

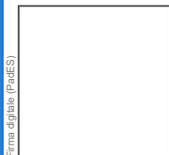
REGIONE SARDEGNA  
Città Metropolitana di Cagliari  
Comune di Uta

IMPIANTO FOTOVOLTAICO "UTA"

PROGETTO DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA PARI A 98,5 MW<sub>p</sub> INTEGRATO DA UN SISTEMA DI ACCUMULO (75 MW COMPLESSIVI IN IMMISSIONE) DENOMINATO "FV UTA" E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE DA REALIZZARE NEL COMUNE DI UTA(CITTA' METROPOLITANA DI CAGLIARI)



COMMITTENTE:



Firma digitale (padr.)

**CVA.**

CVA EOS s.r.l.  
Via Stazione, 31  
11024 Châtillon (AO)

PROGETTISTA:



Ing. Giuseppe Pipitone  
Via Libero Grassi, 8  
91011 Alcamo (TP)

OGGETTO DELL'ELABORATO

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

0	12/2023	PRIMA EMISSIONE	GP	GP	
REV.	DATA	DESCRIZIONE REV.	REDATTO	VERIFICATO	
CODICE ELABORATO			SCALA	FOGLIO	FORMATO
PD-R.4-RENO808PDRrid004R0			/	1 di 51	A4

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	2

#### Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	12-2023	Prima emissione	GP	GP	GP

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	3

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>6</b>
2.1. RIFERIMENTI CARTOGRAFICI.....	6
<b>3. SCHEMA GENERALE DELL'IMPIANTO.....</b>	<b>10</b>
3.1. DATI GENERALI IMPIANTO.....	10
3.2. CONFIGURAZIONE IMPIANTO.....	12
<b>4. INFORMAZIONE IDROLOGICA.....</b>	<b>14</b>
4.1. METODO TCEV SARDEGNA .....	14
4.1. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO .....	18
4.2. CALCOLO DELLA C.P.P.....	19
4.3. SUPERFICI DI INFLUENZA.....	21
<b>5. INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA E PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE22</b>	
5.1. APPLICAZIONE DEI PRINCIPI DI INVARIANZA IDRAULICA.....	22
5.1.1. <i>Analisi della permeabilità dell'area ante opera.....</i>	22
5.1.2. <i>Analisi della permeabilità dell'area post opera .....</i>	22
5.2. PROGETTO DELLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA .....	24
5.2.1. <i>Generalità .....</i>	26
5.2.2. <i>Dimensionamento del sistema .....</i>	26
5.3. PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE .....	35
5.3.1. <i>Caratteristiche delle opere idrauliche.....</i>	36
<b>6. MODELLO AFFLUSSI - DEFLUSSI .....</b>	<b>39</b>
6.1. PREMESSA .....	39
6.2. IL METODO SCS-CN.....	39
6.2.1. <i>Stima dei volumi di laminazione.....</i>	43
6.3. STIMA DELLE SUPERFICI SCOLANTI.....	44
6.4. STIMA DEL CURVE NUMBER (CN) .....	45
6.5. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA E DEL COEFFICIENTE UDOMETRICO.....	46
6.6. CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO.....	49
<b>7. CONCLUSIONI DELLO STUDIO .....</b>	<b>51</b>

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	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, CVA EOS s.r.l. ha avviato un progetto per la realizzazione di un impianto denominato "FV UTA" di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile del tipo fotovoltaico. L'area di impianto ricade nel territorio del Comune di Uta, invece, le opere di connessione alla rete ricadono in parte nel territorio del Comune di Uta ed in parte nel territorio del Comune di Assemini (Città Metropolitana di Cagliari).

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra su strutture ad inseguimento monoassiale, composto da n°23 campi di potenza variabile da 3,75 MW<sub>p</sub> a 4,635 MW<sub>p</sub>; si tratta di un impianto di complessivi 98,55 MW<sub>p</sub> (potenza in immissione pari a 75,00 MW) collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna a 36 kV. Presso l'impianto verranno realizzate le cabine di campo (Power Station), la Control Room e le Cabine principali di impianto (Main Technical Room) MTR in numero pari a 5.

Le linee di collegamento 36 kV in uscita dall'ultima MTR, previo raggruppamento in apposito quadro AT sito all'interno di un edificio produttore adiacente alla SE TERNA, saranno collegate in antenna fino alla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "UTA - Villasor".

Nella porzione Nord di impianto è prevista la realizzazione di un'area ESS (Energy Storage System) per l'accumulo di un'aliquota di potenza prodotta per un massimo di 57,6 MWh/45,6 MW<sub>p</sub> (come previsto da preventivo di Connessione rilasciato dal distributore, TERNA, con codice pratica 202200630).

La presente relazione descrive gli interventi per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici interne all'impianto fotovoltaico di *Uta* e mostra sia i criteri utilizzati che le risultanze dei dimensionamenti delle principali opere idrauliche previste.

**Il sistema di fossi di guardia previsti in progetto e gli opportuni sistemi per il mantenimento dell'invarianza idraulica consentono di rispettare l'equilibrio idrogeologico preesistente.**

La relazione in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°8 capitoli di cui di seguito un breve riepilogo:

- *Capitolo 2 – Inquadramento territoriale:* vengono riportate le informazioni necessarie per l'individuazione cartografica del sito;
- *Capitolo 3 – Schema generale dell'impianto fotovoltaico;*

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	5

- *Capitolo 4 – Informazione idrologica:* analisi dei dati esistenti per la stima della curva di probabilità pluviometrica di progetto;
- *Capitolo 5 – Invarianza idrologica e idraulica e progetto delle opere idrauliche:* vengono forniti i criteri adottati per l'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica e idrologica, l'analisi della permeabilità ante e post operam, i criteri di progetto delle misure di invarianza e delle opere idrauliche e una sintesi delle caratteristiche delle stesse;
- *Capitolo 6 – Modello afflussi deflussi:* il capitolo fornisce la descrizione dei metodi adottati per il calcolo delle portate di progetto e dei volumi di laminazione;
- *Capitolo 7 – Conclusioni dello studio.*

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	6

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1. RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

L'impianto fotovoltaico in oggetto è ubicato nel territorio del Comune di Uta (Città Metropolitana di Cagliari) e si sviluppa su un'area di circa 125 ha.

Le realizzande opere di connessione alla rete elettrica del distributore ricadono in buona parte nello stesso Comune di Uta ed in minima parte nel territorio del Comune di Assemini.

Dal punto di vista cartografico, le opere in progetto sono individuate all'interno delle seguenti cartografie e Fogli di Mappa:

#### 1) Impianto Fotovoltaico "FV UTA":

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche 233 I-NE, 233 I-SE, 234 IV-NO e 234 IV-SO;
- Carta Tecnica Regionale CTR, scala 1: 10.000, fogli n°556120 e n°556160;
- Foglio di mappa catastale n°49 del Comune di Uta, p.lla n°188;
- Foglio di mappa catastale n°50 del Comune di Uta, p.lle n°360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369;

#### 2) Elettrodotto di collegamento 36 kV tra area di impianto e SE 150/36 kV:

- Foglio I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alla seguente codifica: 556\_II\_SE-Assemini;
- Carta Tecnica Regionale (CTR), scala 1: 10.000, fogli n°556120, 556190, 557090, 557130;
- Foglio di mappa catastale n°49 del Comune di Uta, p.lle n°135, 137 e 188;
- Foglio di mappa catastale n°44 del Comune di Uta, p.lle n°659, 661 e 663;
- Foglio di mappa catastale n°50 del Comune di Uta, p.lle n°122, 223, 124, 450, 126, 444 e 469;
- Foglio di mappa catastale n°51 del Comune di Uta, p.lle n°835, 831, 907 e 141;
- Foglio di mappa catastale n°55 del Comune di Assemini, p.lle n°505, 199, 506, 317, 227, 226, 29 e 31;
- Foglio di mappa catastale n°54 del Comune di Assemini, p.lle n°1564, 1559, 1561, 1400, 528, 220, 1203, 1505, 1503, 323, 313, 312, 158, 54, 79, 154, 388, 1448, 182, 174, 173, 172, 171, 112 e 1287;
- Foglio di mappa catastale n°37 del Comune di Uta, p.lle n°225, 88, 388, 389, 265, 87, 86, 85, 198, 84, 931, 502, 464, 514, XX494, 430;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Uta n°36, p.lle n° 134, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 137, 138, 139, 140, 692 (A-B-D), 691.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	7

Il cavidotto transiterà per quasi la totalità della sua estensione sulla SP1 e sulla Strada Consortile Macchiarreddu che tuttavia ad oggi, non risultano catastalmente censite. Per l'ultimo tratto l'elettrodotto sarà interrato su viabilità comunale (Strada Comunale Bingias) per poi giungere all'edificio produttore e alla SE Terna.

### 3) Edificio Produttore (36 kV)

- Foglio I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alla seguente codifica: 234 IV-NO;
- Carta Tecnica Regionale, scala 1: 10.000, foglio n°556120;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Uta n°36, p.lle 134 e 135.

### 4) Stazione Terna SE

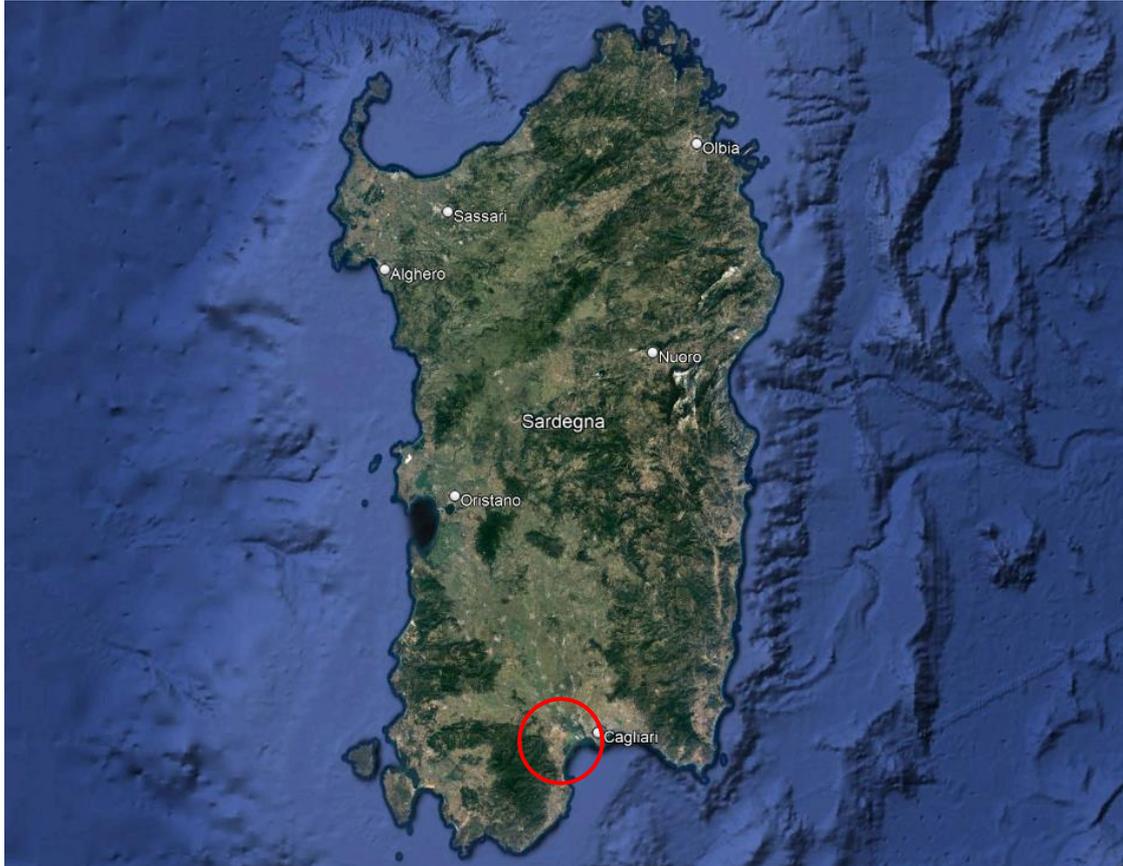
- Foglio I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alla seguente codifica: 234 IV-NO;
- Carta Tecnica Regionale, scala 1: 10.000, foglio n°556120;
- Foglio di mappa catastale del Comune di Uta n°36, p.lle n° 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 137, 138, 139, 140, 692 (A-B-C-D), 691, 317, 316, 315, 314, 111, 54, 682, 187, 59, 436, 60, 62, 64, 66, 69, 77, 434, 712, 711, 517, 693, 79, 477, 80, 81, 114, 115, 116, 471, 117, 119, 145, 345, 146, 147 (A), 235, 478.

Di seguito le coordinate assolute del sito nel sistema UTM 33 WGS84:

COORDINATE ASSOLUTE NEL SISTEMA UTM 33 WGS84			
DESCRIZIONE	E [m]	N [m]	H
Parco Fotovoltaico "FV UTA"	496363	4339907	H <sub>variabile</sub> = 41/34 m s.l.m.
Area SE Terna	497590	4345624	H <sub>media</sub> = 10 m s.l.m.
Area Edificio Produttore	497483	4345489	H <sub>media</sub> = 9 m s.l.m.

