli stessi coefficienti di variazione (CV) osservati in media in ciascuna SZO.

La delimitazione territoriale delle SZO è stata effettuata utilizzando anche i dati delle 111 stazioni con minor numero di osservazioni, le quali sono state attribuite ai tre gruppi mediante tecniche di analisi discriminante, ed è semplicemente basata sull'aggregazione dei topoi dei delle stazioni appartenenti ad una medesima SZO.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	14

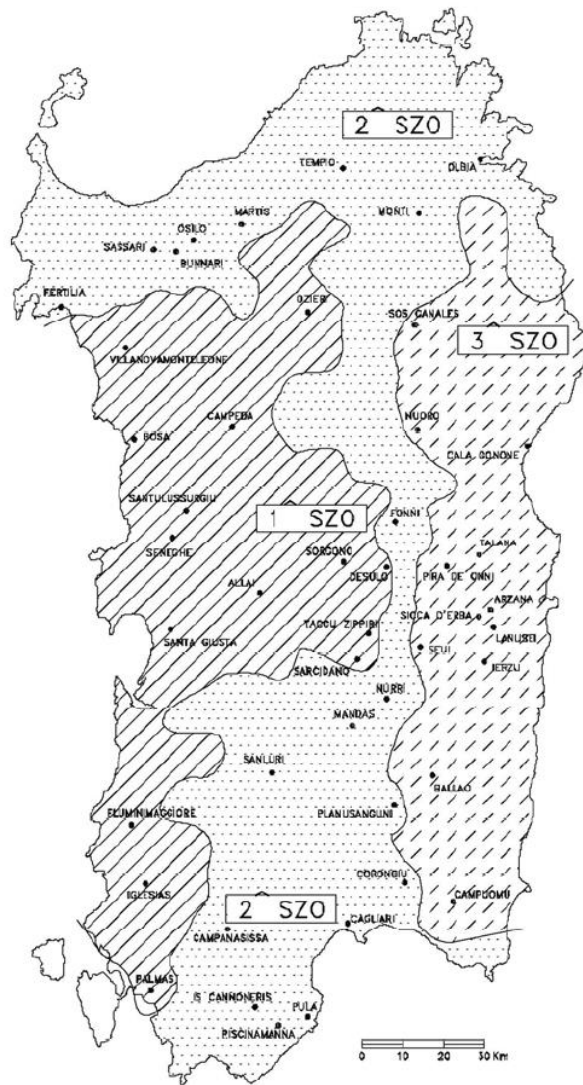


Figura 5.1: Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna

Per le piogge brevi ed intense (cui si fa riferimento nella presente analisi) per quanto riguarda i parametri Λ^* , Θ^* e Λ_1 l'indagine VAPI ha evidenziato una stretta dipendenza dei loro valori dalla durata dell'evento. Il valore di K_T , *fattore di crescita*, per tempi di ritorno T superiori a 10 anni può essere espresso attraverso una formula monomia del tipo:

$$K_T(t) = a_2 \cdot t^{n_2}$$

K_T misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Esso è dunque dipendente dalla durata della precipitazione e funzione sia della collocazione geografica del sito per il quale si vogliono calcolare le altezze di pioggia (a mezzo dei coefficienti a e b) che del tempo di ritorno T dell'evento meteorico.

Per tempi di ritorno T superiori a 10 anni, le espressioni per il calcolo dei coefficienti a_2 e n_2 sono riportate nell'immagine sottostante.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	15

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad a_2 &= 0.46378 + 1.0386 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0.18449 + 0.23032 \text{ Log}_{10} T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SZO 2} \quad a_2 &= 0.44182 + 1.0817 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0.18676 + 0.24310 \text{ Log}_{10} T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SZO 3} \quad a_2 &= 0.41273 + 1.1370 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0.19055 + 0.25937 \text{ Log}_{10} T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \end{aligned}$$

Tabella 5.1: Formule per il calcolo del coefficiente di crescita al variare della durata e della sottozona.

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità μ e le grandezze - prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico) - relative al sito di misura.

Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà:

$$h_{t,T} = K_T \cdot \mu(t)$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di assegnata durata t e fissato tempo di ritorno T .

Nello specifico, per la regione Sardegna, al terzo livello di regionalizzazione, viene presa in considerazione come pioggia indice la media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $\mu[g]$.

Per le piogge brevi ed intense, il legame tra la pioggia indice $\mu(t)$ e la durata t è risultato ben descritto in tutti i siti considerati da una espressione monomia analoga a quella impiegata per rappresentare le curve di crescita:

$$\mu(t) = a_1 \cdot t^{n_1}$$

dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera $\mu[g]$. Nello specifico, le relazioni sono le seguenti:

$$a_1 = \mu_a / (0.886 \cdot 24^{n_1})$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log_{10} \mu_a$$

La pioggia indice giornaliera $\mu[g]$ viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in figura 5.2.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	16

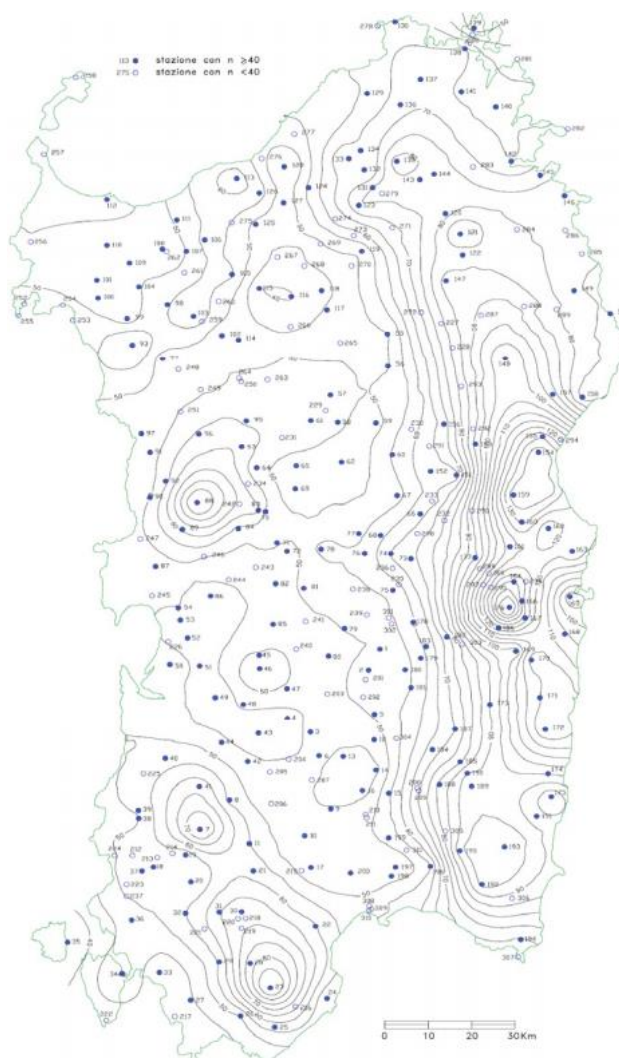


Figura 5.2: Carta delle isoiete per l'identificazione della pioggia indice giornaliera μ [g].

Sono quindi stati calcolati, per i tempi di ritorno di interesse $T = 50$ anni e $T = 5$ anni e per le aree considerate, i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata $h_{t,T}$ e le leggi di probabilità pluviometrica.

5.2 CALCOLO DELLA C.P.P. (T=50 ANNI)

Il bacino oggetto del presente studio (B06 - propedeutico al dimensionamento del fosso di guardi TIPO 2 di progetto) si trova nella sottozona pluviometrica omogenea SZO2: il fattore di crescita è calcolato attraverso l'espressione riportata nei paragrafi a seguire, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti a_2 e n_2 (per $T > 10$ anni e $t < 1$ ora).

Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto - pari a 50 anni - ed individuato il valore della pioggia indice giornaliera dalla carta delle isoiete in fig.5.2, è quindi possibile determinare i coefficienti per il calcolo delle altezze di pioggia di data frequenza di accadimento e di fissata durata. In particolare, risulta:

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	17

- $\mu_g = \mu_g = 55 \text{ mm}$
- $a_1 = 20,69$
- $a_2 = 2,279$
- $n_1 = 0.316$
- $n_2 = 0.124$ ($t < 1$ ora) $n_2 = 0.084$

La c.p.p sarà data, pertanto, dalla seguente espressione:

$$h_{t,T} = a_1 a_2 \cdot t^{n_1 n_2}$$

È quindi possibile definire la curva di probabilità pluviometrica per l'area in esame, (corrispondente ad un tempo di ritorno $T=50$ anni); l'espressione analitica della c.p.p è la seguente: $h(t) = 41,774 \cdot t^{0.4192}$

$$h(t) = 47.168 x^{0.4396}$$

ore	$\mu(t)$	K_T	$h_{d,T}$	$i_{d,T}$
1	20,69	2,28	47,17	47,17
3	29,27	2,61	76,46	25,49
6	36,43	2,85	103,69	17,28
12	45,34	3,10	140,63	11,72
24	56,43	3,38	190,74	7,95

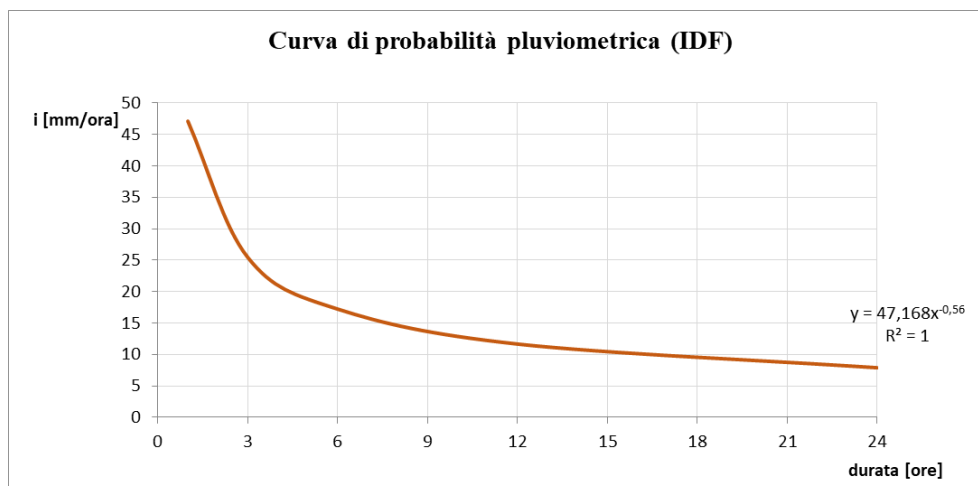
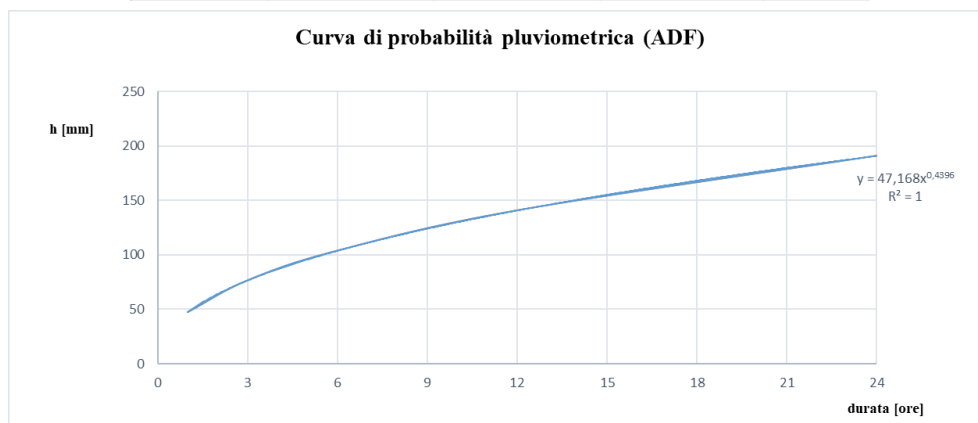


Figura 5.3: Curva di probabilità pluviometrica in altezza e intensità di pioggia.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	18

5.3 CALCOLO DELLA C.P.P. (T=5 ANNI)

I bacini oggetto del presente studio (dal B01 al B05 propedeutici al dimensionamento delle trincee drenanti di progetto) si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea SZO2, il fattore di crescita è calcolato attraverso l'espressione riportata nei paragrafi a seguire utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti a_2 e n_2 (per $T > 10$ anni e $t < 1$ ora). **Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto - pari a 5 anni -** ed individuato il valore della pioggia indice giornaliera dalla carta delle isoiete (vedasi fig.5.4), è quindi possibile determinare i coefficienti per il calcolo delle altezze di pioggia di data frequenza di accadimento e di fissata durata. In particolare, risulta:

- $\mu_g = \mu_g = 55 \text{ mm}$
- $a_1 = 20,69$
- $a_2 = 1,1979$
- $n_1 = 0.316$
- $n_2 = -0.0034$ ($t < 1$ ora) **$n_2 = 0.084$**

