



CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO
COMUNE DI MONREALE



REGIONE SICILIA

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac)
DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"

PROGETTO DEFINITIVO

PROCEDURA DI AUTORIZZAZIONE UNICA REGIONALE di cui all'art. 12 del D.lgs 387/2003 - Linee Guida Decr. MISE 10/09/2010
PROCEDURA DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE PRESSO IL MITE
ai sensi dell'art. 23 del D.Lgs. 152/2006 ricompreso nell'art. 31, comma 6 del D.Lgs. 77/21.

ELABORATO:	CODICE IDENTIFICATIVO	REV
Relazione di calcolo delle opere idrauliche	A.6.2	0
Scala	-	

COMMITTENTE:

Firma/timbro committente

X-ELIO+

X-ELIO VALLEFONDI S.R.L

Corso Vittorio Emanuele II 349 00186 ROMA Tel.+39 06.8412640 – Fax +39 06.8551726

Capitale interamente versato € 10.000,00

Partita IVA e Iscrizione Registro Imprese di Roma n° 16862961006 REA RM-1680337

Società sottoposta a direzione e controllo di X-ELIO Energy, S.L.

xeliovallefondisrl@legalmail.it

PROGETTAZIONE DELLE OPERE

<p>Progettazione</p> <p>A176 LAB Think different project</p>	<p>A176LAB srl Via Madonna dell'Alto Mare n.23 91011 Alcamo (TP) P.IVA 02812750814</p> <p>Ing. Giovanni Gabellone </p>	<p>Consulenti specialistici</p> <p>Studio agronomico – Dott. Agr. Mazzara Vito</p> <p>Studio Geologico – Dott. Geol. Antonino Cacioppo</p> <p>Progettista strutturale – Ing. Vincenzo Agosta</p>
--	---	--



Nome file/doc		A.6.2 - Relazione di calcolo delle opere idrauliche.docx				COD. DOCUMENTO
02						A.6.2
01						
00	Dicembre 2023	Prima emissione	V.AGOSTA	G.LIPARI	G.GABELLONE	FOGLIO
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO	1 DI 23



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"

CODICE DOCUMENTO

TITOLO ELABORATO

PAGINA


A.6.2

RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE

1

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	3
3. IDROLOGIA	6
4. CRITERI DI SCELTA DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI	15
5. VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE D'ARTE	18
5.1 VERIFICA DEI CANALI A CIELO APERTO	18
5.2 VERIFICA DELLE TUBAZIONI INTERRATE	19

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	2

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la progettazione delle opere idrauliche per la regimentazione delle acque piovane all'interno dell'impianto agrivoltaico di potenza pari a 33,2 MWp, sito in contrada Vallefondi, nel Comune di Monreale (TP), a circa 20,00 km a Sud-Ovest dal centro abitato.

Per le caratteristiche geomeccaniche dei terreni si richiama interamente la Relazione geologica redatta dal Dott. Geol. Antonino Cacioppo.


Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto agrivoltaico, con strutture di sostegno moduli in parte del tipo fisse ed in parte del tipo a inseguimento monoassiale, è composto da n. 7 campi della potenza complessiva di picco di 33,2 MWdc, collegati fra loro attraverso una rete di distribuzione interna in alta tensione 36kV, mentre la potenza in immissione dell'impianto presso la rete AT del Gestore di Rete sarà pari a 28 MWac.

L'impianto è dotato di un sistema di storage dell'energia prodotta, di potenza pari a circa 23,3 MW e capacità di accumulo pari a 72 MWh.

Presso l'impianto verranno realizzate le cabine di campo e la cabina principale di impianto, dalla quale si diparte la linea di collegamento di alta tensione interrata verso il punto di consegna.

Nella presente relazione, coerentemente alle previsioni dell'art. 23 del D. Lgs. 50/2016, verranno descritti gli interventi per il drenaggio, la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici interne all'impianto fotovoltaico. Inoltre, verranno esposti le metodologie di calcolo ed i risultati del dimensionamento delle opere previste in progetto.

L'obiettivo alla base dello studio, da cui scaturiscono le scelte progettuali, è quello di convogliare le acque piovane che ruscellano all'interno del parco in uno o più punti di recapito finale, rispettando il deflusso naturale delle acque, senza alterare la morfologia del terreno ed evitando zone in cui si possa verificare un ristagno di acqua. Le scelte progettuali, inoltre, sono state condotte tenendo conto dell'uso agricolo che si farà dei terreni all'interno del parco fotovoltaico, e quindi dell'inserimento di colture e della movimentazione di mezzi agricoli.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	3

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il nuovo impianto agri-voltaico in oggetto insisterà su un lotto di terreni siti in agro del territorio del Comune di Monreale (PA), in località Vallefondi, dall'estensione complessiva di 79,28 ettari (intesa come area perimetrata da recinzione), di cui 59,78 ettari interessati dall'impianto fotovoltaico (inteso come superficie ricoperta dai moduli fotovoltaici) e dalle sue opere accessorie (cabine e viabilità).

Il sito di impianto è in un contesto collinare ricadente all'interno del Bacino Idrografico del Fiume Belice.

Nell'intorno dell'area considerata e internamente all'area di impianto si denota la presenza di segmenti fluviali, organizzati in valloni e canali riconducibili al primo ordine gerarchico, ossia alla prima forma di organizzazione canalizzata dei corsi d'acqua, poco ramificati che captano le acque di deflusso, nonché quelle di esubero provenienti dai numerosi laghetti collinari presenti nell'area e all'interno del sito di impianto e destinati allo stoccaggio della risorsa idrica a servizio delle pratiche agricole.


Il bacino "Belice", con la sua superficie di circa 955 Km², è il 4° per dimensioni fra quelli contenenti corpi idrici significativi, qui costituiti dal fiume omonimo, dal fiume Belice Sinistro e dai laghi artificiali Garcia e Piana degli Albanesi.

Dall'analisi delle relative cartografie tematiche, riferite alla Pericolosità e al Rischio Idraulico per Fenomeni di Esondazione, si evince che l'area di progetto non ricade all'interno di specifica mappatura relativa al Rischio e alla Pericolosità Idraulica per Fenomeni di Esondazione.

La conformazione topografica del territorio è strettamente legata alle proprietà reologiche dei litotipi affioranti, in base alla differente risposta che i vari litotipi offrono alle azioni erosive, determinando le frequenti variazioni di quota che caratterizzano tale territorio.

La morfologia tipica delle zone dove affiorano i terreni lapidei è rappresentata da apprezzabili rilievi, in particolare, con versanti talora molto acclivi, associati ad ampie fasce detritiche di ricoprimento e alla presenza di valli strette e profonde, mentre laddove prevalgono i litotipi plastici e maggiormente erodibili, si denota la contrapposizione dei paesaggi collinari, dai pendii dolci e poco acclivi.

