



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 idrologica ed idraulica	A.6.1	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

Progettazione

**A176
LAB**
Think different project

A176LAB srl

Via Madonna dell'Alto Mare n.23
91011 Alcamo (TP)
P.IVA 02812750814

Ing. Giovanni Gabellone




Consulenti specialistici

Studio agronomico – Dott. Agr. Mazzara Vito

Studio Geologico – Dott. Geol. Antonino Cacioppo


Progettista strutturale – Ing. Vincenzo Agosta

Nome file/doc		A.6.1 - Relazione idrologica e idraulica.docx				COD. DOCUMENTO
02						A.6.1
01						
00	Dicembre 2023	Prima emissione	V.AGOSTA	G.LIPARI	G.GABELLONE	FOGLIO
REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA	REDATTO	APPROVATO	AUTORIZZATO	1 DI 37

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		2

INDICE

1	Premessa.....	3
2	ASPETTI IDROLOGICI	4
2.1	Analisi delle precipitazioni intense	4
2.2	Two Component Extreme Value [TCEV]	4
2.3	PIOGGE BREVI.....	9
3	MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	12
3.1	Modello idrologico HEC-HMS.....	12
3.2	Soil Conservation Service (SCS) - Curve Number.....	14
3.3	Trasformazione afflussi deflussi.....	15
4	MODELLAZIONE IDRAULICA	20
4.1	Modello bidimensionale FLO-2D	20
4.2	Schematizzazione idraulica del bacino.....	23
4.2.1	Definizione della scabrezza	24
4.2.2	Condizioni al contorno.....	24
5	RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO.....	26
5.1	Scenario 1 - Stato di fatto.....	28
5.2	Scenario 2 - semi impermeabilizzazione	30
5.3	Scenario 3 - mitigazione.....	31
5.4	Invarianza idraulica.....	32

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	3

1 Premessa

Il presente documento propone lo studio idraulico di propagazione delle acque di pioggia, nel rispetto del principio dell'invarianza idraulica – idrologica di cui al D.D.G. n.102 del 23/06/2021.


L'invarianza idraulica è il principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico, scaricate dalle aree antropizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'antropizzazione, altresì l'invarianza idrologica è il principio in base al quale non solo le portate, ma anche i volumi di deflusso meteorico non debbano essere maggiori di quelli preesistenti.

Qualora infatti una superficie naturale viene trasformata a seguito di opere civili e se, in tutto o in parte, il terreno viene impermeabilizzato, se ne riduce la superficie permeabile e di conseguenza si viene a ridurre la quantità d'acqua che viene assorbita dal terreno, riducendo i volumi naturali d'invaso e riducendo il tempo di corrivazione, ovvero il tempo che impiega l'acqua a ruscellare verso il recapito finale. Tutto questo genera un incremento delle portate defluenti comportando un sovraccarico idraulico dei ricettori finali, non essendo più in grado di far defluire correttamente la portata.

Le misure di invarianza idraulica ed idrologica si applicano su tutto il territorio regionale per promuovere la partecipazione di ogni proponente agli oneri connessi all'impatto idrico e ambientale nonché all'incremento del rischio idraulico conseguente ad alcuni interventi, e per tutti i tipi di permeabilità del suolo, seppure con calcoli differenziati in relazione alla natura del suolo e all'importanza degli interventi. Il presente lavoro è stato redatto secondo i principali aspetti normativi vigenti riportati nel D.D.G. n. 102 del 23 giugno 2021 (Allegati 1 e 2) pubblicata in G.U.R.S. Parte I, n.30 del 06/07/2021.

Sono stati calcolati e verificati i modelli di pioggia estremi sintetici, aggiornati sulla più recente bibliografia disponibile. Sono stati sviluppati i modelli idrologici dell'area con software HEC-HMS per i tempi di ritorno pari a 30 e 50 anni. Successivamente, sono stati sviluppati 3 scenari bidimensionali di propagazione delle piogge con il modello idraulico FLO2d, come di seguito specificato:

- Il primo scenario ha simulato la condizione ante-opera, facendo propagare le piogge di progetto sull'area in studio nelle condizioni attuali di uso del suolo.
- Il secondo ha verificato lo stadio di massimo impatto delle opere in progetto, considerando l'interazione tra i pannelli fotovoltaici, le piogge di progetto ed un suolo compattato e non inerbito.
- Il terzo scenario ha preso in considerazione l'inserimento di interventi di mitigazione di invarianza idraulica. Analogamente al secondo scenario, sono stati fatti interagire i pannelli fotovoltaici e le piogge di progetto. Sono stati presi in considerazione un suolo inerbito e piantumato con essenze a basso fusto.

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	4

2 ASPETTI IDROLOGICI

2.1 Analisi delle precipitazioni intense

La determinazione dell'altezza di pioggia e dell'intensità della pioggia delle aree analizzate è stata eseguita attraverso la ricostruzione di eventi "sintetici" calcolati secondo la legge di distribuzione a doppia componente TCEV seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici, messa a punto dall'Università degli Studi di Palermo nella pubblicazione "*Regional frequency analysis of extreme precipitation in Sicily, Italy*" (Lo Conti et al., 2007).

2.2 Two Component Extreme Value [TCEV]

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


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

La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata *componente base*, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (*componente straordinaria*) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica). La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto VAPI Sicilia (Ferro e Cannarozzo, 1993) utilizzando la modellazione introdotta da Lo Conti et al., 2007. 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 il coefficiente di asimmetria teorico G_t delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per la regione Sicilia. La Sicilia si può pertanto ritenere una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri $\Theta^* = 2.24$ e $\Lambda^* = 0.71$ sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

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

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		5

Il *secondo livello di regionalizzazione* riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee: Z_0-Z_5 , Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 (Figura 2.1). A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro λ_1 (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo Λ_1 (Tabella 1), che risulta indipendente dalla durata. Le sottozone Z_0 e Z_5 , possono anche essere "unite" e considerate come una sottozona unica, visti i valori pressoché identici del parametro Λ_1 .

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h'_{t,T} = h_t/\mu$ (valore dell'altezza di pioggia di fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media μ della legge TCEV) assume la seguente espressione:

$$h'_{t,T} = K_T = a \cdot \ln(T) + b$$

In tale relazione i coefficienti a e b sono stati tarati in funzione della particolare sottozona (Tabella 2).

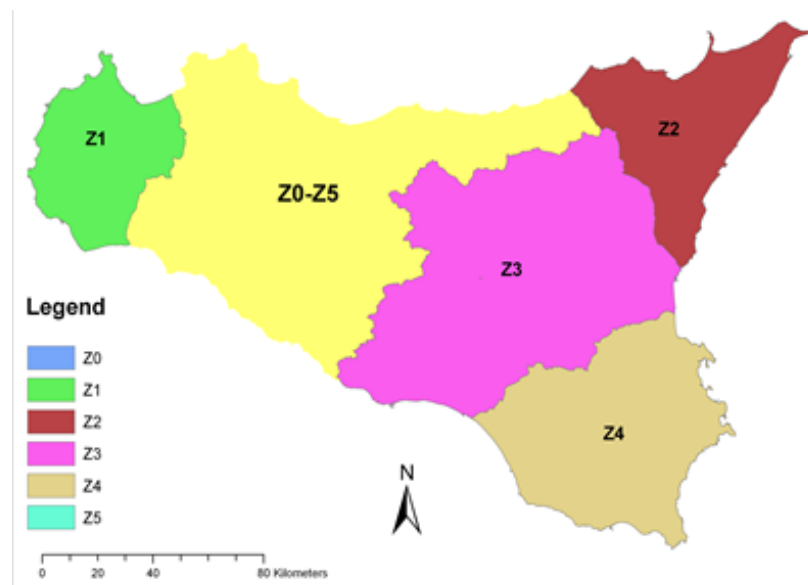


Figura 2.1 - Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

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


	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	6

Tabella 1: Valore del parametro Λ_1 per ogni sottozona in cui è stata suddivisa la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Λ_1	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Tabella 2: Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al., 2007).

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	$Z_0 - Z_5$	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4
a	0,4485	0,4695	0,4799	0,5011	0,4946
b	0,5117	0,4889	0,4776	0,4545	0,4616

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

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

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

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


Per le stazioni pluviografiche siciliane la media teorica μ risulta coincidente con quella campionaria; per ciascuna delle 172 stazioni siciliane che vantano almeno 10 anni di funzionamento è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata t :

$$\mu(t) = a \cdot t^n$$

Tale legge monomia è un'equazione di potenza, in cui a rappresenta il valore medio delle precipitazioni di durata oraria e n è l'esponente con cui viene scalata la media con le durate, n è generalmente un valore <0.5 .

Per ogni stazione pluviografica i valori dei coefficienti a ed n sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti a ed n possono essere stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n (Cannarozzo et al, 1995).

Nelle *Figura 2.3* e *Figura 2.4* è possibile vedere la variazione dei coefficienti a ed n per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		7

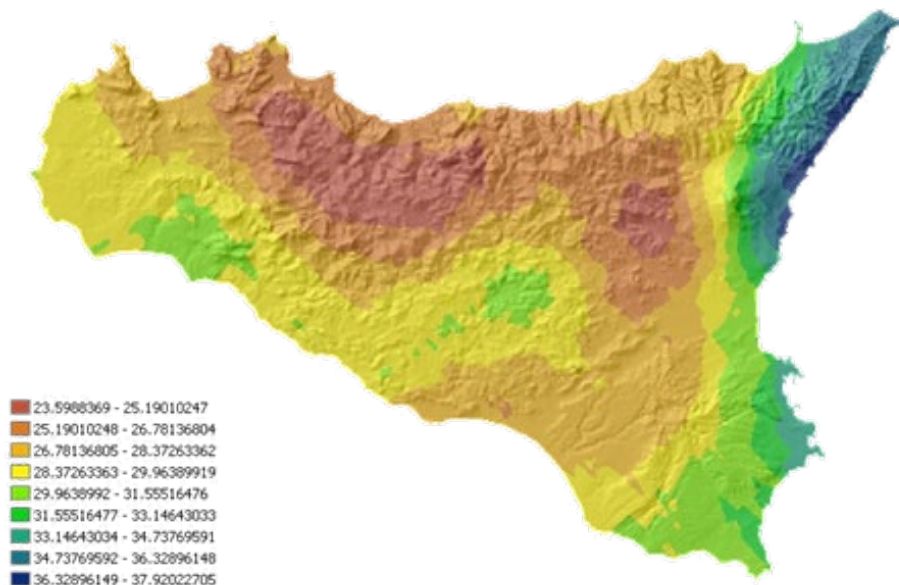


Figura 2.2 - Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

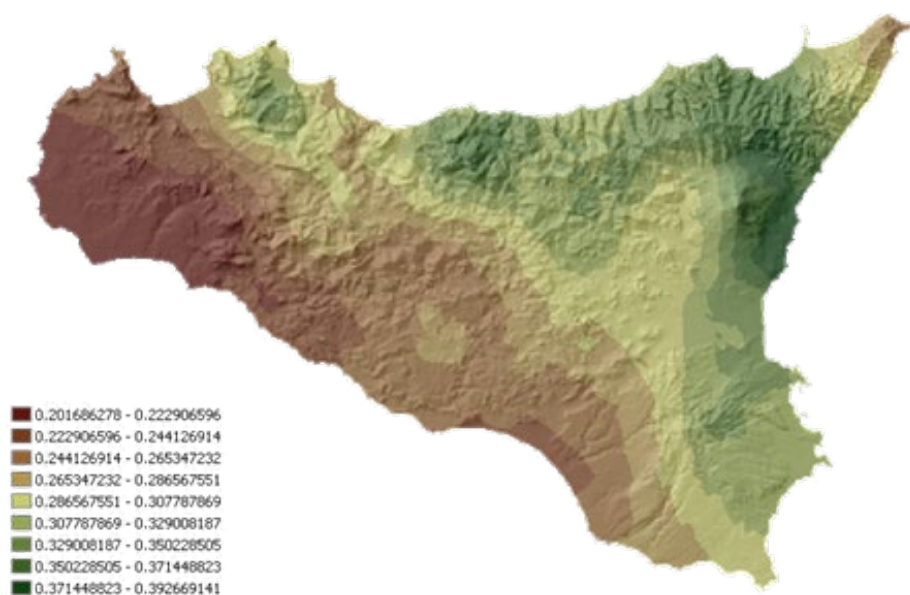



Figura 2.3 - Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

Questi due parametri vengono determinati tramite distribuzioni di iso-valori di a ed n . In base al posizionamento geografico dell'intervento in oggetto. I valori di riferimento per il bacino in studio sono stati calcolati mediando i valori che ricadevano all'interno dell'area di intervento. Le risultanze sono riportate in *Tabella 3*, in analogia allo studio idraulico di progetto.