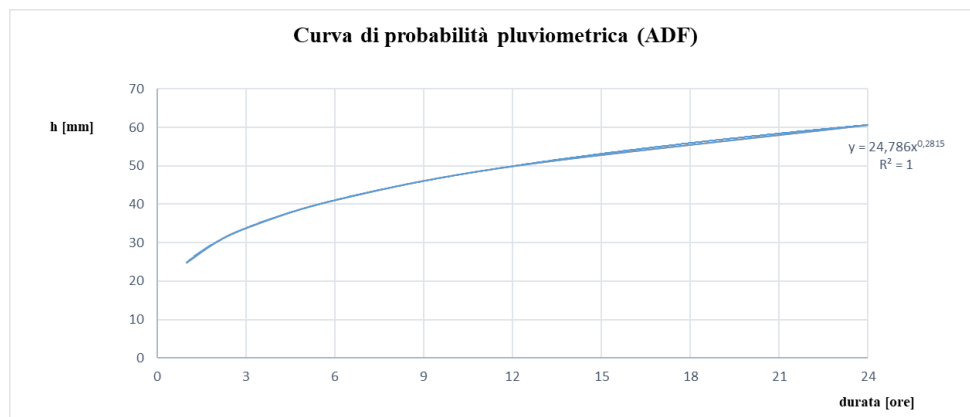
La c.p.p sarà data, pertanto, dalla seguente espressione:

$$h_{t,T} = a_1 a_2 \cdot t^{n_1 n_2}$$

È quindi possibile definire la curva di probabilità pluviometrica per l'area in esame, (corrispondente ad un tempo di ritorno $T=5$ anni); l'espressione analitica della c.p.p è la seguente: $h(t) = 41,774 \cdot t^{0.4192}$

$$h(t) = 47.168 x^{0.4396}$$

ore	$\mu(t)$	KT	$h_{d,T}$	$i_{d,T}$
1	20,69	1,20	24,79	24,79
2	25,75	1,17	30,13	15,06
3	29,27	1,15	33,77	11,26
6	36,43	1,13	41,05	6,84
12	45,34	1,10	49,89	4,16
24	56,43	1,07	60,65	2,53



CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	19

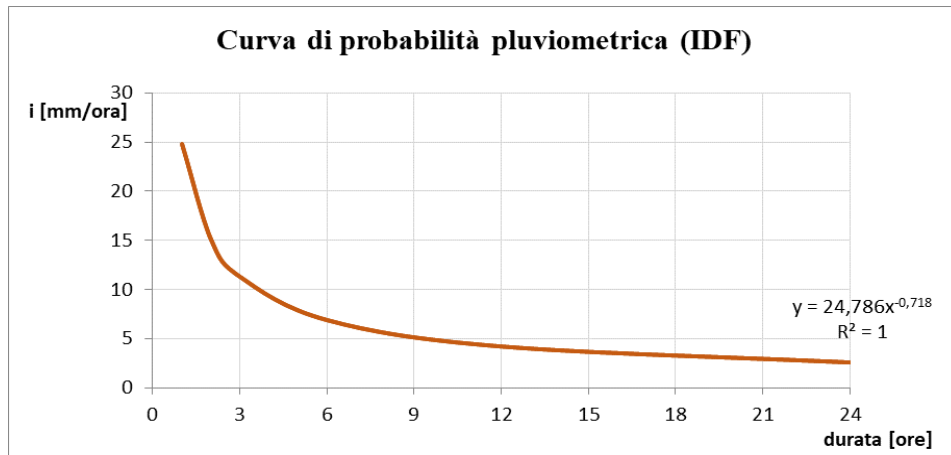


Figura 5.4: Curva di probabilità pluviometrica in altezza e intensità di pioggia.

5.4 SUPERFICI DI INFLUENZA

La principale caratteristica delle misure di precipitazione è di essere *puntuali*, cioè di riferirsi al punto in cui è posizionato lo strumento. La quantità di precipitazione che affluisce in un fissato intervallo di tempo in una data *area* deve essere valutata, in linea di principio, a partire dalle misure puntuali effettuate dalle stazioni di misura ricadenti nell'area o in essa limitrofe.

Tuttavia, date le ridotte dimensioni dei bacini e le modeste distanze dall'area di impianto, non si individuano le superfici di influenza nell'ipotesi che le caratteristiche di precipitazione all'interno dei bacini siano legate esclusivamente al valore della pioggia indice definito

Inoltre, date le ridotte dimensioni dei bacini ($S < 10 \text{ km}^2$), non verrà effettuato il ragguglio spaziale delle precipitazioni ($ARF=1$).

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	20

6 MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI

Le portate di progetto sono state calcolate attraverso *metodi indiretti*, che consentono la determinazione delle portate di piena a partire dalle precipitazioni che si abbattano sui diversi bacini. Nello specifico, si è valutata la portata di piena con la *formula razionale*.

La *formula razionale* consente la valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno T mediante la seguente relazione:

$$Q_T = \frac{\varphi \cdot i_T \cdot S}{3,6}$$

ove:

- Q_T è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m³/s;
- φ è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- i_T è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno (corrispondente al tempo di corrivazione) in mm/h;
- S è la superficie del bacino espressa in km²;
- 3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

La modellazione matematica dei fenomeni idrologico-idraulici, innescati dalle precipitazioni sull'area di progetto, segue il processo descritto nei paragrafi seguenti.

6.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA

Dopo avere ricostruito le relazioni intensità-durata-frequenza (IDF, espresse dalla c.p.p.) è necessario individuare la *l'intensità critica* della precipitazione, cioè l'intensità costante di quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno T.

La pioggia critica è quella di intensità pari al tempo di corrivazione o di concentrazione t_c , definito come segue:

- il tempo di corrivazione di un bacino è quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino;
- il tempo di corrivazione è quel tempo che, una volta eguagliato dalla durata della precipitazione (precipitazione *critica*, ovvero che mette in crisi la rete idrografica), determina il raggiungimento del valore più elevato di portata nella sezione di chiusura del bacino.

Esso può essere calcolato tramite diverse formule; nel caso in esame, e cioè per piccoli bacini (aventi estensione inferiore a 10 km²), il tempo di corrivazione è calcolato attraverso la formula di Kirpich:

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	21

$$t_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}}$$

dove τ_c è espresso in minuti, L (lunghezza dell'asta principale, a partire dallo spartiacque) è espressa in metri ed i è la pendenza media del percorso (m/m).

6.2 IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO

L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso nei bacini scolanti. Nell'applicare un modello afflussi-deflussi risulta pertanto necessario quantificare le perdite per infiltrazione allo scopo di potere valutare la pioggia netta, ovvero quella che dà effettivamente luogo al deflusso.

Nel presente studio, all'interno della formula razionale, è stato utilizzato il *metodo del coefficiente di afflusso* Φ . Tale coefficiente rappresenta il rapporto tra il volume totale di deflusso e il volume totale di pioggia caduto sull'area sottesa ad una data sezione, e il suo uso comporta considerare le perdite proporzionali all'intensità media di pioggia.

La stima del valore di φ , relativamente a ciascuna superficie omogena (tipo di suolo, tessitura, caratteristiche locali di permeabilità) è stata condotta facendo riferimento ai valori tabellati da Benini (*Sistemazioni idraulico-forestali*, 1990) in fig.5.4. Nello specifico, si sono valute le caratteristiche di copertura del suolo, sulla base delle informazioni messe a disposizione sul **Geoportale nazionale – corine land cover 2012 IV livello, la carta di uso del suolo** e le informazioni legate alla conoscenza del sottosuolo provenienti dallo studio geologico e dalla carta geologica.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	22

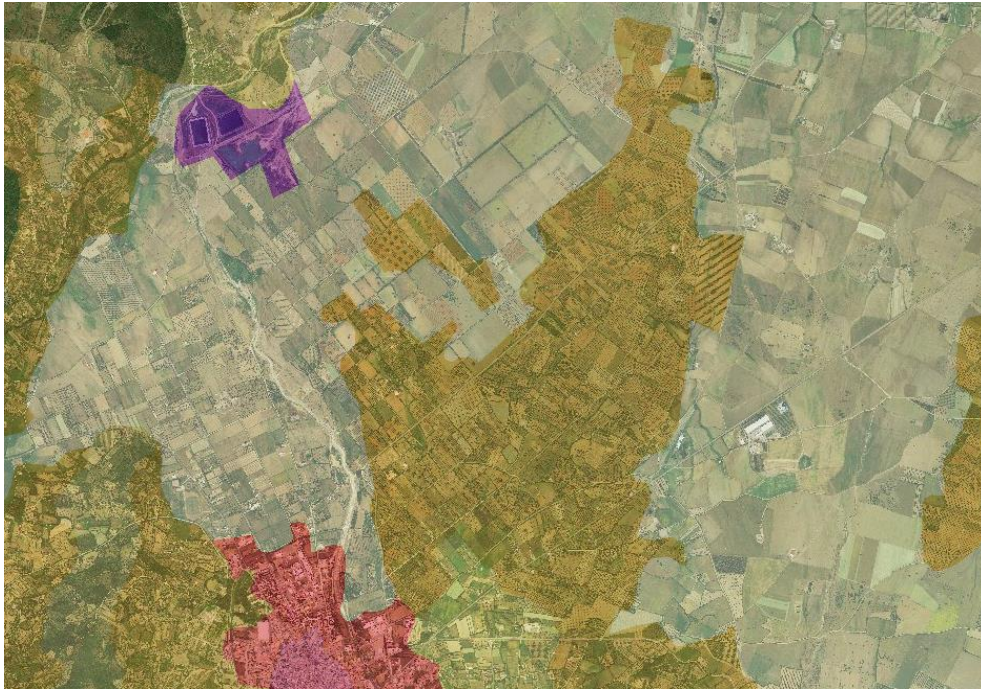


Figura 6.1 – Corine Land Cover IV Livello – Area relativa all'impianto e ai bacini idrografici ad esso afferenti

Corine land cover IV livello 2012:

- Superfici agricole utilizzate – seminativi – seminativi in aree non irrigue – colture intensive (giallino chiaro);
- Superfici agricole utilizzate – colture permanenti – oliveti (giallo scuro).



Figura 6.2 – Carta litologica – copertura del suolo – Area relativa all'impianto e ai bacini idrografici ad esso afferenti

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	23

Carta geo-litologica:

- Area (R4) – Detriti alluvionali – detriti fluvio-lacustri e fluvio-glaciali; materiale non consolidato;
- Area (R1) – Detriti alluvionali, fluvio-lacustri, spiagge attuali (Oliocene).

Estratto della Carta Geologica, Idrogeologica e Geomorfologica proveniente dallo Studio Geologico allegato al presente progetto definitivo – R.24-IBSE713PDRsge090R0.

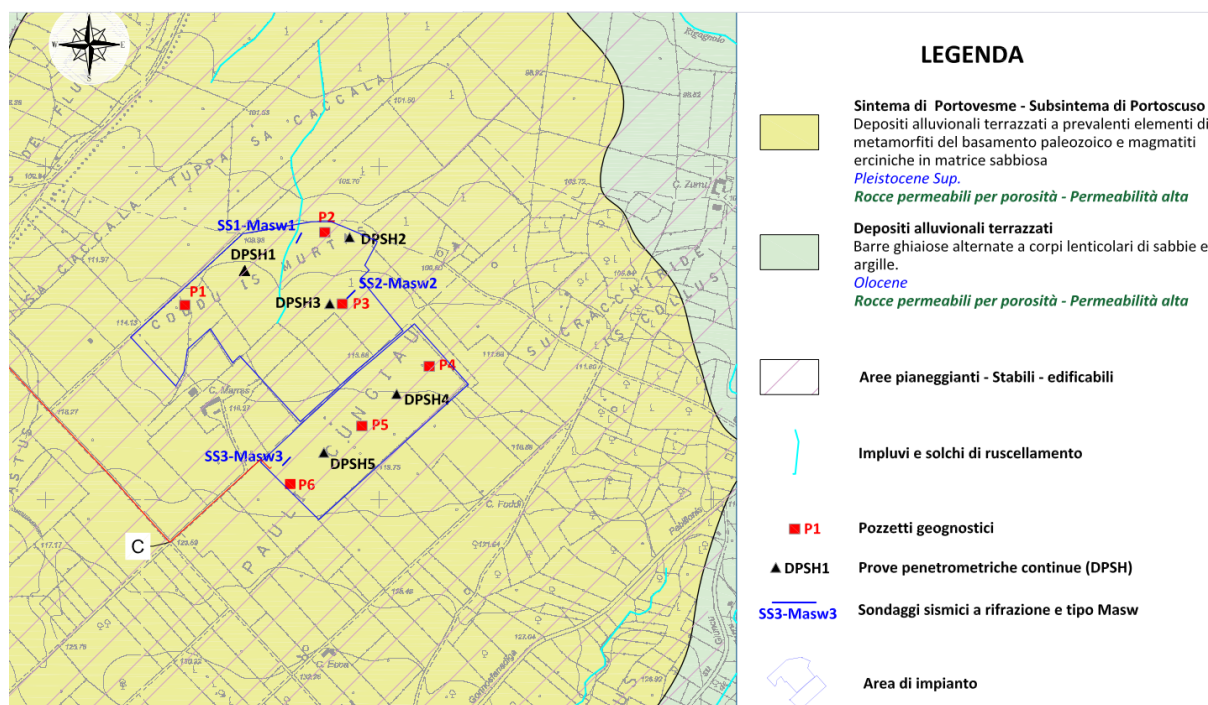


Figura 6.3 – Carta geologica, idrogeologica e geomorfologica estratta dallo studio geologico di progetto

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivazioni	Pascoli	Boschi
Molto permeabile (sabbioso o ghiaioso)	0.20	0.15	0.10
Mediamente permeabile (Terreni di medio impasto, Terreni senza strati di argilla)	0.40	0.35	0.30
Poco Permeabili (Suoli argillosi, con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli poco profondi su substrato roccioso impermeabile)	0.50	0.45	0.40

Figura 6.4: Valori del coefficiente ϕ del metodo razionale per diversi tipi di superficie, in funzione della tipologia di suolo e della copertura del bacino (Benini, 1990 e Ferro, 2006).