Tabella 1 - Coordinate assolute del parco FV UTA e del punto di consegna alla RTN

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	8

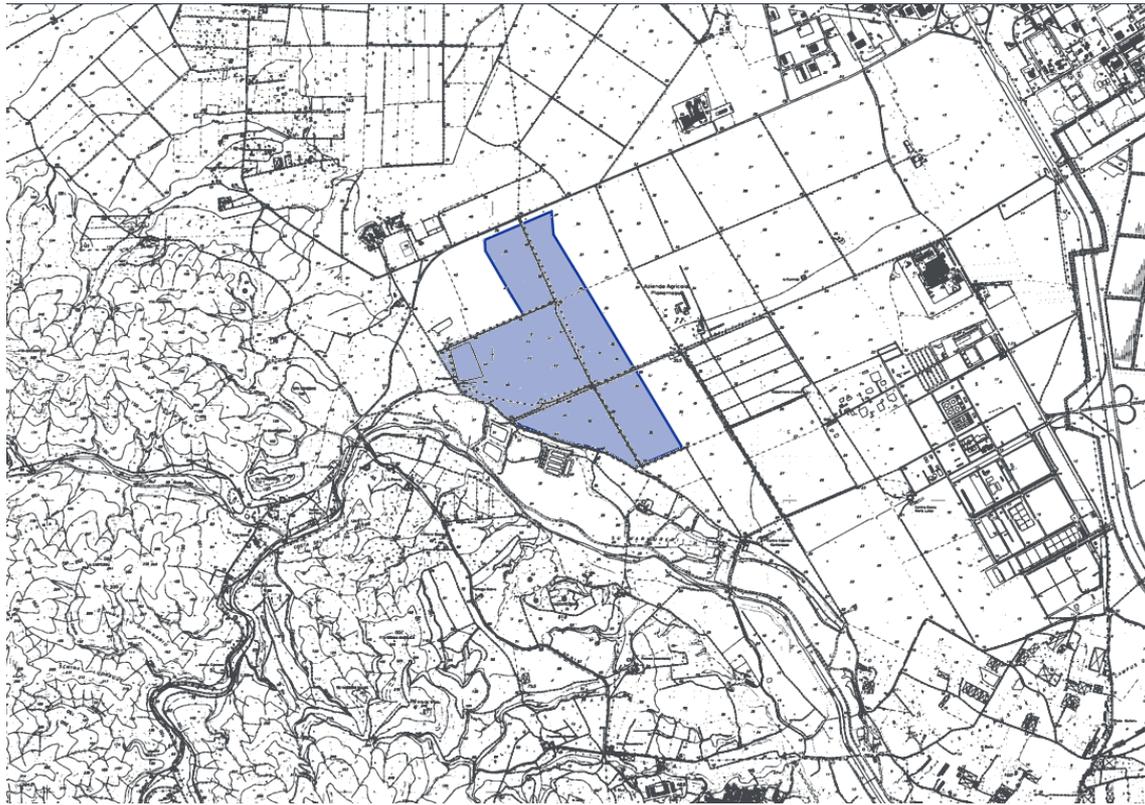


*Figura 1 - Ubicazione area di impianto da satellite*

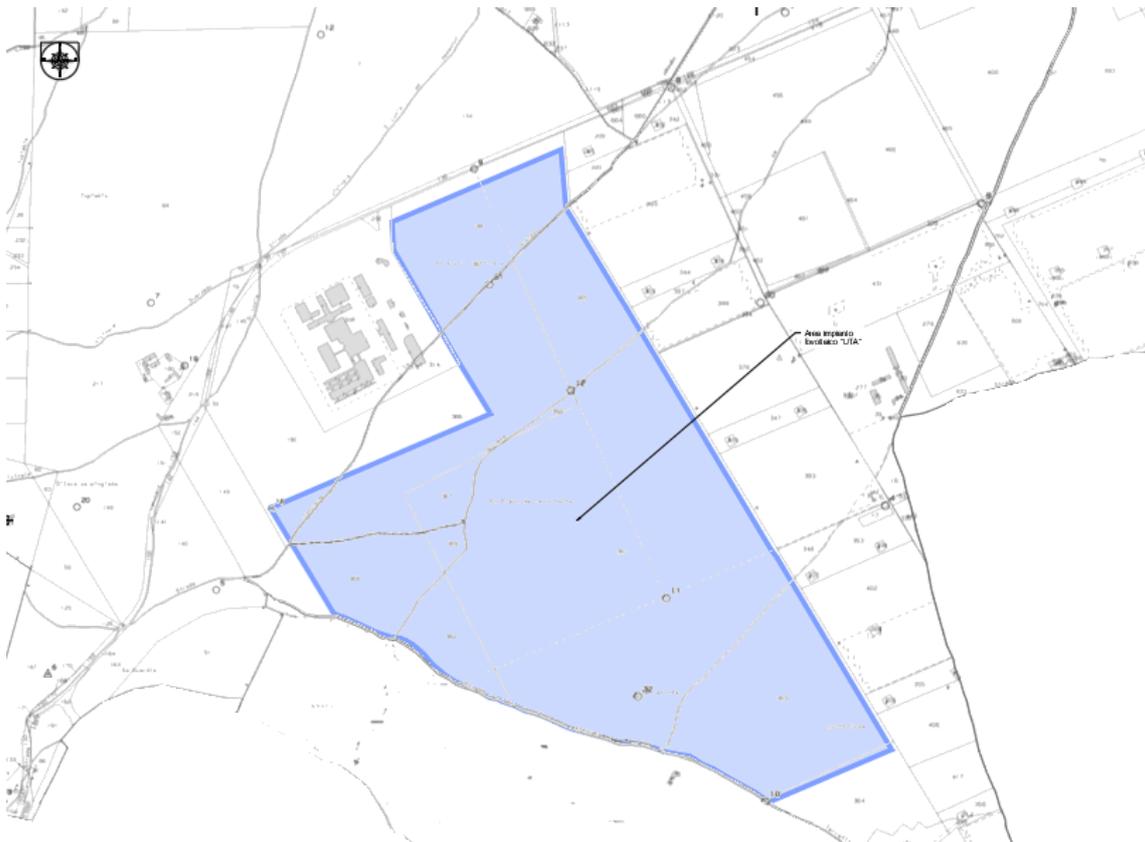


*Figura 2 - Inquadramento Impianto "FV UTA" su ortofoto*

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	9



*Figura 2 - Inquadramento Impianto "FV UTA" su C.T.R.*



*Figura 4 - Inquadramento Impianto "FV UTA" su catastale*

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	10

### 3. SCHEMA GENERALE DELL'IMPIANTO

#### 3.1. DATI GENERALI IMPIANTO

L'impianto fotovoltaico, nel suo complesso sarà costituito dalle seguenti componenti:

- ✓ moduli fotovoltaici in numero di 157.680 raggruppati in stringhe da 24 moduli: saranno installati su apposite strutture metalliche ad inseguimento monoassiale fissate al terreno attraverso profili metallici infissi o trivellati;
- ✓ n°426 String box che ricevono i cavi BT provenienti dalle stringhe di impianto e hanno lo scopo di parallelare i cavi verso gli inverter centralizzati ubicati all'interno delle power station;
- ✓ n°23 Inverter centralizzati (un inverter per ogni Power Station), che hanno lo scopo di ricevere i cavi BT provenienti dagli string box e di trasformare la corrente da continua (CC) ad alternata (AC);
- ✓ n°23 Power Station (PS) o cabine di campo che avranno la funzione di elevare la tensione da bassa a 36 kV. Si tratta delle PS SMA del tipo MVPS4000-S2 e MVPS4400-S2; esse saranno collegate tra loro ove possibile in entra-esce o direttamente alle cabine principali di impianto. Ogni PS raccoglie l'energia prodotta da ciascun campo di cui si compone l'impianto, con potenze variabili da 3,75 MW<sub>p</sub> a 4,635 MW<sub>p</sub>;
- ✓ una linea interrata BT di collegamento fra string box e Inverter centralizzati;
- ✓ una linea interrata interna a 36 kV - di collegamento fra le Power Station dell'impianto fotovoltaico "UTA" e le MTR di impianto;
- ✓ n°4 Cabine Elettriche MTR (Main Technical Room) per la connessione e la distribuzione; in esse sono contenuti i quadri a 36 kV all'interno dei quali verranno convogliate le linee 36 kV relative ai sottocampi (da A a P) di cui si compone l'impianto;
- ✓ n°1 MTR in uscita dall'impianto in cui verranno convogliate le linee a 36 kV provenienti dalle prime 4 MTR, avverrà il parallelo, lo scambio entra-esce con il BESS e la partenza verso l'edificio produttore prima e la SE TERNA poi;
- ✓ n°1 Control Room destinata ad ospitare uffici e relativi servizi: monitoraggio della strumentazione di sicurezza e locale deposito;
- ✓ un'area adibita allo Storage - BESS - composta da container prefabbricati che ospitano i rack di batterie, Power Conversion System (PCS) e una linea di connessione 36 kV all'edificio produttore della SSE utente.
- ✓ un edificio produttore a 36 kV sito in adiacenza alla SE TERNA all'interno del quale avverrà la misura e il parallelo delle linee prima dell'ingresso nei quadri della Stazione del Distributore;
- ✓ un collegamento elettrico dell'impianto fotovoltaico alla rete di trasmissione di alta

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	11

tensione che avverrà in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Rumianca - Villasor", previo:

- ✓ riclassamento a 380 kV della linea RTN 220 kV “Rumianca – Villasor”;
- ✓ ampliamento della sezione 380 kV della esistente SE RTN 380/220/150 kV di Rumianca;
- ✓ realizzazione della sezione 380 kV della SE RTN 220/150 kV di Villasor, da raccordare alla linea RTN 380 kV “Ittiri – Selargius”.

L’impianto è completato da:

- tutte le infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza generata dall’impianto e dalla sua consegna alla rete di trasmissione nazionale;
- opere accessorie, quali: impianti di illuminazione, videosorveglianza, antintrusione, monitoraggio, viabilità di servizio, cancelli e recinzioni.

Da quanto progettato discendono i seguenti dati:

Elementi fisici impianto	Superficie impegnata [m <sup>2</sup> ]	Superficie impegnata [ha]	Incidenza percentuale
Proprietà	1251833,1	125,18	100,00%
Superficie viabilità	68851,6	6,89	5,50%
Area cabine totale	850,3	0,09	0,09%
Area a verde di mitigazione perimetrale	49096,8	4,91	3,92%
Area a verde di mitigazione interna esistente	19891,3	1,99	1,59%
Area Pannellata (inseguitori)	453609,5	45,36	36,24%
Area BESS	4645,0	0,46	0,37%
Corridoi tra pannelli	654888,6	65,49	52,31%

Il grafico che segue indica l’incidenza percentuale di ciascuna delle superfici su riportate sul totale di 125,18 ha.

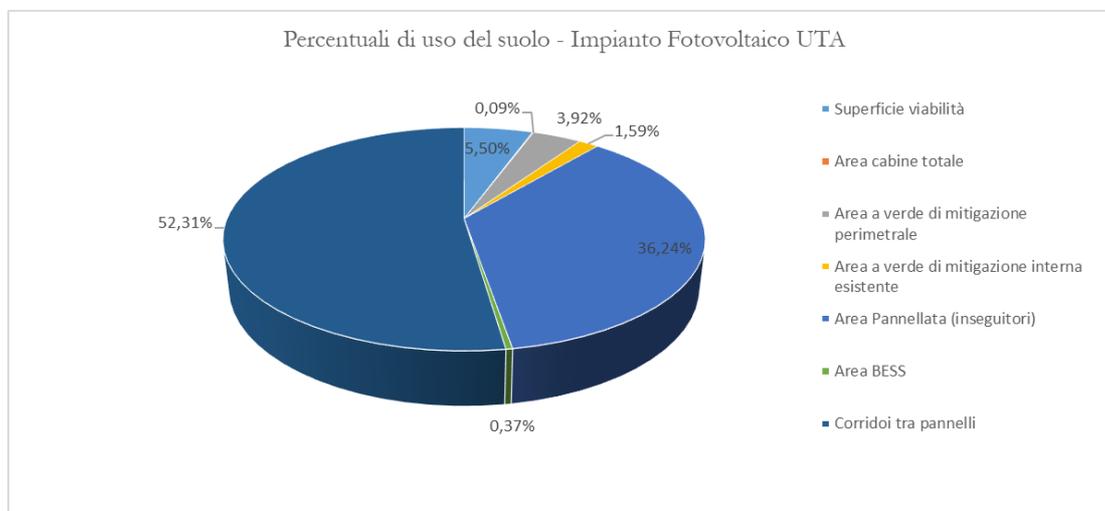


Figura 3 - Grafico che mostra l’incidenza percentuale della copertura di suolo sul totale disponibile

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	12

Come anticipato in premessa, ai fini della connessione alla rete di distribuzione dell'impianto fotovoltaico in progetto, la società promotrice ha richiesto e ottenuto dal distributore apposito preventivo di connessione identificato con codice pratica 202200630, condizionato all'autorizzazione, contestualmente alle opere di cui al presente progetto, delle opere necessarie per la connessione alla rete sopra. La connessione avverrà attraverso collegamento in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Rumianca - Villasor". Tali opere di rete, rientrando negli interventi di adeguamento e/o sviluppo della rete di distribuzione e/o della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN), risultano essere **Opere di Pubblica Utilità**.

Tali opere connesse, come indicato ai sensi dall'art. 1 octies della L. n.129/2010, costituiscono un unicum dal punto di vista funzionale con il progetto dell'impianto fotovoltaico in esame, e pertanto dovranno essere autorizzate in uno con lo stesso impianto fotovoltaico, ai sensi del D.Lgs. 387/03, art. 12 commi 3 e 4bis. L'impianto nel suo complesso è in grado di alimentare dalla rete tutti i carichi rilevanti (ad es: quadri di alimentazione, illuminazione).

### 3.2. CONFIGURAZIONE IMPIANTO

L'impianto in progetto produce energia elettrica in BT su più linee in uscita dagli inverter centralizzati, le quali vengono convogliate verso appositi quadri nei locali di cabina, dove avverrà la trasformazione BT/36kV. La linea in uscita dai trasformatori BT/36kV di ciascun campo verrà quindi vettoriata verso le cabine MTR (da 1 a 4 a seconda dell'area di impianto), dove avverranno le misure e la partenza verso la MTR 5; all'interno di questa avverranno le misure, lo scambio con il sistema di storage (ESS) ad essa adiacente e la partenza verso l'edificio produttore e la SE Terna; il punto di consegna come sopra riportato sarà in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica (SE) della RTN 380/150/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Rumianca - Villasor". L'impianto FV come sopra sintetizzato, è suddiviso elettricamente in 23 aree cui competono le 23 PS presenti nel layout:

Sottocampo	Potenza (kW)
PS1	4.635,00
PS2	4.080,00
PS3	4.305,00
PS4	4.320,00
PS5	4.080,00
PS6	4.575,00

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	13

PS7	4.515,00
PS8	4.470,00
PS9	4.305,00
PS10	4.395,00
PS11	4.410,00
PS12	4.590,00
PS13	3.840,00
PS14	3.750,00
PS15	4.485,00
PS16	3.945,00
PS17	4.455,00
PS18	4.440,00
PS19	4.365,00
PS20	4.380,00
PS21	3.975,00
PS22	4.365,00
PS23	3.870,00
<b>Totale</b>	<b>98.550,00</b>

I moduli verranno installati su apposite strutture in acciaio zincato, del tipo ad inseguimento monoassiale, gravanti su pali infissi/trivellati nel terreno a profondità variabile.

La scelta dei materiali utilizzati per le strutture conferisce alla struttura di sostegno robustezza e una vita utile di gran lunga superiore ai 20 anni, tempo di vita minimo stimato per l'impianto di produzione. Il generatore fotovoltaico, presenta una potenza di picco complessiva pari a **98.550,00 kW<sub>p</sub>**, intesa come somma delle potenze di targa o nominali di ciascun modulo misurata in condizioni di prova standard (STC), ossia considerando un irraggiamento pari a 1000 W/m<sup>2</sup>, con distribuzione dello spettro solare di riferimento (Massa d'aria AM 1,5) e temperatura delle celle di 25°C, secondo norme CEI EN 904/1-2-3.

L'impianto Fotovoltaico in oggetto è composto complessivamente da 157.680 moduli fotovoltaici del tipo N-type in silicio monocristallino, collegati in serie da 24 moduli tra loro così da formare gruppi di moduli denominati stringhe le cui correnti vengono raccolte da string box (in numero complessivo pari a 426) collegati ad inverter centralizzati presso le Power Station di impianto.

Le stringhe di ogni sottocampo verranno attestate a gruppi che variano da 15 a 16 presso gli String Box, dove avviene il parallelo delle stringhe e il monitoraggio dei dati elettrici.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	14

## 4. 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 piazzole del parco fotovoltaico *Uta*.

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 "*Uta*".

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).

### 4.1. METODO 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 VAPI<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> 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.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	15

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 metereologica).

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  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$ . 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  $\Lambda_1$ .

Al secondo livello di regionalizzazione la Sardegna è suddivisa in n°3 sottozone pluviometriche omogenee (SZO) (Figura 4).