Tabella 3- Coefficienti idrologici


	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	8

Coefficiente	
a	28.90
n	0.35

Attraverso i coefficienti a ed n individuati, sono state calcolate le curve di probabilità pluviometrica (CPP) riferite ai due tempi di ritorno, come indicato in Appendice C del P.A.I. In particolare, il tempo di ritorno delle piogge da adoperare nel calcolo sono state poste pari a 30 anni e 50 anni. Di seguito si riportano le elaborazioni ed i calcoli per i due differenti tempi di ritorno.

Sottozona	a	b
Z0-Z5	0.4485	0.5117

T	30		K_T	2.04
t	$\mu(t)$	$h(t,T)$	n'	0.35
1	28.90	58.87	a'	58.87
2	36.73	74.83		
3	42.27	86.10		
6	53.72	109.44		
12	68.28	139.10		
24	86.79	176.80		
T	50		K_T	2.27
t	$\mu(t)$	$h(t,T)$	n'	0.35
1	28.90	65.49	a'	65.49
2	36.73	83.25		
3	42.27	95.78		
6	53.72	121.74		
12	68.28	154.74		
24	86.79	196.68		

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	9

Si riportano in *Figura 2.4* le curve di probabilità pluviometriche ottenute.

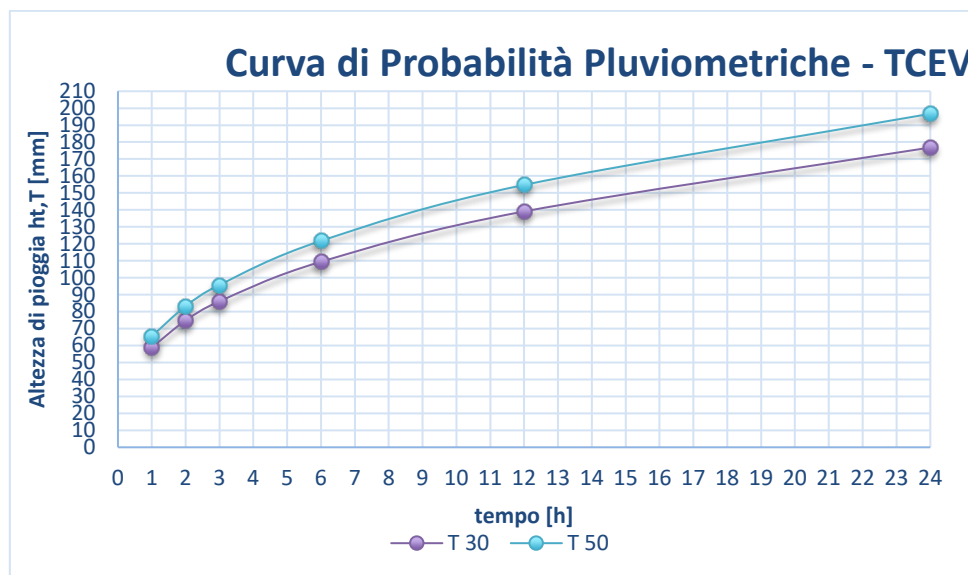


Figura 2.4 Curve di probabilità pluviometriche-TCEV


2.3 PIOGGE BREVI

È necessario inoltre osservare che poiché gli eventi di pioggia brevi e quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche, dai campioni di altezze h_t aventi durate $1 \div 2 \text{ ore} \leq t \leq 24$ non può essere tratta alcuna informazione inerente agli eventi brevi.

La curva di probabilità pluviometrica, costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere pertanto estrapolata per valori della durata t inferiore ad un'ora. È stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia $h_{t,T}$ con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia $h_{60,T}$ di durata pari a 60 minuti e pari tempo di ritorno T è relativamente poco dipendente dalla località e dipendente solo dalla durata t espressa in minuti.

Il legame funzionale, per la regione Sicilia, può essere pertanto espresso nella forma seguente, utilizzando la formula di Ferreri-Ferro, in cui il coefficiente s è stato opportunamente calibrato da Ferro e Bagarello (*"Rainfall depth-duration relationship for South Italy", 1996*).

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0.386}$$

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	10

Di seguito si riportano le elaborazioni ed i calcoli per i due differenti tempi di ritorno.

T	30	n'	0.39
t (min)	h(t,T)	a'	12.17
5	22.62		
15	34.52		
60	58.87		
T	50	n'	0.39
t (min)	h(t,T)	a'	13.54
5	25.16		
15	38.41		
60	65.49		

Si riportano in *Figura 2.5* e in *Figura 2.6* le curve di probabilità pluviometriche ottenute per eventi sotto l'ora.

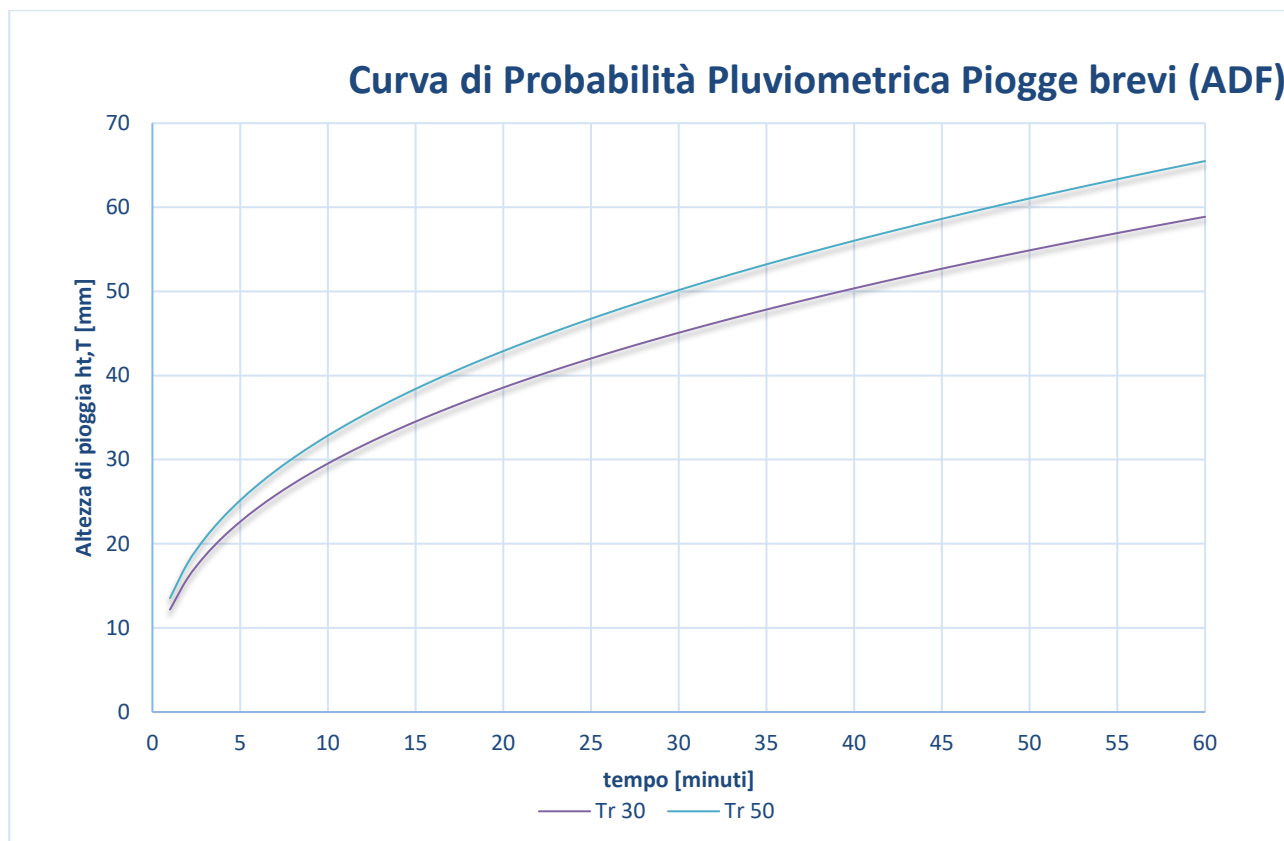


Figura 2.5 Curve di probabilità pluviometriche Piogge brevi (Altezza – Durata - Frequenza)



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.6.1

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

11

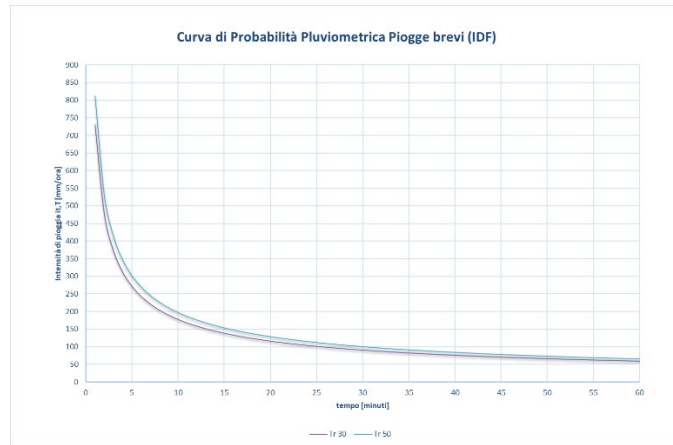



Figura 2.6 Curve di probabilità pluviometriche Piogge brevi (Intensità – Durata - Frequenza)

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	12

3 MODELLAZIONE IDROLOGICA


3.1 Modello idrologico HEC-HMS

L'analisi idrologica è stata elaborata attraverso il software HEC-HMS. Il software HEC-HMS permette la simulazione idrologica di un bacino idrografico con l'ausilio di modelli afflussi-deflussi a parametri concentrati e semi distribuiti. Tale software permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato e calibrato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura; sia riferiti a grandi bacini idrografici che a piccole aree urbane o naturali. Gli idrogrammi calcolati dal programma possono essere utilizzati, anche in combinazione con altri software, per studiare problemi diversi come, per esempio, la disponibilità della risorsa idrica, il drenaggio urbano, la previsione delle piene, l'impatto dello sviluppo delle aree urbane, il progetto degli sfioratori di piena nelle dighe, la mitigazione del rischio idraulico, ecc. Attraverso l'impiego del modello digitale del terreno (DTM), viene definito un *Basin Models*, ovvero la componente principale del progetto, che permette di definire i bacini e le sezioni di chiusura da investigare. Il modello permette di integrare elementi vettoriali tipo shapefile per aiutare a collocare gli elementi in un contesto spaziale.

Per suddividere il bacino in parti gestibili vengono inseriti elementi idrologici. Gli elementi idrologici sono gli elementi di base di un modello di bacino. Un elemento rappresenta un processo fisico come un bacino idrografico, un corso d'acqua o una confluenza. Ogni elemento rappresenta una parte della risposta totale del bacino idrografico alle forzanti atmosferiche.

Nel programma sono inclusi sette diversi tipi di elementi: sottobacino, portata, bacino, confluenza, deviazione, sorgente e pozzo. Una volta definito il *Basin Models*, sono stati definiti i diversi *Subbasin*, ovvero i sottobacini, elementi che di solito non hanno afflussi e hanno solo un deflusso. Infine, utilizzando il *Meteorologic Models* vengono inserite le informazioni metereologiche.

Il modello meteorologico è responsabile della preparazione delle condizioni al contorno che agiscono sul bacino idrografico durante le simulazioni. In *Figura 3.1* viene riportato il reticolo idrografico e la suddivisione dei sottobacini per l'area in studio elaborato da HEC-HMS.