La stima del valore di ϕ , relativamente a ciascuna superficie omogenea (tipo di suolo, tessitura, caratteristiche locali di permeabilità) è stata condotta facendo riferimento ai valori tabellati da Benini (*Sistemazioni idraulico-forestali*, 1990) in fig.6.4. Nello specifico, si è utilizzato il seguente

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	24

valore del coefficiente di afflusso φ :

- $\varphi=0.25$ per terreni agricoli permeabili – seminativi in aree non irrigue e talvolta coltivate; $\varphi = 0.30$

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot A_i}{A_{tot}}$$

ove φ_i è il coefficiente di afflusso dell'area elementare A_i ed A_{tot} è la superficie complessiva del bacino. In questa maniera, il valore del coefficiente di afflusso per i bacini analizzati è dato dalla media pesata dei coefficienti di ciascuna area elementare in cui il bacino è divisibile.

6.3 IL CALCOLO DELLE PORTATE PER IL DIMENSIONAMENTO DEL FDG TIPO 2

Per il bacino di progetto, sono stati calcolati i valori di portata Q per il tempo di ritorno di interesse ($T=50$ anni), insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo, sono riassunti nelle tabelle sottostanti.

Nello specifico, le grandezze caratteristiche poste a base dei calcoli, insieme alle rispettive U.M. sono:

- ID Bacino confluyente nella porzione individuata del PV EG ATLANTE;
- Superficie del bacino drenante S (sia in m^2 che in km^2);
- Lunghezza dell'asta principale L (in m);
- Quota massima dell'asta principale, H_{max} (m);
- Quota minima dell'asta principale, H_{min} (m);
- Dislivello geodetico tra gli estremi dell'asta, (Differenza tra quota massima e quota minima dell'asta principale) Δh (m);
- Pendenza media del percorso i (%);
- Durata dell'evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrivazione t_c (in minuti);
- Coefficiente di afflusso φ ;
- Valore dell'intensità critica i_T (mm/h);
- Portata al colmo della piena, Q , (in m^3/s);

Le tabelle che seguono sono pertanto relative al calcolo della portata di progetto (relativa a ciascun bacino) causata da un evento pluviometrico critico di fissato tempo di ritorno T .

ID Bacino	Caratteristiche del bacino									Coefficiente di afflusso φ_A	Portata Q_A
	Superficie S		Lunghezza asta L (m)	H_{max}	H_{min}	Δh	Pendenza media i	Tempo di corrivazione t_c	Intensità critica ($h < 1$ ora)		
	[m^2]	[km^2]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[min]	[mm/h]		
B06	216635	0,216635	515,0	113,0	107,0	6,00	1,17%	13,24	177,24	0,25	2,666

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	25

6.4 VERIFICA DELLE PORTATE DI PROGETTO

Il dimensionamento delle opere idrauliche è stato condotto in due differenti fasi:

- una prima fase di pre-dimensionamento nella quale è stata assegnata, a ciascuna tipologia di opera idraulica una sezione “tipo”, in funzione dell’orografia, della pendenza, delle necessità tecniche e della estensione delle superfici scolanti sottese alla sezione di scarico;
- una seconda fase di verifica della capacità idraulica dei canali, prevedendo un franco minimo di 3/4 cm per ragioni di sicurezza.

La verifica della capacità idraulica delle opere è stata effettuata in condizioni di moto uniforme, utilizzando la formula di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- Q è la portata che defluisce nel fosso di guardia (m^3/s);
- χ è il coefficiente di scabrezza;
- A è l’area della sezione bagnata (in m^2);
- R è il raggio idraulico (in m), dato dal rapporto tra la sezione idrica ed perimetro bagnato P ;
- i è la pendenza del canale.

Per il valore del coefficiente χ , si è scelto di usare la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

in cui k_s è l’indice di scabrezza di *Gauckler-Strickler*, (in $m^{1/3} \cdot s^{-1}$); in questo caso l’espressione della scala delle portate di moto uniforme si semplifica, risultando particolarmente adeguata ai problemi di progetto:

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente χ ha un’importanza marginale rispetto alla possibilità di scegliere un valore adeguato dell’indice di scabrezza che vi figura; i valori sono stati desunti da Chow W.T. (*Applied hydrology*, 1988).

Per i fossi di guardia in terra è stato scelto un indice di scabrezza k_s pari a $37 m^{1/3} \cdot s^{-1}$ (corrispondente a canali in terra poco inerbiti). Di seguito, per ciascun bacino, si riporta una tabella di riepilogo con i seguenti elementi:

- Tipologia del fosso di guardia adottato;
- Bacino scolante;
- Tirante idrico h (m), sezione idrica A (m^2), contorno bagnato P (m), raggio idraulico R (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Pendenza i dell’opera idraulica (%)

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	26

- Portata di progetto per ciascuna opera $Q_{max,T}$ in m³/s;
- Velocità con cui defluisce la portata di progetto (m/s);
- Grado di riempimento del fosso di guardia, dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e l'altezza della sezione;
- Franco (espresso in m) dato dalla differenza tra l'altezza della sezione ed il tirante corrispondente alla portata di progetto.

La scelta delle tipologie di opere, sia in termini di geometria che di materiali, non è legata ad un mero dimensionamento di tipo idraulico. Sono state tenute in considerazione infatti, anche se non direttamente esplicitate nei calcoli, caratteristiche come (i) l'interrimento fisiologico delle opere idrauliche (benché mantenute con regolarità), (ii) il carattere delle precipitazioni in accordo al *climate changing* (precipitazioni di notevole intensità e breve durata con tempi di ritorno elevati) e (iii) le dimensioni “minime” legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere (indipendentemente, quindi, dal tirante idrico di moto uniforme derivante dal calcolo).

Pertanto, le tipologie di opere idrauliche individuate in fase di pre-dimensionamento sono risultate aderenti alle necessità di controllo e di smaltimento delle acque meteoriche verso gli impluvi naturali del sito in esame.

Le verifiche sono risultate positive, rispettando gli opportuni franchi di sicurezza.

Caratteristiche del canale		B06
Tipologia sezione		FDG TIPO 2
Bacino scolante		B06
Pendenza del canale, <i>i</i>	[%]	6,00%
Portata di progetto, Q_p	[m ³ /s]	2,666
Verifica/Progetto		
Tirante idrico h	[m]	0,75
Area A	[m ²]	0,67
Perimetro bagnato P	[m]	2,31
Raggio idraulico R	[m]	0,29
Portata in condizioni di moto uniforme Q_{max}	[m ³ /s]	2,666
Parametri di verifica		
Velocità	[m/s]	3,97
Grado di riempimento h/H	[-]	0,94
Franco f	[m]	0,05

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	27

6.5 OPERE DI PROGETTO

Le opere idrauliche in progetto sono le seguenti: per i particolari costruttivi ed ulteriori dettagli si rinvia all'elaborato grafico *PD-G.2.3.6.1*.

Fosso di guardia in terra "Tipo 2" avente le seguenti caratteristiche geometriche:

<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,80
Larghezza in superficie [m]	1,00
Altezza [m]	0,80

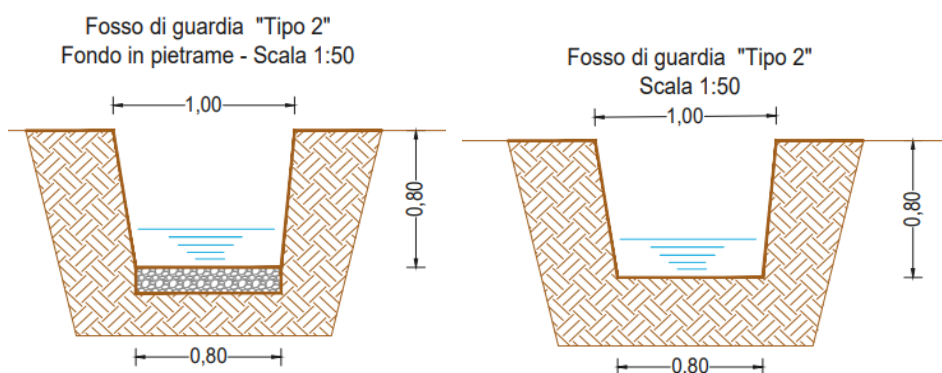


Figura 6.5: Fosso di guardia TIPO 2

In alcuni tratti – con pendenze superiori al 10% - tali fossi di guardia possono presentare il **fondo rivestito con pietrame** di media pezzatura ($d=5-10$ cm), per uno spessore di 10 cm, al fine di ridurre l'azione erosiva della corrente idrica.

Fosso di guardia in terra "Interno" (non oggetto di dimensionamento):

<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,30
Larghezza in superficie [m]	0.50
Altezza [m]	0.40

"Sezione Tipo" Fossi di guardia interni"
Scala 1:20

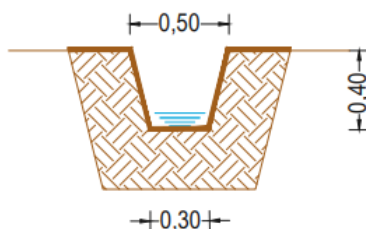


Figura 6.6: Fosso di guardia interno

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	28

OPERA DI DISSIPAZIONE A PROTEZIONE DELLA SEZIONE DI
SCARICO Scala 1:50

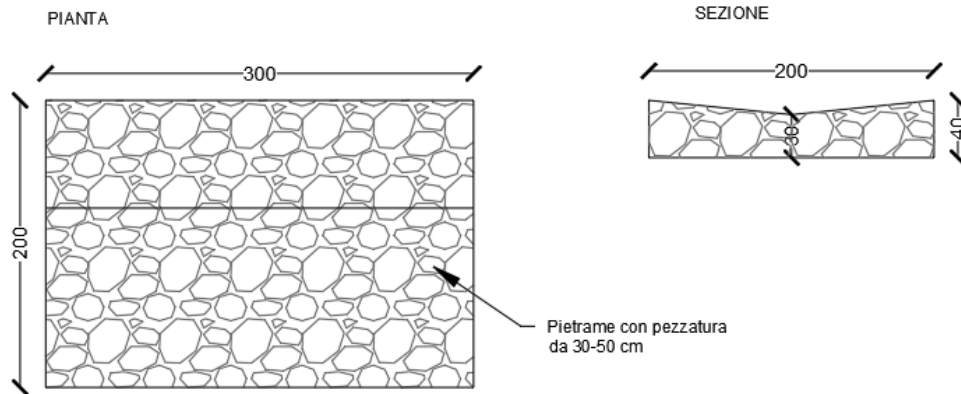


Figura 6.7: Tipologico di un'opera di dissipazione in pietrame

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	29

7 DIMENSIONAMENTO DELLE TRINCEE DRENANTI

7.1 GENERALITA'

Le trincee drenanti sono tipologie di sistemi di drenaggio in grado di emungere o smaltire acqua dai/nei terreni circostanti. Le trincee drenanti sono scavi lineari realizzati per immagazzinare un certo volume di deflusso meteorico e rilasciarlo lentamente nel sottosuolo circostante durante gli eventi meteorici e successivamente agli stessi (Creaco e Franchini, 2012). A differenza di altri sistemi di drenaggio (o d'infiltrazione), le trincee drenanti hanno uno sviluppo prevalente in orizzontale, piuttosto che in verticale (fig. 7.2). Le acque si immettono nella trincea attraverso la sua superficie superiore e si infiltrano nel suolo attraverso le rimanenti superfici laterali; la trincea è munita di una condotta fessurata centrale (in genere di diametro minimo DN200) che ha lo scopo di veicolare le acque non infiltrate verso un recapito, senza comportare l'essondazione della trincea stessa.

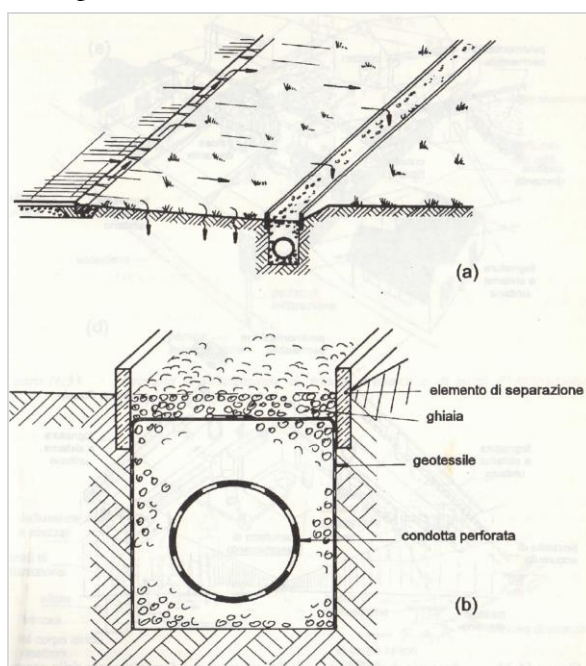


Figura 7.1: Trincea drenante - (a) vista; (b) sezione trasversale (CSDU, 1997).

