

IMPIANTO FV E BESS EX AEROPORTO DI CASTELVETRANO

Impianto FV e BESS – Ex Aeroporto Castelvetro

Castelvetro (TP) - Progetto Definitivo


RELAZIONE DI INVARIANZA IDRAULICA

EV-FS	00	17/05/2022	Emissione	R. Zago	R. Zago	V.D'Ascanio	P. D'Agostino	A. Luce
Stato di Validità	Numero Revisione	Data	Descrizione	Tiemes Srl Preparato	Tiemes Srl Verificato	Tiemes Srl Approvato	Eni Progetti Autorizzato	Eni Plenitude Approvato
Indice Revisione								
Logo Committente e Denominazione Commerciale  RINNOVABILI PER L'ITALIA				Nome progetto Impianto Fotovoltaico FV e BESS - Ex Aeroporto Castelvetro		ID Documento Committente 082601BARG00032 Commessa N.		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale  Tiemes Srl				ID Documento Appaltatore				
Nome d'Impianto e Oggetto IMPIANTO FV e BESS EX AEROPORTO DI CASTELVETRANO Castelvetro (TP) – Progetto Definitivo						Scala n.a.	Numero di Pagine 1 / 95	
Titolo Documento Relazione di invarianza idraulica								

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 2	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E NORMATIVO.....	4
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
2.2	DESCRIZIONE DEI LUOGHI	5
2.3	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	6
2.4	INQUADRAMENTO PAI	6
2.5	USO DEL SUOLO.....	7
3	DATI METEREologici	8
3.1	SINTESI DATI CLIMATICI CASTELVETRANO.....	8
3.2	DATI PLUVIOMETRICI DISPONIBILI.....	8
3.3	PLUVIOMETRO CASTELVETRANO	9
3.4	PLUVIOMETRO PARTANNA	11
3.5	PLUVIOMETRO SANTA NINFA.....	13
4	STUDIO IDROLOGICO.....	15
4.1	PREMESSA	15
4.2	LEGGE DI PIOGGIA DI GUMBEL	15
4.2.1	Metodologia di calcolo.....	15
4.2.2	Risultato delle elaborazioni	16
4.2.3	Pluviogramma sintetico.....	18
4.3	PROCEDURA VA.PI	19
4.3.1	Metodologia di calcolo.....	19
4.3.2	Risultato delle elaborazioni	22
4.4	TCEV 2°LIVELLO	24
4.4.1	Distribuzione probabilistica TCEV secondo livello.....	24
4.4.2	Risultato delle elaborazioni	26
4.5	CONFRONTO TRA I RISULTATI.....	28
5	DEFINIZIONE CLASSE INTERVENTO PER STUDIO INVARIANZA IDRAULICA.....	30
5.1	PREMESSA SULLA PROPOSTA PROGETTUALE	30
5.2	INDICAZIONI TECNICO - NORMATIVE	31
6	STIMA DELLA PORTATA DI PIENA.....	32
6.1	METODO RAZIONALE.....	32
6.1.1	Dati morfologici e tempo di corrvazione	32
6.1.2	Coefficiente di deflusso annuo medio del bacino (Kennessey 1930).....	33
6.1.2.1	Indice di aridità I_a	33
6.1.2.2	Coefficiente di deflusso annuo medio del bacino (Kennessey).....	34
6.1.2.3	Coefficiente di deflusso in condizioni attuali.....	35
6.1.2.4	Coefficiente di deflusso in condizioni finali.....	35
6.1.3	Portata di piena con il metodo razionale	35
6.1.3.1	Portata di piena in condizioni attuali.....	36
6.1.3.2	Portata di piena in condizioni finali.....	36
6.1.3.3	Sintesi dei risultati.....	36
6.2	METODO S.C.S.....	37
6.2.1	CN -Stato attuale	40
6.2.2	CN -Stato di progetto	41
6.2.3	Modello SCS – CN.....	41
6.2.3.1	Idrogramma tempo di ritorno 30 e 50 anni – stato attuale	44
6.2.3.2	Idrogramma tempo di ritorno 30 e 50 anni – stato di progetto.....	45

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 3	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

6.2.4	Sintesi dei risultati.....	45
6.3	CONFRONTO PORTATE DI MASSIMA PIENA	46
7	CALCOLO VOLUME DI LAMINAZIONE.....	47
7.1	METODO SEMPLIFICATO DELLE PIOGGE	47
7.1.1	Premessa.....	47
7.1.2	Risultati del calcolo del coefficiente medio ponderale.....	47
7.1.3	Calcolo volume di invaso.....	48
8	TIPOLOGIA DI SISTEMA DI LAMINAZIONE ADOTTABILE	48
9	CONCLUSIONI.....	58
10	ALLEGATI.....	59
10.1	ALLEGATO 1 – PLANIMETRIA GENERALE CON POSIZIONAMENTO OPERE IDRAULICHE E SEZIONI TIPICHE	59
10.2	ALLEGATO 2 – PROGETTO VAPI – RAPPORTO NAZIONALE VALUTAZIONE DELLE PIENE IN SICILIA	61

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 4	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

1 PREMESSA

Lo scopo della presente relazione tecnica è mostrare i risultati ottenuti dello studio idrologico - idraulico relativo ad un impianto per la produzione di energia da fonte solare fotovoltaica denominato **Castelvetrano PV – Ex Aeroporto**.