Dal punto di vista morfologico il territorio di Monreale, considerando la macro area in cui si colloca il sito di impianto, è caratterizzato da una netta prevalenza di versanti collinari da poco a mediamente acclivi, mentre affioramenti di rocce lapidee, di natura prevalentemente calcarea, si riscontrano nella estrema porzione orientale del territorio.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	4

Dal punto di vista geologico-tecnico, l'area in oggetto è caratterizzata da:

- un primo strato di alterazione pedogenetica con spessore pari a circa 1,20 m;
- uno strato di argilla limoso-marnosa, con spessore pari a circa 3,20 m;
- un substrato composto da argilla marnosa.

L'unità litostratigrafica individuata è un Complesso dei depositi del bacino numidico. Esso è composto da depositi marnosi e pelitici talora intercalati da banchi di arenarie quarzose. Il complesso presenta una permeabilità molto bassa, con coefficiente di permeabilità $10^{-5} < k < 10^{-7}$ m/s. Si tratta, quindi, di un substrato considerato impermeabile in quanto composto da litologie che presentano una frazione argillosa prevalente e/o perché si presentano in banchi integri e/o con strati calcilutitici alternati o intercalati a livelli marnosi.

Da quanto sopra esposto si evince che nel bacino in studio la circolazione idrica sotterranea risulta piuttosto limitata.

La permeabilità aumenta mediamente laddove si riscontra la presenza delle intercalazioni dei livelli arenaceo-quarzosi e ricche di granuli glauconitici caratterizzati da una permeabilità primaria anche medio-alta e da una modesta permeabilità per fessurazione; in determinate condizioni idrogeologiche. Tali terreni costituiscono spesso degli acquiferi di potenzialità e soggiacenza variabile, caratterizzati talora da falde acquifere sospese, superficiali o a livelli sovrapposti.


Da un punto di vista morfologico l'area in esame, come già detto, è ubicata in un contesto collinare. La porzione dell'impianto posta a Nord-Ovest presenta una quota massima di 413 m ed una quota minima di 370 m. Con tali dislivelli ne deriva una pendenza del terreno in situ compresa tra 14% e 18%, in funzione della lunghezza del tratto.

Nell'area posta a Nord-Est si evidenzia, invece, una quota massima di 454 m ed una quota minima di 420 m. Con tali dislivelli ne deriva una pendenza del terreno in situ compresa tra 11% e 16%, in funzione della lunghezza del tratto.

Infine, nell'area posta a Sud, infine, si riscontrano le minori pendenze, con una quota massima pari a 393 m ed una quota minima pari a 356 m. Con tali dislivelli ne deriva una pendenza del terreno in situ pari al 9%.

Vista la natura geologica dei terreni interessati e la morfologia dei terreni moderatamente acclive, si deduce che le acque piovane presentano valori di energia dinamica (legata al quadrato della velocità dell'acqua stessa) con discreta capacità erosiva.

Al fine di rendere stabile l'area su cui insisterà l'impianto, si rendono necessarie delle opere di regimentazione delle acque.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"	
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO
A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	5

Il reticolo idrografico risulta notevolmente influenzato dalle litologie attraversate; nell'intorno dell'area considerata si denota la presenza di segmenti fluviali, organizzati in valloni e canali riconducibili al primo ordine gerarchico, ossia alla prima forma di organizzazione canalizzata dei corsi d'acqua, poco ramificati, che captano le acque di deflusso.

Per tale motivo la maggior parte di queste incisioni è asciutta durante buona parte dell'anno, in particolar modo nella stagione estiva, rappresentando un impluvio solo per le acque derivanti da episodi piovosi invernali.

3. IDROLOGIA

Individuati gli impluvi ricadenti all'interno dell'area indagata, è possibile definire i diversi sottobacini, cioè le aree che non hanno afflussi e hanno solo un deflusso.

Per l'area in studio sono stati individuati 11 differenti sottobacini che insistono sull'area in esame come si può vedere in *Figura 3.1*

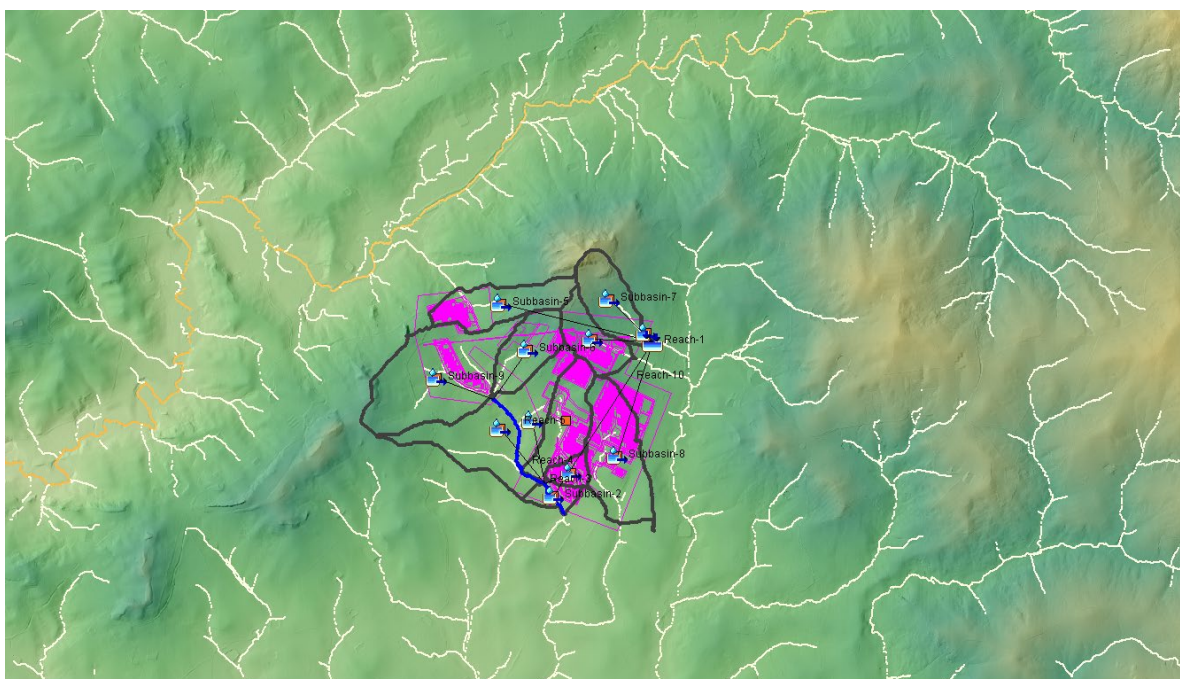


Figura 3.1- Reticolo idrografico e suddivisione dei sottobacini dell'area in studio

Nella tabella seguente si riportano le principali caratteristiche idro-morfometriche dei sottobacini analizzati.