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		13

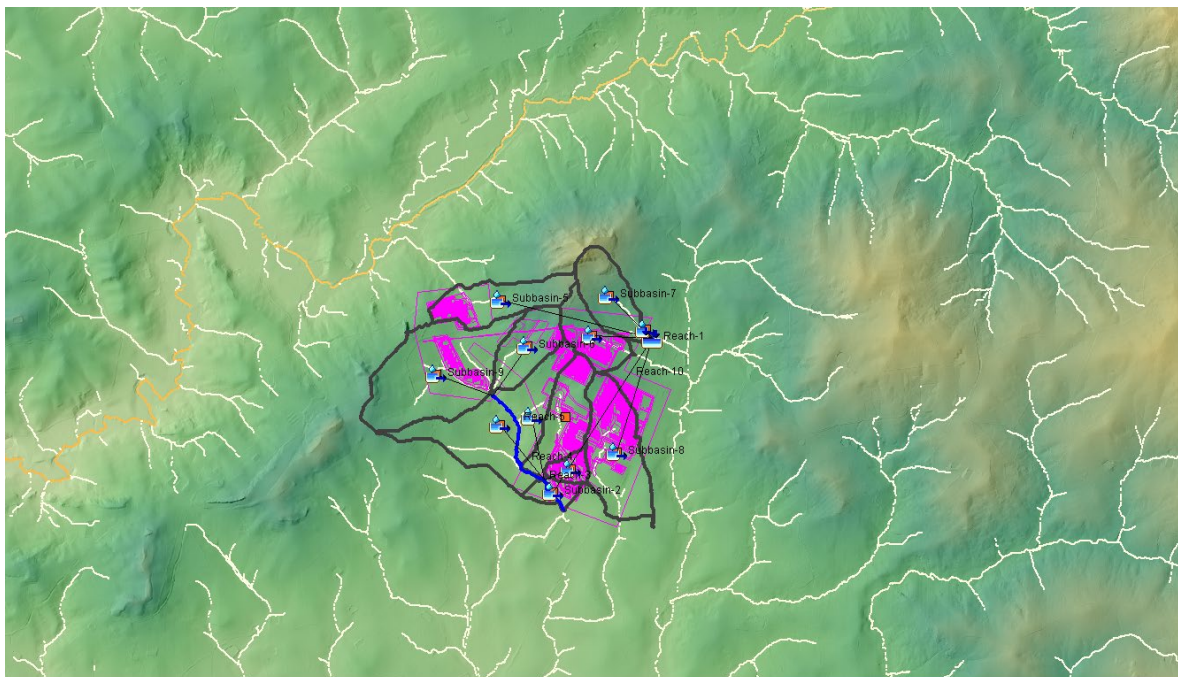



Figura 3.1- Reticolo idrografico e suddivisione dei sottobacini dell'area in studio elaborato da HEC-HMS

Dall'analisi del reticolo idrografico, sono stati determinati i sottobacini afferenti al sistema di drenaggio naturale superficiale. 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*.

Si riportano in *Tabella 4* le principali caratteristiche idro-morfometriche dei sottobacini analizzati.

Tabella 4- 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

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	14

3.2 Soil Conservation Service (SCS) - Curve Number

La trasformazione Afflussi – Deflussi è stata eseguita secondo il metodo proposto dal Soil Conservation Service SCS-Curve Number (SCS, 1972), che permette di studiare la risposta idrologica di un bacino per la stima dei deflussi superficiali o pioggia netta. Per i calcoli idrologici, si è tenuto conto dei valori di CN II sito specifici pubblicati dalla Regione Sicilia ed utilizzati per le elaborazioni delle carte del P.A.I. Tale valore varia in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità.

Per ricavare i valori del CNI e CNIII sono state utilizzate le seguenti formule:

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

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

I valori di CNI e CNIII rappresentano differenti condizioni di saturazione del suolo. Per gli scopi del presente studio, così come indicato dalle linee guida P.A.I., il valore utilizzato ai fini modellistici è il CNIII rappresentativo di una condizione di totale saturazione del terreno.

Altro aspetto necessario ai fini della determinazione della portata di picco è quello di valutare il “tempo di ritardo” t_l (lag time), generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena e il baricentro del pluviogramma netto. Il SCS ha dedotto empiricamente che il rapporto t_l/t_c , dove con t_c viene indicato il tempo di corrivazione, è pari a 0.6.


Il tempo di corrivazione è stato calcolato tramite la formulazione proposta dal SCS, secondo la seguente formulazione:

$$t_c = 0.00227 \cdot L^{0.8} \cdot \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7} \cdot A^{-0.5}$$

In *Tabella 5* si riportano i valori dei coefficienti, dei tempi di corrivazione e di ritardo ottenuti per ogni sottobacino dell'area investigata

Tabella 5- Valori CN stato attuale uso del solo (Fonte Regione Sicilia)

Nome	CN (II)	CN (III)	Tc [hr]	Lag [hr]
<i>Subbasin-9</i>	79.8	90.20	0.33	0.20
<i>Subbasin-6</i>	81.6	91.20	0.22	0.13
<i>Subbasin-4</i>	81.2	90.90	0.37	0.22
<i>Subbasin-1</i>	81.2	91	0.26	0.16
<i>Subbasin-18</i>	82.6	91.7	0.20	0.12

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	15

<i>Subbasin-7</i>	83	91.9	0.19	0.11
<i>Subbasin-8</i>	81.9	91.3	0.36	0.22
<i>Subbasin-5</i>	80.4	90.5	0.27	0.16
<i>Subbasin-15</i>	82.2	91.5	0.21	0.13
<i>Subbasin-2</i>	82	91.4	0.15	0.09
<i>Subbasin-10</i>	83	91.9	0.10	0.06

3.3 Trasformazione afflussi deflussi

La trasformazione afflussi deflussi è stata svolta tramite l'impiego del modello numerico HEC-HMS. 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.

La trasformazione delle piogge di progetto in piogge nette, è stato calcolato attraverso il metodo proposto dal US Department of Agriculture Soil Conservation Service (1972). Tale metodo, che permette di decurtare le perdite iniziali e l'infiltrazione delle acque nel terreno, ipotizza che durante l'intero evento di pioggia estremo, resti invariata la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite per infiltrazione e deflusso superficiale:

$$\frac{F}{S} = \frac{P}{I - I_a}$$

In cui:

F = perdite effettive generate durante l'evento

S = massima capacità di ritenzione idrica del suolo

P = precipitazione netta cumulata

I = precipitazione lorda cumulata

I_a = perdite iniziali dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali

La grandezza *S* ed *I_a* sono definite in base al parametro CN, calcolato precedentemente, tramite le relazioni:

$$S = S_0 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$


$$I_a = \lambda \cdot S$$

In cui:

S₀ = rappresenta un fattore di scala

λ = coefficiente di proporzionalità

Esplicitando *F* dall'equazione di continuità idrologica sopra riportata, otteniamo:

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		16

$$F = I - I_a - P$$

Ottenendo così la relazione che fornisce il deflusso superficiale P :

$$\begin{cases} P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S} & I > I_a \\ P = 0 & I \leq I_a \end{cases}$$

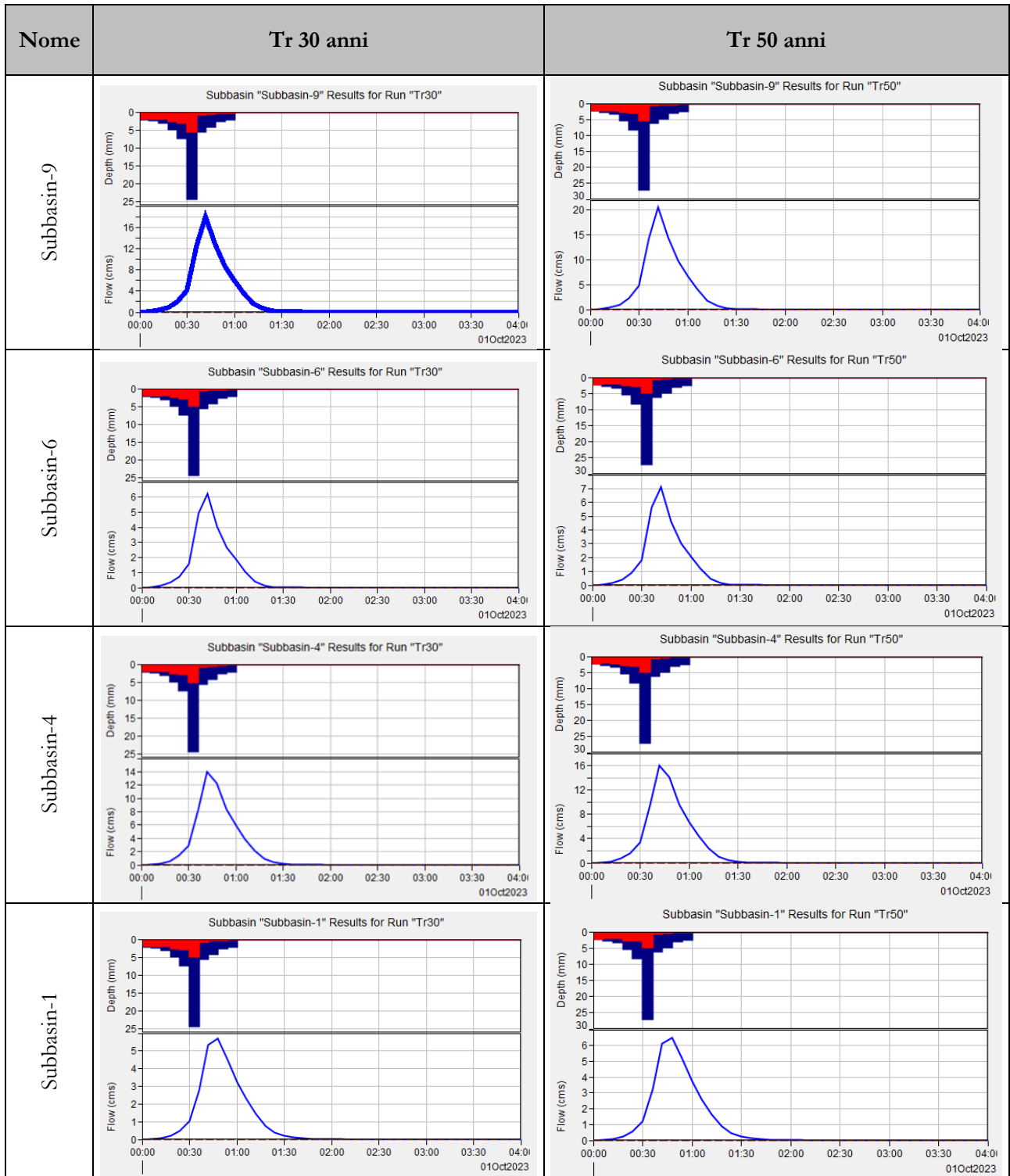
Da cui è possibile calcolare l'intensità di pioggia netta (i) i -esima:

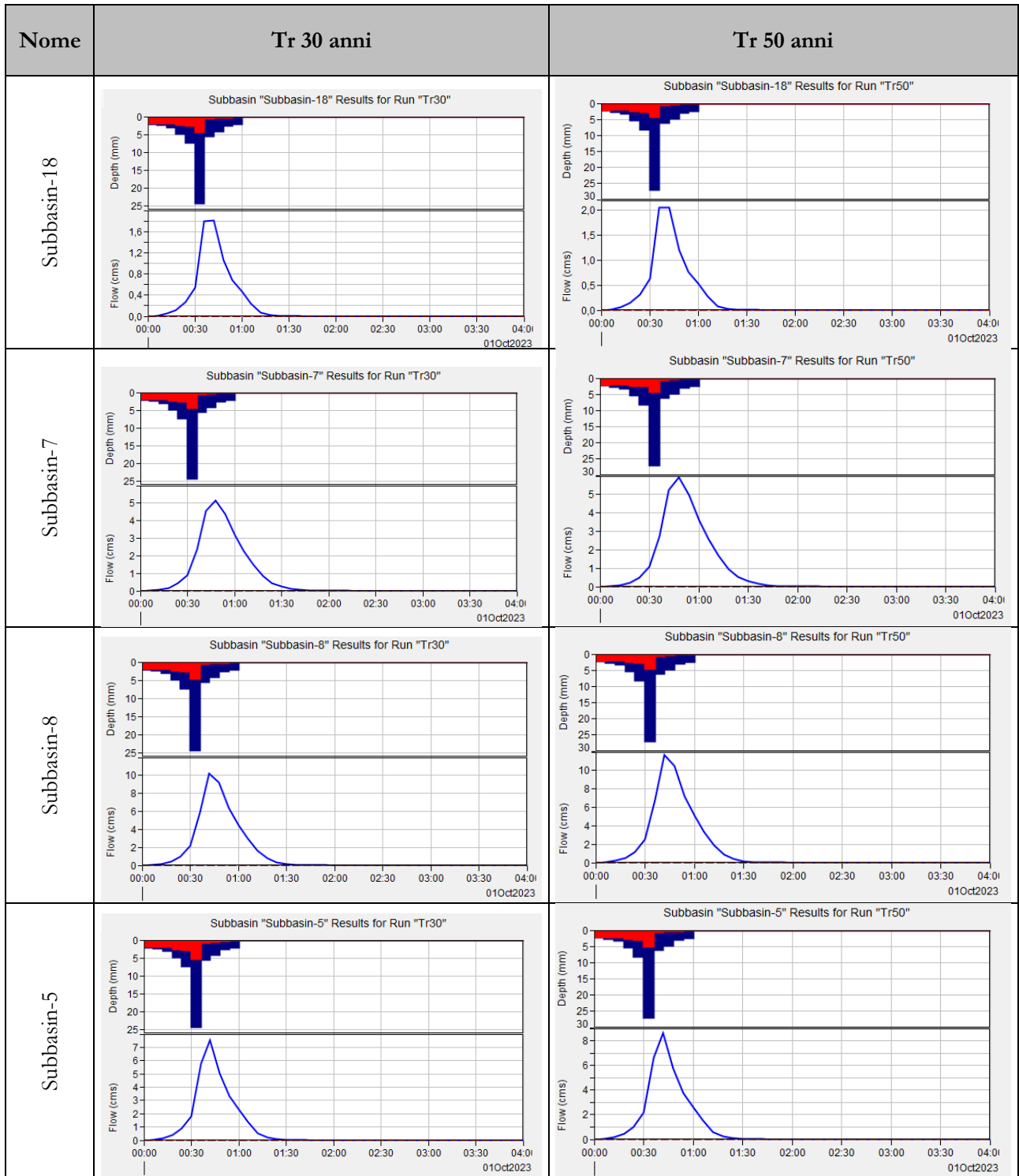
$$i_{ej} = \frac{P_j - P_{j-1}}{\delta t}$$