7.2 AREA DRENATA

L'area sulla quale è realizzato il sistema drenante dovrebbe preferibilmente costituire un'*unità idrologica indipendente*; se il sistema serve solo una parte di questa unità è necessario che le opere realizzate allo scopo non ostacolino in alcun modo lo scolo naturale della restante parte. Considerate le pendenze dell'area sede dell'impianto e le caratteristiche geologiche del sito in esame, e dato che non esiste un criterio univoco per la definizione dell'area drenata,

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	30

l'esperienza di *Hydro Engineering* s.s. ha portato alla perimetrazione delle superfici di drenaggio (vedasi elaborato grafico PD-G.2.6.3.2).

7.3 DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA

Il dimensionamento delle trincee drenanti va eseguito confrontando le portate in arrivo al sistema (quindi l'idrogramma di piena di progetto) con la capacità di infiltrazione del terreno e con l'eventuale volume immagazzinato nel sistema. Tale confronto può essere espresso con la seguente equazione di continuità, che rappresenta il bilancio delle portate entranti e uscenti per il mezzo filtrante (CSDU, 1997), in cui per semplicità è stata trascurata l'evaporazione:

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

dove:

- Q_p , portata influente;
- Q_f , portata infiltrata;
- Δt , intervallo di discretizzazione temporale;
- ΔW , variazione del volume invasato nel mezzo filtrante, nell'intervallo Δt .

Per quanto concerne la determinazione della portata in ingresso Q_p , si fa riferimento in genere ad un tempo di ritorno di 2 anni; nel caso in cui si temano anche rilevanti conseguenze di eventuali allagamenti, si può giungere a tempi di ritorno anche di 5/10 anni. **Nel caso in esame, considerati i potenziali danni a lungo termine conseguenti al fenomeno meteorico, si è scelto un tempo di ritorno di progetto T pari a 5 anni.** Un ulteriore parametro da fissare è la durata dell'evento di pioggia, che assume notevole importanza in tutti quei casi in cui entra in gioco la capacità d'invaso del sistema di infiltrazione. In linea del tutto generale, vanno scelte brevi durate (da 10 minuti ad un'ora), e quindi elevate intensità di pioggia, nel caso di suoli molto permeabili e di piccole aree drenate; al contrario, lunghe durate (da qualche ora ad un giorno), e quindi basse intensità di pioggia, nel caso di suoli con permeabilità modesta. Nel caso in esame, **la durata critica che massimizza, a parità di ogni altro parametro, l'altezza massima invasata nelle trincee drenanti, è stata posta pari a 3 ore per i bacini di dimensioni più ampie e 2 ore per i bacini di drenaggio di superficie minore.** Individuati i parametri, la portata influente viene valutata attraverso la formula razionale:

$$Q_p = \frac{\emptyset \cdot i_T \cdot A_d}{10^3}$$

ove:

- Q_p è la portata di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m³/h;
- \emptyset è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- i_T è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno, in mm/h;

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	31

- A_d è la superficie del bacino drenato, in m^2 ;
- 10^3 è un fattore di conversione delle unità di misura.

La superficie da drenare, A_d , è variabile in funzione delle varie trincee drenanti perimetrali prese in considerazione come sintetizzato nella tabella a seguire:

ID Bacino	Superficie S	
	[m^2]	[km^2]
B01	433909	0,433909
B02	135020	0,13502
B03	56932	0,056932
B04	183005	0,183005
B05	44285	0,044285

L'intensità critica (corrispondente ad una durata di due/tre ore) è pari rispettivamente a 15,06 mm/h e 11,26 mm/h, mentre il coefficiente di afflusso è stato posto pari a 0,25 (vedasi paragrafo 6.2 della presente relazione specialistica). Si effettua, per semplicità, l'ipotesi di pioggia a intensità costante.

La capacità d'infiltrazione può essere stimata in prima approssimazione con la legge di Darcy:

$$Q_f = K J A_{inf}$$

ove:

- Q_f è la portata di infiltrazione, espressa in m^3/s ;
- K è la permeabilità (o coefficiente di permeabilità) del terreno, in m/s ;
- J è la cadente piezometrica (m/m);
- A_{inf} è la superficie netta d'infiltrazione (m^2).

La cadente piezometrica J è posta, in questo caso, pari ad uno: il tirante idrico sulla superficie filtrante è infatti trascurabile rispetto all'altezza dello strato filtrante e la superficie della falda (profonda al di sotto del p.c.) è sufficientemente al di sotto del fondo disperdente.

K , come già detto, è il coefficiente di permeabilità che può essere determinato o attraverso prove specifiche di permeabilità realizzate *in situ* o attraverso tabelle presenti in letteratura in relazione alla tipologia di suolo (tabella 6.1). Nel caso specifico non si dispone di un valore del coefficiente di permeabilità misurato *in situ*, e si farà riferimento a valori di letteratura.

TIPO DI SUOLO	K [m/s]	PERMEABILITÀ
Ciottoli, ghiaia	$>10^{-2}$	Elevata
Sabbia, sabbia e ghiaia	$10^{-2} - 10^{-5}$	Buona
Sabbia fine, limo, argilla con limo e sabbia	$10^{-5} - 10^{-9}$	Cattiva
Argilla omogenea	$10^{-9} - 10^{-11}$	impermeabile

Tabella 7.1: Permeabilità di alcuni suoli tipici (Francani, 1988).

Dalle indagini geotecniche presenti nella relazione geologica, si evince che il terreno del sito in

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	32

esame (nel quale deve essere realizzato il sistema di trincee drenanti), è costituito da depositi alluvionali altamente permeabili e si è ritenuto pertanto opportuno utilizzare un coefficiente di permeabilità (a vantaggio di sicurezza) K pari a $0,8 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Per il calcolo della portata di infiltrazione, la superficie drenante della trincea A_{inf} può essere valutata con la seguente espressione:

$$A_{inf} = Ll + 2(L + l)\Delta h$$

dove:

- L è la lunghezza totale della trincea, in m;
- l è la larghezza della trincea, in m;
- Δh è l'incremento del tirante idrico all'interno della trincea stessa, in m.

In questo modo, la superficie netta d'infiltrazione è costituita da due aliquote: la superficie laterale della trincea drenante e la sua superficie di base (nell'ipotesi di non considerare l'intasamento della stessa, per la presenza dello strato di geotessuto non tessuto).

Il progetto di una trincea drenante richiede di determinare le dimensioni della trincea complessivamente necessaria per il drenaggio dell'area servita. Di solito si fissano la larghezza e la profondità della trincea drenante, ricavando la lunghezza a mezzo dell'equazione di continuità; in questo caso, la variazione di volume invasato può essere determinata con la seguente espressione:

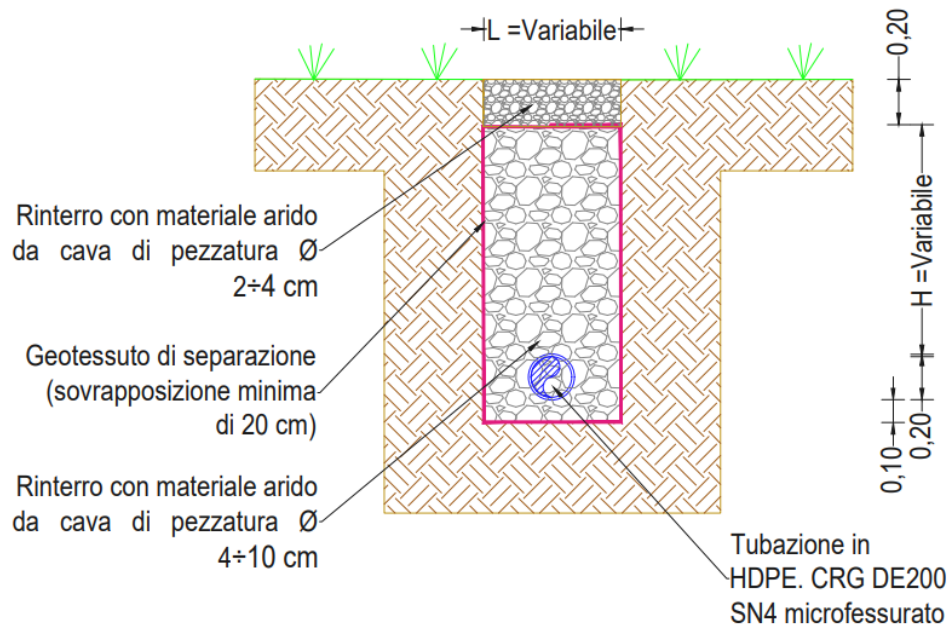
$$\Delta W = L l \Delta h n$$

Dove, L e l sono rispettivamente, come già detto, la lunghezza totale e la larghezza della trincea mentre n è la porosità del materiale di riempimento. Come già detto, il riempimento è costituito da materiale arido da cava (di pezzatura compresa tra 4 e 10 cm) ed è caratterizzato da una porosità n stimata del 40%.

Nel caso in esame le trincee hanno una sezione trasversale di forma rettangolare (fig. 8.3). La lunghezza totale L della trincea (date le specifiche necessità di drenare le acque in prossimità dell'area perimetrale di impianto), è variabile in base ai vari tratti di analisi come di seguito evidenziato:

Bacino di progetto	ID Trincea Drenante	Larghezza L [m]	Altezza H [m]	Lunghezza [m]
B01	TIPO 1	1	2	850
B02	TIPO 2	0,5	1	830
B03	TIPO 2	1	1,6	360
B04	TIPO 3	0,5	1	435
B05	TIPO 2	1	1,6	310

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	33



ID Trincea Drenante	Larghezza L [m]	Altezza H [m]
Trincea TIPO 1	1	2
Trincea TIPO 2	0,5	1
Trincea TIPO 3	1	1,6

Figura 7.2: Sezione trasversale della trincea drenante e dimensioni trincee di progetto

La risoluzione dell'equazione di continuità è effettuata per passi successivi, fissando un intervallo di tempo di risoluzione Δt di un'ora o mezz'ora.

Di seguito vengono sintetizzati i parametri posti a base del calcolo (tabella 8.2):

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	34

Trincea drenante – bacino B01

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
T	[anni]	5	Tempo di ritorno di progetto
t_p	[ore]	3	Durata della pioggia critica
A_d	[m ²]	433910	Superficie bacino drenato
Φ	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
i	[mm/h]	11.26	Intensità della pioggia di progetto
K	[m/s]	0.00008	Permeabilità
J	[m/m]	1	Cadente piezometrica
l	[m]	1	Larghezza della trincea
L	[m]	850	Lunghezza totale della trincea
h	[m]	2	Altezza della trincea
n	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
Δt	[ore]	0.5	Passo temporale di integrazione

Tabella 7.2: Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.

Tempo	Q _p	Q _r	ΔW	Δh
[h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³]	[m]
0	0	0	0	0
0,5	1221	0	610,7283	1,80
1	1221	1125	659	1,94
1,5	1221	1195	672	1,98
2	1221	1214	676	1,99
2,5	1221	1219	677	1,99
3	1221	1221	677	1,99
3,5	0	1221	67	0,20

Tabella 7.3: Calcolo del sistema di trincee drenanti.

Come si può desumere dalla tabella 7.3, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 1,99 m, inferiore quindi ai 2 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In figura 7.4 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. Il tempo di svuotamento, che dipende dalle caratteristiche di permeabilità del terreno, è prossimo alle 12 ore (non si considera la portata allontanata dal tubo fessurato in HDPE); pertanto, lo svuotamento, dopo la fine dell'evento piovoso, avviene in un tempo inferiore al tempo medio stimato fra due eventi successivi (di solito maggiore di 48 ore).

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	35

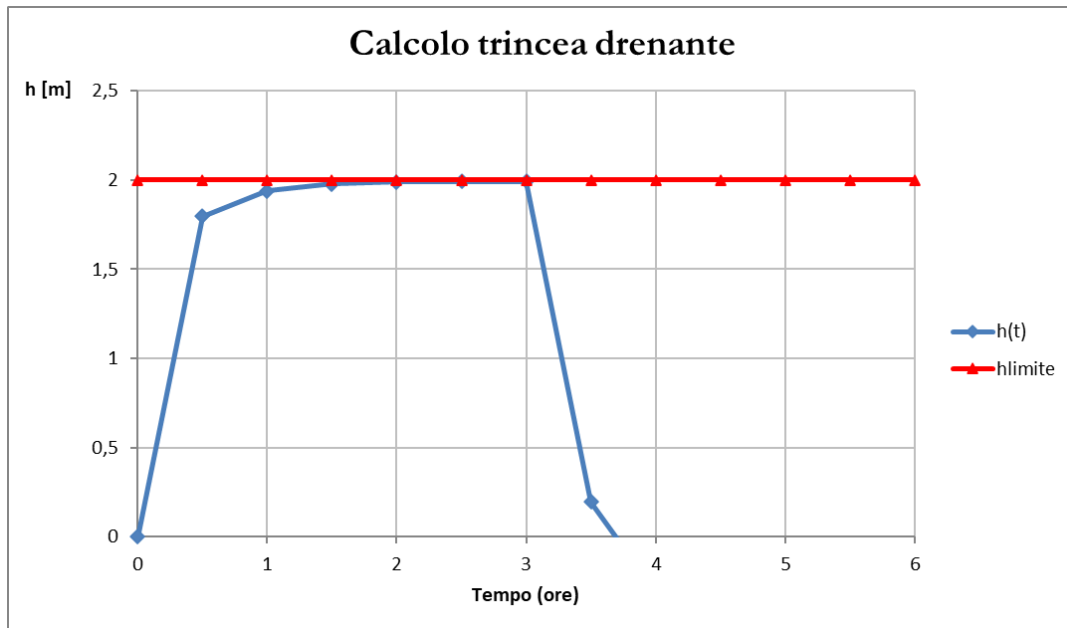


Figura 7.3: Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – B01. In rosso l'altezza della trincea.