	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	7

Tabella 1- Caratteristiche idro-morfometriche dei sottobacini

Nome	Area [Km ²]	Lunghezza asta [km]	Pendenza del Bacino [%]
<i>Subbasin-9</i>	0.63721	1.37866	13.584
<i>Subbasin-6</i>	0.2094	1.00206	17.895
<i>Subbasin-4</i>	0.54	1.54216	12.269
<i>Subbasin-1</i>	0.2499	1.14909	15.255
<i>Subbasin-18</i>	0.0606	0.57616	8.563
<i>Subbasin-7</i>	0.22559	0.97716	20.743
<i>Subbasin-8</i>	0.39572	1.38486	10.717
<i>Subbasin-5</i>	0.261	1.21124	16.378
<i>Subbasin-15</i>	0.1741	0.9108	15.198
<i>Subbasin-2</i>	0.064	0.51241	11.78
<i>Subbasin-10</i>	0.0025	0.28554	11.237

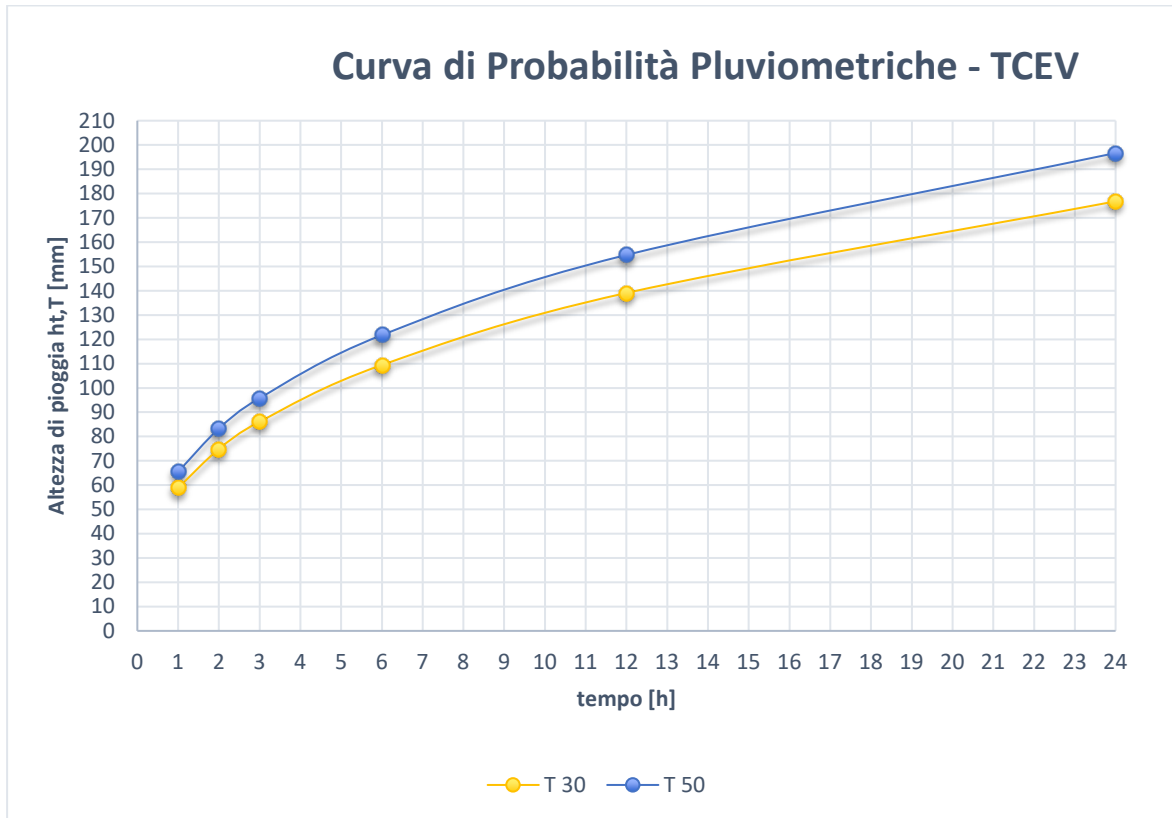
Trattandosi di bacini di modesta estensione, la risposta idrologica è condizionata da brevi tempi di corrivazione e, pertanto, le precipitazioni rilevanti sono quelle d'intensità elevata e breve durata.

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.

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).

Le portate di massima piena sono state valutate, attraverso modelli matematici, a partire dall'afflusso meteorico nei sottobacini e alla successiva trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi.

Gli afflussi meteorici sono stati valutati con la metodologia TCEV, ottenendo le curva di probabilità pluviometrica di seguito riportate per tempi di ritorno pari a 30 e 50 anni:



Con il Metodo dell'Idrogramma Unitario di piena del Soil Conservation Service si è potuto trasformare gli afflussi in deflussi. Il calcolo delle portate di piena alla sezione di chiusura di ciascun sottobacino per ciascun tempo di ritorno è stato eseguito considerando gli eventi di pioggia sintetici elaborati con il metodo delle TCEV (Frequency storm), considerando un evento critico pari al tempo di corrivazione.