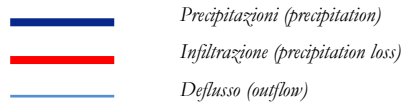
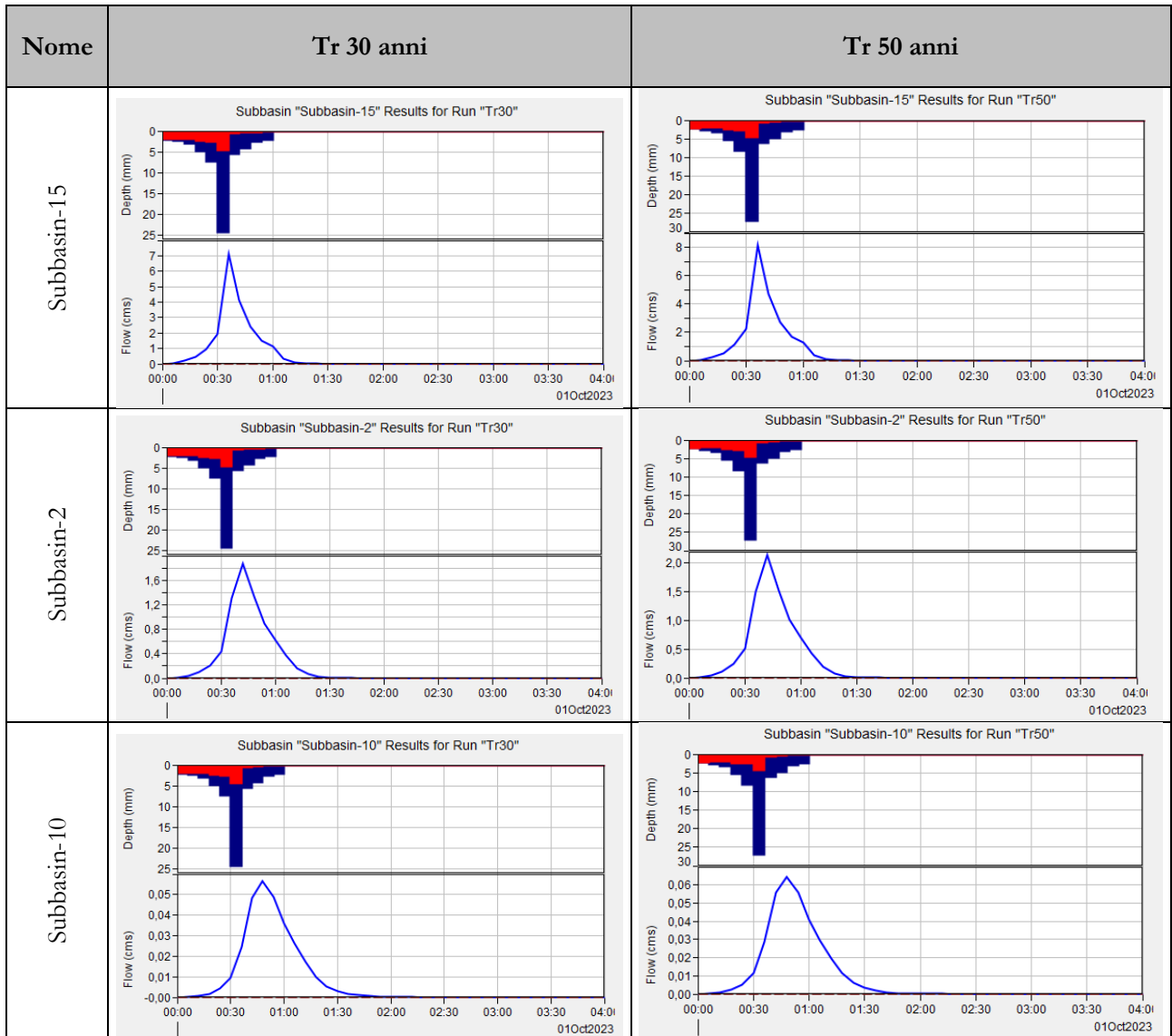
Inoltre, la propagazione delle portate lungo il reticolo di deflusso individuate è stato analizzato attraverso il metodo di Muskingum. Tale metodo è un modello semplificato che valuta la propagazione basata sulla relazione fra portata e volume invasato e tiene conto di:


- un volume prismatico racchiuso da linee di livello parallele al fondo ed assunto proporzionale alla portata nel punto di valle del sottotratto (Prism Storage);
- un volume incuneato fra il livello idrico ed il volume prismatico sottostante ed assunto proporzionale alla differenza di portata fra monte e valle (Wedge Storage).

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







	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		20

4 MODELLAZIONE IDRAULICA

4.1 Modello bidimensionale FLO-2D

Gli scenari di simulazione di propagazione dell'onda di piena all'interno del bacino sono stati eseguiti con il codice di calcolo commerciale Flo-2D, con la versione FLO-2D PRO 19.07.21 rilasciata il 30/12/2019 e sviluppato da Jimmy S. O'Brien della FLO Engineering inc.

Tale software, ha permesso di sviluppare uno studio idraulico accurato, utilizzando un modello idraulico di tipo bidimensionale. Flo-2D è stato inserito dalla FEMA (*Federal Emergency Management Agency*), l'agenzia governativa degli Stati Uniti preposta alla mitigazione dei rischi naturali ed alla gestione delle emergenze, fra i modelli idraulici certificati per simulazioni idrauliche finalizzate alla valutazione del rischio. In allegato si riporta lo studio di validazione del modello bidimensionale condotto dalla FEMA. Anche in Italia sono numerosi gli enti, autorità di bacino e agenzie pubbliche che utilizzano FLO-2D, tra cui la Regione Siciliana, come dichiarato dal distributore europeo².

FLO-2D è un modello fisicamente basato che permette di propagare il deflusso superficiale generato dalle precipitazioni e/o l'idrogramma di piena su superfici di deflusso non confinate o in canali, utilizzando l'approssimazione equazione del momento dell'onda dinamica. Al suo interno implementa differenti codici di calcolo per simulare l'interazione dell'onda con stradale, edifici, ostacoli, il trasporto di sedimenti, le precipitazioni e le infiltrazioni spazialmente variabili, le alluvioni e molti altri dettagli di allagamento.

Il codice Flo-2D integra l'equazione del moto dei fluidi e l'equazione di continuità applicata alle correnti, secondo il modello di De Saint-Venant, attraverso un modello bidimensionale con uno schema alle differenze finite centrate³. L'equazione è risolta calcolando la velocità di flusso media attraverso il contorno delle celle della griglia, in una direzione per volta. L'equazione che regola il modello è l'equazione:

costitutiva dei fluidi, incluse l'equazione di continuità e l'equazione bidimensionale del moto (equazione del momento dell'onda dinamica):


$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hV}{\partial x} = i$$

$$S_f = S_0 - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t}$$

In cui h è il tirante idrico, V rappresenta la componente velocità media in ciascuna delle differenti direzioni del flusso (x) ed i rappresenta l'intensità dell'eccesso di pioggia. S_f è la pendenza del vettore dell'energia nella direzione del flusso x e viene calcolata attraverso la relazione di Manning. Con S_0 si intende la pendenza del piano campagna e gli altri termini includono il gradiente di pressione e le componenti locali e

² Flo-2D Europe – sales@flo-2deurope.com – www.flo-2deurope.com

³ Per maggior dettaglio sull'equazioni di governo si rimanda al paragrafo 9.5 del libro "Applied Hydrology" (Chow, Maidment, & Mays, 1988)

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	21

convettive dell'accelerazione. La forma differenziale delle equazioni di continuità e del moto è risolta con uno schema numerico esplicito alle differenze finite centrato, ovvero interpolando, con legge quadratica, la soluzione reale.

L'analisi della propagazione dell'onda di piena fuori alveo avviene attraverso il calcolo della portata in ognuna delle 8 potenziali direzioni di flusso, 4 ortogonali ai bordi della cella e 4 diagonali (*Figura 2*).

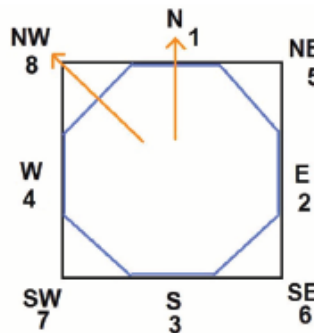


Figura 2: rappresentazione delle 8 potenziali direzioni di flusso della singola cella di calcolo

Il tirante idrico (h) viene calcolato come una media dei battenti delle celle adiacenti interconnesse idraulicamente nelle otto direzioni. Infine, il codice per stimare la velocità di propagazione valuta l'area di deflusso, la pendenza, il perimetro bagnato, ed implementa il parametro idraulico di resistenza al moto calcolato secondo la relazione di Manning – Gauckler Strickler. In *Figura 3* è riportata la schematizzazione, in forma grafica, del processo di calcolo sopra descritto.

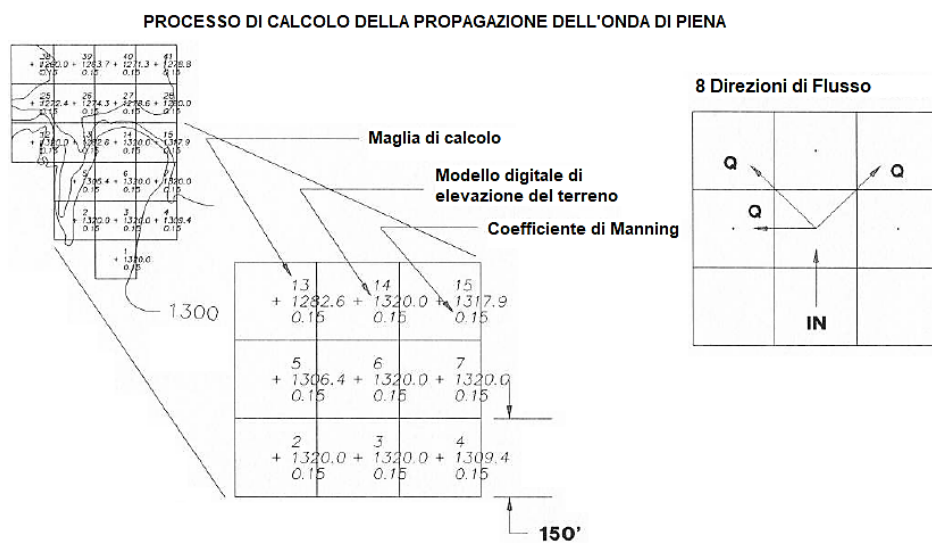



Figura 3: schema del modello di Flo-2D di propagazione della portata attraverso la maglia di calcolo

La stima dell'altezza del flusso è data dall'interazione delle celle contigue, attraverso una media dei tiranti idraulici del flusso nelle due celle che si scambiano la portata in una delle otto direzioni. Analogamente, anche gli altri

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		22

parametri idraulici (velocità della corrente, il coefficiente di resistenza secondo Manning, l'area bagnata, la pendenza, la quota del pelo libero, il perimetro bagnato) sono calcolati mediando i valori tra due elementi contigui della maglia di calcolo (Savi, 2009).

La risoluzione dell'equazione del moto avviene in due fasi, secondo due sistemi di risoluzione differenti: Sistema completo e Modello parabolico. Inizialmente, attraverso il calcolo della velocità del flusso avviene secondo il metodo della tangente del secondo ordine di Newton-Raphson (James, Warinner, & Reedy, 1992); in seconda fase, qualora il metodo non porta a convergenza, l'algoritmo risolve l'equazione del moto secondo l'ipotesi di onda diffusiva ovvero il modello di propagazione parabolico.