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 dati delle stazioni appartenenti ad una medesima SZO.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	16

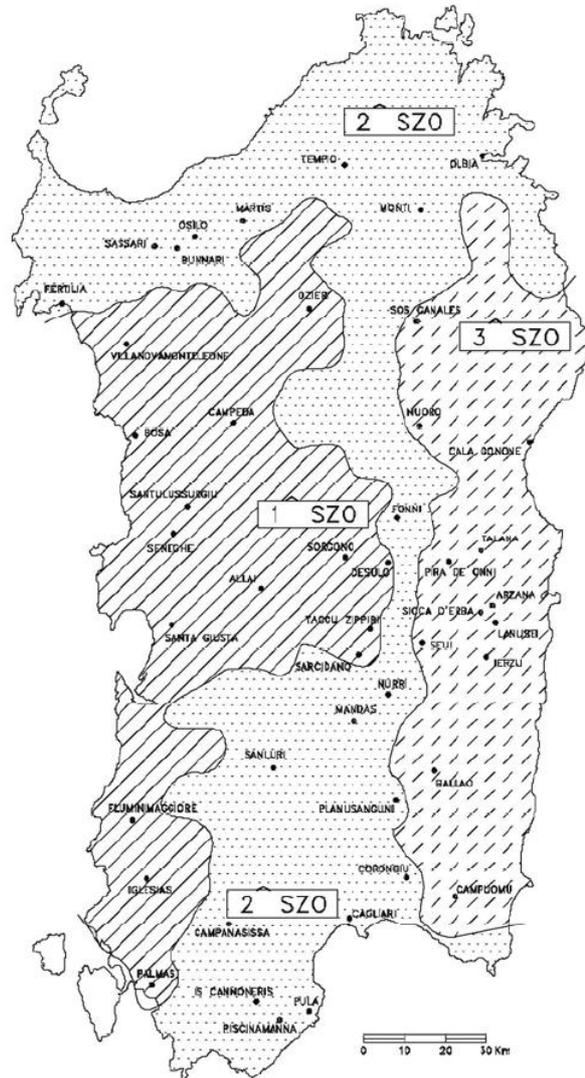


Figura 4- Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna.

Per le piogge brevi ed intense (cui si fa riferimento nella presente analisi) per quanto riguarda i parametri  $\Lambda^*$ ,  $\Theta^*$  e  $\Lambda_1$  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  $n_2$

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	17

sono riportate nell'immagine sottostante.

<b>SZO 1</b>	$a_2 = 0.46378 + 1.0386 \text{ Log}_{10} T$ $n_2 = -0.18449 + 0.23032 \text{ Log}_{10} T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora) $n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau \geq 1$ ora)
<b>SZO 2</b>	$a_2 = 0.44182 + 1.0817 \text{ Log}_{10} T$ $n_2 = -0.18676 + 0.24310 \text{ Log}_{10} T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora) $n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau \geq 1$ ora)
<b>SZO 3</b>	$a_2 = 0.41273 + 1.1370 \text{ Log}_{10} T$ $n_2 = -0.19055 + 0.25937 \text{ Log}_{10} T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora) $n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau \geq 1$ ora)

Tabella 2- 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  $\mu$  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:

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

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

La pioggia indice giornaliera  $\mu[g]$  viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in Figura 5.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	18

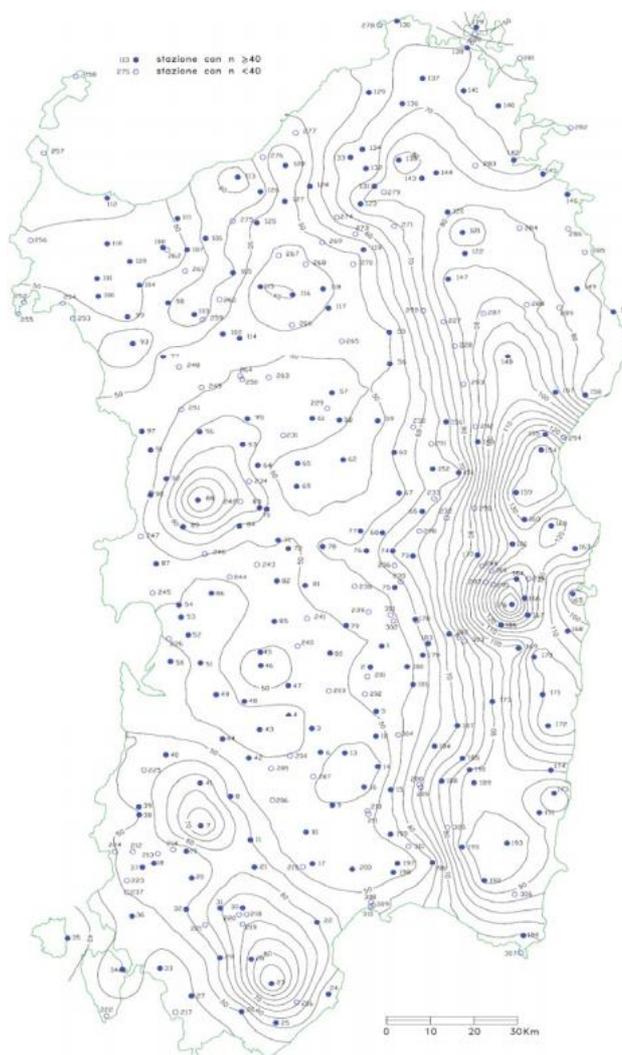


Figura 5- Carta delle isoiete per l'identificazione della pioggia indice giornaliera  $\mu[g]$ .

Sono quindi stati calcolati, per i tempi di ritorno di interesse e per l'area considerata, i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata  $h_{t,T}$  e le leggi di probabilità pluviometrica.

#### 4.1. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO

Il tempo di ritorno, per la sua definizione, è un parametro legato alla vita utile dell'opera e al potenziale rischio (e conseguente danno) relativo al verificarsi di eventi con probabilità di accadimento superiori. Il tempo di ritorno T adottato per il dimensionamento delle opere idrauliche è stato considerato pari a 30 anni. Il tempo di ritorno T, invece, utilizzato come parametro di dimensionamento per le opere di invarianza idraulica è posto pari a 50 anni, come richiesto dalla normativa vigente in merito all'attuazione del principio dell'invarianza idraulica (art. 47 delle NTA del PAI).

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	19

## 4.2. CALCOLO DELLA C.P.P.

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea SZO2: il fattore di crescita è calcolato attraverso l'espressione in Tabella 2, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  (per  $T > 10$  anni e  $t < 1$  ora e  $t > 1$ , poiché i tempi di corrivazione dei bacini oggetto di studio sono risultati sia inferiori che superiori ad 1 ora).

Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto - pari a 30 e 50 anni - ed individuato il valore della pioggia indice giornaliera dalla carta delle isoiete in Figura 5, 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:

➤  $T = 30$ :

sottozona SZO2

$\mu g$	50	mm/h
$a_1$	20.691	
$a_2$	2.040	
$n_1$	0.316	
$n_2$	0.095	$t < 1 \text{ ora}$

➤  $T = 50$ :

sottozona SZO2

$\mu g$	50	mm/h
$a_1$	20.691	
$a_2$	2.280	
$n_1$	0.316	
$n_2$	-0.013	$t > 1 \text{ ora}$

sottozona SZO2

$\mu g$	50	mm/h
$a_1$	20.691	
$a_2$	2.280	
$n_1$	0.316	
$n_2$	0.124	$T < 1 \text{ ora}$

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  $T=30$  anni e  $T = 50$  anni).

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	20

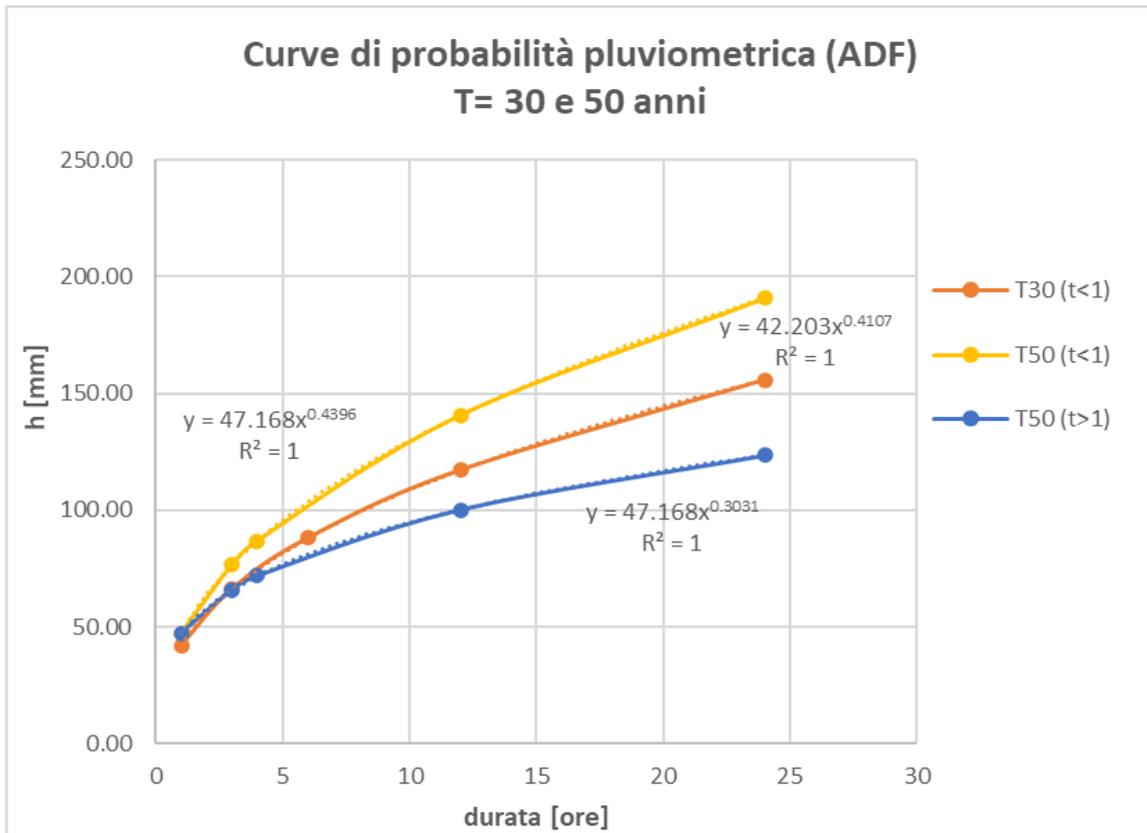


Figura 6:- CPP per i tempi di ritorno 30 (rosso) e 50 (in giallo e blu) anni.

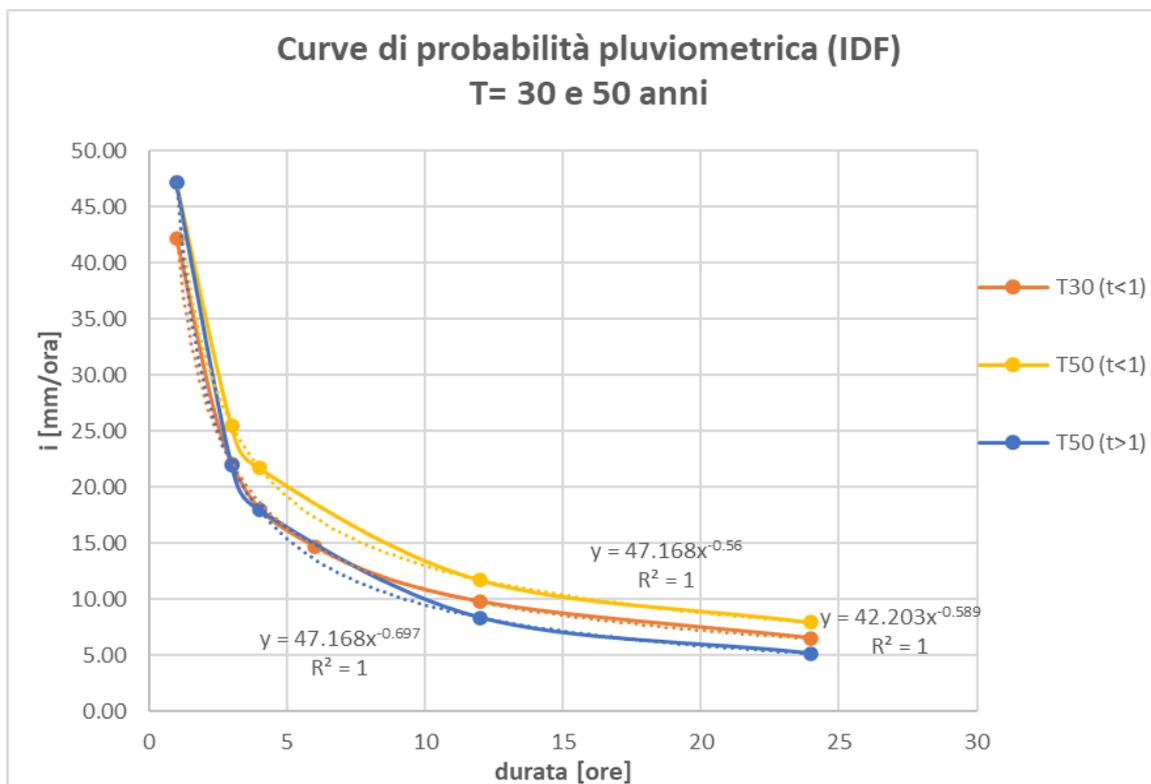


Figura 7- IDF per i tempi di ritorno 30 (rosso) e 50 (in giallo e blu) anni.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	21

### 4.3. 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, data la vicinanza della stazione considerata ai bacini scolanti e le ridotte dimensioni di tali bacini, non si individuano le superfici di influenza nell'ipotesi che le caratteristiche di precipitazione all'interno del bacino siano legate esclusivamente a quelle della stazione pluviometrica in esame.

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.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	22

## 5. INVARIANZA IDROLOGICA E IDRAULICA E PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

### 5.1. APPLICAZIONE DEI PRINCIPI DI INVARIANZA IDRAULICA

La normativa di riferimento (cfr. art. 47 delle NTA del PAI) prevede che le misure di invarianza idraulica e idrologica siano applicate alla **sola superficie dell'area interessata dall'intervento comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione, e non all'intero comparto.**



Figura 8- Esempio, secondo la Norma (nel caso di una trasformazione di suolo per costruzione edilizia) del calcolo delle superfici rispetto alle quali commisurare l'invarianza idraulica.

La Norma prevede che l'invarianza idraulica sia da commisurare alle sole aree oggetto di intervento che provochino una “variazione di permeabilità superficiale”. Sono state valutate, quindi, le condizioni di permeabilità ante e post operam.

#### 5.1.1. Analisi della permeabilità dell'area ante opera

Le condizioni *ante operam* dei terreni sono state analizzate mediante rilievi geologici, agronomici e l'utilizzo del “Corine Land Cover 2008 – IV Livello”. Le risultanze dello studio dimostrano come i terreni, a destinazione agricola, siano in grado di far infiltrare un'aliquota dell'afflusso meteorico, dando quindi origine a deflusso superficiale.

Le evidenze provenienti dallo studio geologico, sintetizzate nel paragrafo **Errore. L'origine r iferimento non è stata trovata.**, mettono in luce una permeabilità medio-alta per tutta l'area di impianto. Non si rileva la presenza della falda freatica nelle aree di impianto.

Le aree interessate dall'intervento in oggetto sono attualmente destinate all'uso agricolo, soprattutto seminativi semplici e colture orticole a pieno campo.

#### 5.1.2. Analisi della permeabilità dell'area post opera

Per valutare le condizioni *post operam* sono state analizzate tutte le aree di impianto in funzione

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	23

della loro nuova destinazione.