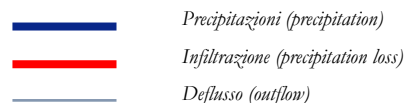
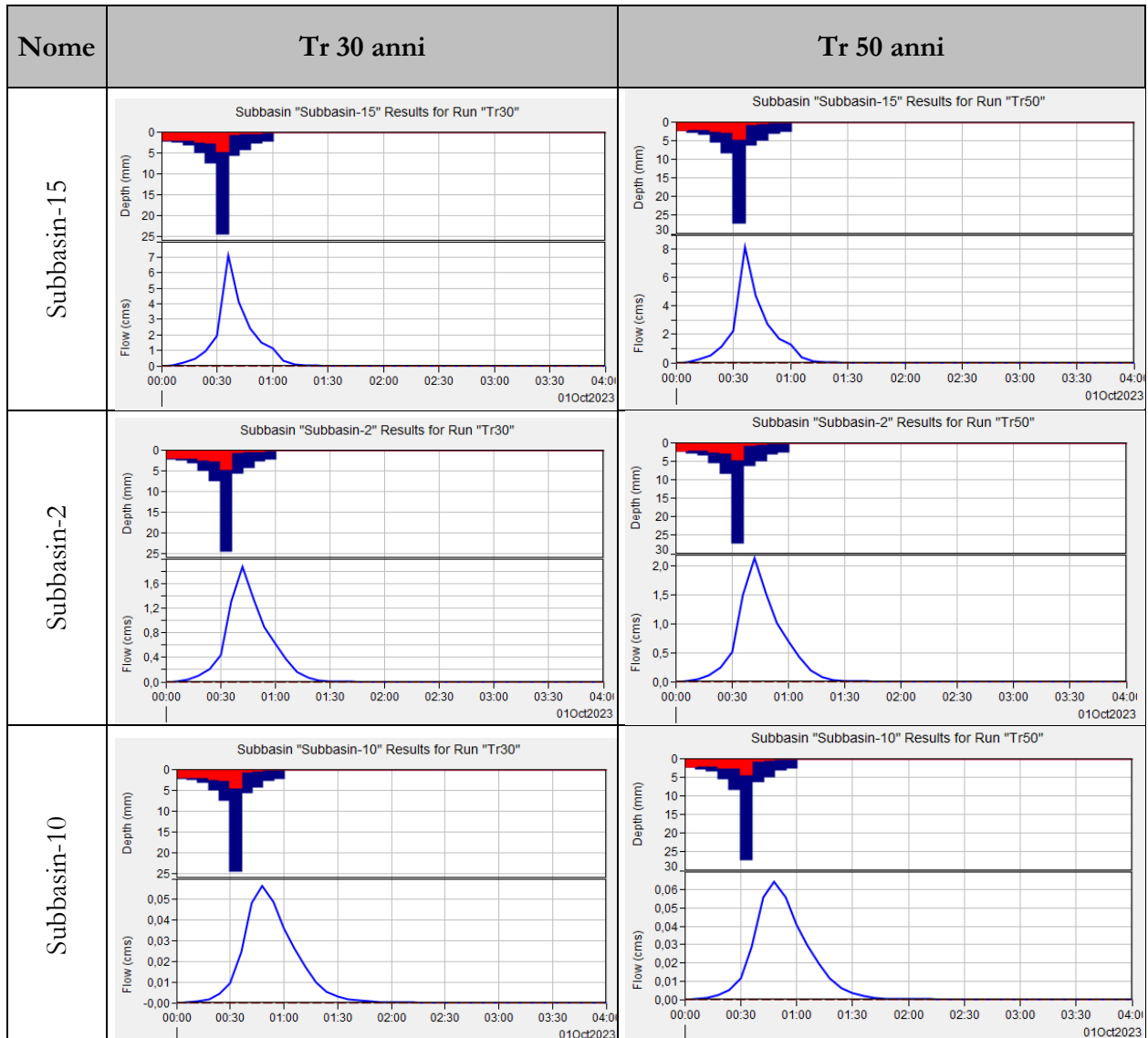
Di seguito vengono riportati i pluviogrammi calcolati per ogni sottobacino dell'area investigata:



Nome	Tr 30 anni	Tr 50 anni
Subbasin-9		
Subbasin-6		
Subbasin-4		
Subbasin-1		




Nome	Tr 30 anni	Tr 50 anni
Subbasin-18		
Subbasin-7		
Subbasin-8		
Subbasin-5		



Vale la pena ricordare che il tempo di corrivazione t_c è definito come “il tempo richiesto ad una singola particella d’acqua per raggiungere, dal punto più distante, la sezione di chiusura del bacino”. Sostanzialmente esso indica l’istante nel quale tutto il bacino sotteso dalla sezione di riferimento contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso; se infatti la durata della pioggia t risulta inferiore a t_c le porzioni più distanti del bacino alla fine della precipitazione (istante t) non avranno ancora contribuito al deflusso nella sezione di chiusura e quando questo avverrà le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno già smesso di contribuire.

Di conseguenza, più piccolo sarà il bacino minore sarà il valore del tempo di corrivazione.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	12

Per quanto sopra detto, la pioggia di durata pari al tempo di corrivazione è, quindi, quella critica.

Tale pioggia ic, avendo la durata minima capace di determinare il contributo di tutta la superficie, è anche la più intensa. L'intensità della pioggia critica sarà, dunque:

$$i_T = \frac{h_c}{t_c}$$

dove h_c è l'altezza di pioggia dedotta dalla curva di probabilità pluviometrica per dato tempo di ritorno T proprio in corrispondenza alla durata t_c .

Minori saranno le dimensioni del bacino, minore sarà il tempo di corrivazione e, per contro, maggiore sarà il valore di i_T .

Trattandosi di piccoli bacini, la portata di piena in corrispondenza della sezione di chiusura può essere valutata tramite la formula razionale:

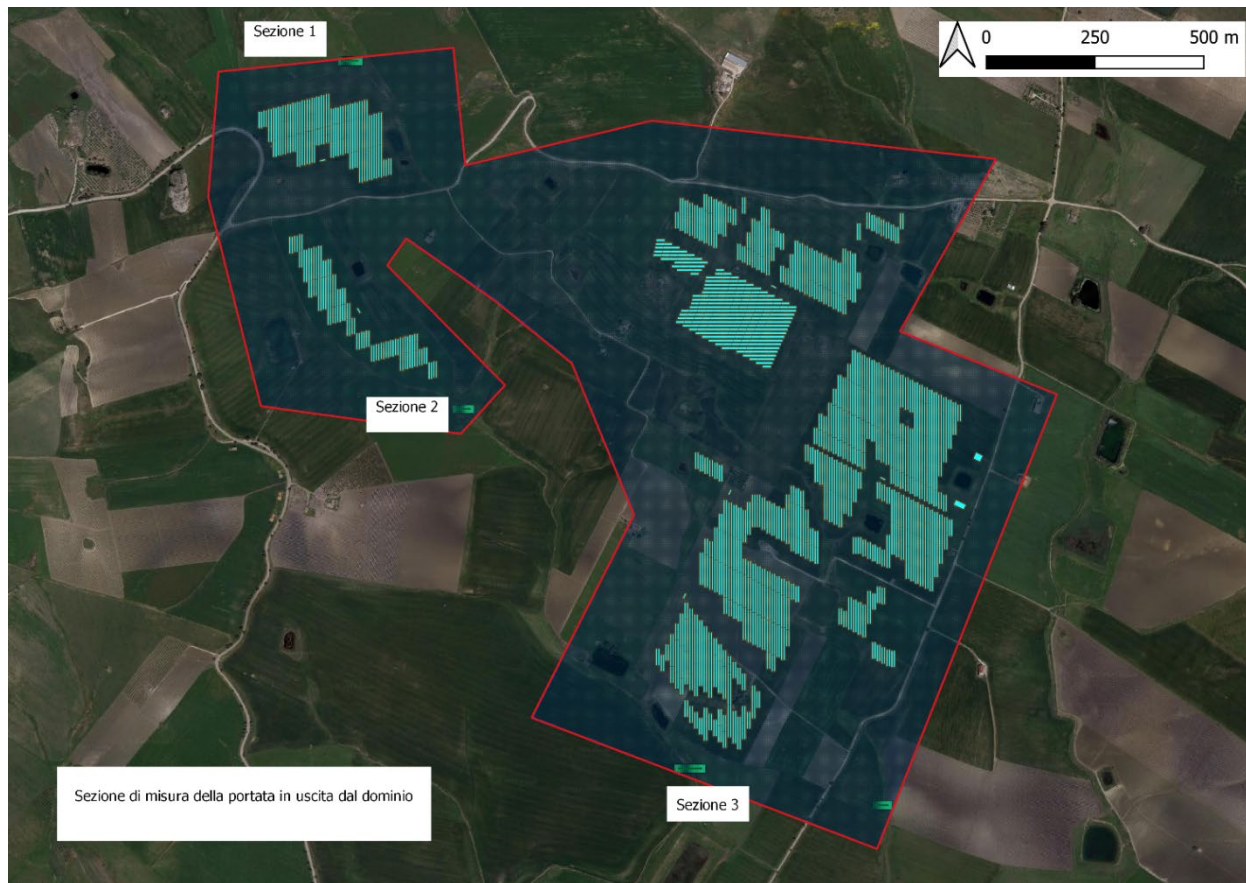
$$Q_T = \frac{C i_T A}{3,6}$$

dove:

- A è la superficie del bacino idrografico in km^2 ;
- C è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- $3,6$ è un coefficiente correttivo.

La valutazione della portata massima di piena permette di risalire alle quantità di acqua che le opere idrauliche devono smaltire e, di conseguenza, effettuare il loro dimensionamento.

Dallo studio del rilievo topografico di dettaglio e delle linee di massima pendenza, è stato possibile individuare tre principali sezioni di misura in prossimità del confine dell'area interessata dalla realizzazione dell'impianto fotovoltaico, evidenziate nell'immagine seguente.



Per poter dimensionare le opere idrauliche, si rende necessario determinare per ognuna delle sezioni di chiusura il valore massimo di portata. Il calcolo viene, inoltre, condotto considerando tre diversi scenari: Stato di fatto, semi-impermeabilizzazione (impianto realizzato) e mitigazione (vegetazione ricostituita al di sotto delle strutture).

Assunto un tempo di ritorno pari a 50 anni e una durata dell'evento meteorico pari a 3 ore, si determinano i diversi valori di portata.




Tempo [ore]	scenario 1 T=50 anni			Tempo [ore]	scenario 2 T=50 anni			Tempo [ore]	scenario 3 T=50 anni		
	Portata [m3/sec]				Portata [m3/sec]				Portata [m3/sec]		
	Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3		Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3		Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0
0.2	0	0	0	0.2	0	0	0	0.2	0	0	0
0.3	0	0	0	0.3	0	0	0	0.3	0	0	0
0.4	0	0	0	0.4	0	0	0	0.4	0	0	0
0.5	0	0	0	0.5	0	0	0	0.5	0	0	0
0.6	0.1	0.03	0.01	0.6	0.09	0.03	0.01	0.6	0.09	0.03	0.01
0.7	0.85	0.34	0.14	0.7	0.9	0.42	0.18	0.7	0.8	0.27	0.13
0.8	1.02	1.82	0.3	0.8	1.21	2.01	0.41	0.8	1	1.7	0.28
0.9	0.78	2.12	0.29	0.9	0.98	2.21	0.33	0.9	0.75	2.07	0.28
1	0.63	1.76	0.24	1	0.78	1.83	0.25	1	0.6	1.77	0.24
1.1	0.49	1.68	0.19	1.1	0.6	1.69	0.23	1.1	0.47	1.65	0.19
1.2	0.34	1.27	0.14	1.2	0.38	1.2	0.89	1.2	0.32	1.24	0.13
1.3	0.24	0.91	0.09	1.3	0.23	0.84	0.76	1.3	0.22	0.9	0.09
1.4	0.18	0.67	0.06	1.4	0.15	0.65	0.63	1.4	0.17	0.67	0.06
1.5	0.14	0.55	0.04	1.5	0.09	0.5	0.48	1.5	0.13	0.55	0.04
1.6	0.11	0.42	0.03	1.6	0.05	0.39	0.36	1.6	0.1	0.42	0.03
1.7	0.08	0.35	0.02	1.7	0.02	0.32	0.29	1.7	0.08	0.34	0.02
1.8	0.07	0.28	0.02	1.8	0.01	0.27	0.36	1.8	0.06	0.28	0.02
1.9	0.05	0.25	0.02	1.9	0.01	0.23	0.35	1.9	0.05	0.25	0.02
2	0.04	0.21	0.01	2	0.01	0.19	0.3	2	0.04	0.2	0.01
2.1	0.04	0.17	0.04	2.1	0.01	0.16	0.25	2.1	0.03	0.18	0.01
2.2	0.03	0.15	0.06	2.2	0.01	0.14	0.2	2.2	0.03	0.15	0.01
2.3	0.03	0.13	0.06	2.3	0	0.12	0.19	2.3	0.02	0.13	0.03
2.4	0.02	0.12	0.06	2.4	0	0.1	0.18	2.4	0.02	0.11	0.05
2.5	0.02	0.1	0.06	2.5	0	0.09	0.17	2.5	0.02	0.1	0.05
2.6	0.02	0.09	0.05	2.6	0	0.08	0.15	2.6	0.02	0.09	0.05
2.7	0.01	0.08	0.05	2.7	0	0.07	0.14	2.7	0.01	0.08	0.05
2.8	0.01	0.07	0.05	2.8	0	0.06	0.13	2.8	0.01	0.07	0.05
2.9	0.01	0.06	0.04	2.9	0	0.05	0.11	2.9	0.01	0.06	0.04
3	0.01	0.05	0.04	3	0	0.05	0.1	3	0.01	0.05	0.04
3.1	0.01	0.05	0.04	3.1	0	0.04	0.09	3.1	0.01	0.05	0.03
3.2	0.01	0.04	0.03	3.2	0	0.04	0.08	3.2	0.01	0.04	0.03
3.3	0.01	0.04	0.03	3.3	0	0.03	0.08	3.3	0.01	0.04	0.03
3.4	0.01	0.03	0.03	3.4	0	0.03	0.07	3.4	0.01	0.03	0.03
3.5	0.01	0.03	0.03	3.5	0	0.03	0.07	3.5	0.01	0.03	0.03
3.6	0.01	0.03	0.03	3.6	0	0.02	0.07	3.6	0.01	0.03	0.03
3.7	0.01	0.02	0.03	3.7	0	0.02	0.06	3.7	0.01	0.02	0.03
3.8	0.01	0.02	0.03	3.8	0	0.02	0.06	3.8	0.01	0.02	0.03
3.9	0	0.02	0.03	3.9	0	0.02	0.06	3.9	0	0.02	0.03
4	0	0.02	0.03	4	0	0.02	0.05	4	0	0.02	0.03

Di seguito si riportano i valori massimi delle portate desunti dalla tabella precedente.