Trincea drenante – bacino B02

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
T	[anni]	5	Tempo di ritorno di progetto
t_p	[ore]	2	Durata della pioggia critica
A_d	[m ²]	135020	Superficie bacino drenato
Φ	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
i	[mm/h]	15.06	Intensità della pioggia di progetto
K	[m/s]	0.00008	Permeabilità
J	[m/m]	1	Cadente piezometrica
l	[m]	0.5	Larghezza della trincea
L	[m]	830	Lunghezza totale della trincea
h	[m]	1	Altezza della trincea
n	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
Δt	[ore]	0.25	Passo temporale di integrazione

Tabella 7.4: Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	36

Tempo	Q_p	Q_r	ΔW	Δh
[h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³]	[m]
0	0	0	0	0
0,25	508	0	127,0876	0,77
0,5	508	486	133	0,80
0,75	508	502	134	0,81
1	508	507	135	0,81
1,25	508	508	135	0,81
1,5	508	508	135	0,81
1,75	508	508	135	0,81
2	508	508	135	0,81
2,25	0	508	8	0,05

Tabella 7.5: Calcolo del sistema di trincee drenanti.

Come si può desumere dalla tabella 7.5, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 0,81 m, inferiore quindi al 1 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In figura 7.5 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. Il tempo di svuotamento, che dipende dalle caratteristiche di permeabilità del terreno, è prossimo alle 12 ore (non si considera la portata allontanata dal tubo fessurato in HDPE); pertanto, lo svuotamento, dopo la fine dell'evento piovoso, avviene in un tempo inferiore al tempo medio stimato fra due eventi successivi (di solito maggiore di 48 ore).

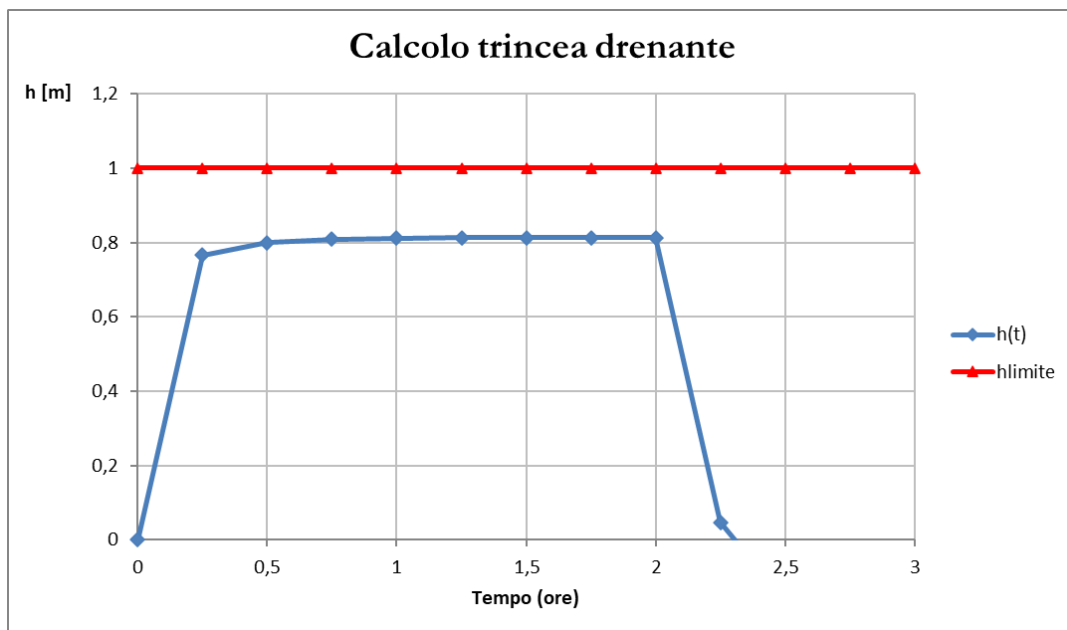


Figura 7.4: Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – B02. In rosso l'altezza della trincea.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	37

Trincea drenante – bacino B03

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
T	[anni]	5	Tempo di ritorno di progetto
t_p	[ore]	2	Durata della pioggia critica
A_d	[m ²]	56932	Superficie bacino drenato
Φ	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
i	[mm/h]	15.06	Intensità della pioggia di progetto
K	[m/s]	0.00008	Permeabilità
J	[m/m]	1	Cadente piezometrica
l	[m]	0.5	Larghezza della trincea
L	[m]	360	Lunghezza totale della trincea
h	[m]	1	Altezza della trincea
n	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
Δt	[ore]	0.25	Passo temporale di integrazione

Tabella 7.6: Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.

Tempo	Q _p	Q _f	ΔW	Δh
[h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³]	[m]
0	0	0	0	0
0,25	214	0	53,58	0,74
0,5	214	206	56	0,77
0,75	214	212	56	0,78
1	214	214	56	0,78
1,25	214	214	56	0,78
1,5	214	214	56	0,78
1,75	214	214	56	0,78
2	214	214	56	0,78
2,25	0	214	3	0,04

Tabella 7.7: Calcolo del sistema di trincee drenanti.

Come si può desumere dalla tabella 7.7, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 0,78 m, inferiore quindi al 1 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In figura 7.6 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. Il tempo di svuotamento, che dipende dalle caratteristiche di permeabilità del terreno, è prossimo alle 12 ore (non si considera la portata allontanata dal tubo fessurato in HDPE); pertanto, lo

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	38

svuotamento, dopo la fine dell'evento piovoso, avviene in un tempo inferiore al tempo medio stimato fra due eventi successivi (di solito maggiore di 48 ore).

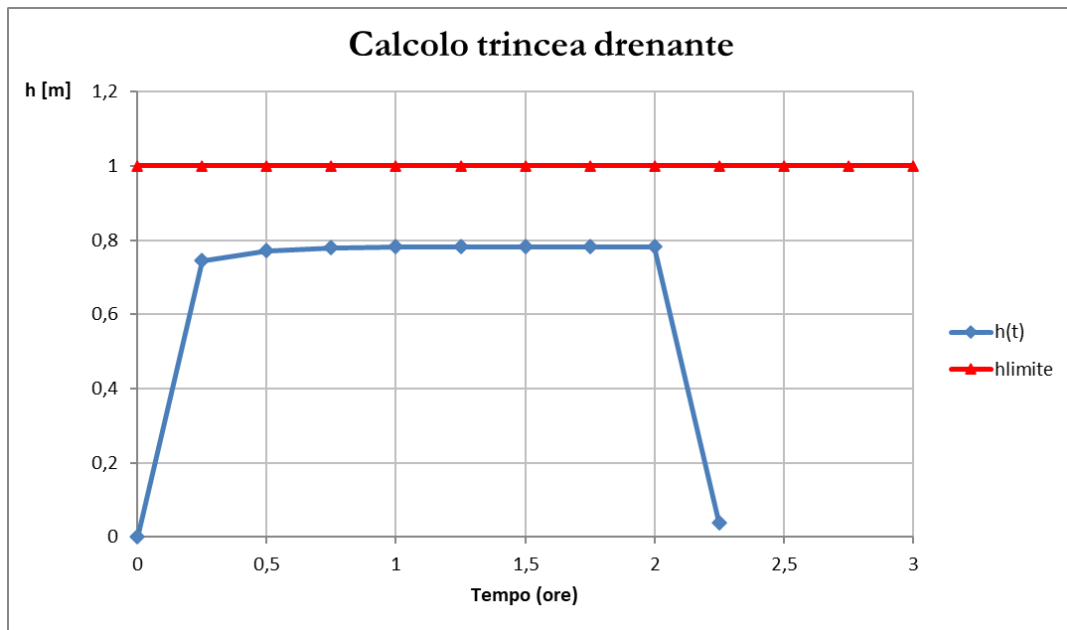


Figura 7.5: Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – B03. In rosso l'altezza della trincea.

Trincea drenante – bacino B04

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
T	[anni]	5	Tempo di ritorno di progetto
t_p	[ore]	3	Durata della pioggia critica
A_d	[m ²]	183005	Superficie bacino drenato
Φ	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
i	[mm/h]	11.26	Intensità della pioggia di progetto
K	[m/s]	0.00008	Permeabilità
J	[m/m]	1	Cadente piezometrica
l	[m]	1,0	Larghezza della trincea
L	[m]	435	Lunghezza totale della trincea
h	[m]	1,6	Altezza della trincea
n	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
Δt	[ore]	0.5	Passo temporale di integrazione

Tabella 7.8: Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	39

Tempo	Q_p	Q_r	ΔW	Δh
[h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³]	[m]
0	0	0	0	0
0,5	515	0	257,5795	1,48
1	515	497	267	1,53
1,5	515	510	269	1,55
2	515	514	270	1,55
2,5	515	515	270	1,55
3	515	515	270	1,55
3,5	0	515	13	0,07

Tabella 7.9: Calcolo del sistema di trincee drenanti.

Come si può desumere dalla tabella 7.9, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 0,78 m, inferiore quindi al 1 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In figura 7.7 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. Il tempo di svuotamento, che dipende dalle caratteristiche di permeabilità del terreno, è prossimo alle 12 ore (non si considera la portata allontanata dal tubo fessurato in HDPE); pertanto, lo svuotamento, dopo la fine dell'evento piovoso, avviene in un tempo inferiore al tempo medio stimato fra due eventi successivi (di solito maggiore di 48 ore).

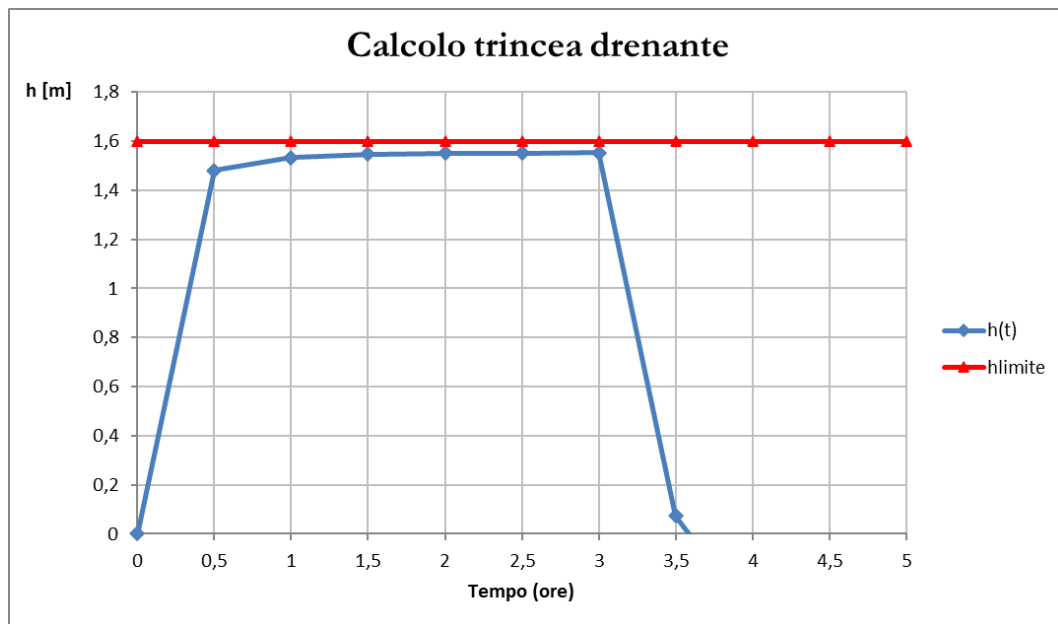


Figura 7.6: Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – B04. In rosso l'altezza della trincea.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	40

Trincea drenante – bacino B05

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
T	[anni]	5	Tempo di ritorno di progetto
t_p	[ore]	2	Durata della pioggia critica
A_d	[m ²]	44285	Superficie bacino drenato
Φ	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
i	[mm/h]	15,06	Intensità della pioggia di progetto
K	[m/s]	0.00008	Permeabilità
J	[m/m]	1	Cadente piezometrica
l	[m]	0,5	Larghezza della trincea
L	[m]	310	Lunghezza totale della trincea
h	[m]	1,0	Altezza della trincea
n	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
Δt	[ore]	0.25	Passo temporale di integrazione

Tabella 7.10: Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.