In particolare, le aree di impianto possono essere così suddivise:

- Area pannellata
- Corridoi tra i pannelli, aree libere e aree di (eventuali) impluvi
- Fascia perimetrale di mitigazione
- Viabilità
- Cabine elettriche (Power Stations, PS; Control Room, CR; Main Technical Room, MTR)

Di seguito si riporta un diagramma e una tabella di riepilogo delle quantità relative alle suddette aree.

Come si evince dal grafico l'area destinata alla fondazione delle cabine elettriche (ovvero l'unica area resa di fatto totalmente impermeabile) è circa pari allo 0,09% dell'area di impianto complessiva. La superficie ricoperta dai pannelli occupa invece il 36,24%, questa cautelativamente può essere considerata, ai fini idrologici, come un "tetto mobile"; mentre quella relativa ai corridoi tra i pannelli e le aree libere, che occupa il 52,31% della superficie totale, che rimane invarianza rispetto alle condizioni *ante operam*; pertanto, può essere considerata come "semplici e colture orticole a pieno campo". La fascia a verde di mitigazione (perimetrale e interna esistente) occupa il 5,51% della superficie complessiva. Infine, la viabilità, costituita da misto granulometrico con una certa permeabilità residua, rappresenta il 5,50%.

Le valutazioni precedenti evidenziano come la realizzazione dell'impianto fotovoltaico di "Uta" può comportare, seppur in misura modesta, una modifica delle condizioni di permeabilità dei suoli *ante-operam*. Pertanto, si rende necessaria, laddove le condizioni *post operam* siano peggiorative delle condizioni di permeabilità *ante operam*, l'adozione di misure specifiche per garantire l'invarianza idraulica.

Elementi fisici impianto	Superficie impegnata [m <sup>2</sup> ]	Superficie impegnata [ha]	Incidenza percentuale
Proprietà	1251833,1	125,18	100,00%
Superficie viabilità	68851,6	6,89	5,50%
Area cabine totale	850,3	0,09	0,09%
Area a verde di mitigazione perimetrale	49096,8	4,91	3,92%
Area a verde di mitigazione interna esistente	19891,3	1,99	1,59%
Area Pannellata (inseguitori)	453609,5	45,36	36,24%
Area BESS	4645,0	0,46	0,37%
Corridoi tra pannelli	654888,6	65,49	52,31%

Tabella 3- Superfici occupate dagli elementi fisici di impianto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	24

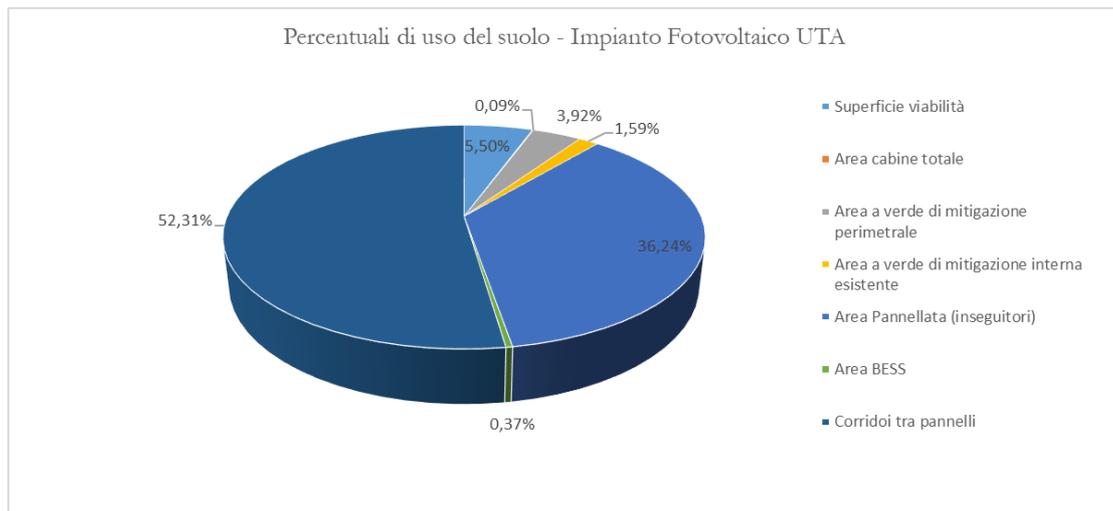


Figura 9- Percentuale delle aree occupate dagli elementi fisici di impianto.

## 5.2. PROGETTO DELLE MISURE DI INVARIANZA IDRAULICA

Per garantire l'invarianza idrologica e idraulica è possibile intervenire con misure volte al miglioramento della capacità di infiltrazione nel terreno (*"invarianza idrologica"*) e all'accumulo dei volumi di piena (*"invarianza idraulica"*), al fine di scaricare nei ricettori naturali portate di deflusso e volumi non maggiori rispetto a quelli preesistenti alla modifica della destinazione d'uso del territorio.

Per il parco fotovoltaico di *Uta*, entrambe le misure sono state considerate. Quelle relative all'invarianza idrologica sono messe in atto attraverso un **progetto adeguato sia delle fasce perimetrali di mitigazione che delle specie vegetali spontanee, da garantire nelle aree libere e pannellate.**

Le misure di invarianza idraulica per il progetto in esame sono realizzate mediante **delle trincee drenanti.**

L'ubicazione di tali misure è stata definita, individuando le vie preferenziali, a partire dal DTM del rilievo condotto in fase di progetto, dalla CTR, dalla disposizione delle opere in progetto, ivi incluse quelle di regimentazione idraulica necessarie per la protezione delle opere civili (e.g. viabilità, cabine elettriche, pannelli fotovoltaici), nonché dalle caratteristiche morfologiche ed orografiche delle aree del parco. In particolare, il sistema di trincee drenanti è stato previsto 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.2.3.10).

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

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	25

durabilità dell'opera.

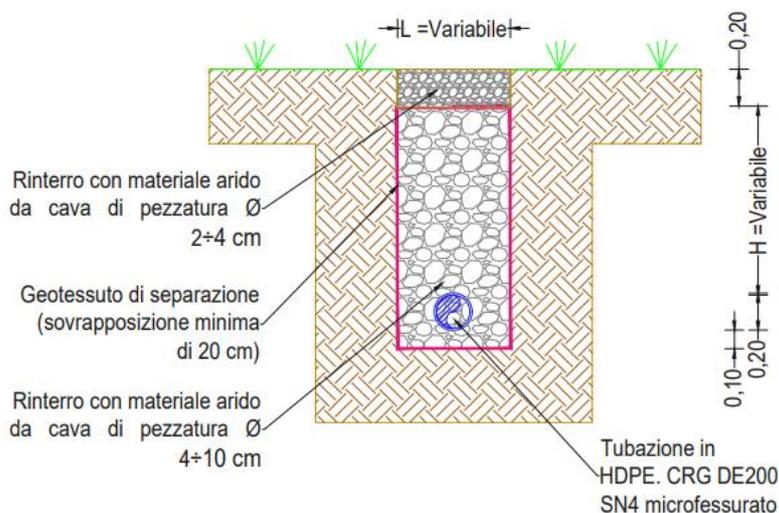


Figura 10- Sezioni tipo di scavo delle trincee drenanti, standard.

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;
- 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 infila nel sottosuolo in un tempo  $\Delta t$  di progetto.

Come sarà meglio descritto nei paragrafi successivi, la portata in uscita, nonché i volumi di laminazione, sono calcolati mediante il **metodo SCS-CN** (cfr. capitolo 5.26)

Si rimanda paragrafo 5.2 per i dettagli dei calcoli idraulici effettuati per il progetto in oggetto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	26

### 5.2.1. Generalità

Come anticipato la soluzione progettuale proposta per il mantenimento dell'invarianza idraulica consiste nella realizzazione di trincee drenanti.

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'esonazione della trincea stessa.

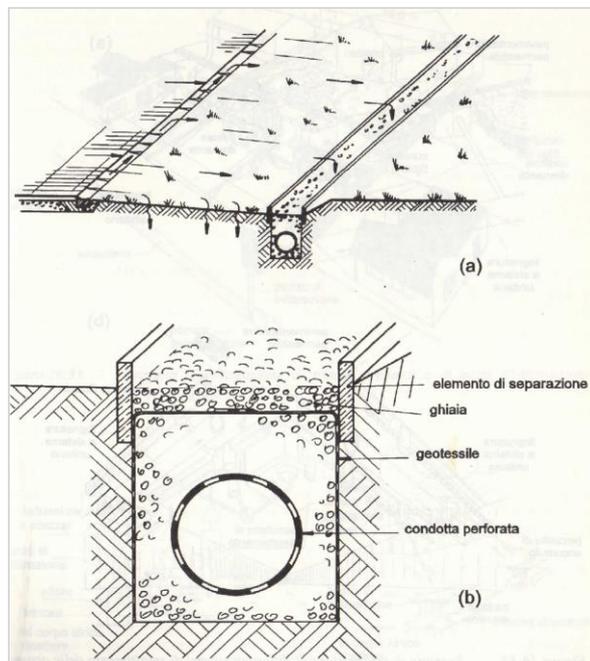


Figura 11- Trincea drenante - (a) vista; (b) sezione trasversale (CSDU, 1997).

### 5.2.2. 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:

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	27

- $Q_p$ , portata influente;
- $Q_f$ , portata infiltrata;
- $\Delta t$ , intervallo di discretizzazione temporale;
- $\Delta W$ , variazione del volume invasato nel mezzo filtrante, nell'intervallo  $\Delta t$ .

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, però, si è scelto un tempo di ritorno di progetto T pari a 50 anni come richiesto dalla normativa.** 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 4 ore.** 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 m<sup>3</sup>/h;
- $\emptyset$  è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- $i_T$  è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno, in mm/h;
- $A_d$  è la superficie del bacino drenato, in m<sup>2</sup>;
- $10^3$  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:

Sottoreti (SR)	Superficie S		
	[m <sup>2</sup> ]	[ha]	[km <sup>2</sup> ]
SR1	381441	38.14	0.3814
SR2	849099	84.91	0.8491

L'intensità critica (corrispondente ad una durata di quattro ore con  $t > 1$ ) è pari a 21,69 mm/h, mentre il coefficiente di afflusso è stato posto pari a 0,25. Si effettua, per semplicità, l'ipotesi di pioggia a intensità costante.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	28

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 4). Nel caso specifico si dispone di un valore del coefficiente di permeabilità misurato *in situ*.

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 4- Permeabilità di alcuni suoli tipici (Francani, 1988).

Dalle indagini geotecniche presenti nella relazione geologica, si evince che il terreno del sito in esame (nel quale deve essere realizzato il sistema di trincee drenanti), è costituito da depositi pleistocenici e quaternari con coefficienti di permeabilità nell'area compresi tra  $1,7$  e  $3,3 \times 10^{-4}$   $m/s$ . Si è ritenuto, pertanto, opportuno utilizzare un coefficiente di permeabilità  $K$  pari a  $3,0 \cdot 10^{-4}$   $m/s$ .

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  $m$ ;
- $\Delta h$  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

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	29

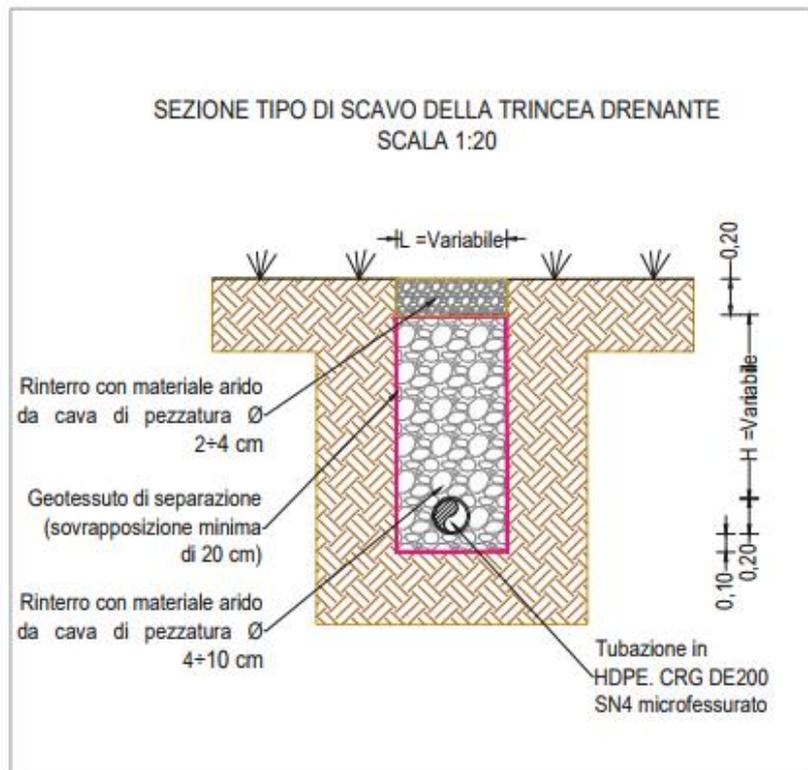
complessivamente necessaria per il drenaggio dell'area servita. Di solito si fissano la larghezza e la profondità della trincea drenante, ricavando la lunghezza a mezzo dell'equazione di continuità; in questo caso, la variazione di volume invasato può essere determinata con la seguente espressione:

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

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 (Figura 12). 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:

Sottorete di progetto	ID Trincea Drenante	Larghezza L [m]	Altezza H [m]	Lunghezza [m]
SR1	Trincea TIPO 1	1.2	1.5	595
SR2	Trincea TIPO 2	1.3	1.5	1205



CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	30

ID Trincea Drenante	Larghezza L [m]	Altezza H [m]
Trincea TIPO 1	1.2	1.5
Trincea TIPO 2	1.3	1.5

*Figura 12- 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  $\Delta t$  di 0,20 ore.