Di seguito si riporta la traduzione del compendio dell'algoritmo di risoluzione riportato nel Reference Manual di FLO 2D (2016):

1. Vengono calcolate la geometria del flusso medio, la scabrezza e la pendenza tra due elementi della griglia di calcolo;
2. La profondità del flusso d_x al tempo $i+1$ è stimata dal passo temporale precedente i , usando una stima lineare (come profondità media tra due elementi della griglia):


$$d_x^{i+1} = d_x^i + d_{x+1}^i$$

3. La prima stima della velocità viene calcolata utilizzando l'equazione dell'onda diffusiva. L'unica variabile incognita è la velocità di propagazione del flusso;
4. La velocità dell'onda diffusiva, prevista per il passo temporale corrente, viene utilizzata nel metodo di *Newton-Raphson* per risolvere l'equazione dinamica completa. Per le correnti ad alta concentrazione di sedimenti, il calcolo della velocità include termini addizionali come la viscosità e la tensione di snervamento;
5. La portata Q , all'intorno della cella di calcolo, viene calcolata moltiplicando la velocità per la sezione dell'area attraversata. Per le aree inondabili, la portata viene calcolata implementando fattori di riduzione di larghezza (WRFs);
6. L'incremento di portata per ogni passo temporale e nelle otto direzioni è pari alla somma:

$$\Delta Q_x^{i+1} = Q_{nord} + Q_{est} + Q_{ovest} + Q_{nord-est} + Q_{sud-est} + Q_{sud-ovest} + Q_{nord-ovest}$$

e la variazione di volume (portata netta per passo temporale) è distribuita sulla superficie di accumulo all'interno dell'elemento della griglia (o del canale) per determinare un aumento incrementale della profondità del flusso:

$$\Delta d_x^{i+1} = \frac{\Delta Q_x^{i+1} \cdot \Delta t}{Area}$$

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		23

7. Il criterio di stabilità numerica è controllato per la profondità del flusso del nuovo elemento della griglia. Se uno dei criteri non è verificato il tempo della simulazione ritorna al passo precedente e l'incremento del passo temporale viene ridotto;
8. La simulazione procede con intervalli temporali crescenti fino al superamento dei criteri di stabilità (*Figura 4*).

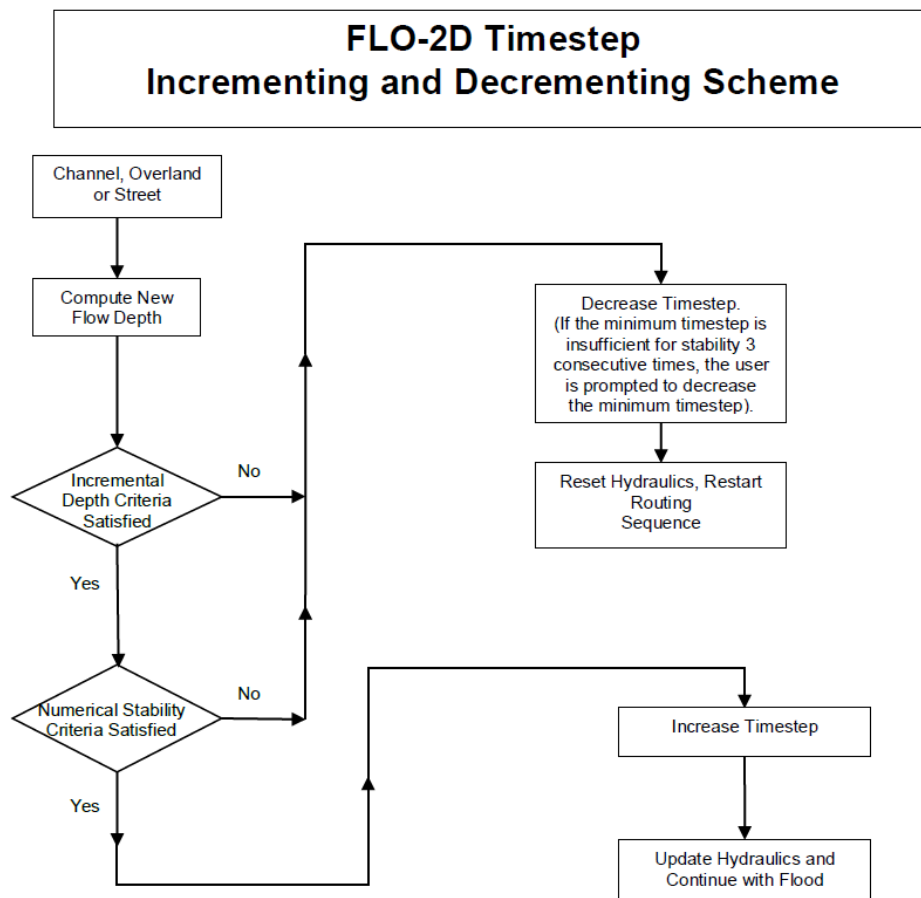



Figura 4 Diagramma di flusso della verifica dei criteri di stabilità del calcolo di FLO-2D

Inoltre, tutti i volumi in entrata e in uscita, le portate accumulate o perse dall'area della griglia sono sommati alla fine di ogni iterazione e viene calcolata la conservazione del volume.

4.2 Schematizzazione idraulica del bacino

La simulazione è stata effettuata, interamente con processo di calcolo bidimensionale, secondo lo schema riportato in *Figura 3*. La griglia del dominio di calcolo ha maglia quadrata di lato 2 m, realizzata con il Flo-2D GDS (*Grid Developer System*). Le quote di ogni griglia del dominio di calcolo sono state importate dal DTM della Regione Sicilia avente maglia 2 metri.

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		24

L'idrogramma di pioggia calcolato per il tempo di ritorno a 30 anni, è stato inserito su tutta l'area di studio, mentre le celle di contorno, poste nella parte più bassa dell'area di studio, attraverso le quali la corrente esce dal dominio, sono state classificate come di *outflow no hydrograph* e su di esse è stata imposta la scala delle portate di moto uniforme. Nello specifico sono stati analizzati tre diversi scenari con lo stesso tempo di ritorno pari a $T=30$ anni e tre diversi scenari con il tempo di ritorno pari a $T=50$ anni.

Scenario 0 - simulazione con l'area allo stato attuale, considerando suolo nudo con una potenzialità di deflusso molto alta;

Scenario 1 - simulazione ipotizzando uno stato di semi impermeabilità dell'area di studio;

Scenario 2 – simulazione ipotizzando una mitigazione tra i pannelli costituita da prato rasato o coltivazioni basse.

4.2.1 Definizione della scabrezza


Poiché il modello idraulico è fortemente influenzato dal parametro di resistenza al moto calcolato secondo la relazione di Manning – Gauckler Strickler, per l'intero dominio di calcolo, sono stati assegnati differenti valori (n). Di seguito si riportano i valori iniziali di scabrezza, secondo la formulazione di Manning, così come proposti da Phillips & Tadayan (2007):

Descrizione	Valore coefficiente di Manning (n) [s/m ^{1/3}]
Strade di progetto	0.2
Terreno nudo	0.016
Erba rasa	0.035

FLO-2D ha delle funzioni di controllo per cui, durante il calcolo, la scabrezza iniziale può variare fino al raggiungimento di un valore limite prefissato del numero di Froude della corrente. Infatti, nella realtà, quando le velocità di deflusso aumentano anche i fenomeni di trasporto solido ed in genere tutti quei fenomeni che determinano una resistenza al moto si incrementano e di conseguenza aumentano i fenomeni di dissipazione dell'energia, con un corrispondente incremento dei valori di n . In funzione delle differenti aree di scabrezza è stato fissato un valore massimo del numero di Froude, per cui se tale valore è superato il programma di calcolo aumenta il valore di scabrezza nell'elemento in cui si è verificato questo superamento, fino ad ottenere un valore uguale a quello limite di Froude assegnato. Nel caso in esame è stato posto un valore massimo del numero di Froude per le aree in studio pari a 0.6.

4.2.2 Condizioni al contorno


Sono state assegnate varie caratteristiche alle celle per tener conto della presenza di strade, pannelli fotovoltaici e edifici. Questi elementi sono stati inseriti graficamente utilizzando il plugin FLO- "D di QGIS sulla base delle tavole

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	25

progettuali, con l'ausilio di immagini satellitari georiferite. In particolare, la simulazione ha tenuto conto dell'installazione dei moduli fotovoltaici su pali e degli edifici accessori al corretto funzionamento del campo fotovoltaico. In particolar modo, il codice FLO-2D permette di assegnare ad ogni cella due distinti fattori di riduzione di propagazione delle portate. Il primo, Area Reduction Factor (ARF) è un coefficiente che permette di tener conto degli elementi che possono condizionare il deflusso superficiale.

Il secondo, l'attributo "WRF" è un coefficiente che tiene conto della presenza di strutture impermeabilizzanti nell'area di studio, ma che non condizionano il deflusso superficiale.

Nel caso in studio, agli edifici è stato attribuito un ARF pari al 100 % mentre è stato assegnato un coefficiente WRF del 10 % alle aree occupate dai moduli fotovoltaici.

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	26


5 RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO

Di seguito vengono riportati i risultati delle simulazioni numeriche per differenti parametri. Nello specifico si riportano i valori areali di altezza massima del tirante idraulico ed i vettori di velocità di flusso. Dalle elaborazioni numeriche, inoltre, sono stati calcolati per ogni singola cella: i tiranti idrici alla fine dell'onda di piena, le velocità finali di deflusso, la forza di impatto, l'energia specifica, la pressione statica, il tempo per il raggiungimento dei primi 30 e 60 cm di tirante idraulico ed il tempo per la massima altezza di piena⁴. I dati vettoriali calcolati vengono allegati al presente progetto. Infine, si rammenta che tali scenari derivano da simulazioni numeriche provenienti da dati sintetici. Pertanto, pur ritenendo affidabili le risultanze ottenute, esse vanno considerate pur sempre una rappresentazione statistica di fenomeni reali complessi. Tuttavia, ad oggi, le potenzialità ed efficacia dei codici di simulazione bidimensionale risiedono soprattutto nella possibilità di rappresentare nel loro complesso le fenomenologie fisiche che caratterizzano un determinato evento oggetto di studio. L'impiego di un approccio di tipo puramente bidimensionale per la descrizione della propagazione della piena permette di conoscere non solo l'intensità del fenomeno ma anche la direzione ed il verso del vettore velocità in ogni punto dell'area di studio. All'interno del campo di moto è infatti possibile rappresentare la distribuzione dei vettori delle velocità che mettono in evidenza la direzione di propagazione della piena sul territorio e lo scambio biunivoco di portata tra alveo, aree golenali ed aree antropizzate.

Come riportato nel D.D.G. n. 102 del 23 giugno 2021, i tre scenari simulati ricalcano pedissequamente le definizioni dei concetti di invarianza idraulica e di invarianza idrologica introdotti dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) approvato con DPCM 7 marzo 2019.

Una esemplificazione dei concetti di invarianza idrologica e idraulica è illustrata nella seguente immagine (Figura 5.1) in cui vengono riportati i diversi idrogrammi di piena di un bacino prima degli interventi di trasformazione del suolo (pre-urbanizzazione) e post trasformazione (post-urbanizzazione) nonché gli effetti di interventi di invarianza idrologica.

⁴ La conoscenza del tempo per il raggiungimento di differenti altezze dei tiranti idrici può rappresentare un utile strumento per finalità di mitigazione del rischio idraulico e di pianificazione per la gestione delle emergenze 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
	A.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA
		PAGINA
		27

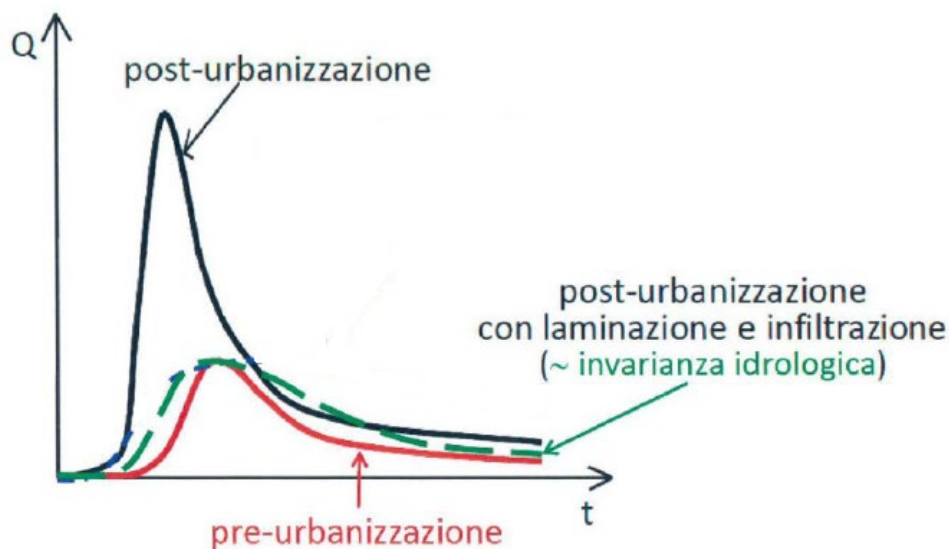



Figura 5.1 Raffronto di idrogrammi per differenti scenari secondo PGRA

Gli scenari simulati, come precedentemente descritto, rappresentano tre condizioni d'uso del suolo differenti. Il primo, rappresenta uno scenario Ante Operam, il quale ha permesso di conoscere le potenzialità di deflusso date dalle condizioni d'uso del suolo correnti. Il secondo scenario rappresenta una completa ed impattante condizione di trasformazione d'uso del suolo e, infine, un terzo scenario che rappresenta la condizione ipotizzata in progetto che prevede l'inserimento di interventi mitigativi ai fini dell'invarianza idrologico-idraulica.