Portata massima Q [m ³ /sec]		
Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3
1.21	2.21	0.89

In uscita dal sottocampo PS6, le acque verranno convogliate verso un impluvio naturale. Per cui non si prevede l'esecuzione di ulteriori canali di gronda. Il dimensionamento viene, quindi, condotto per le portate in uscita dalle sezioni 1 e 3.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	15

4. CRITERI DI SCELTA DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI

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

Come già detto in premessa, l'obiettivo alla base dello studio, da cui scaturiscono le scelte progettuali, è quello di convogliare le acque piovane che ruscellano all'interno del parco in uno o più punti di recapito finale, rispettando il deflusso naturale delle acque, senza alterare la morfologia del terreno ed evitando zone in cui si possa verificare un ristagno di acqua. Le scelte progettuali, inoltre, sono state condotte tenendo conto dell'uso agricolo che si farà dei terreni all'interno del parco fotovoltaico, e quindi dell'inserimento di colture e della movimentazione di mezzi agricoli.

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

Le opere in progetto sono tali da interferire il meno possibile con il naturale deflusso delle acque e con precedenti interventi di canalizzazione delle acque piovane. Per tale motivo, si è cercato di usare i punti di raccolta e scarico esistenti senza crearne di nuovi e mettendo ordine nel sistema di collettamento e scarico. Inoltre, le opere previste sono quasi sempre delle opere idrauliche a cielo aperto, con limitata profondità, e solo in casi particolari si è ricorso a tubazioni interrato.


Al fine di poter procedere alle più consone scelte progettuali, si è cercato di soddisfare i seguenti punti:

- Individuazione del bacino scolante nelle diverse aree dell'impianto;
- Valutazione delle portate massime convogliate nelle diverse aree, partendo dallo studio idrologico allegato;
- Verifica e progettazione delle opere idrauliche.

Le tipologie di intervento previste in progetto sono:

- Realizzazione di cunette laterali alla viabilità di progetto a sezione trapezia in terra;
- Realizzazione di fossi di guardia a sezione trapezia in terra.
- Realizzazione di attraversamenti stradali con tubazione interrata in PEAD.

Come si evince, la maggior parte delle opere previste è in terra e non prevede messa in opera di conglomerati cementizi o tubazioni rigide, se non in alcuni brevi tratti. Tale scelta è stata fatta per una

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	16

migliore gestione delle intersezioni tra i diversi manufatti nei punti in cui si vogliono raccogliere le acque.

Da un punto di vista morfologico l'area in esame, come già detto, è ubicata in un contesto collinare.

La porzione dell'impianto posta a Nord-Est presenta le maggiori pendenze, con una quota massima di 454 m ed una quota minima di 420 m. Con tali dislivelli ne deriva una pendenza del terreno in situ compresa tra 11% e 16%, in funzione della lunghezza del tratto.

È, quindi, plausibile ritenere che le acque meteoriche scorrono sul terreno seguendo la pendenza naturale del terreno senza provocare fenomeni di ristagno. Per tale motivo, si prevedono unicamente dei canali (canaletta Tipo C1) che permetteranno di convogliare le acque raccolte che defluiscono da monte negli impluvi naturali esistenti. Si prevedono, inoltre, delle cunette poste lungo i bordi delle strade interne, al fine di regimentare le acque, prevenendo il dilavamento e il deterioramento della viabilità stessa.

Solo in una porzione dell'impianto posta ad Est, all'interno del sottocampo PS3, si evidenziano zone con una pendenza modesta che favorisce il ristagno di acqua. In tale area, si prevedono, quindi, dei fossi di guardia al piede delle strutture fotovoltaiche, che tagliano le curve di livello, raccogliendo l'acqua ruscellante e convogliando, infine, verso un canale del Tipo C1. Quest'ultimo, convoglierà l'acqua raccolta all'interno di un laghetto collinare esistente all'interno dell'area di impianto.


Nell'area posta a Nord, nel sottocampo PS7, si evidenzia, invece, una quota massima di 413 m ed una quota minima di 370 m. Con tali dislivelli ne deriva una pendenza del terreno in situ compresa tra 14% e 18%, in funzione della lunghezza del tratto.

Anche in questo caso, le acque piovane non daranno luogo a fenomeni di ristagno. Considerata anche l'orografia del terreno e la presenza di punti recettori esistenti, si prevede di realizzare dei fossi di guardia F1 paralleli ai tracker che convoglieranno l'acqua raccolta nelle canalette C1.


Discorso analogo vale anche per il sottocampo PS6.

Infine, nell'area posta a Sud, infine, si riscontrano le minori pendenze, con una quota massima pari a 393 m ed una quota minima pari a 356 m. Con tali dislivelli ne deriva una pendenza del terreno in situ pari al 9%.

Anche in questo, è plausibile ritenere che le acque meteoriche scorrono sul terreno seguendo la pendenza naturale del terreno senza provocare fenomeni di ristagno. Per tale motivo, si prevedono unicamente dei canali (canaletta Tipo C1) che permetteranno di convogliare le acque raccolte che defluiscono da monte negli impluvi naturali esistenti. Si prevedono, inoltre, delle cunette poste lungo i bordi delle strade interne, al fine di regimentare le acque, prevenendo il dilavamento e il deterioramento della viabilità stessa.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"	
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO
A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	17

Laddove si è reso necessario attraversare la sede stradale, ed in corrispondenza di alcuni tratti terminali in prossimità dello scarico delle acque all'esterno dell'impianto, si sono previste delle tubazioni interrate in PEAD DN300.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITA' VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	18

5. VERIFICA IDRAULICA DELLE OPERE D'ARTE

5.1 VERIFICA DEI CANALI A CIELO APERTO

Il progetto prevede la realizzazione di fossi di guardia e canalette di dimensioni diverse: quelli con sezione maggiore saranno posti prevalentemente lungo il perimetro esterno dell'impianto, in quanto aventi la funzione di captare le acque che scorrono sul terreno e convogliarle verso il più vicino corpo idrico recettore, mentre quelli con sezione minore saranno posti all'interno dell'impianto, in prossimità dei trackers, per meglio convogliare le acque verso un canale di maggiori dimensioni.

Non essendo le pendenze all'interno dell'impianto elevate, si ritiene che non si verificheranno fenomeni erosivi dei fossi stessi e per tale motivo non si prevede il loro rivestimento.