Nei paragrafi seguenti sono riportati i parametri posti a base del calcolo per entrambe le trincee, la risoluzione dell'equazione di continuità e l'andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	31

### 5.2.2.1. TRINCEA DRENANTE “TIPO 1” – SR1

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
<b>T</b>	[anni]	50	Tempo di ritorno di progetto
<b>t<sub>p</sub></b>	[ore]	4	Durata della pioggia critica
<b>A<sub>d</sub></b>	[m <sup>2</sup> ]	381441	Superficie bacino drenato
<b>Φ</b>	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
<b>i</b>	[mm/h]	21.69	Intensità della pioggia di progetto
<b>K</b>	[m/s]	0.0003	Permeabilità
<b>J</b>	[m/m]	1	Cadente piezometrica
<b>l</b>	[m]	1.2	Larghezza della trincea
<b>L</b>	[m]	595	Lunghezza totale della trincea
<b>h</b>	[m]	1.5	Altezza della trincea
<b>n</b>	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
<b>Δt</b>	[ore]	0.20	Passo temporale di integrazione

*Tabella 5-Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.*

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	32

<b>Tempo</b>	<b>Q<sub>p</sub></b>	<b>Q<sub>r</sub></b>	<b>ΔW</b>	<b>Δh</b>
[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> ]	[m]
0	0	0	0	0
0.2	2068	0	414	1.45
0.4	2068	2636	300	1.05
0.6	2068	2124	289	1.01
0.8	2068	2074	288	1.01
1	2068	2069	288	1.01
1.2	2068	2068	288	1.01
1.4	2068	2068	288	1.01
1.6	2068	2068	288	1.01
1.8	2068	2068	288	1.01
2	2068	2068	288	1.01
2.2	2068	2068	288	1.01
2.4	2068	2068	288	1.01
2.6	2068	2068	288	1.01
2.8	2068	2068	288	1.01
3	2068	2068	288	1.01
3.2	2068	2068	288	1.01
3.4	2068	2068	288	1.01
3.6	2068	2068	288	1.01
3.8	2068	2068	288	1.01
4	2068	2068	288	1.01
4.2	0	2068	-126	-0.44
4.4	0	203	-167	-0.58
4.6	0	20	-171	-0.60
4.8	0	2	-171	-0.60

*Tabella 6- Calcolo del sistema di trincee drenanti.*

Come si può desumere dalla Tabella 6, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 1,45 m, inferiore quindi ai 1,5 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In Figura 13 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. L'opera sarà in grado di recuperare completamente la propria capacità di smaltimento o immagazzinamento nell'arco delle 48 ore successive all'evento meteorico.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	33

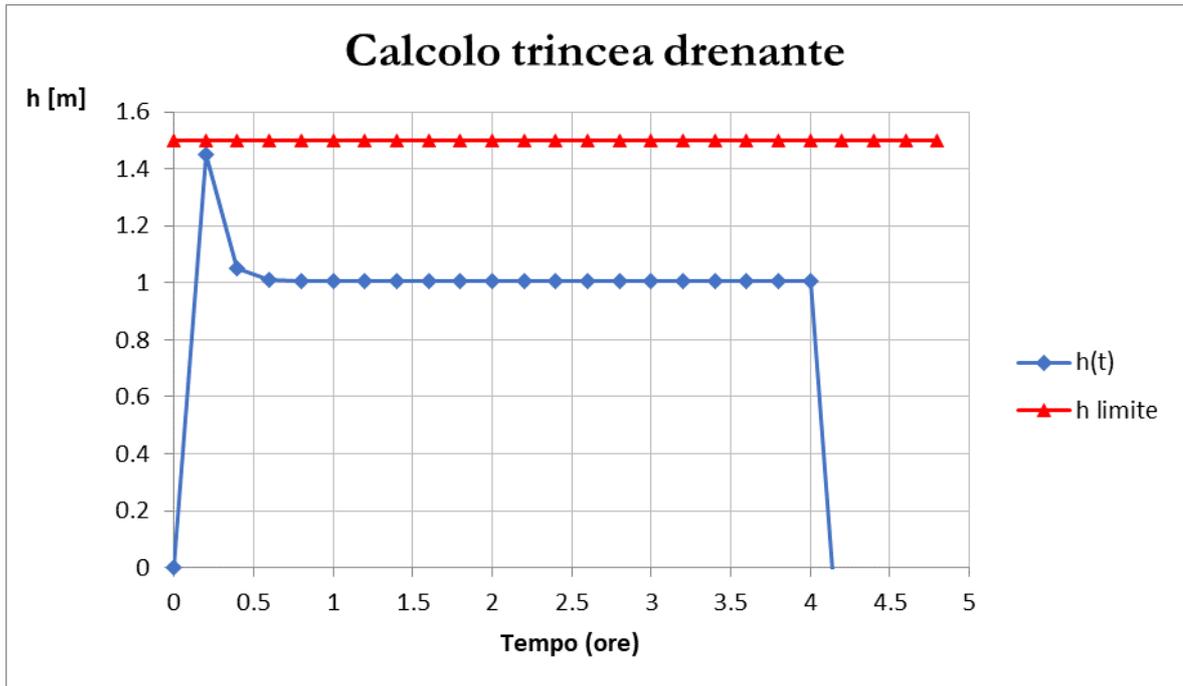


Figura 13- Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – SR1. In rosso l'altezza della trincea.

#### 5.2.2.2. TRINCEA DRENANTE “TIPO 2” – SR2

Parametro	U.M.	Valore	Descrizione
<b>T</b>	[anni]	50	Tempo di ritorno di progetto
<b>t<sub>p</sub></b>	[ore]	4	Durata della pioggia critica
<b>A<sub>d</sub></b>	[m <sup>2</sup> ]	849099	Superficie bacino drenato
<b>Φ</b>	-	0.25	Coefficiente d'afflusso
<b>i</b>	[mm/h]	21.69	Intensità della pioggia di progetto
<b>K</b>	[m/s]	0.0003	Permeabilità
<b>J</b>	[m/m]	1	Cadente piezometrica
<b>l</b>	[m]	1.5	Larghezza della trincea
<b>L</b>	[m]	1205	Lunghezza totale della trincea
<b>h</b>	[m]	1.5	Altezza della trincea
<b>n</b>	-	0.40	Porosità del materiale di riempimento
<b>Δt</b>	[ore]	0.20	Passo temporale di integrazione

Tabella 7- Riassunto dei parametri posti a base del calcolo.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	34

<b>Tempo</b>	<b>Q<sub>p</sub></b>	<b>Q<sub>r</sub></b>	<b>ΔW</b>	<b>Δh</b>
[h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[m <sup>3</sup> ]	[m]
0	0	0	0	0
0.2	4604	0	921	1.47
0.4	4604	5521	738	1.18
0.6	4604	4759	707	1.13
0.8	4604	4630	701	1.12
1	4604	4609	701	1.12
1.2	4604	4605	700	1.12
1.4	4604	4605	700	1.12
1.6	4604	4604	700	1.12
1.8	4604	4604	700	1.12
2	4604	4604	700	1.12
2.2	4604	4604	700	1.12
2.4	4604	4604	700	1.12
2.6	4604	4604	700	1.12
2.8	4604	4604	700	1.12
3	4604	4604	700	1.12
3.2	0	4604	-220	-0.35
3.4	0	775	-375	-0.60
3.6	0	130	-402	-0.64
3.8	0	22	-406	-0.65
4	0	4	-407	-0.65
4.2	0	1	-405	-0.65
4.4	0	6	-408	-0.65
4.6	0	-5	-407	-0.65
4.8	0	-1	-407	-0.65

*Tabella 8- Calcolo del sistema di trincee drenanti.*

Come si può desumere dalla Tabella 8, l'altezza massima invasata nella trincea drenante risulta essere pari a 1,47 m, inferiore quindi ai 1,5 m di profondità delle stesse trincee. La verifica risulta pertanto soddisfatta. In Figura 14 è riportato il grafico che mostra l'andamento temporale del tirante idrico all'interno del sistema di trincee drenanti. L'opera sarà in grado di recuperare completamente la propria capacità di smaltimento o immagazzinamento nell'arco delle 48 ore successive all'evento meteorico.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	35

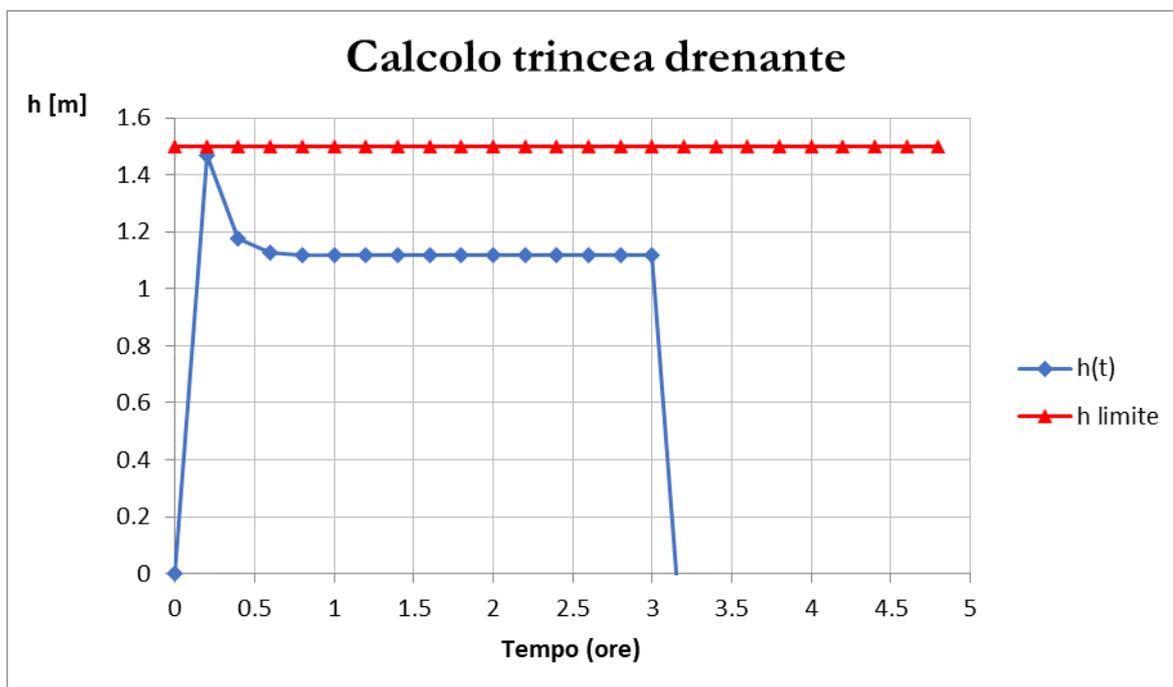


Figura 14- Andamento temporale del tirante idrico nella trincea drenante – SR2. In rosso l'altezza della trincea.

### 5.3. PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

La durabilità delle opere del parco fotovoltaico “Uta” è garantita da un efficace sistema idraulico di drenaggio delle acque meteoriche. Gli interventi da realizzarsi nell’area in esame sono stati sviluppati secondo due differenti linee di obiettivi:

- **garantire l’invarianza idraulica**, attraverso il mantenimento delle condizioni di “equilibrio idrologico-idraulico” esistenti *ante operam*. Tale approccio consentirà di preservare e proteggere l’equilibrio idraulico naturale del sito e di garantire la resilienza del sistema per far fronte ai cambiamenti climatici futuri.
- **drenare il sito efficacemente**, attraverso la regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo le aree del parco in progetto, mediante una adeguata rete drenante, volta a proteggere le opere civili presenti.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito, individuando le vie preferenziali di deflusso, a partire dal DTM del rilievo condotto in fase di progetto, dalla CTR e dalla disposizione delle opere in progetto nonché dalle caratteristiche morfologiche ed orografiche delle aree del parco.

Il sistema di regimazione delle acque superficiali è in grado di convogliare e smaltire le portate di ruscellamento, attraverso un’opportuna serie di opere distribuite lungo le aree interessate che tengono conto della morfologia dell’area, della natura litologica dei terreni, dell’uso del suolo nonché delle caratteristiche delle precipitazioni locali.

L’intervento comprende *fossi di guardia*, che hanno la funzione di raccogliere le acque

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	36

provenienti dai terreni compresi fra due zone di terreno successive (tra le stringhe dell'impianto, etc.) e convogliarle, attraverso una rete, verso i relativi puti di scarico.

Nei punti di scarico sono previste delle opportune *opere di dissipazione* al fine di ridurre l'energia della corrente idrica e di conseguenza fenomeni erosivi dei versanti o degli impluvi interessati.

Il convogliamento delle acque meteoriche necessita anche di *opere di attraversamento*, con i relativi manufatti accessori (e.g. pozzetti), che consentano il superamento delle interferenze tra la rete di drenaggio e la viabilità di parco.

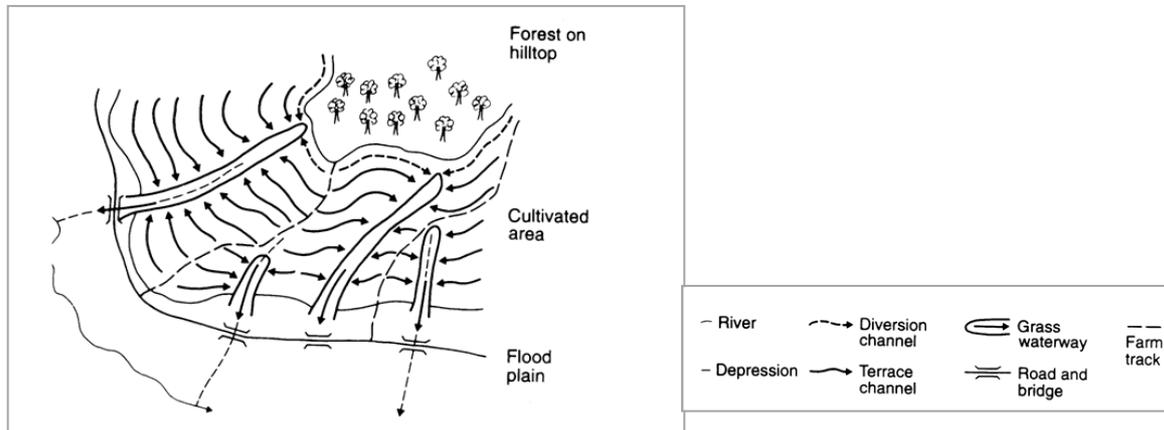


Figura 15- Esempio rete di drenaggio.

### 5.3.1. Caratteristiche delle opere idrauliche

Le opere idrauliche previste in progetto sono di seguito elencate e sinteticamente descritte; per ulteriori dettagli si rimanda all'elaborato grafico PD - G.2.3.10 – RENO808PDGpld090R0\_ *Planimetria con indicazione delle opere idrauliche.*

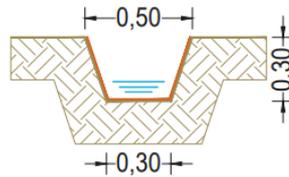
**Fosso di guardia “Tipo A”**, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

*Sezione trapezia*

Larghezza base [m]	0,30
Larghezza in superficie [m]	0,50
Altezza [m]	0,30

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	37

**Fosso di guardia in terra "Tipo A"**  
(rivestito con geostuoia)  
Scala 1:20



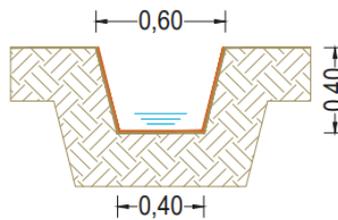
La geostuoia di rivestimento è ad alto indice di vuoti, in monofilamenti di polipropilene fissati termicamente nei punti di contatto (con spessori variabili).

**Fosso di guardia "Tipo B"**, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

*Sezione trapezia*

Larghezza base [m]	0,40
Larghezza in superficie [m]	0,60
Altezza [m]	0,40

**Fosso di guardia in terra "Tipo B"**  
(rivestito con geostuoia)  
Scala 1:20



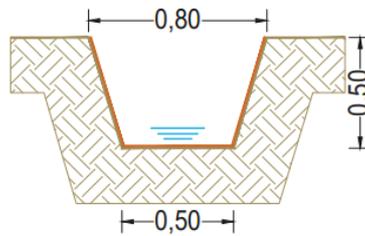
**Fosso di guardia "Tipo C"**, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

*Sezione trapezia*

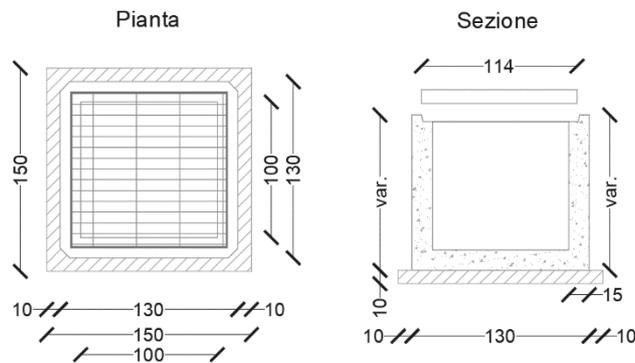
Larghezza base [m]	0,50
Larghezza in superficie [m]	0,80
Altezza [m]	0,50

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	38

Fosso di guardia in terra "Tipo C"  
(rivestito con geostuoia)  
Scala 1:20



**Pozzetti in cls prefabbricato,** aventi dimensioni interne 100x100 cm e spessore delle pareti pari a 0,15 m; l'altezza sarà variabile in funzione delle peculiarità delle quote dei fossi di guardia (o delle tubazioni in HDPE CRG) in ingresso e uscita.



CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	39

## 6. MODELLO AFFLUSSI - DEFLUSSI

### 6.1. PREMESSA

Il metodo di seguito descritto è stato utilizzato sia per la stima delle portate di dimensionamento delle opere idrauliche di drenaggio a servizio del parco fotovoltaico (fossi di guardia), che per le valutazioni relative alle misure di invarianza idraulica.

### 6.2. IL METODO SCS-CN

Il metodo del *Soil Conservation Service* è una procedura che consente la ricostruzione delle piene nei bacini idrografici di superficie non superiore a 15-20 km<sup>2</sup>. Il metodo consente sia la semplice determinazione del volume della piena o della sua portata al colmo sia la completa ricostruzione dell'idrogramma di piena.

Tale metodo si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili solo in approcci distribuiti e semi-distribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati. Dal punto di vista matematico, si fa riferimento al calcolo del flusso superficiale come differenza fra precipitazione e perdite, inglobando però adesso in un unico termine di perdita anche gli altri fattori, oltre all'infiltrazione (*Soil Conservation Service*, 1968).

Per la determinazione del volume di piena il metodo si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione:

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

avendo indicato con  $V$  il volume di deflusso, con  $P_n$  la precipitazione netta, con  $W$  l'invaso del suolo, cioè il volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo, e con  $S$  il valore massimo del suddetto invaso.

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale  $P$  le perdite iniziali  $I_a$  dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabili per esempio, alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per la loro morfologia, consentono l'accumulo di volumi idrici, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente e all'infiltrazione prima della formazione del deflusso. La precipitazione netta si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W$$

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	40

Sostituendo il valore di  $W$  ricavato in precedenza, si ottiene:

$$V = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

Poiché le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo (relazione, in pratica, costante per ogni bacino)  $I_a = 0.2S$ , e tenendo conto che  $P_n = P - I_a$ , si ottiene:

$$V = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$$

L'applicazione dell'espressione ottenuta presuppone, oltre la conoscenza della precipitazione totale  $P$  la stima del massimo invasore  $S$  del suolo che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra 0 (superficie perfettamente impermeabile) e infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di  $S$  viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

in cui figura un parametro  $CN$ , denominato *curve number*, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il  $CN$  rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati in un'apposita tabella, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino.

La stima del  $CN$  presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato  $CN$  sulla base di quelli riportati in letteratura; il valore di  $CN_b$  dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Per la stima del  $CN$  si distinguono i seguenti quattro gruppi idrologici denominati A, B, C e D.

- Gruppo A: *Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.*
- Gruppo B: *Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.*

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	41

- **Gruppo C:** Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa.
- **Gruppo D:** Suoli ad elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (*Antecedent Moisture Conditions*, AMC) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominate AMCII.

La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento in esame che consente di definire la condizione di umidità antecedente l'evento (AMCI, AMCII, AMCIII).

Periodo vegetativo	Riposo vegetativo	AMC
Altezza di precipitazione, caduta nei cinque giorni precedenti l'evento, minore di 35 mm.	Altezza di precipitazione, caduta nei cinque giorni precedenti l'evento, minore di 13 mm.	I
Altezza di precipitazione, caduta nei cinque giorni precedenti l'evento, tra 35 e 53 mm.	Altezza di precipitazione, caduta nei cinque giorni precedenti l'evento, tra 13 e 28 mm.	II
Altezza di precipitazione, caduta nei cinque giorni precedenti l'evento, maggiore di 53 mm	Altezza di precipitazione, caduta nei cinque giorni precedenti l'evento, maggiore di 28 mm.	III

Nel caso in cui si ricada nella condizione AMCI (secca) o in quella AMCIII (umida), i valori di CN devono essere corretti utilizzando adeguati fattori di correzione. Per gli scopi di questo studio sono state utilizzate le seguenti formulazioni:

$$CNI = \frac{CNII}{2.38 - 0.014CNII}$$

$$CNIII = \frac{CNII}{0.43 + 0.0057CNII}$$

Per gli scopi del presente studio, il valore utilizzato per i calcoli è il CNII rappresentativo di una condizione media di saturazione del terreno.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	42

Tipologia di Uso del Suolo	Tipo idrologico di suolo			
	A	B	C	D
Area Urbana (tessuto denso) <sup>1</sup>	77	85	90	92
Area Urbana (tessuto rado) <sup>2</sup>	61	75	83	87
Aree industriali <sup>3</sup>	89	92	94	95
Autostrade, ferrovie <sup>4</sup>	87	91	93	94
Porti, aeroporti <sup>5</sup>	98	98	98	98
Aree in trasformazione <sup>6</sup>	77	86	91	94
Zone verdi urbane <sup>7</sup>	39	61	74	80
Aree sportive e ricreative <sup>8</sup>	49	69	79	84
Seminativo in aree non irrigue <sup>9</sup>	55	69	78	83
Vigneti <sup>10</sup>	67	78	85	89
Frutteto ,Uliveto <sup>11</sup>	62	71	78	81
Prati stabili <sup>12</sup>	30	58	71	78
Zone agricole eterogenee <sup>13</sup>	67	78	85	89
Zone boscate <sup>14</sup>	25	55	70	77
Area a Pascolo naturale e praterie d'alta quota <sup>15</sup>	49	69	79	84
Aree a vegetazione sclerofilla <sup>16</sup>	30	51	63	70
Aree a vegetazione bosc. e a arbus. in evoluzione <sup>17</sup>	45	66	77	83
Spiagge, dune , sabbie <sup>18</sup>	98	98	98	98
Rocce nude falesie, rupi, affioramenti <sup>19</sup>	77	86	91	94
Aree con vegetazione rada <sup>20</sup>	63	77	85	88
Aree percorse da incendi <sup>21</sup>	45	66	77	83
Paludi interne	25	25	25	25
Paludi salmastre	25	25	25	25
Saline	25	25	25	25
Corsi d'acqua canali e idrovore	98	98	98	98
Bacini d'acqua	25	25	25	25
Lagune	55	55	55	55

<sup>1</sup>Zone residenziali, lotti fino a 500 m2 (area imp. 65%)  
<sup>2</sup>Zone residenziali, lotti da 500 a 1000 m2 (area imp. 38%)  
<sup>3</sup>Zone commerciali e industriali (area imp. 72%)  
<sup>4</sup>Autostrade ferrovie  
<sup>5</sup>Strade, ferrovie, porti, aeroporti.  
<sup>6</sup>Suoli rimaneggiati, discariche, aree estrattive (terreno nudo)  
<sup>7</sup>Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 e il 75%  
<sup>8</sup>Spazi aperti con manto erboso maggiore del 75%  
<sup>9</sup>Leguminose o prato a rotazione per traverso in buone condizioni  
<sup>10</sup>Filari a ritocchino in buone condizioni  
<sup>11</sup>Filari per traverso in buone condizioni  
<sup>12</sup>Prato protetto dal pascolo e soggetto a fienaggione  
<sup>13</sup>Filari a ritocchino in buone condizioni  
<sup>14</sup>Bosco in buone condizioni  
<sup>15</sup>Pascolo in discrete condizioni  
<sup>16</sup>Macchia arbustiva in discrete condizioni  
<sup>17</sup>Bosco in cattive condizioni  
<sup>18</sup>Spiagge, dune , sabbie  
<sup>19</sup>Maggese nudo o arato a ritocchino  
<sup>20</sup>Vegetazione desertica in cattive condizioni  
<sup>21</sup>Bosco in cattive condizioni

Tabella 6.1– Valori caratteristici del parametro CN per tipologia di uso del suolo e tipo idrologico.

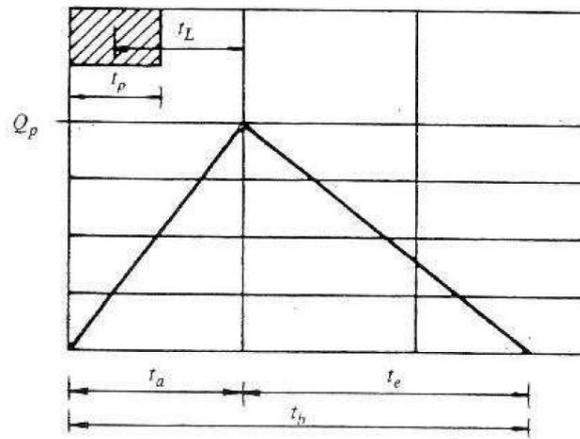
Per il calcolo della portata al colmo  $Q_p$  si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (*tempo di accumulo*) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (*tempo di esaurimento*) e il cui volume  $V$  ha la seguente espressione:

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

avendo indicato con  $t_b$  la durata dell'evento di piena.

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5 % del volume totale  $V$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto  $t_b = 2,67 t_a$ .

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	43



Utilizzando tali espressioni, esprimendo il volume di deflusso  $V$  in mm, il tempo  $t_a$  in ore, l'area  $A$  del bacino in  $\text{km}^2$ , si ottiene:

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

La determinazione di  $t_a$ , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata  $t_p$  pari al tempo di corrivazione del bacino idrografico e indicando con  $t_L$  il *tempo di ritardo* (distanza tra il baricentro dello istogramma e il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0.5t_p + t_L$$

Nel metodo SCS-CN il rapporto  $t_L/t_p$  è costante e pari a 0,6. Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

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

in cui  $s$  è la pendenza del bacino espressa in % ed  $L$  è la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in km.

### 6.2.1. Stima dei volumi di laminazione

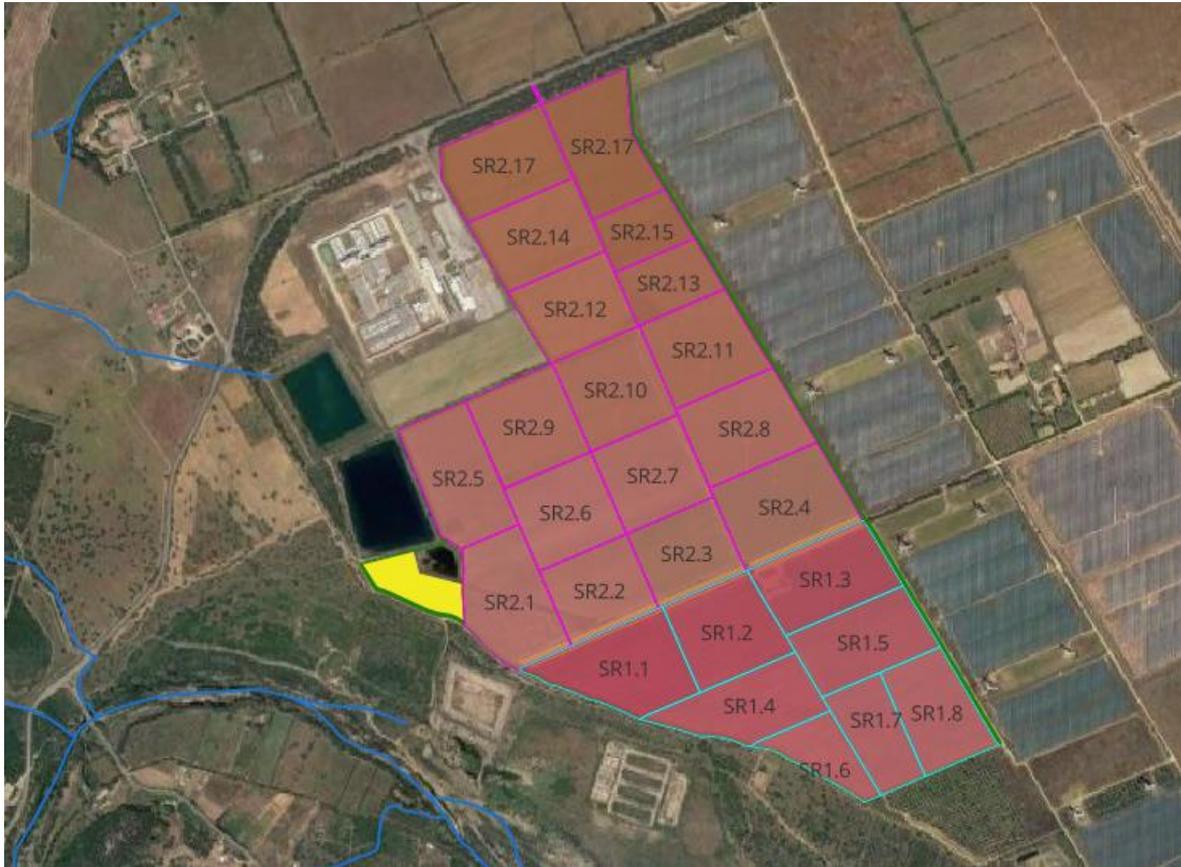
La stima del volume di laminazione necessario per l'invarianza idraulica di un'area è ottenuto dall'arrotondamento della differenza tra il volume di deflusso calcolato con metodo SCS- CN, prima descritto, nella condizione *post e ante operam*.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	44

### 6.3. STIMA DELLE SUPERFICI SCOLANTI

Per individuare le superfici scolanti per i calcoli necessari al dimensionamento delle opere idrauliche è stato utilizzato il software QGIS e il Modello Digitale del Terreno (MDT) della Carta Tecnica Regionale 2012-2013.

L'area di impianto è stata suddivisa in due sottoreti SR (SR1 e SR2) ognuna delle quali è stata ulteriormente suddivisa in lotti (Figura 16).