Visto D.D.G. sopracitato, al fine di rispettare i principi di invarianza idraulica e idrologica, in fase progettuale si è ritenuto fare ricorso all'adozione di soluzioni tecniche proprie delle Misure di Ritenzione Naturale delle Acque (NWRM) previste dalla Directorate General Environment della Commissione Europea. Gli interventi mitigativi ipotizzati sono in armonia con le indicazioni e le direttive previste dalla EU Directorate General Environment che promuove l'impiego di sistemi "nature-based green infrastructure". Dal punto di vista delle misure di ritenzione idrica naturale, secondo le indicazioni NWRM, l'"infrastruttura verde" si riferisce a nuovi metodi di gestione dell'acqua, che favoriscano il più possibile il ripristino degli ecosistemi naturali. Consiste in misure di gestione del territorio o di ingegneria che utilizzano vegetazione, suoli e altri materiali naturali per ripristinare la naturale capacità di ritenzione idrica degli ambienti.

Nel caso in esame è stato previsto l'utilizzo di sistemi NWRM tipo "Green Cover" [Code A08 – Sector Agriculture]⁵. Nelle aree del parco fotovoltaico sarà previsto il mantenimento di ottime condizioni idrologiche dei suoli attraverso tecniche agronomiche, mantenendo i terreni inerbiti con copertura vegetale >75%. La copertura vegetale (comprese le colture di copertura o le colture intercalari) si riferisce a colture piantate a fine estate o autunno, solitamente su seminativo, per proteggere dal vento il suolo, che altrimenti rimarrebbe nudo durante l'inverno e pertanto esposto ad erosione superficiale. Le colture di copertura verde saranno realizzate tramite la semina delle aree e sarà previsto il mantenimento delle aree inerbite. Inoltre, saranno previste piantumazioni di

⁵ http://nwrn.eu/sites/default/files/nwrn_ressources/a8_-_green_cover_0.pdf

	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	28

specie arbustive a fusto basso nelle aree dei parchi fotovoltaici. In *Figura 5.2* si riporta una schematizzazione dei tre scenari analizzati.

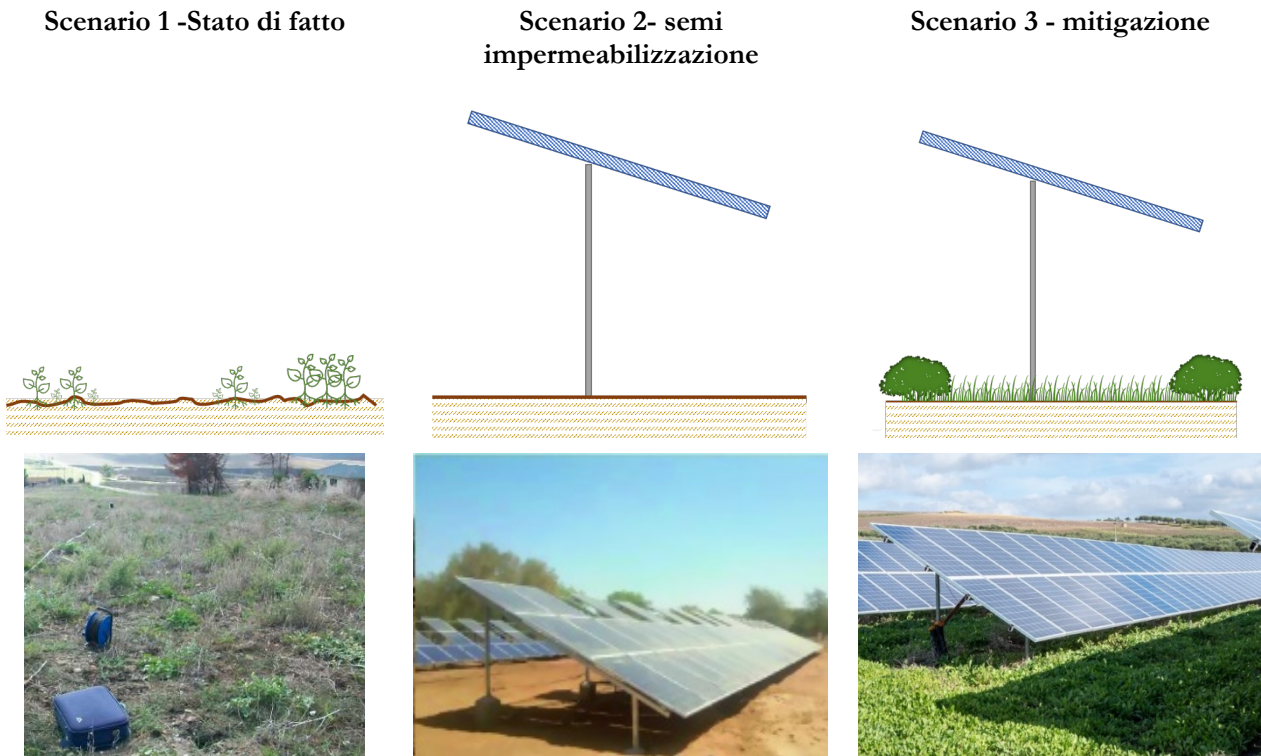
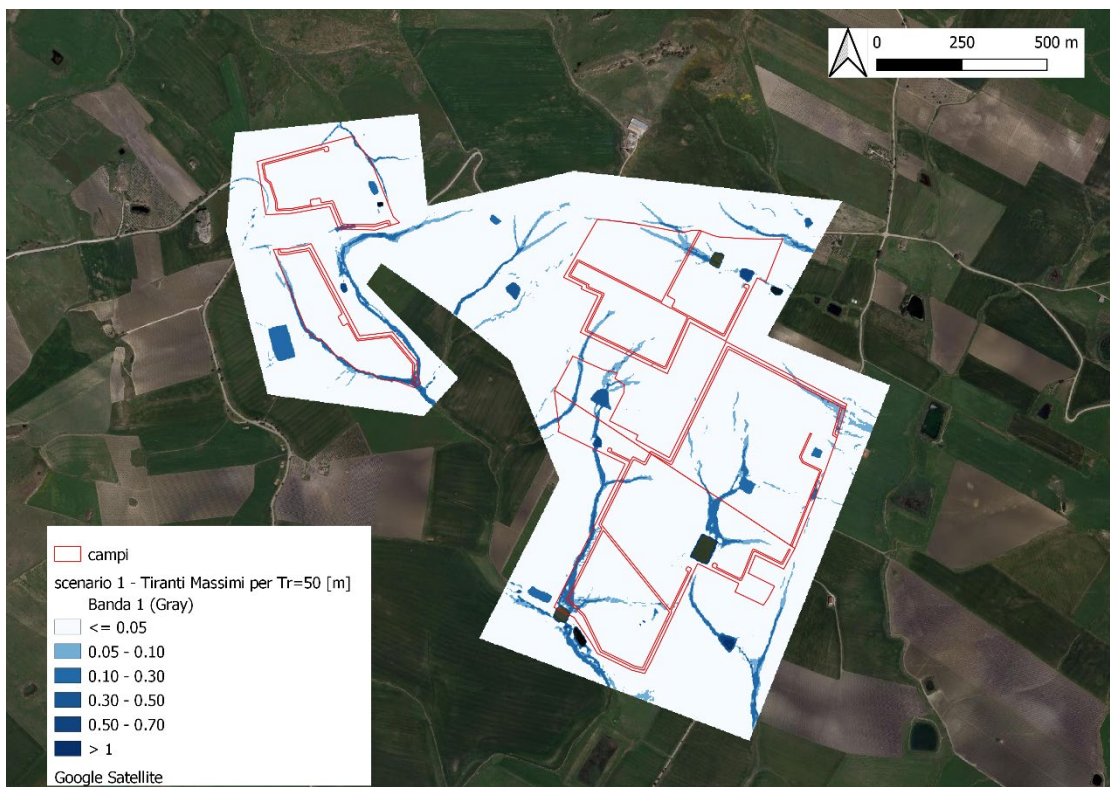
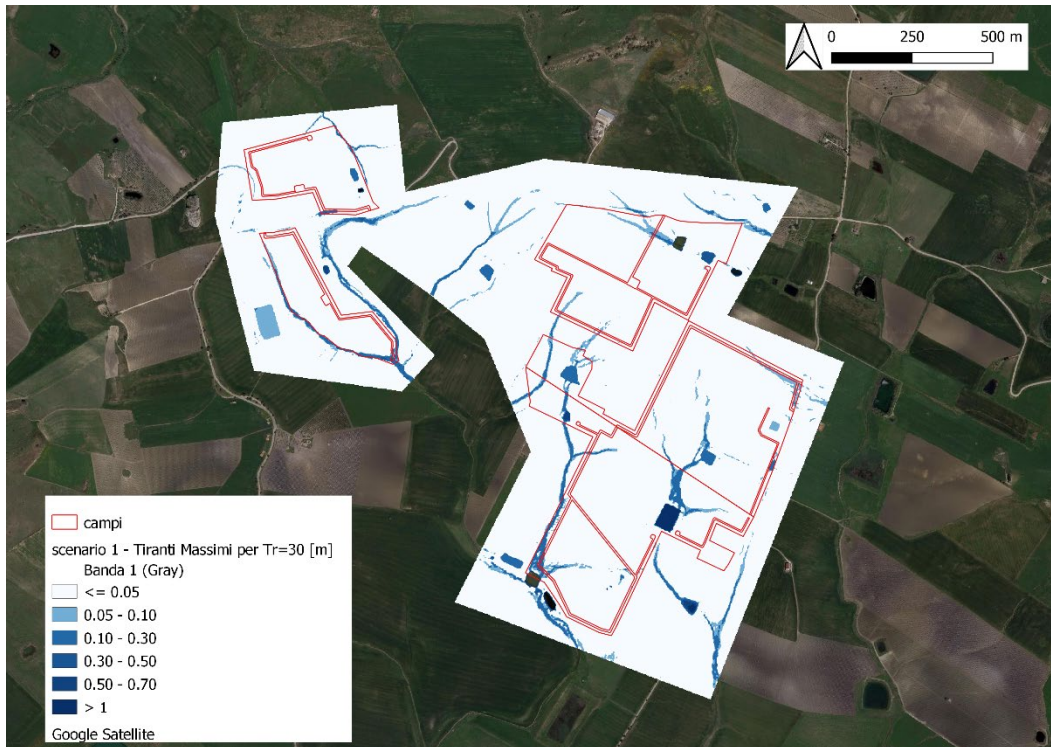



Figura 5.2 – Esempi schematici dei tre scenari simulati

5.1 Scenario 1 - Stato di fatto

La simulazione di evento di inondazione allo stato attuale è stata effettuata sia con un tempo di ritorno di 30 anni che di 50 anni e durata 4 ore. Con $T=30$ anni il totale dell'area inondata con tiranti superiori a 15 cm è pari a 46357,000 m² su un totale di 1877568,00 m² e il suolo nudo riesce ad intercettare un volume d'acqua pari a 69953,45m³. Invece, con $T=50$ anni, il totale dell'area con tiranti superiori a 15 cm risulta essere pari a 57702,000 m² su un totale di 1877568,000 m² e il suolo nudo riesci ad intercettare un volume d'acqua pari a 74222,5721 m³.