Tempo	Q _p	Q _r	ΔW	Δh
[h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³]	[m]
0	0	0	0	0
0,25	167	0	41,68326	0,67
0,5	167	165	42	0,68
0,75	167	166	42	0,68
1	167	167	42	0,68
1,25	167	167	42	0,68
1,5	167	167	42	0,68
1,75	167	167	42	0,68
2	167	167	42	0,68
2,25	0	167	1	0,01

Tabella 7.11: Calcolo del sistema di trincee drenanti.

Come si può desumere dalla tabella 7.11, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 0,68 m, inferiore quindi al 1 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In figura 7.8 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. Il tempo di svuotamento, che dipende dalle caratteristiche di permeabilità del terreno, è prossimo alle 12 ore (non si considera la portata allontanata dal tubo fessurato in HDPE); pertanto, lo svuotamento, dopo la fine dell'evento piovoso, avviene in un tempo inferiore al tempo medio

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	41

stimato fra due eventi successivi (di solito maggiore di 48 ore).

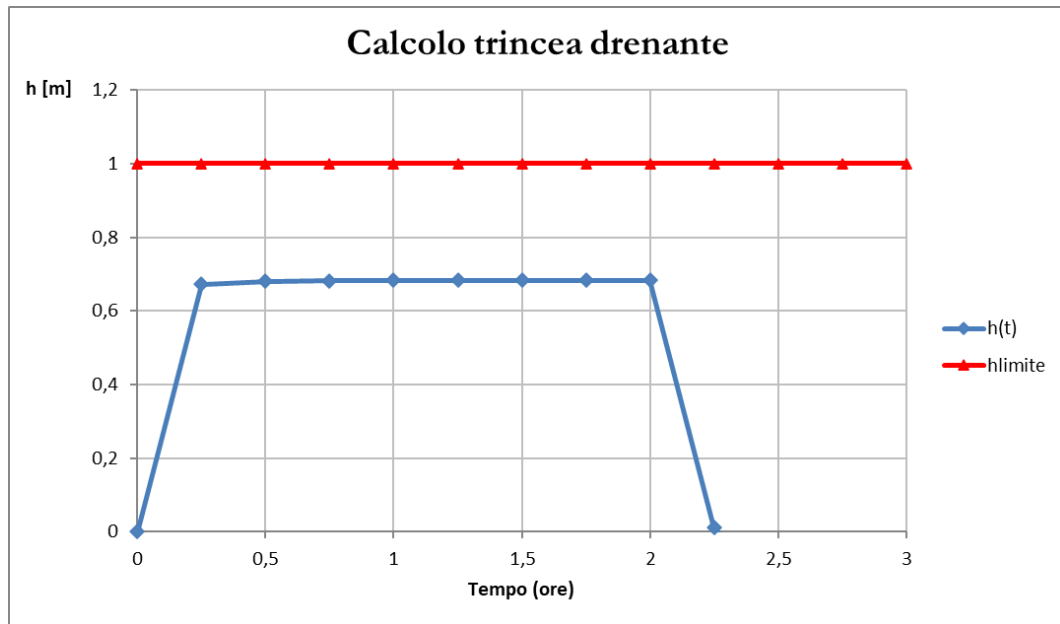


Figura 7.7: Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – B05. In rosso l'altezza della trincea.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	42

8 GEOLOGIA DI PROGETTO

L'area in studio ricade all'interno del territorio dei Comuni di Guspini e di Gonnosfanadiga ubicati nella Sardegna sud-occidentale nella Provincia del Medio Campidano ad una quota di circa 98.0 m s.l.m. Il territorio è prevalentemente pianeggiante e presenta un'escursione altimetrica che varia dal livello del mare in prossimità dello Stagno di San Giovanni, nell'area più settentrionale del territorio, sino ai 725 m s.l.m. del Monte Maiori.

L'idrografia dell'area in esame è inserita all'interno di un'area vasta che è sottesa al bacino idrografico del Rio Mannu di Pabillonis, il cui bacino idrografico si estende per 593,3 km² e ha come maggiori affluenti il Rio Bellu, già Terramaistus a monte, e il Rio Sitzerrì che è stata inalveato nella porzione terminale e vi corre parallelamente sino allo sbocco nello Stagno di San Giovanni.

L'idrogeologia del settore è caratterizzata prevalentemente dagli acquiferi impostati sui depositi alluvionali del Pleistocene e del Quaternario. È inoltre possibile individuare complessi idrogeologici nelle vulcaniti del Monte Arcuentu e nella porzione superiore del basamento cristallino Paleozoico impostato sui graniti dell'Arburese.

Per quanto riguarda gli acquiferi freatici contraddistinti da litologie sedimentarie si può sostenere che la permeabilità sia per porosità in seguito agli spazi intercomunicanti tra i grani che costituiscono tale acquifero.

Per quel che concerne gli acquiferi relativi alle vulcaniti e al basamento cristallino granitoide la loro permeabilità avviene in grande per fessurazione e fratturazione. In questi casi è possibile riscontrare acquiferi importanti quando si incontrano porzioni sottostanti più competenti e meno fratturate.

L'area in cui insisterà l'opera da realizzare è caratterizzata prevalentemente da acquiferi impostati sui depositi alluvionali del Pleistocene e del Quaternario, litologie sedimentarie dotati di una permeabilità primaria per porosità da buona ad elevata in base anche al contenuto di una frazione limosa che modifica la circolazione idrica all'interno dei meati. Gli acquiferi si trovano posizionati a profondità elevate (oltre i 70 metri) e comunque a profondità tali da non interferire con le fondazioni delle strutture previste dal progetto.

La caratterizzazione stratigrafica locale è stata ottenuta tramite l'esecuzione di pozzetti esplorativi effettuati per mezzo di un escavatore meccanico e tramite l'esecuzione di sondaggi sismici a rifrazione eseguiti ed elaborati con la tecnica tomografica. Tramite l'impiego di un escavatore meccanico sono stati realizzati n° 6 pozzetti esplorativi spinti sino a raggiungere una profondità di circa 3,5 metri dal piano di campagna.

I pozzetti, denominati P1, P2, P3, P4, P5 e P6, hanno mostrato una omogeneità litologica distribuita all'interno dell'intera area di impianto. Il terreno si presenta superficialmente composto da uno strato di suolo avente uno spessore compreso tra 0,3 e 0,4 metri, al di sotto

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	43

del quale si riscontrano depositi alluvionali costituiti prevalentemente da sabbie e ghiaie con ciottoli da spigolosi a sub-arrotondati eterometrici del basamento paleozoico cristallino immersi in una matrice limoso-argillosa di colore rossastro.

Durante lo scavo dei pozzetti geognostici sono stati prelevati campioni rimaneggiati sui quali sono state effettuate le prove geotecniche di laboratorio.

Entro la profondità di indagine (circa 3,5 metri) non è stata individuata nel sottosuolo la presenza di livelli idrici.

Stratigrafia pozzetto P1:

Clientela ENFINITY	Profondità massima 3,30	Quota Ass. P.C.	Categoria n°	Pagina
Operatore Pierpaolo Schiru	Indagine Parco FTV- Gonnosfanadiga-Guspini	Note 1 Geologo di cantiere Dott. F. Cau	Inizio/Fine Emersione 08-07-2022	
Responsabile Dott. Geol. C. Obella	Sondaggio P1	Tipo Carotaggio Pozzetto geognostico	Tipo Sonda Komatsu	Categoria X Y 39.529.393 - 8.667312

Profondità (m)	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo
0 - 0.40	Suolo sabbioso-ghiaioso fine di colore rossastro.	0.40		
0.40 - 3.30	Deposito alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli da spigolosi a subarrotondati eterometrici del basamento paleozoico cristallino. Presenza di matrice limoso-argillosa. Colore rossastro.	3.30		

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	44

Stratigrafia pozzetto P2:

Committente ENFINITY	Profondità campagna 3/40	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina	
Operatore Herpaolo Schirru	Indagine Parco FTV - Gonnosfanadiga-Guspini	Note Geologo di cantiere Dott. F. Cau		Inizio/Fine esecuzione 08-07-2022	
Responsabile Dott. Geol. C. Obella	Sondaggio P2	Tipo Carotaggio Pozzetto geonostico	Tipo Sonda Komatsu	Coordinate X Y 39.531411 - 8.672322	
Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	Campione	Metodo
1		Suolo sabbioso-ghiaioso fine di colore rossastro.	0.30		
		Deposito alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli da spigolosi a subarrotondati eterometrici del basamento paleozoico cristallino. Presenza di matrice limoso-argillosa. Colore rossastro.			
3			3.40		

Stratigrafia pozzetto P3:

Committente ENFINITY	Profondità campagna 3/50	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina	
Operatore Herpaolo Schirru	Indagine Parco FTV - Gonnosfanadiga-Guspini	Note Geologo di cantiere Dott. F. Cau		Inizio/Fine esecuzione 08-07-2022	
Responsabile Dott. Geol. C. Obella	Sondaggio P3	Tipo Carotaggio Pozzetto geonostico	Tipo Sonda Komatsu	Coordinate X Y 39.529632 - 8.672496	
Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	Campione	Metodo
1		Suolo sabbioso-ghiaioso fine di colore rossastro.	0.40		
		Deposito alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli da spigolosi a subarrotondati eterometrici del basamento paleozoico cristallino. Presenza di matrice limoso-argillosa. Colore rossastro.			
3			3.50		

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	45

Stratigrafia pozzetto P4:

Committente ENFINITY	Profondità aggiunta 3.50	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina	
Operatore Pierpaolo Schirru	Indagine Parco FTV - Gonnosfanadiga-Guspini	Note Geologo di cantiere Dott. F. Cau		Inizio/Fine Esecuzione 08-07-2022	
Responsabile Dott. Geol. C. Obella	Sondaggio P4	Tipo Caricaggio Pozzetto geonostico	Tipo Sonda Komatsu	Coordinate X-Y 39.527434 - 8.675575	
Scala (m)	Unità	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo
1	1	Suolo sabbioso fine di colore rossastro.	0.40		
		Deposito alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli da spigolosi a subarrotondati eterometrici del basamento paleozoico cristallino. Presenza di matrice limoso-argillosa. Colore rossastro.			
3	3		3.50		

Stratigrafia pozzetto P5:

Committente ENFINITY	Profondità aggiunta 3.50	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Pagina	
Operatore Pierpaolo Schirru	Indagine Parco FTV - Gonnosfanadiga-Guspini	Note Geologo di cantiere Dott. F. Cau		Inizio/Fine Esecuzione 08-07-2022	
Responsabile Dott. Geol. C. Obella	Sondaggio P5	Tipo Caricaggio Pozzetto geonostico	Tipo Sonda Komatsu	Coordinate X-Y 39.525702 - 8.673154	
Scala (m)	Unità	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo
1	1	Suolo sabbioso fine di colore rossastro.	0.30		
		Deposito alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli da spigolosi a subarrotondati eterometrici del basamento paleozoico cristallino. Presenza di matrice limosa. Colore rossastro.			
3	3		3.50		

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	46

Stratigrafia pozzetto P6:

Committente ENFINITY	Profondità aggiunta 3.50	Quota Ass. P.C.	Certificato n°	Page
Direttore Pasquale Schiru	Indagine Parco FTV - Gonnosfanadiga-Guspini	Note Geologo di cantiere Dott. F. Cau	Data fine Ispezione 08-07-2022	
Responsabile Dott. Geol. C. Obella	Sonaggio P6	Tipi Carotaggio Pozzetto geostatico	Tipi Sonda Komatsu	Codice n° IY 39.524488 - 8.670691

Profondità (m)	Usiglio	Descrizione	Quota	Campioni	Metodo
0.00		Suolo sabbioso fine di colore rossastro.	0.40		
1.00		Deposito alluvionale costituito da sabbie e ghiaie con ciottoli da centimetrici a decimetrici di elementi paleozoici da spigolosi ad arrotondati. Colore rossastro. Presenza di matrice limosa e debolmente argillosa.	2.10		
2.00		Deposito alluvionale ghiaioso in matrice limoso-argillosa con sabbia. Colore grigio-rossastro.	3.50		
3.00					

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	47

9 INVARIANZA IDRAULICA

9.1 INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE DI PROGETTO

Come anticipato, la realizzazione delle opere in progetto mantiene **inalterato, a scala globale, l'equilibrio tra afflussi e deflussi dei bacini sottesi ai punti di immissione nei corpi idrici ricettori**. Le nuove opere a servizio del parco fotovoltaico "EG ATLANTE" (nuova viabilità, area destinata alle cabine di impianto etc.) rispettano infatti i principi dell'invarianza idraulica; in particolare:

1. le caratteristiche di permeabilità dei bacini interessati dalle opere subiscono modifiche pressoché nulle e, pertanto, la variazione tra la situazione *ante* e *post* interventi è trascurabile. Il coefficiente di afflusso dei bacini (con il quale determinare l'aliquota di afflussi infiltrati) si mantiene infatti sostanzialmente invariato, data la trascurabile variazione della permeabilità delle aree in seguito alla realizzazione degli interventi²;
2. la realizzazione dell'impianto non prevede elementi impermeabili sul terreno (a meno delle aree destinate alle cabine elettriche che rappresentano un'aliquota minima rispetto all'intera superficie di impianto) ma opere con inerti, altamente permeabili, in corrispondenza delle viabilità di parco.