Poiché le acque che scorrono in essi saranno a pelo libero, il dimensionamento di tali opere verrà condotto facendo riferimento alla formula di Chezy:

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

dove:

- Q è la portata che defluisce attraverso il fosso di guardia;
- χ è il coefficiente di scabrezza di Chezy;
- A è l'area della sezione bagnata;
- R è il raggio idraulico, dato dal rapporto tra la sezione bagnata ed il perimetro bagnato;
- i è la pendenza del canale.


Per il valore del coefficiente χ , nell'ipotesi di moto puramente turbolento, si è scelto di usare la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s R^{1/6}$$

in cui k_s è l'indice di scabrezza di Gauckler-Strickler che si assume pari a $37 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ (corrispondente a canali in terra con erba corta e pochi cespugli).

Per quanto riguarda la pendenza del canale, al fine di non modificare l'orografia del terreno e limitare anche le attività di scavo, si pone in prima approssimazione pari al 3%.

Si considera un canale realizzato in terra, avente larghezza alla base pari a 60 cm e sponde inclinate di 70° rispetto all'orizzontale.

	PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E DELLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE DI DISTRIBUZIONE AT, SITO NEL COMUNE DI MONREALE (PA), LOCALITÀ VALLEFONDI, AVENTE POTENZA DI PICCO DC PARI A 33,2 MWp (potenza in immissione pari a 28 MWac) - DENOMINAZIONE IMPIANTO "VALLEFONDI"		
	CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
	A.6.2	RELAZIONE DI CALCOLO DELLE OPERE IDRAULICHE	19

h [m]	A [m ²]	P [m]	R [m]	ks	Φ [m ^{1/3} s ⁻¹]	i [%]	Q [m ³ /sec]
0.1	0.064	0.813	0.078	37	24.200	0.03	0.075
0.2	0.135	1.026	0.131	37	26.375	0.03	0.223
0.3	0.213	1.239	0.172	37	27.587	0.03	0.421
0.4	0.298	1.451	0.205	37	28.423	0.03	0.666
0.5	0.391	1.664	0.235	37	29.065	0.03	0.954
0.6	0.491	1.877	0.262	37	29.590	0.03	1.287
0.7	0.598	2.090	0.286	37	30.038	0.03	1.666
0.8	0.713	2.303	0.310	37	30.433	0.03	2.091
0.9	0.835	2.516	0.332	37	30.787	0.03	2.564
1	0.964	2.728	0.353	37	31.110	0.03	3.087
1.1	1.100	2.941	0.374	37	31.408	0.03	3.662
1.2	1.244	3.154	0.394	37	31.686	0.03	4.288

Considerati, quindi, i valori massimi delle portate, di seguito riportate nuovamente

Portata massima Q [m ³ /sec]		
Sezione 1	Sezione 2	Sezione 3
1.21	2.21	0.89

la verifica della sezione 1 e 3 è positiva con un tirante idrico pari a 0,60 m.

In entrambi i casi si prevede un franco di 15 cm, pervenendo così alla profondità totale del canale.

Per maggiori dettagli si rimanda alla tavola B.4.11.7.

5.2 VERIFICA DELLE TUBAZIONI INTERRATE

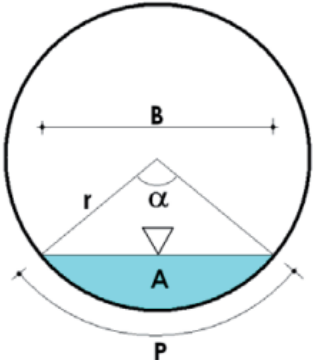
In alcuni tratti, quali attraversamenti stradali, ed in corrispondenza dei tratti terminali in prossimità dello scarico delle acque all'esterno dell'impianto, si renderà necessario realizzare delle tubazioni interrato.

In prima ipotesi, nei problemi ingegneristici, di progetto e verifica, di questo particolare tipo di opere, il moto dell'acqua si considera uniforme. Si ammette, cioè, che i caratteri cinematici della corrente, caratterizzata da traiettorie rettilinee e parallele, siano costanti nel tempo (trattasi, dunque, di un particolare *moto permanente*) e nello spazio come avviene, appunto, in una condotta, ad asse rettilineo, percorsa da una portata costante, in assenza di salti di fondo, curve o variazioni di sezione e da ogni altra possibile causa di perturbazione.

Supponendo, quindi, che il moto sia uniforme e turbolento, caratterizzato, cioè, da resistenze dovute, prevalentemente, alla turbolenza e non alla viscosità, la portata e la velocità massima nella condotta possono essere determinate ancora una volta tramite la formula di Chézy:

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

Le grandezze caratteristiche della sezione idraulica si possono determinare tramite le funzioni trigonometriche di un segmento circolare, riportate nella immagine seguente:

Tipo di sezione CIRCOLARE	Area bagnata A	Perimetro bagnato P	Larghezza pelo libero B
$\alpha = 2 \arccos (1 - 2 \cdot h/D)$ 	$\frac{D^2}{8} (\alpha - \sin \alpha)$	$\frac{D}{2} \cdot \alpha$	$D \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$

Per il dimensionamento della sezione della tubazione interrata, si considera il valore di portata della sezione 2, essendo le tubazioni interrate previste solo nei sottocampi PS5, PS2 e PS1

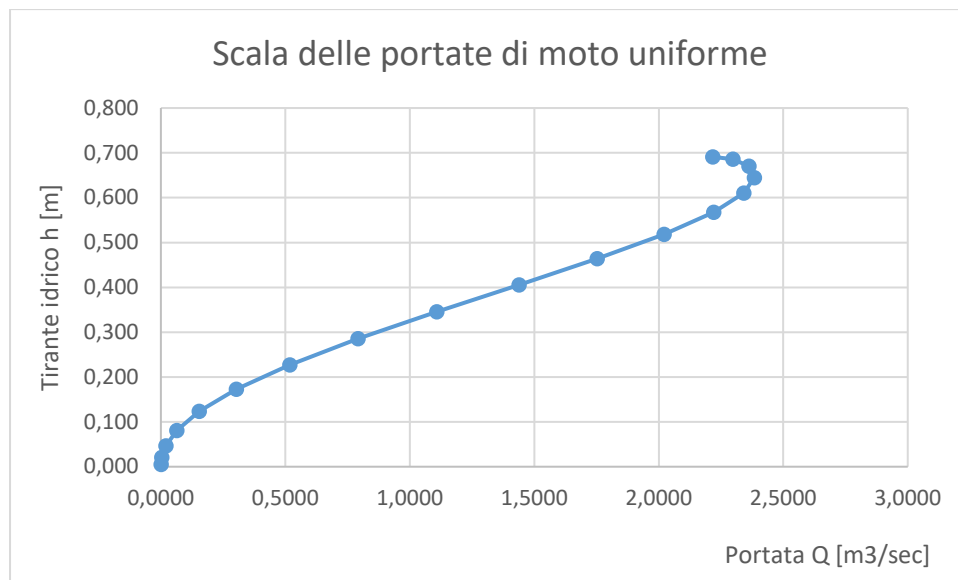
Nella situazione in progetto si prevede di realizzare delle tubazioni interrate con tubi in PEAD aventi DN800. Tali tubazioni presentano spessore interno della parete pari a 54,5 mm ed un diametro interno pari a 691 mm.