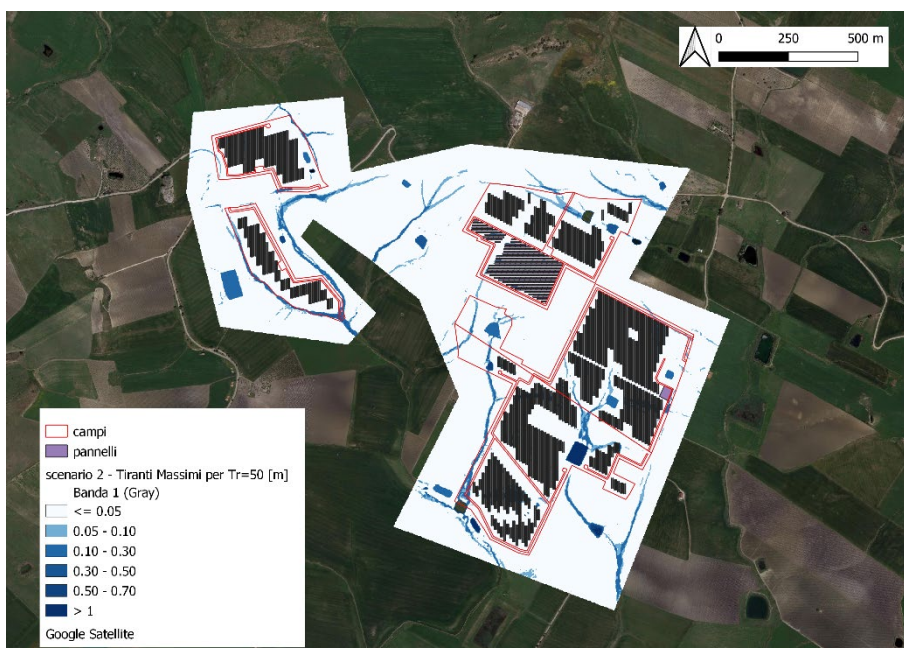
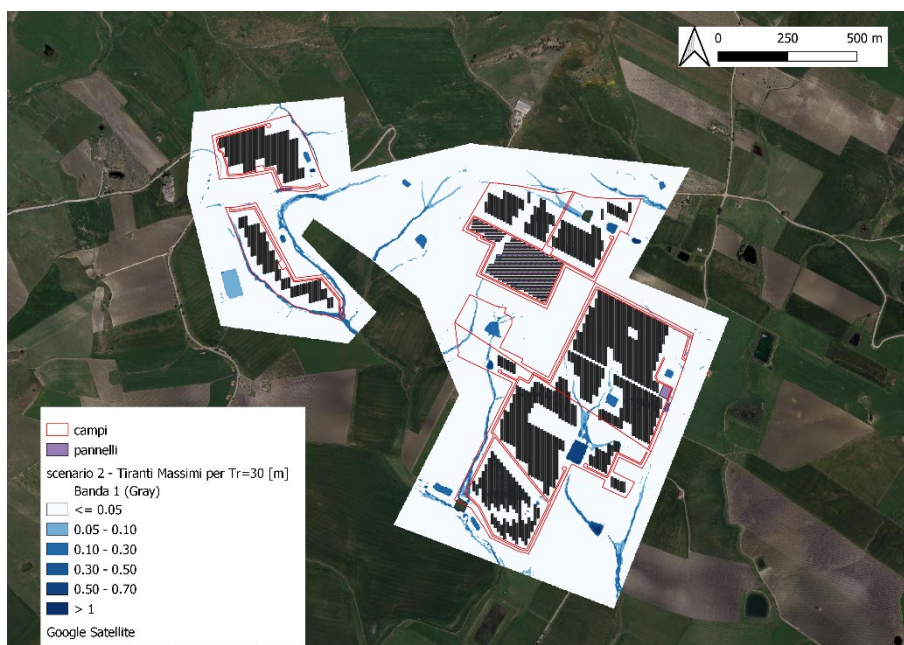
CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
A.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	29




	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	30

5.2 Scenario 2 - semi impermeabilizzazione

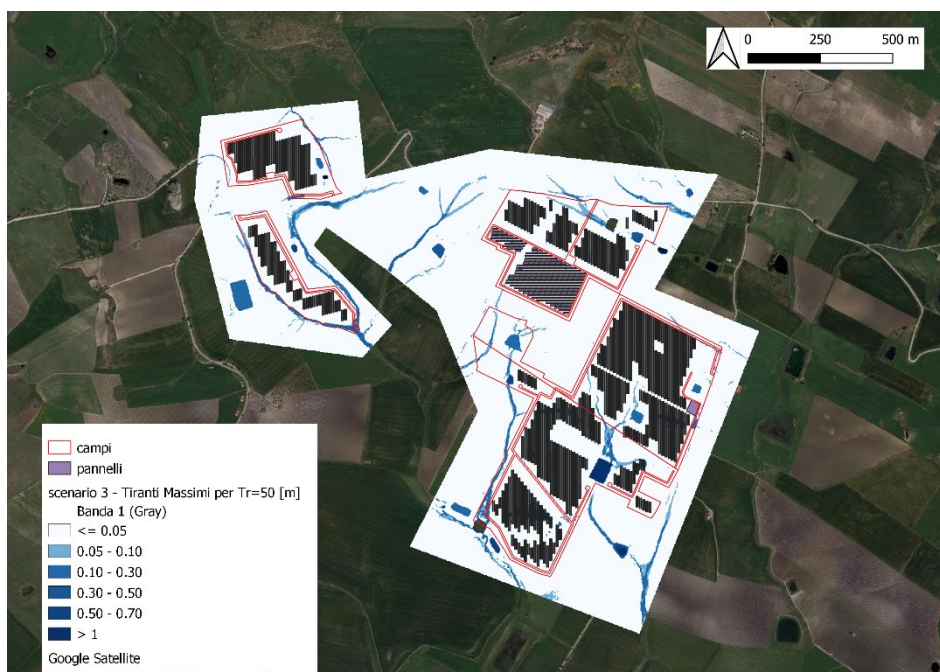
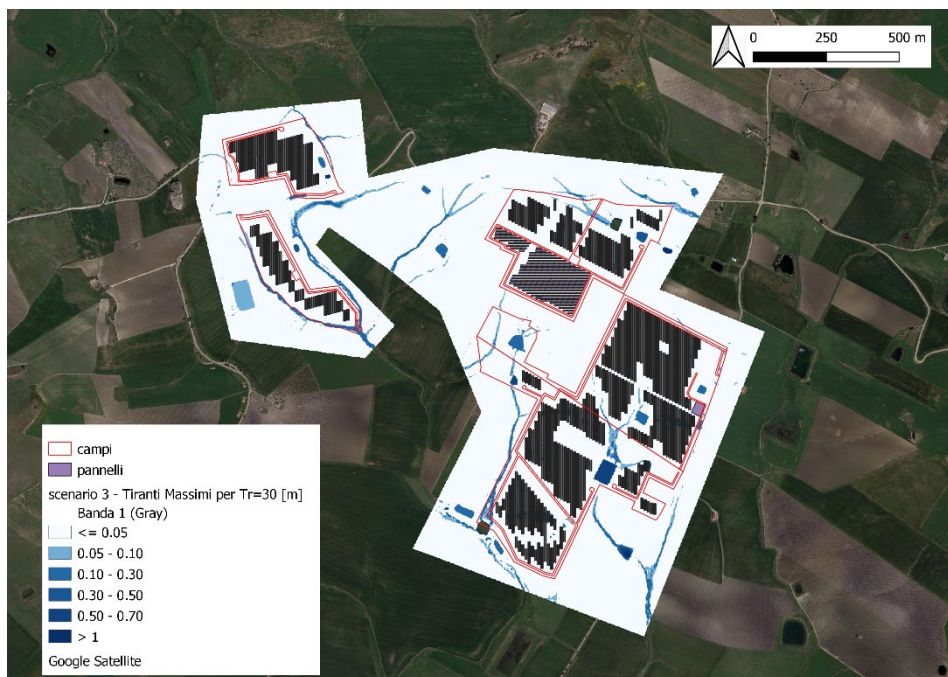
La simulazione di evento di inondazione con tempo di ritorno pari a 30 anni e durata 4 ore, ipotizzando che si impermeabilizzi buona parte dell'area di studio ha dato come risultato un'area allagata con tiranti superiori ai 15 cm pari a 44492,12 m² e un volume intercettato pari a 69921,85m³. Con un tempo di ritorno pari a T=50, il totale dell'area con tiranti superiori a 15 cm risulta essere pari a 53492,20 m² su un totale di 1877568,000 m² e il suolo nudo riesce ad intercettare un volume d'acqua pari a 74185,08 m³.




	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	31

5.3 Scenario 3 - mitigazione

La simulazione di evento di inondazione con tempo di ritorno pari a 30 anni e durata 4 ore, ipotizzando una mitigazione con manto erboso o coltivazioni basse tra i moduli fotovoltaici, ha prodotto un netto miglioramento dei risultati. L'area allagata con tiranti superiori ai 15 cm è pari a 44625,12 m² e un volume intercettato pari a 71286,919 m³. Con un tempo di ritorno pari a 50 anni e durata 4 ore, il totale dell'area con tiranti superiori a 15 cm risulta essere pari a 55530,20 m² su un totale di 1877568 m² e il suolo nudo riesce ad intercettare un volume d'acqua pari a 75729,63 m³.



	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.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	32

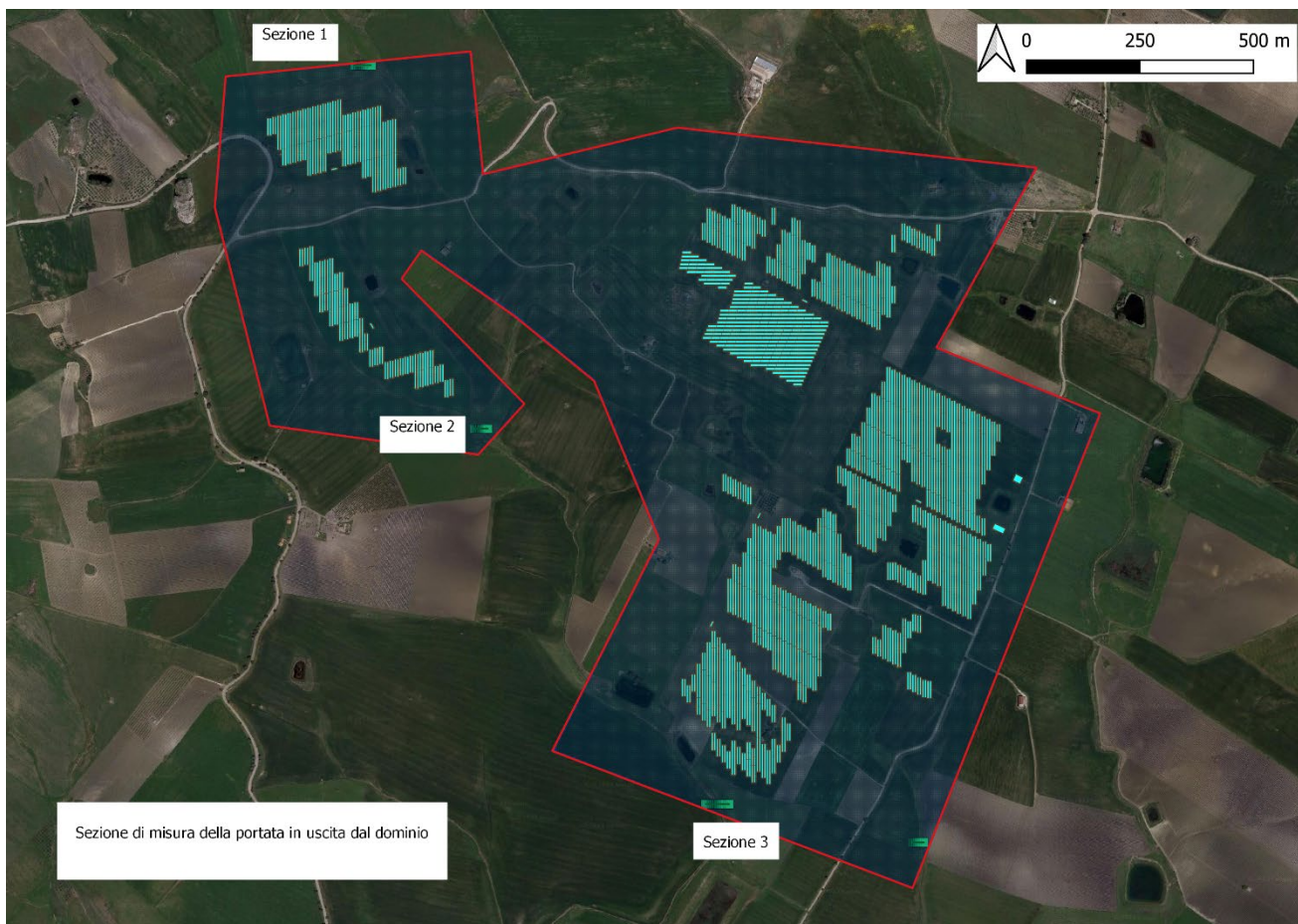
5.4 Invarianza idraulica

Ai fini del calcolo dell'invarianza idraulica sono stati analizzati i volumi di pioggia precipitati, i volumi d'acqua persi per infiltrazione e quelli defluiti per i sei scenari e per entrambi i tempi di ritorno.

Dai risultati ottenuti sono stati calcolati i Coefficienti udometrici sito specifici ed i Coefficienti di deflusso così come indicato ai commi 1 e 2 dell'art. 2 del D.D.G. n. 102 del 23 giugno 2021.