9.2 DEFINIZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DELLE AREE INTERESSATE DALL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

In virtù della natura delle opere di progetto, è realistico affermare che non si verificheranno significative variazioni delle portate nelle aree di impianto.

Le opere di progetto, come a seguire dimostrato, non alterano in maniera significativa le caratteristiche di permeabilità delle aree cui è destinato l'impianto.

Le principali componenti dello stesso sono:

- pannelli fotovoltaici;
- viabilità interne all'impianto;
- cabine elettriche;
- fascia di mitigazione verde;

² Per effetto della presenza di misto stabilizzato compattato, utilizzato come strato di finitura per la nuova viabilità, e le piazzole il coefficiente di afflusso φ_p è compreso in un range 0.30-0.35 (strato drenante, da letteratura). **Le caratteristiche di permeabilità delle nuove aree risultano pressoché identiche a quelle del terreno naturale esistente.**

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	48

- aree libere all'interno della porzione recintata.
- Da quanto progettato discendono i seguenti dati:

Elementi fisici impianto	Superficie impegnata	Superficie impegnata	Incidenza percentuale
	[m ²]	[ha]	
Proprietà	416.328,7	41,6	100,0%
Fascia di mitigazione a verde perimetrale	20.618,5	2,06	4,95%
Viabilità di servizio	14.219,06	1,42	3,42%
Area occupata da pannelli	124.784,4	12,48	29,97%
Cabine elettriche	513,49	0,05	0,12%
Corridoi tra pannelli	256.193,3	25,62	62%

Il grafico che segue indica l'incidenza percentuale di ciascuna delle superfici su riportate sul totale di 41,6 ha.

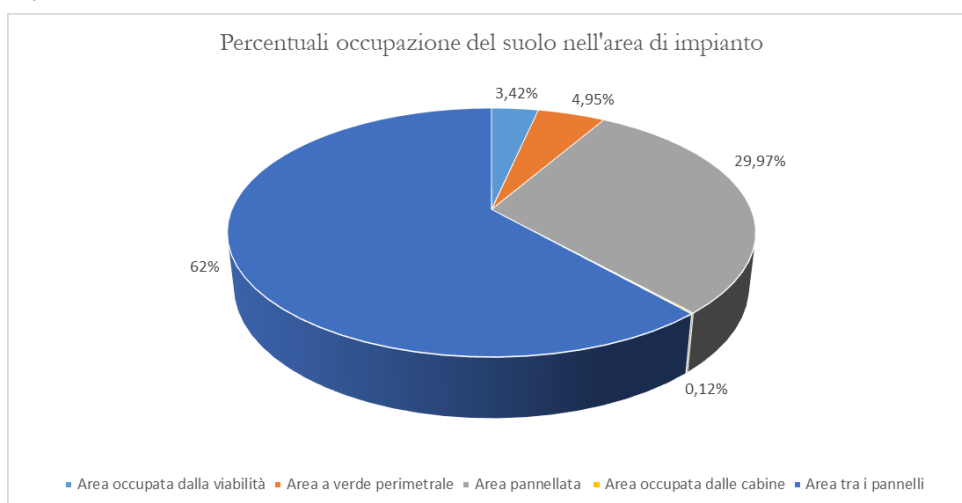


Figura 9.1: Grafico che mostra l'incidenza percentuale della copertura di suolo sul totale disponibile

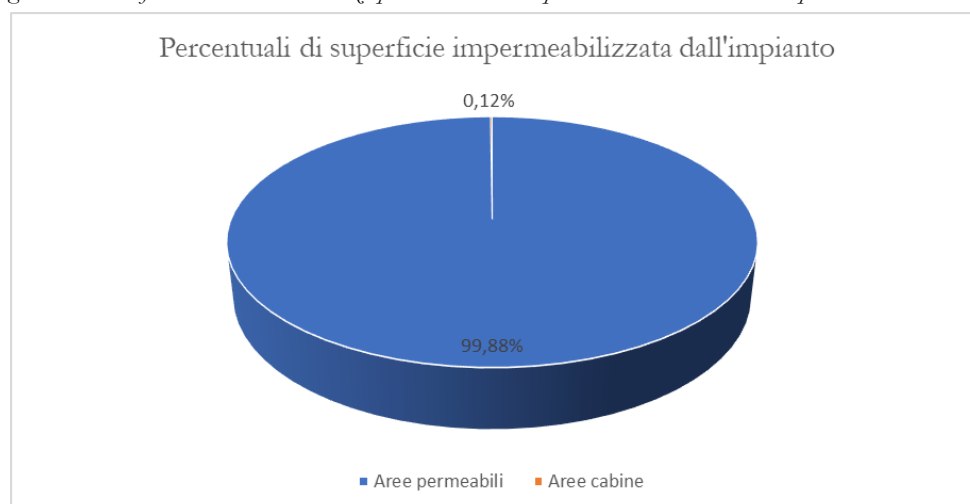


Figura 9.2: Grafico che mostra l'incidenza percentuale tra superfici rese impermeabili e superfici con permeabilità pari o superiore a quella ante operam

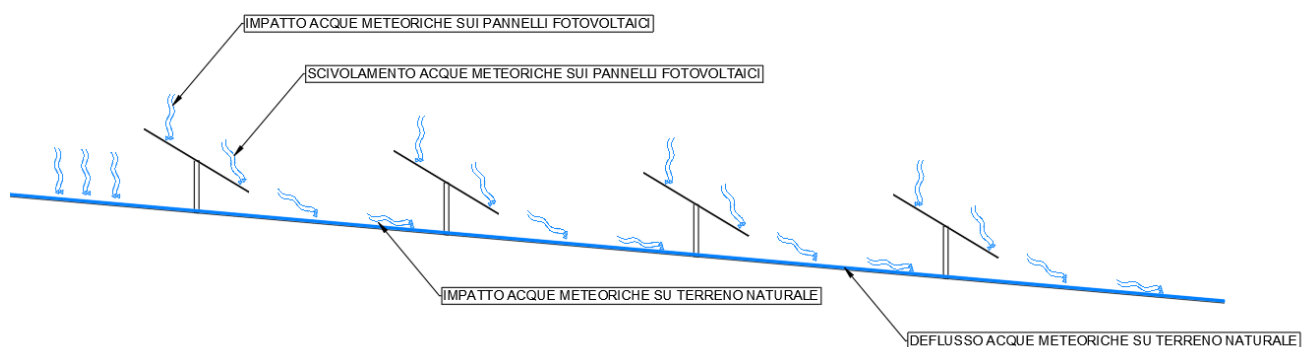
CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	49

Come visibile dai due grafici a torta sopra riportati, l'area destinata alle fondazioni delle cabine elettriche (**ovvero l'unica area resa di fatto impermeabile**) è circa pari allo 0,12% dell'area di impianto complessiva.

Le restanti porzioni sono legate a:

- viabilità interne all'impianto, pari a circa il 3,42% della totale superficie occupata: le viabilità sono da realizzare in misto granulometrico e pertanto risultano altamente permeabili e non alterano in alcun modo le caratteristiche e di drenaggio e di deflusso delle superfici "occupate";
- pannelli fotovoltaici che occupano in totale il 29,9% circa dell'area di impianto. I pannelli incidono in minima parte sull'idraulica di parco in quanto l'acqua che vi finisce al di sopra per effetto di un determinato evento piovoso, finisce immediatamente sul suolo in una porzione adiacente (per la maggior parte del tempo i pannelli non sono in posizione orizzontale ma inclinata e non trattengono pertanto alcuna aliquota di pioggia). Come evidente dalla immagine a seguire, tutto il terreno risulterà comunque imbibito per effetto di un generico evento di pioggia e il terreno non subirà in tal senso alcun danno né a breve né a lungo termine.

Si sottolinea inoltre come l'altezza minima dei moduli al suolo, pari a circa 50 cm, consenta la crescita spontanea della vegetazione e non crea alcuna barriera al passaggio della fauna locale. La circolazione idrica rimane totalmente invariata in quanto non viene creata alcuna barriera fisica.



- le altre superfici sono i corridoi tra i pannelli e la fascia a verde di mitigazione. In queste aree chiaramente non si avrà alcuna variazione delle caratteristiche del suolo e anzi, per effetto della vegetazione e della manutenzione delle aree, si potrà avere un miglioramento delle caratteristiche di permeabilità e ritenuta idraulica del terreno: le condizioni di deflusso ante operam rimarranno pertanto invariate.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	51

10 PAI

Come visibile dalle figure a seguire riportate, 11.1, 11.2, 11.3 e 11.4, né l'area di impianto, né l'area destinata all'edificio produttore risultano interessate da aree PAI dal punto di vista idraulico. Solamente un tratto di cavidotto, interrato, attraversa aree a pericolosità idraulica H4 e H1.

Per tali ragioni, a proposito di quanto previsto per le aree a Pericolo idraulico Hi1 e Hi4, sono state consultate le Norme di Attuazione, NA, del PAI, aggiornate con Deliberazione n. 5 del 24 marzo 2022 che riportano quanto sotto:

Per le aree a Pericolo idraulico Hi4, l'art. 27 dal titolo Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4) al comma 3, lettera h. si legge quanto segue:

- ✓ in materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico, comprese le opere provvisorie temporanee funzionali agli interventi, nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:
(...)
- ✓ allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti; nel caso di condotte e di cavidotti non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme a condizione che, con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato, venga dimostrato che gli scavi siano effettuati a profondità limitata ed a sezione ristretta, comunque compatibilmente con le situazioni locali di pericolosità idraulica e, preferibilmente, mediante uso di tecniche a basso impatto ambientale; (...);
(...)

Per le aree a pericolo idraulico Hi1, l'art. 30 comma 1 dice quanto segue:

- ✓ Fermo restando quanto stabilito negli articoli 23 e 24, nelle aree di pericolosità idraulica moderata compete agli strumenti urbanistici, ai regolamenti edilizi ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio e delle risorse naturali, ed in particolare le opere sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione, le nuove costruzioni, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture a rete e puntuali pubbliche o di interesse pubblico, i nuovi insediamenti produttivi commerciali e di servizi, le ristrutturazioni urbanistiche e tutti gli altri interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia, salvo in ogni caso l'impiego di tipologie e tecniche costruttive capaci di ridurre la pericolosità ed i rischi.

Da quanto su riportato e considerato che la posa dell'elettrodotto a 36 kV in corrispondenza

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	52

dell'attraversamento della fascia a Pericolo idraulico Hi4 sarà effettuata con tecnologia TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata), attraverso la quale sarà assicurato tra cavidotto e piano campagna un franco di 2 m, si ritiene di potere affermare la compatibilità tra progetto e strumento di programmazione analizzato.

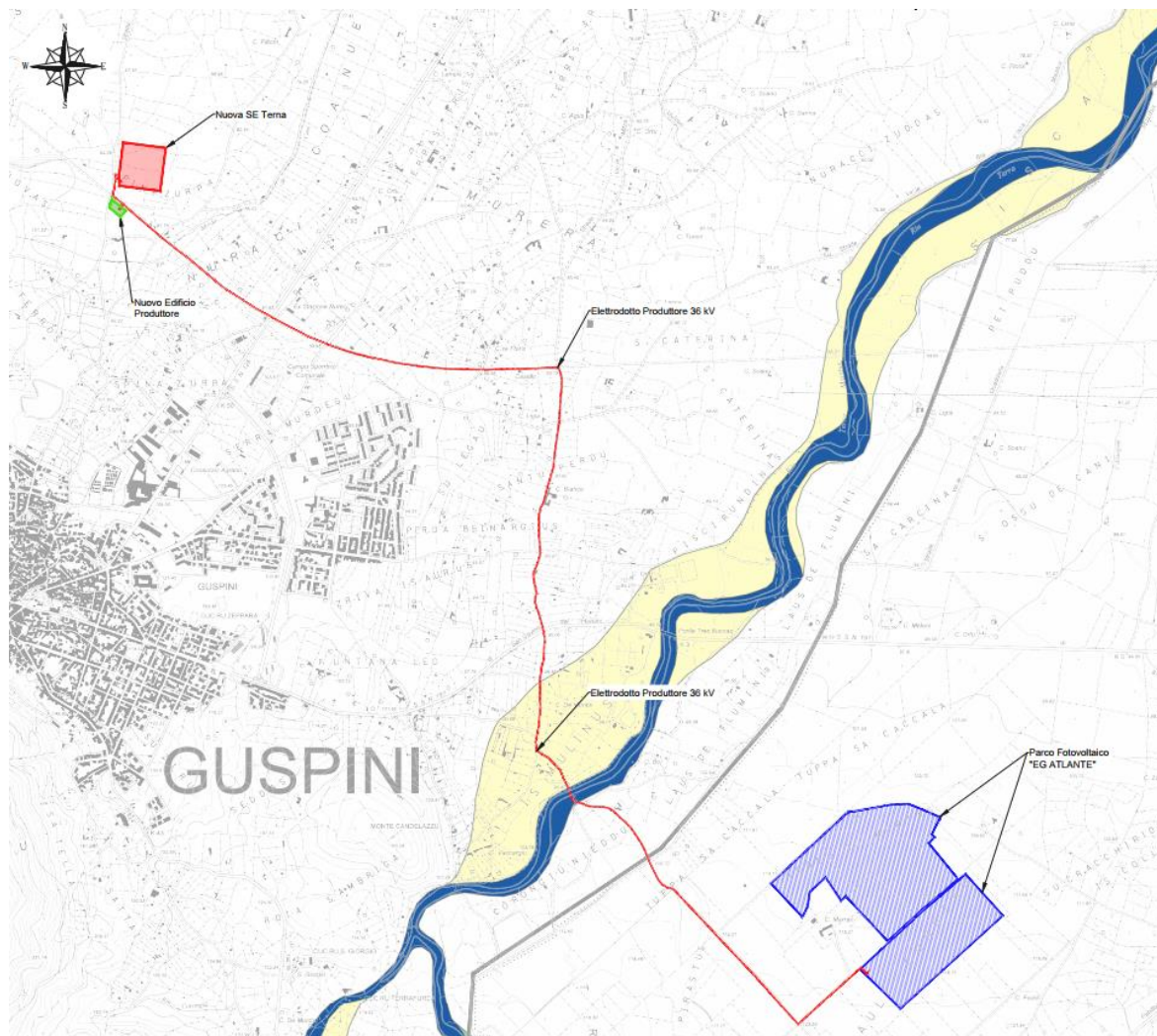


Figura 10.1: Servizi WMS Regione Sicilia – P.AI idraulica: pericolo (Pericolosità H1 e H4)