Trattandosi di tubazioni in PEAD inderidibili, il coefficiente di Gauckler-Strickler si assume pari a $110 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$.

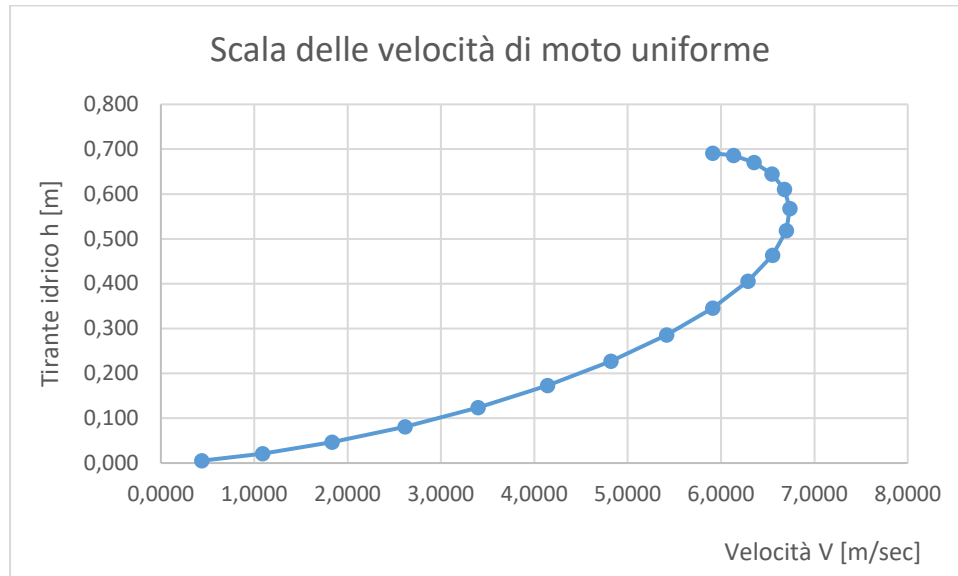
Si fissa, infine, la pendenza della tubazione pari al 3%.

Note tutte le grandezze idrauliche riportate nella formula di Chezy, si passa alla determinazione delle portate convogliate dalla condotta per dato tirante idrico h. I risultati sono riportati nella tabella seguente, che in forma grafica fornisce la scala delle portate di moto uniforme:

a [gradi]	a [rad]	A[m ²]	P [m]	B [m]	h [m]	h/D	i [%]	R [m]	ks	f [m ^{1/3} *s ⁻¹]	Q [m ³ /sec]	V [m/sec]
20	0.349	0.000	0.121	0.120	0.005	0.008	0.03	0.003	110	42.8350	0.0002	0.4381
40	0.698	0.003	0.241	0.236	0.021	0.030	0.03	0.014	110	53.8044	0.0036	1.0906
60	1.047	0.011	0.362	0.346	0.046	0.067	0.03	0.030	110	61.2782	0.0198	1.8349
80	1.396	0.025	0.482	0.444	0.081	0.117	0.03	0.051	110	66.9661	0.0643	2.6170
100	1.745	0.045	0.603	0.529	0.123	0.179	0.03	0.075	110	71.4773	0.1542	3.3967
120	2.094	0.073	0.724	0.598	0.173	0.250	0.03	0.101	110	75.1059	0.3036	4.1407
140	2.443	0.107	0.844	0.649	0.227	0.329	0.03	0.127	110	78.0190	0.5182	4.8215
160	2.793	0.146	0.965	0.681	0.286	0.413	0.03	0.152	110	80.3228	0.7922	5.4167
180	3.142	0.188	1.085	0.691	0.346	0.500	0.03	0.173	110	82.0910	1.1081	5.9097
200	3.491	0.229	1.206	0.681	0.405	0.587	0.03	0.190	110	83.3799	1.4388	6.2897
220	3.840	0.268	1.327	0.649	0.464	0.671	0.03	0.202	110	84.2363	1.7529	6.5521
240	4.189	0.302	1.447	0.598	0.518	0.750	0.03	0.208	110	84.7029	2.0209	6.6985
260	4.538	0.330	1.568	0.529	0.568	0.821	0.03	0.210	110	84.8227	2.2205	6.7364
280	4.887	0.350	1.688	0.444	0.610	0.883	0.03	0.208	110	84.6417	2.3407	6.6791
300	5.236	0.364	1.809	0.346	0.645	0.933	0.03	0.201	110	84.2122	2.3835	6.5446
320	5.585	0.372	1.930	0.236	0.670	0.970	0.03	0.193	110	83.5951	2.3622	6.3549
340	5.934	0.375	2.050	0.120	0.686	0.992	0.03	0.183	110	82.8613	2.2980	6.1346
360	6.283	0.375	2.171	0.000	0.691	1.000	0.03	0.173	110	82.0910	2.2162	5.9097



Come è facile notare, nelle sezioni chiuse, la portata Q cresce fino ad un valore massimo e poi decresce così come anche la scala delle velocità, che presenta un punto di massimo, oltre il quale si ha una diminuzione della velocità media V:



Al fine di evitare un eccessivo riempimento della condotta in corrispondenza di eventi di pioggia eccezionali, il corretto dimensionamento della sezione prevede di considerare un franco, tra il pelo libero della corrente e la generatrice superiore della sezione. Per condotte circolari chiuse, solitamente, si considera sufficiente un franco pari al 20 % ÷ 30 %

Nello stesso tempo, la condotta deve avere una sezione ed una pendenza tali che la velocità della corrente non sia troppo bassa, al fine di evitare la sedimentazione del materiale solido trasportato dalla corrente.

Per la sezione scelta, si deve considerare un franco di circa 100 mm. Di conseguenza, in corrispondenza della portata massima convogliata dalla condotta, il tirante idrico dovrà essere pari a circa 600 mm.

Dalle tabelle precedenti si ricava:

a [gradi]	a [rad]	A[m ²]	P [m]	B [m]	h [m]	h/D	i [%]	R [m]	ks	f [m ^{1/3} *s ⁻¹]	Q [m ³ /sec]	V [m/sec]
260	4.538	0.330	1.568	0.529	0.568	0.821	0.03	0.210	110	84.8227	2.2205	6.7364

Come si evince, la verifica è soddisfatta sia in termini di portata massima che di velocità massima.