*Figura 16- Area di impianto divisa in sottoreti e lotti.*

Nella tabella seguente è riportata ciascuna sottorete, per ogni lotto e per ogni tipologia di uso del suolo, le estensioni delle superfici interessate dalle opere in progetto.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	45

Sottoreti (SR)	Lotti	Area a verde	Viabilità	Cabine, etc	Area pannellata [m <sup>2</sup> ]		Area totale trasformata		
		[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	[m <sup>2</sup> ]	Sup. pannellata	Corridoi	[m <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]	[ha]
1	1	6110.07	6369.79	17.75	16425.28	33275.94	62199	0.062	6.22
	2	1883.68	4290.86	17.75	17038.82	30299.86	53531	0.054	5.35
	3	3297.65	5906.64	17.75	15444.95	32909.82	57577	0.058	5.76
	4	2727.31	3014.70	17.75	15455.30	28394.44	49610	0.050	4.96
	5	0.00	2725.85	90.25	15653.24	32531.07	51000	0.051	5.10
	6	3378.99	1887.62	0.00	7112.02	13811.89	26191	0.026	2.62
	7	1152.82	2280.96	17.75	10354.73	21641.59	35448	0.035	3.54
	8	1792.43	3173.28	17.75	14702.00	26201.13	45887	0.046	4.59
2	1	25378.93	3058.82	17.75	17110.80	33425.77	78992	0.079	7.90
	2	3046.31	2071.54	90.25	11797.24	26484.98	43490	0.043	4.35
	3	2965.00	2069.51	17.75	11521.66	26667.46	43241	0.043	4.32
	4	3836.54	2982.72	90.25	17669.37	37356.94	61936	0.062	6.19
	5	4552.00	3362.13	17.75	17313.42	30947.44	56193	0.056	5.62
	6	0.00	2317.58	17.75	16901.03	28659.82	47896	0.048	4.79
	7	0.00	2336.12	17.75	16831.76	28609.10	47795	0.048	4.78
	8	0.00	3219.83	17.75	16564.31	33975.11	53777	0.054	5.38
	9	2222.00	2221.55	17.75	18485.77	27957.01	50904	0.051	5.09
	10	99.77	2208.16	90.25	18347.98	30932.96	51679	0.052	5.17
	11	0.00	2762.48	17.75	17727.54	30500.39	51008	0.051	5.10
	12	2038.08	2566.69	17.75	14149.59	28245.24	47017	0.047	4.70
	13	0.00	1747.28	0.00	10970.48	17092.86	29811	0.030	2.98
	14	1939.29	2557.05	17.75	15874.35	29543.56	49932	0.050	4.99
	15	0.00	2176.24	17.75	10145.45	14496.92	26836	0.027	2.68
	16	1998.23	3295.27	17.75	16701.61	30991.88	53005	0.053	5.30
	17	0.00	3777.07	4787.25	14970.44	32051.08	55586	0.056	5.56

#### 6.4. STIMA DEL CURVE NUMBER (CN)

In accordo con quanto riportato nel paragrafo precedente (cfr. paragrafo 6.4) la stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino (si fa riferimento a quattro gruppi: A, B, C e D) e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica.

Per la scelta del CNII sono stati selezionati i valori utilizzati dalla Regione Sardegna ricavati mediante geo-portale nazionale. In particolare, è stato considerato il valore medio assunto dal CNII all'interno dei bacini individuati per lo studio idrologico e idraulico per ciascuna area di intervento, attraverso il software QGIS. Gli stessi sono risultati conformi rispetto all'analisi della geologia, della idrogeologia e dell'agronomia condotta in sede di progettazione e l'uso del suolo individuato mediante l'analisi del CLC. In questo caso, il CNII è stato posto pari a 63.

Questo risulta in accordo con il gruppo idrologico, individuato mediante una classificazione delle aree secondo il *Corine Land Cover 2008*, rilievi geologici e l'utilizzo della carta geolitologica. Nel caso in esame il gruppo idrologico risulta compatibile con il gruppo A.

Inoltre, il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (*Antecedent Moisture Conditions, AMC*) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominate AMCII. I valori, infatti, risultano anche compatibili con i terreni di interesse all'impianto che risultano "aree agricole", in particolare "seminativi semplici e colture orticole a pieno campo".

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	46

Nel caso in esame, come già detto nel paragrafo 5.1, è stata considerata la condizione “media” di umidità del suolo antecedente l’evento di precipitazione, in accordo con il parametro AMCII.

I valori di CNII, per ogni sottorete, sono riportati nelle tabelle presenti nel paragrafo seguente.

## 6.5. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA E DEL COEFFICIENTE UDOMETRICO

Di seguito sono riassunti i risultati del calcolo della portata di piena, e del corrispondente coefficiente udometrico, con il metodo SCS-CN nella condizione *ante-operam* e *post-operam*, per l’area di impianto, sia con tempo di ritorno di 30 e 50 anni.

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

- ID Bacino (la perimetrazione ha riguardato i bacini che insistono su viabilità e piazzole del Parco Eolico “*San Gavino Monreale*”);
- Superficie del bacino drenante  $S$  (sia in  $m^2$ , che in ha e 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,  $\Delta h$  (m);
- Pendenza media del percorso,  $i$  (%);
- Parametro CNII;
- Tempo di ritardo,  $t_L$  (hr);
- Tempo di corrivazione,  $t_p$  (hr);
- Tempo di accumulo,  $t_a$  (hr);
- Tempo di esaurimento,  $t_b$  (hr);
- Precipitazione lorda,  $P_{lorda}$  (mm);
- Massimo invaso del suolo,  $S$  (mm);
- Precipitazione netta,  $P_{netta}$  (mm)
- Coefficiente udometrico,  $u_d$  (l/s\*ha);
- Portata al colmo della piena,  $Q_p$  (in  $m^3/s$ );

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

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	47

Caratteristiche del bacino ante-operam T30																					
Sottoreti (SR)	Lotti	Superficie S		Lunghezza asta L	H max	H min	Δh	Pendenza media i	Pendenz a media i	CNIi	tL	tp	ta	tb	n	Plorda	S	Pnetta	Coefficiente udometrico U <sub>a</sub>	Portata Qp	
		[m <sup>2</sup> ]	[ha]	[km <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[-]	[-]	[hr]	[hr]	[hr]	[hr]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[l/s'ha]	[m <sup>3</sup> /s]
1	1	62199	6.22	0.0622	390.3	46.0	41.6	4.39	1.12	0.01	63	0.59	0.98	1.07	2.87	0.095	42.11	149.17	0.93	1.81	0.01
	2	53531	5.35	0.0535	306.0	43.2	39.8	3.41	1.12	0.01	63	0.48	0.81	0.89	2.37	0.095	41.35	149.17	0.83	1.93	0.01
	3	57577	5.76	0.0576	323.7	41.3	37.5	3.79	1.17	0.01	63	0.49	0.82	0.91	2.42	0.095	41.43	149.17	0.84	1.92	0.01
	4	49610	4.96	0.0496	386.1	42.2	39.4	2.85	0.74	0.01	63	0.72	1.19	1.31	3.51	-0.012	42.12	149.17	0.93	1.48	0.01
	5	51000	5.10	0.0510	336.2	39.9	37.1	2.82	0.84	0.01	63	0.60	1.00	1.10	2.95	-0.012	42.20	149.17	0.95	1.78	0.01
	6	26191	2.62	0.0262	279.0	40.1	37.9	2.18	0.78	0.01	63	0.54	0.90	0.98	2.63	0.095	41.76	149.17	0.88	1.87	0.00
	7	35448	3.54	0.0354	265.3	39.4	36.8	2.60	0.98	0.01	63	0.46	0.77	0.84	2.25	0.095	41.15	149.17	0.80	1.97	0.01
	8	45887	4.59	0.0459	302.2	38.1	35.0	3.11	1.03	0.01	63	0.50	0.83	0.91	2.44	0.095	41.47	149.17	0.84	1.91	0.01
2	1	78992	7.90	0.0790	278.6	55.2	44.3	10.84	3.89	0.04	63	0.24	0.40	0.44	1.18	0.095	38.69	149.17	0.50	2.34	0.02
	2	43490	4.35	0.0435	264.6	45.4	43.4	2.04	0.77	0.01	63	0.52	0.86	0.95	2.54	0.095	41.62	149.17	0.86	1.89	0.01
	3	43241	4.32	0.0432	270.6	44.0	41.4	2.55	0.94	0.01	63	0.48	0.80	0.88	2.34	0.095	41.30	149.17	0.82	1.94	0.01
	4	61936	6.19	0.0619	287.1	41.4	38.0	3.40	1.18	0.01	63	0.45	0.74	0.82	2.19	0.095	41.03	149.17	0.78	1.99	0.01
	5	56193	5.62	0.0562	318.7	53.6	43.9	9.76	3.06	0.03	63	0.30	0.50	0.55	1.48	0.095	39.54	149.17	0.59	2.23	0.01
	6	47896	4.79	0.0479	275.7	44.9	42.6	2.32	0.84	0.01	63	0.51	0.85	0.94	2.51	0.095	41.58	149.17	0.86	1.90	0.01
	7	47795	4.78	0.0478	268.2	43.5	40.3	3.19	1.19	0.01	63	0.42	0.70	0.77	2.07	0.095	40.81	149.17	0.75	2.02	0.01
	8	53777	5.38	0.0538	284.2	41.3	37.7	3.55	1.25	0.01	63	0.43	0.72	0.79	2.11	0.095	40.90	149.17	0.76	2.01	0.01
	9	50904	5.09	0.0509	237.8	44.2	41.4	2.77	1.16	0.01	63	0.39	0.65	0.71	1.90	0.095	40.49	149.17	0.71	2.08	0.01
	10	51679	5.17	0.0517	256.9	42.4	39.5	2.92	1.14	0.01	63	0.42	0.69	0.76	2.04	0.095	40.77	149.17	0.75	2.03	0.01
	11	51008	5.10	0.0510	270.0	39.9	37.7	2.22	0.82	0.01	63	0.51	0.85	0.94	2.50	0.095	41.56	149.17	0.85	1.90	0.01
	12	47017	4.70	0.0470	271.4	41.4	39.1	2.34	0.86	0.01	63	0.50	0.83	0.92	2.45	0.095	41.48	149.17	0.84	1.91	0.01
	13	29811	2.98	0.0298	227.6	39.4	37.6	1.80	0.79	0.01	63	0.45	0.76	0.83	2.22	0.095	41.10	149.17	0.79	1.98	0.01
	14	49932	4.99	0.0499	289.7	40.9	38.4	2.52	0.87	0.01	63	0.52	0.87	0.96	2.57	0.095	41.67	149.17	0.87	1.88	0.01
	15	26836	2.68	0.0268	201.3	39.1	37.2	1.92	0.96	0.01	63	0.37	0.62	0.69	1.83	0.095	40.35	149.17	0.69	2.10	0.01
	16	53005	5.30	0.0530	260.9	40.4	38.2	2.23	0.86	0.01	63	0.49	0.81	0.89	2.38	0.095	41.37	149.17	0.83	1.93	0.01
	17	55586	5.56	0.0556	324.1	38.7	36.4	2.27	0.70	0.01	63	0.64	1.07	1.17	3.13	-0.012	42.17	149.17	0.94	1.67	0.01

Figura 17- Valori di portata e coefficiente udometrico per ogni sottorete/lotto ante-operam con T = 30 anni.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	48

		Caratteristiche del bacino post-operam T30																			
Sottoreti (SR)	Lotti	Superficie S		Lunghezza asta L	H max	H min	Δh	Pendenza media /	Pendenz a media /	CNII	tL	tp	ta	tb	n	Plorda	S	Pneta	Coefficiente udometrico $u_d$	Portata Qp	
		[m <sup>2</sup> ]	[ha]	[km <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[-]	[-]	[hr]	[hr]	[hr]	[hr]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[l/s'ha]	[m <sup>3</sup> /s]
1	1	62199	6.22	0.0622	390.3	46.0	41.6	4.39	1.12	0.01	68	0.52	0.86	0.95	2.53	0.095	41.61	120.87	2.20	4.82	0.03
	2	53531	5.35	0.0535	306.0	43.2	39.8	3.41	1.12	0.01	68	0.42	0.71	0.78	2.08	0.095	40.84	119.47	2.11	5.62	0.03
	3	57577	5.76	0.0576	323.7	41.3	37.5	3.79	1.17	0.01	68	0.44	0.73	0.80	2.14	0.095	40.96	121.46	2.01	5.21	0.03
	4	49610	4.96	0.0496	386.1	42.2	39.4	2.85	0.74	0.01	68	0.63	1.05	1.16	3.09	-0.012	42.18	120.47	2.36	4.24	0.02
	5	51000	5.10	0.0510	336.2	39.9	37.1	2.82	0.84	0.01	68	0.53	0.89	0.98	2.62	0.095	41.74	122.11	2.15	4.56	0.02
	6	26191	2.62	0.0262	279.0	40.1	37.9	2.18	0.78	0.01	68	0.48	0.79	0.87	2.33	0.095	41.28	121.21	2.10	5.01	0.01
	7	35448	3.54	0.0354	265.3	39.4	36.8	2.60	0.98	0.01	68	0.41	0.68	0.75	2.00	0.095	40.70	122.16	1.91	5.30	0.02
	8	45887	4.59	0.0459	302.2	38.1	35.0	3.11	1.03	0.01	68	0.44	0.73	0.80	2.15	0.095	40.96	119.76	2.12	5.48	0.03
2	1	78992	7.90	0.0790	278.6	55.2	44.3	10.84	3.89	0.04	67	0.21	0.36	0.39	1.05	0.095	38.27	122.53	1.39	7.36	0.06
	2	43490	4.35	0.0435	264.6	45.4	43.4	2.04	0.77	0.01	67	0.46	0.77	0.85	2.27	0.095	41.18	123.37	1.95	4.77	0.02
	3	43241	4.32	0.0432	270.6	44.0	41.4	2.55	0.94	0.01	67	0.43	0.71	0.79	2.10	0.095	40.87	124.07	1.84	4.87	0.02
	4	61936	6.19	0.0619	287.1	41.4	38.0	3.40	1.18	0.01	67	0.40	0.66	0.73	1.95	0.095	40.59	122.63	1.86	5.31	0.03
	5	56193	5.62	0.0562	318.7	53.6	43.9	9.76	3.06	0.03	68	0.27	0.44	0.49	1.30	0.095	39.06	120.20	1.67	7.13	0.04
	6	47896	4.79	0.0479	275.7	44.9	42.6	2.32	0.84	0.01	68	0.45	0.75	0.82	2.20	0.095	41.06	119.33	2.17	5.46	0.03
	7	47795	4.78	0.0478	268.2	43.5	40.3	3.19	1.19	0.01	68	0.37	0.62	0.68	1.81	0.095	40.31	119.36	1.99	6.10	0.03
	8	53777	5.38	0.0538	284.2	41.3	37.7	3.55	1.25	0.01	68	0.38	0.64	0.70	1.88	0.095	40.44	121.99	1.86	5.52	0.03
	9	50904	5.09	0.0509	237.8	44.2	41.4	2.77	1.16	0.01	68	0.34	0.56	0.62	1.65	0.095	39.96	117.89	2.00	6.72	0.03
	10	51679	5.17	0.0517	256.9	42.4	39.5	2.92	1.14	0.01	68	0.37	0.61	0.67	1.79	0.095	40.26	119.15	1.99	6.18	0.03
	11	51008	5.10	0.0510	270.0	39.9	37.7	2.22	0.82	0.01	68	0.45	0.75	0.82	2.19	0.095	41.05	119.43	2.16	5.46	0.03
	12	47017	4.70	0.0470	271.4	41.4	39.1	2.34	0.86	0.01	68	0.44	0.74	0.81	2.18	0.095	41.02	121.79	2.00	5.12	0.02
	13	29811	2.98	0.0298	227.6	39.4	37.6	1.80	0.79	0.01	68	0.40	0.66	0.72	1.93	0.095	40.56	117.83	2.14	6.15	0.02
	14	49932	4.99	0.0499	289.7	40.9	38.4	2.52	0.87	0.01	68	0.46	0.77	0.85	2.27	0.095	41.18	120.84	2.10	5.14	0.03
	15	26836	2.68	0.0268	201.3	39.1	37.2	1.92	0.96	0.01	69	0.32	0.54	0.59	1.58	0.095	39.79	115.90	2.08	7.32	0.02
	16	53005	5.30	0.0530	260.9	40.4	38.2	2.23	0.86	0.01	68	0.43	0.72	0.79	2.10	0.095	40.88	120.53	2.05	5.42	0.03
	17	55586	5.56	0.0556	324.1	38.7	36.4	2.27	0.70	0.01	70	0.53	0.88	0.97	2.59	0.095	41.71	108.20	3.14	6.72	0.04

Figura 18- Valori di portata e coefficiente udometrico per ogni sottorete/ lotto post- operam con T = 30 anni.