Scenario	Tempo di ritorno [Tr]	Area dominio di calcolo [m ²]	Area dominio di calcolo [Ha]	tempo di simulazione[h]	Volume di pioggia precipitato [m ³]	Volume d'acqua perso per infiltrazione [m ³]	Volume d'acqua defluito [m ³]	Coefficiente di deflusso Sito Specifico [φ]	Q _{max_out} [m ³ /sec]	Coefficiente Udometrico Sito Specifico U [l/sec*Ha]
Scenario 1 - Stato di fatto	30	1877568	188	4	109555	69954	16743	0.15	1.60	8.52
Scenario 2 - semi impermeabilizzazione	30	1877568	188	4	109555	69921	18294	0.17	1.70	9.05
Scenario 3 - mitigazione	30	1877568	188	4	109555	71287	16359	0.15	1.52	8.10
Scenario 1 - Stato di fatto	50	1877568	188	4	121788	74222	21481	0.18	2.12	11.29
Scenario 2 - semi impermeabilizzazione	50	1877568	188	4	121788	74186	24153	0.20	2.21	11.77
Scenario 3 - mitigazione	50	1877568	188	4	121788	75730	20987	0.17	2.07	11.02

Schematizzando all'interno del software di modellazione le sezioni di misura vicino al confine dell'area di calcolo è stato possibile calcolare le portate in uscita da quelle sezioni per i tre scenari 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.6.1

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

33

A seguire si riportano i valori e i grafici ottenuti.

Tempo [ore]	scenario 1 T=30 anni			Tempo [ore]	scenario 2 T=30 anni			Tempo [ore]	scenario 3 T=30 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	0.04	0.01	0.01	0.6	0.04	0.01	0.01	0.6	0.04	0.01	0.01
0.7	0.54	0.07	0.08	0.7	0.56	0.07	0.08	0.7	0.5	0.06	0.07
0.8	0.81	1.07	0.22	0.8	0.95	1.26	0.31	0.8	0.79	0.96	0.2
0.9	0.67	1.6	0.23	0.9	0.82	1.7	0.28	0.9	0.65	1.52	0.22
1	0.53	1.49	0.21	1	0.66	1.56	0.22	1	0.51	1.47	0.2
1.1	0.41	1.21	0.17	1.1	0.51	1.22	0.17	1.1	0.39	1.19	0.16
1.2	0.28	1.07	0.12	1.2	0.33	1.02	0.12	1.2	0.27	1.07	0.12
1.3	0.19	0.81	0.08	1.3	0.21	0.76	0.25	1.3	0.18	0.81	0.08
1.4	0.15	0.63	0.06	1.4	0.14	0.6	0.55	1.4	0.14	0.63	0.06
1.5	0.12	0.51	0.04	1.5	0.08	0.45	0.43	1.5	0.11	0.5	0.04
1.6	0.09	0.4	0.03	1.6	0.05	0.37	0.32	1.6	0.09	0.39	0.03
1.7	0.07	0.33	0.02	1.7	0.02	0.3	0.23	1.7	0.07	0.33	0.02
1.8	0.06	0.27	0.02	1.8	0.01	0.26	0.17	1.8	0.06	0.27	0.02
1.9	0.05	0.24	0.01	1.9	0.01	0.22	0.13	1.9	0.05	0.23	0.02
2	0.04	0.19	0.01	2	0.01	0.18	0.1	2	0.04	0.19	0.01
2.1	0.03	0.17	0.01	2.1	0.01	0.16	0.08	2.1	0.03	0.17	0.01
2.2	0.02	0.15	0.01	2.2	0	0.14	0.07	2.2	0.02	0.15	0.01
2.3	0.02	0.13	0.01	2.3	0	0.12	0.07	2.3	0.02	0.13	0.01
2.4	0.02	0.11	0.01	2.4	0	0.1	0.06	2.4	0.02	0.11	0.01
2.5	0.01	0.09	0	2.5	0	0.09	0.06	2.5	0.01	0.09	0
2.6	0.01	0.08	0	2.6	0	0.08	0.06	2.6	0.01	0.08	0
2.7	0.01	0.07	0	2.7	0	0.07	0.05	2.7	0.01	0.07	0
2.8	0.01	0.07	0	2.8	0	0.06	0.05	2.8	0.01	0.07	0
2.9	0.01	0.06	0	2.9	0	0.05	0.04	2.9	0.01	0.06	0
3	0.01	0.05	0	3	0	0.05	0.04	3	0.01	0.05	0
3.1	0.01	0.05	0	3.1	0	0.04	0.03	3.1	0.01	0.05	0
3.2	0.01	0.04	0	3.2	0	0.04	0.03	3.2	0.01	0.04	0
3.3	0.01	0.04	0	3.3	0	0.03	0.03	3.3	0.01	0.04	0
3.4	0.01	0.03	0	3.4	0	0.03	0.03	3.4	0.01	0.03	0
3.5	0.01	0.03	0	3.5	0	0.03	0.03	3.5	0.01	0.03	0
3.6	0.01	0.03	0	3.6	0	0.02	0.03	3.6	0.01	0.03	0
3.7	0.01	0.02	0	3.7	0	0.02	0.03	3.7	0	0.02	0
3.8	0	0.02	0	3.8	0	0.02	0.03	3.8	0	0.02	0
3.9	0	0.02	0	3.9	0	0.02	0.03	3.9	0	0.02	0
4	0	0.02	0	4	0	0.02	0.02	4	0	0.02	0



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

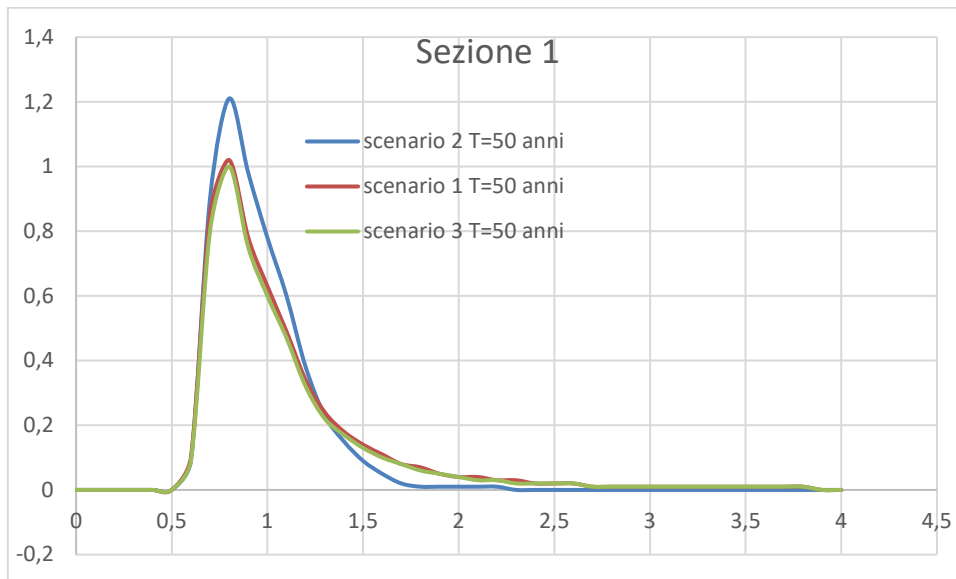
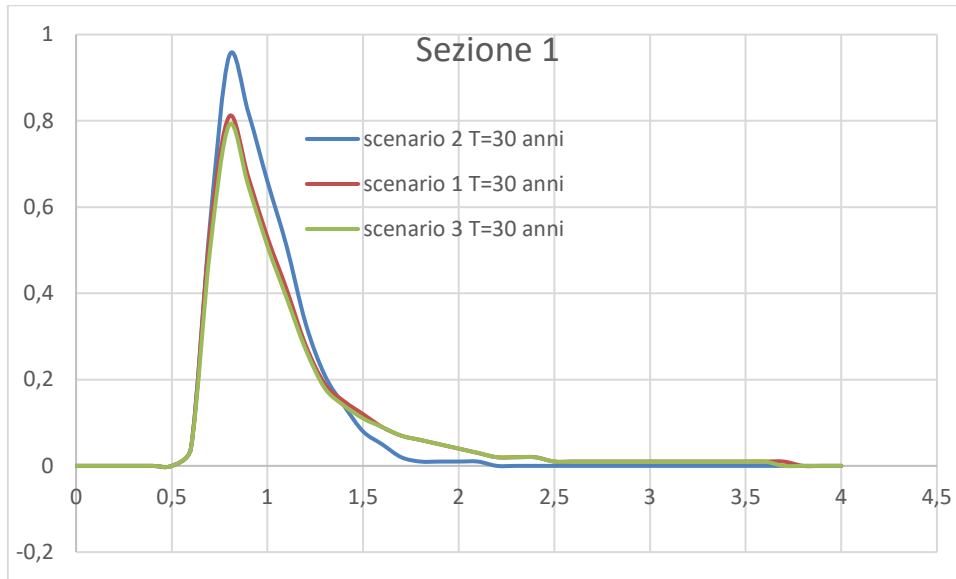
PAGINA

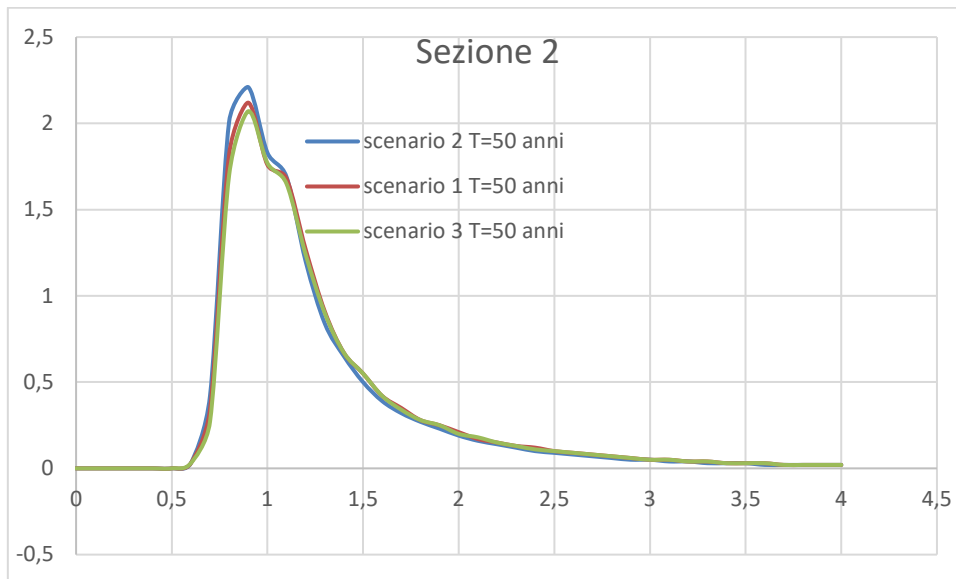
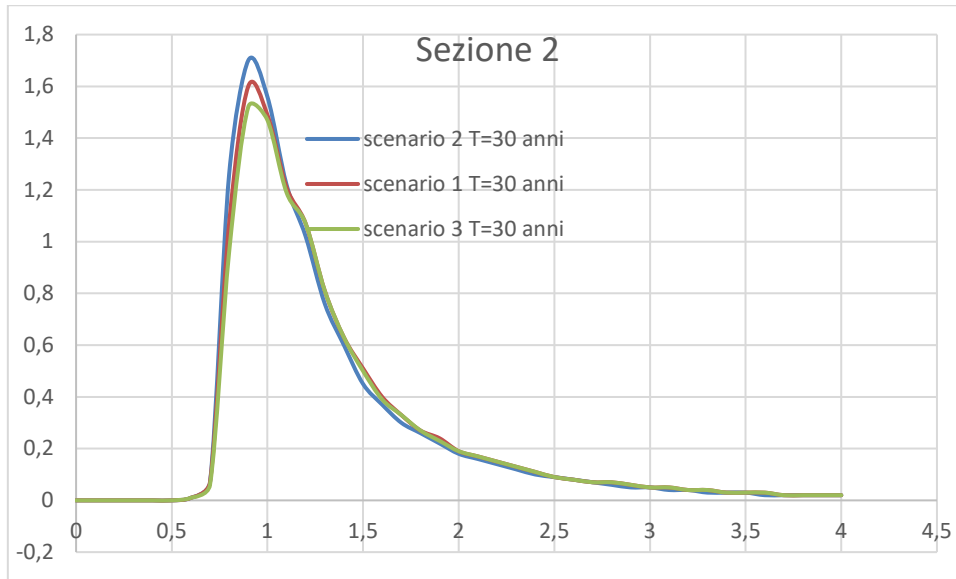
A.6.1

RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

34

scenario 1 T=50 anni				scenario 2 T=50 anni				scenario 3 T=50 anni			
Tempo [ore]	Portata [m3/sec]			Tempo [ore]	Portata [m3/sec]			Tempo [ore]	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







CODICE DOCUMENTO	TITOLO ELABORATO	PAGINA
A.6.1	RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA	37