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	53

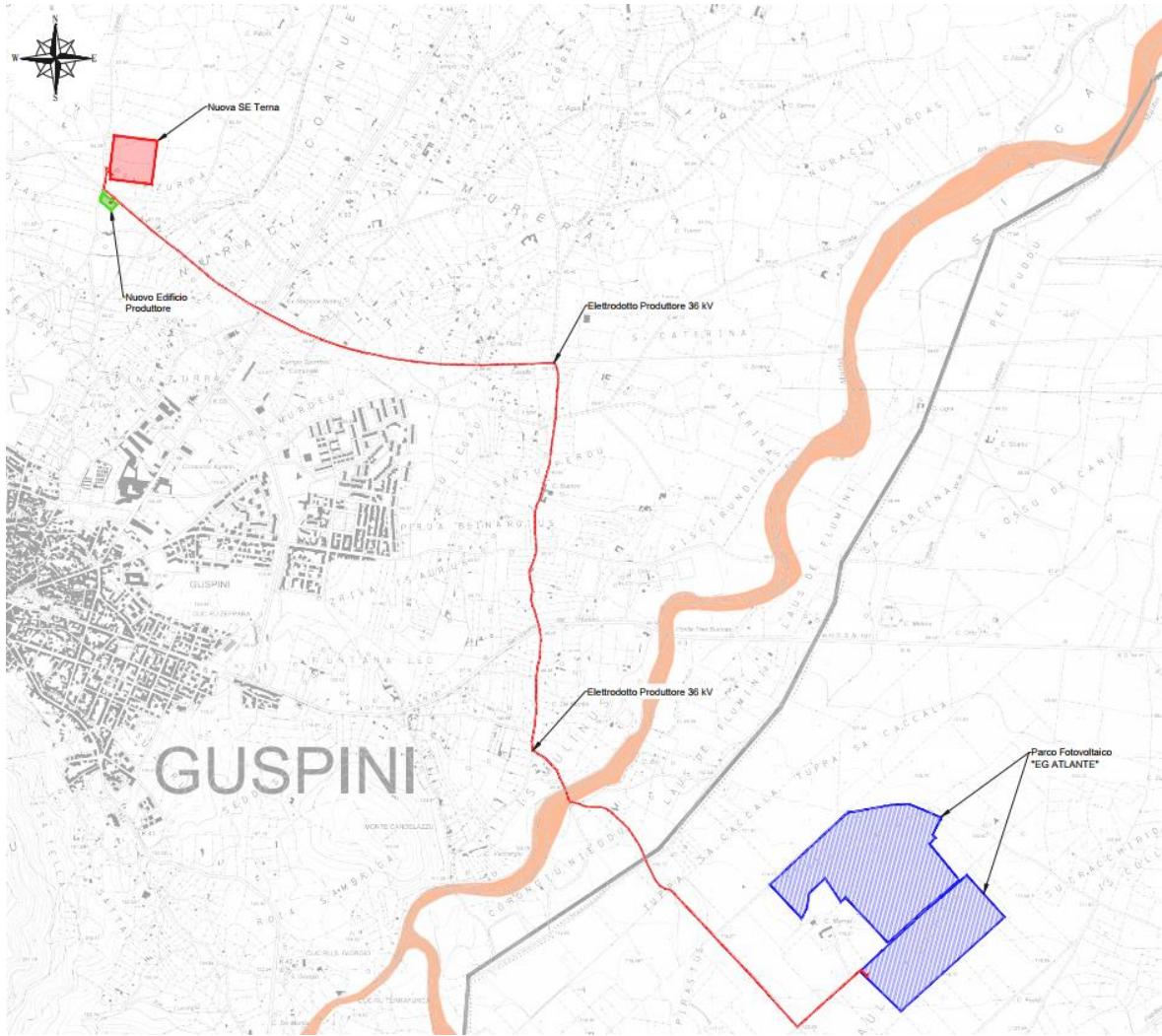


Figura 10.2: Servizi WMS Regione Sicilia – Carta PAI Inviluppo aree di pericolosità idraulica (Area arancione pericolosità H4)

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	54

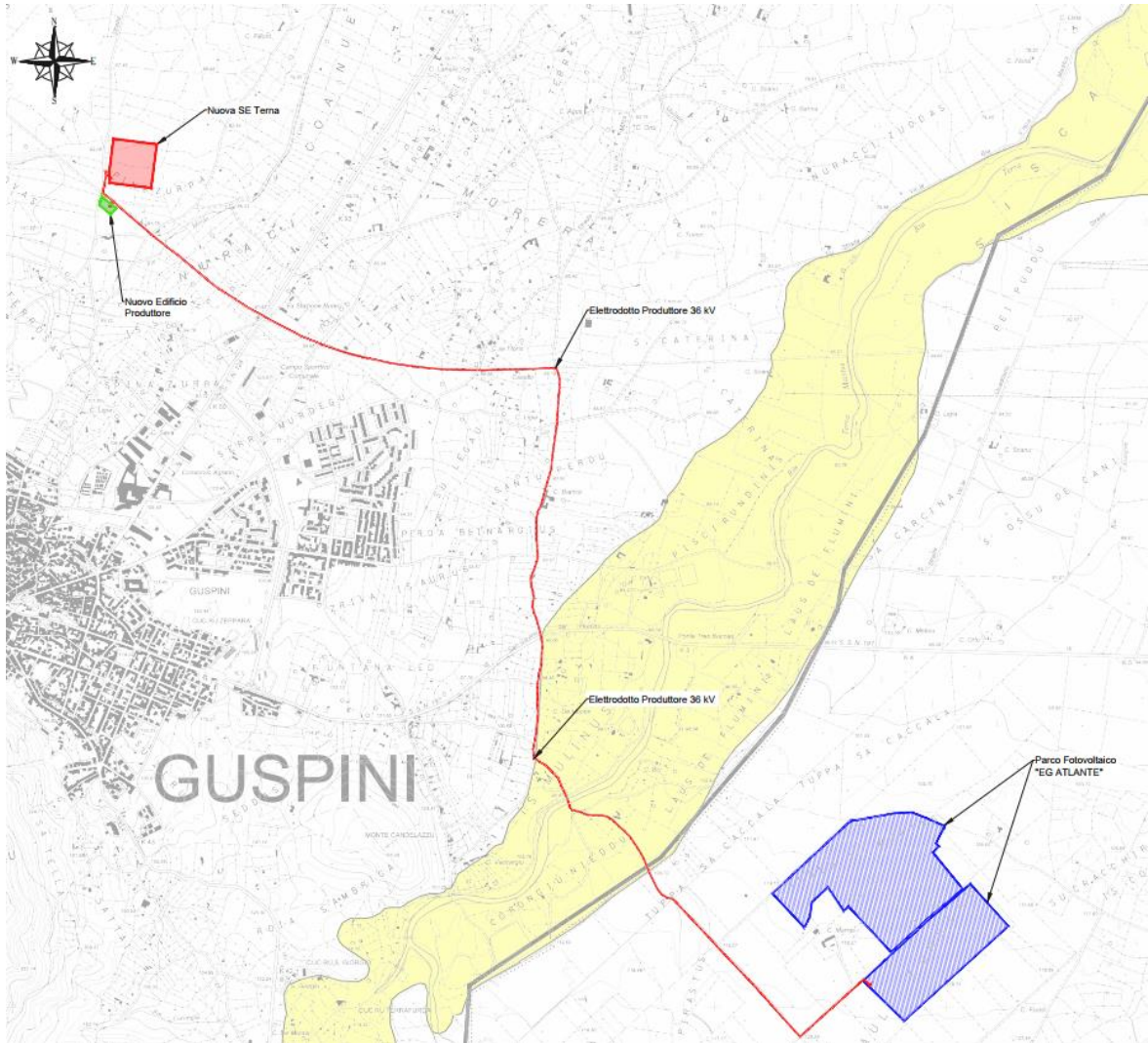


Figura 10.3: Servizi WMS Regione Sicilia – Carta PAI – Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.4 – IBSE713PDRrid004R0	IMPIANTO FOTOVOLTAICO "EG ATLANTE" RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	55

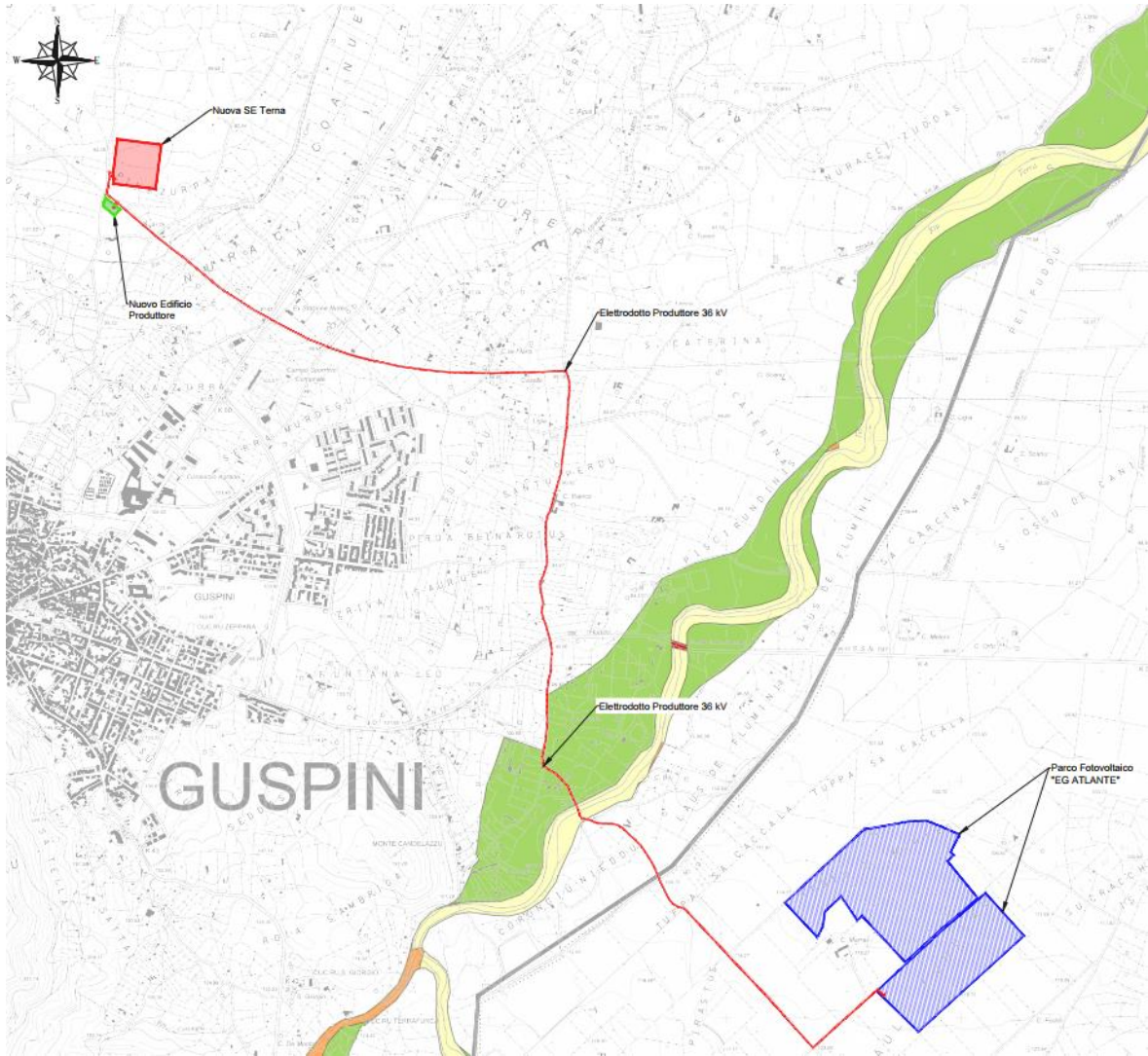


Figura 10.4: Servizi WMS Regione Sicilia – Carta PAI – Pericolo alluvioni e rischio idraulico