		Caratteristiche del bacino ante-operam T50																			
Sottoreti (SR)	Lotti	Superficie S		Lunghezza asta L	H max	H min	Δh	Pendenza media /	Pendenz a media /	CNII	tL	tp	ta	tb	n	Plorda	S	Pneta	Coefficiente udometrico $u_d$	Portata Qp	
		[m <sup>2</sup> ]	[ha]	[km <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[-]	[-]	[hr]	[hr]	[hr]	[hr]	[-]	[mm]	[mm]	[mm]	[l/s'ha]	[m <sup>3</sup> /s]
1	1	62199	6.22	0.0622	390.3	46.0	41.6	4.39	1.12	0.01	63	0.59	0.98	1.07	2.87	0.095	47.06	149.17	1.78	3.45	0.02
	2	53531	5.35	0.0535	306.0	43.2	39.8	3.41	1.12	0.01	63	0.48	0.81	0.89	2.37	0.095	46.22	149.17	1.62	3.80	0.02
	3	57577	5.76	0.0576	323.7	41.3	37.5	3.79	1.17	0.01	63	0.49	0.82	0.91	2.42	0.095	46.31	149.17	1.64	3.76	0.02
	4	49610	4.96	0.0496	386.1	42.2	39.4	2.85	0.74	0.01	63	0.72	1.19	1.31	3.51	-0.012	47.07	149.17	1.79	2.83	0.01
	5	51000	5.10	0.0510	336.2	39.9	37.1	2.82	0.84	0.01	63	0.60	1.00	1.10	2.95	-0.012	47.17	149.17	1.80	3.40	0.02
	6	26191	2.62	0.0262	279.0	40.1	37.9	2.18	0.78	0.01	63	0.54	0.90	0.98	2.63	0.095	46.67	149.17	1.71	3.61	0.01
	7	35448	3.54	0.0354	265.3	39.4	36.8	2.60	0.98	0.01	63	0.46	0.77	0.84	2.25	0.095	46.00	149.17	1.58	3.89	0.01
	8	45887	4.59	0.0459	302.2	38.1	35.0	3.11	1.03	0.01	63	0.50	0.83	0.91	2.44	0.095	46.35	149.17	1.65	3.74	0.02
2	1	78992	7.90	0.0790	278.6	55.2	44.3	10.84	3.89	0.04	63	0.24	0.40	0.44	1.18	0.095	43.25	149.17	1.11	5.22	0.04
	2	43490	4.35	0.0435	264.6	45.4	43.4	2.04	0.77	0.01	63	0.52	0.86	0.95	2.54	0.095	46.52	149.17	1.68	3.67	0.02
	3	43241	4.32	0.0432	270.6	44.0	41.4	2.55	0.94	0.01	63	0.48	0.80	0.88	2.34	0.095	46.16	149.17	1.61	3.82	0.02
	4	61936	6.19	0.0619	287.1	41.4	38.0	3.40	1.18	0.01	63	0.45	0.74	0.82	2.19	0.095	45.86	149.17	1.55	3.95	0.02
	5	56193	5.62	0.0562	318.7	53.6	43.9	9.76	3.06	0.03	63	0.30	0.50	0.55	1.48	0.095	44.19	149.17	1.26	4.74	0.03
	6	47896	4.79	0.0479	275.7	44.9	42.6	2.32	0.84	0.01	63	0.51	0.85	0.94	2.51	0.095	46.47	149.17	1.67	3.69	0.02
	7	47795	4.78	0.0478	268.2	43.5	40.3	3.19	1.19	0.01	63	0.42	0.70	0.77	2.07	0.095	45.62	149.17	1.51	4.06	0.02
	8	53777	5.38	0.0538	284.2	41.3	37.7	3.55	1.25	0.01	63	0.43	0.72	0.79	2.11	0.095	45.71	149.17	1.53	4.02	0.02
	9	50904	5.09	0.0509	237.8	44.2	41.4	2.77	1.16	0.01	63	0.39	0.65	0.71	1.90	0.095	45.25	149.17	1.44	4.23	0.02
	10	51679	5.17	0.0517	256.9	42.4	39.5	2.92	1.14	0.01	63	0.42	0.69	0.76	2.04	0.095	45.56	149.17	1.50	4.08	0.02
	11	51008	5.10	0.0510	270.0	39.9	37.7	2.22	0.82	0.01	63	0.51	0.85	0.94	2.50	0.095	46.45	149.17	1.67	3.70	0.02
	12	47017	4.70	0.0470	271.4	41.4	39.1	2.34	0.86	0.01	63	0.50	0.83	0.92	2.45	0.095	46.36	149.17	1.65	3.74	0.02
	13	29811	2.98	0.0298	227.6	39.4	37.6	1.80	0.79	0.01	63	0.45	0.76	0.83	2.22	0.095	45.93	149.17	1.57	3.92	0.01
	14	49932	4.99	0.0499	289.7	40.9	38.4	2.52	0.87	0.01	63	0.52	0.87	0.96	2.57	0.095	46.57	149.17	1.69	3.65	0.02
	15	26836	2.68	0.0268	201.3	39.1	37.2	1.92	0.96	0.01	63	0.37	0.62	0.69	1.83	0.095	45.10	149.17	1.42	4.30	0.01
	16	53005	5.30	0.0530	260.9	40.4	38.2	2.23	0.86	0.01	63	0.49	0.81	0.89	2.38	0.095	46.24	149.17	1.62	3.79	0.02
	17	55586	5.56	0.0556	324.1	38.7	36.4	2.27	0.70	0.01	63	0.64	1.07	1.17	3.13	-0.012	47.13	149.17	1.80	3.19	0.02

Figura 19- Valori di portata e coefficiente udometrico per ogni sottorete/ lotto ante- operam con T = 50 anni.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	49

Caratteristiche del bacino post-operam T50																					
Sottoreti (SR)	Lotti	Superficie S		Lunghezza asta L	H max	H min	Δh	Pendenza media i	Pendenz a media i	CNIi	tL	tp	ta	tb	n	Plorda	S	Pnetta	Coefficiente udometrico $u_d$	Portata Qp	
		[m <sup>2</sup> ]	[ha]	[km <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[%]	[°]	[°]	[hr]	[hr]	[hr]	[hr]	[°]	[mm]	[mm]	[mm]	[l/s*ha]	[m <sup>3</sup> /s]	
		1	1	62199	6.22	0.0622	390.3	46.0	41.6	4.39	1.12	0.01	68	0.52	0.86	0.95	2.53	0.095	46.51	120.87	3.48
2	53531		5.35	0.0535	306.0	43.2	39.8	3.41	1.12	0.01	68	0.42	0.71	0.78	2.08	0.095	45.65	119.47	3.35	8.95	0.05
3	57577		5.76	0.0576	323.7	41.3	37.5	3.79	1.17	0.01	68	0.44	0.73	0.80	2.14	0.095	45.78	121.46	3.23	8.37	0.05
4	49610		4.96	0.0496	386.1	42.2	39.4	2.85	0.74	0.01	68	0.63	1.05	1.16	3.09	-0.012	47.14	120.47	3.70	6.65	0.03
5	51000		5.10	0.0510	336.2	39.9	37.1	2.82	0.84	0.01	68	0.53	0.89	0.98	2.62	0.095	46.66	122.11	3.42	7.26	0.04
6	26191		2.62	0.0262	279.0	40.1	37.9	2.18	0.78	0.01	68	0.48	0.79	0.87	2.33	0.095	46.14	121.21	3.35	8.00	0.02
7	35448		3.54	0.0354	265.3	39.4	36.8	2.60	0.98	0.01	68	0.41	0.68	0.75	2.00	0.095	45.49	122.16	3.09	8.58	0.03
8	45887		4.59	0.0459	302.2	38.1	35.0	3.11	1.03	0.01	68	0.44	0.73	0.80	2.15	0.095	45.78	119.76	3.37	8.71	0.04
2	1	78992	7.90	0.0790	278.6	55.2	44.3	10.84	3.89	0.04	67	0.21	0.36	0.39	1.05	0.095	42.77	122.53	2.37	12.55	0.10
	2	43490	4.35	0.0435	264.6	45.4	43.4	2.04	0.77	0.01	67	0.46	0.77	0.85	2.27	0.095	46.02	123.37	3.15	7.71	0.03
	3	43241	4.32	0.0432	270.6	44.0	41.4	2.55	0.94	0.01	67	0.43	0.71	0.79	2.10	0.095	45.68	124.07	3.00	7.96	0.03
	4	61936	6.19	0.0619	287.1	41.4	38.0	3.40	1.18	0.01	67	0.40	0.66	0.73	1.95	0.095	45.36	122.63	3.03	8.63	0.05
	5	56193	5.62	0.0562	318.7	53.6	43.9	9.76	3.06	0.03	68	0.27	0.44	0.49	1.30	0.095	43.66	120.20	2.75	11.75	0.07
	6	47896	4.79	0.0479	275.7	44.9	42.6	2.32	0.84	0.01	68	0.45	0.75	0.82	2.20	0.095	45.90	119.33	3.43	8.66	0.04
	7	47795	4.78	0.0478	268.2	43.5	40.3	3.19	1.19	0.01	68	0.37	0.62	0.68	1.81	0.095	45.05	119.36	3.19	9.79	0.05
	8	53777	5.38	0.0538	284.2	41.3	37.7	3.55	1.25	0.01	68	0.38	0.64	0.70	1.88	0.095	45.20	121.99	3.03	8.97	0.05
	9	50904	5.09	0.0509	237.8	44.2	41.4	2.77	1.16	0.01	68	0.34	0.56	0.62	1.65	0.095	44.66	117.89	3.20	10.75	0.05
	10	51679	5.17	0.0517	256.9	42.4	39.5	2.92	1.14	0.01	68	0.37	0.61	0.67	1.79	0.095	45.00	119.15	3.19	9.92	0.05
	11	51008	5.10	0.0510	270.0	39.9	37.7	2.22	0.82	0.01	68	0.45	0.75	0.82	2.19	0.095	45.88	119.43	3.42	8.66	0.04
	12	47017	4.70	0.0470	271.4	41.4	39.1	2.34	0.86	0.01	68	0.44	0.74	0.81	2.18	0.095	45.84	121.79	3.22	8.22	0.04
	13	29811	2.98	0.0298	227.6	39.4	37.6	1.80	0.79	0.01	68	0.40	0.66	0.72	1.93	0.095	45.33	117.83	3.39	9.75	0.03
	14	49932	4.99	0.0499	289.7	40.9	38.4	2.52	0.87	0.01	68	0.46	0.77	0.85	2.27	0.095	46.02	120.84	3.35	8.20	0.04
	15	26836	2.68	0.0268	201.3	39.1	37.2	1.92	0.96	0.01	69	0.32	0.54	0.59	1.58	0.095	44.47	115.90	3.30	11.62	0.03
	16	53005	5.30	0.0530	260.9	40.4	38.2	2.23	0.86	0.01	68	0.43	0.72	0.79	2.10	0.095	45.69	120.53	3.28	8.67	0.05
	17	55586	5.56	0.0556	324.1	38.7	36.4	2.27	0.70	0.01	70	0.53	0.88	0.97	2.59	0.095	46.62	108.20	4.68	10.03	0.06

Figura 20- Valori di portata e coefficiente udometrico per ogni sottorete/ lotto post- operam con  $T = 50$  anni.

## 6.6. CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO

Le misure di invarianza idraulica sono state dimensionate, come già detto, considerando un evento di pioggia con tempo di ritorno  $T=50$  anni. Viste le dimensioni dei bacini di interesse, per il dimensionamento delle opere, sono state utilizzate le c.p.p. relative a  $t<1$  (cfr. paragrafo 4.2).

Come già anticipato, le trincee drenanti proposte saranno in grado di svuotarsi entro 48 h dall'evento meteorico.

Il volume  $W_{max}$  è quello ottenuto dall'arrotondamento della differenza tra il volume di deflusso calcolato con metodo SCS- CN nella condizione ante e post operam. Di seguito si riportano i calcoli effettuati per ciascuna sottorete in cui l'intero impianto è stato suddiviso, relativi al volume di laminazione e alle portate.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	50

Volumi e Portate di laminazione								
Sottoreti (SR)	Lotti	Q <sub>AO</sub>	Q <sub>PO</sub>	ΔQ	W <sub>AO</sub>	W <sub>PO</sub>	ΔW	Wmax
		[m3/s]	[m3/s]	[m3/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³]
1	1	0.021	0.048	0.026	110.862	216.622	105.759	106.0
	2	0.020	0.048	0.028	86.733	179.310	92.577	93.0
	3	0.022	0.048	0.027	94.260	185.853	91.594	92.0
	4	0.014	0.033	0.019	88.527	183.525	94.999	95.0
	5	0.017	0.037	0.020	91.974	174.595	82.621	83.0
	6	0.009	0.021	0.011	44.717	87.686	42.969	43.0
	7	0.014	0.030	0.017	55.981	109.668	53.687	54.0
	8	0.017	0.040	0.023	75.483	154.372	78.889	79.0
2	1	0.041	0.099	0.058	87.343	187.101	99.758	100.0
	2	0.016	0.034	0.018	72.932	136.922	63.990	64.0
	3	0.017	0.034	0.018	69.575	129.872	60.298	60.5
	4	0.024	0.053	0.029	96.272	187.376	91.104	91.5
	5	0.027	0.066	0.039	70.756	154.625	83.869	84.0
	6	0.018	0.041	0.024	79.913	164.356	84.442	84.5
	7	0.019	0.047	0.027	72.138	152.510	80.372	80.5
	8	0.022	0.048	0.027	82.110	162.920	80.809	81.0
	9	0.022	0.055	0.033	73.458	162.739	89.282	89.5
	10	0.021	0.051	0.030	77.506	164.935	87.429	87.5
	11	0.019	0.044	0.025	84.911	174.362	89.451	89.5
	12	0.018	0.039	0.021	77.501	151.398	73.897	74.0
	13	0.012	0.029	0.017	46.732	101.158	54.426	54.5
	14	0.018	0.041	0.023	84.245	167.074	82.829	83.0
	15	0.012	0.031	0.020	38.006	88.626	50.620	51.0
	16	0.020	0.046	0.026	86.097	173.694	87.596	88.0
	17	0.018	0.056	0.038	99.879	260.271	160.393	160.5

Tabella 6.2- Calcoli relativi al volume di laminazione e portate per tutte le sottoreti.

CODICE ELABORATO	OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
R.2 – RENO753PDRrid004R0	RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA	51

## 7. CONCLUSIONI DELLO STUDIO

Il presente documento ha avuto l'obiettivo di prevedere adeguate opere di drenaggio e di valutare il rispetto dell'invarianza idrologica ed idraulica dell'intervento.

Dall'analisi effettuata emerge inoltre che la realizzazione dell'intervento comporta una modesta variazione delle caratteristiche di permeabilità dell'area: per garantire l'invarianza idraulica delle infrastrutture in progetto; sono stati previsti adeguati volumi di laminazione per ciascuna area di impianto.

Tutto quanto premesso e considerato, è possibile affermare che l'intervento in oggetto, con le misure previste, rispetta i principi dell'invarianza idrologica ed idraulica.