L'impianto verrà realizzato all'interno delle aree dell'ex aeroporto di Castelvetrano sito nel comune di Castelvetrano, in provincia di Trapani.

Nella presente relazione vengono descritte la metodologia, le procedure e i risultati dello studio di invarianza idraulica da allegare al progetto definitivo relativo all'impianto fotovoltaico in progetto.

Sono stati utilizzati sia i dati dei pluviometri più vicini all'area di progetto sia le carte di possibilità pluviometrica regionale in modo da identificare l'approccio più conservativo.

In relazione vengono mostrati i valori ottenuti attraverso l'analisi dei dati pluviometrici delle stazioni di Castelvetrano, Partanna e Santa Ninfa e confrontati con quelli ottenuti dalle curve regionali. Ai fini dei calcoli idrologici verrà utilizzata la stazione di Castelvetrano, situata nelle vicinanze dell'area di impianto.

Per la stazione di Castelvetrano, infine verranno confrontati i risultati ottenuti dalle 3 diverse metodologie (Gumbel, VA.PI. TCEV livello 2) utilizzate.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E NORMATIVO

2.1 Inquadramento geografico

L'area interessata dall'intervento coincide con l'ex aeroporto militare di Castelvetrano; tale sito ha una forma ellittica ed è situata nella zona periferica occidentale del centro abitato di Castelvetrano.



Figura 1: Inquadramento aereo dell'area oggetto di intervento

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 5	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

2.2 Descrizione dei luoghi

L'area di progetto ha un'estensione pari a circa 96,4 ha.

Il sito risulta delimitato da una strada comunale che percorre il perimetro dell'area ellittica definendone, di fatto, l'estensione.

Al centro dell'area di progetto risulta essere presente la pista dell'aeroporto che ha dimensioni pari a circa 1200 m x 70 m (lunghezza x larghezza) che si sviluppa in direzione N-S. La pista è stata realizzata in asfalto.

Sono presenti piste che collegano la pista al perimetro della zona. Tali opere risultano essere in condizioni degradate.

L'area al momento risulta essere panneggiante e contraddistinta da erbe spontanee e vegetazione a basso fusto tale da non creare problemi alla realizzazione del progetto.



Figura 2: Stato attuale della pista



Figura 3: Stato attuale della pista

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 6	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

L'area in oggetto risulta a bassa pendenza (circa 1,1%), con la porzione più elevata è a circa quota 175 m slm e la quota più bassa è circa 160 m slm. La linea di massima pendenza si sviluppa con direzione NE – SW.

2.3 Inquadramento idrografico

Lo studio idrologico prevede la preliminare definizione del reticolo idrografico per individuare le possibili interferenze con le opere in progetto.

Da un punto di vista idraulico, l'area di interesse (cerchio rosso) ricade in prossimità della sorgente del torrente Giacossia, situato a Ovest dell'impianto, ma senza interferire.

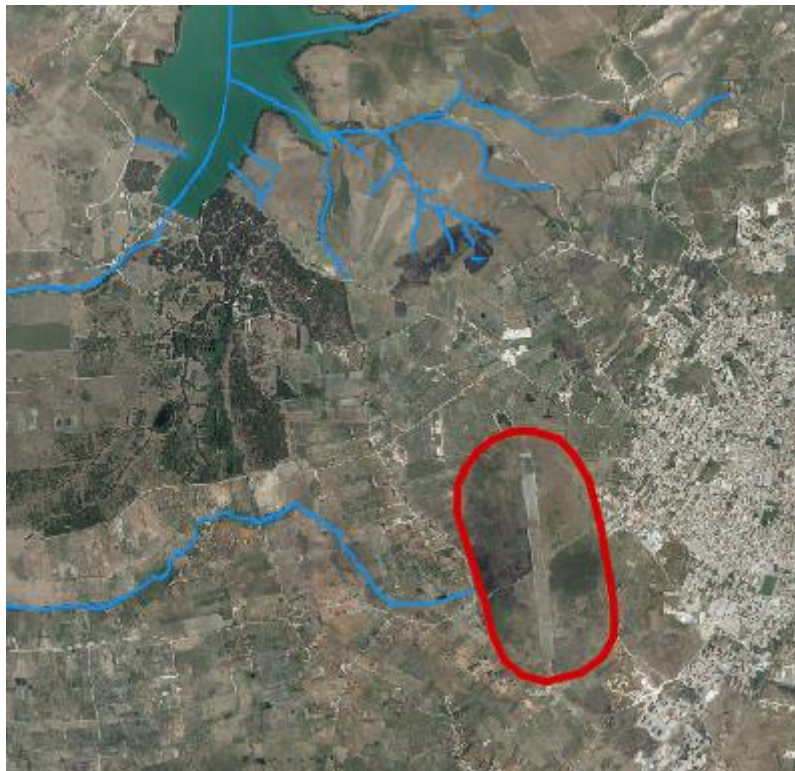


Figura 4: Elementi idrici in prossimità dell'area di progetto

2.4 Inquadramento PAI

L'area di progetto (cerchio in blu) non ricade in aree PAI classificate a pericolosità o rischio idraulico e geologico.

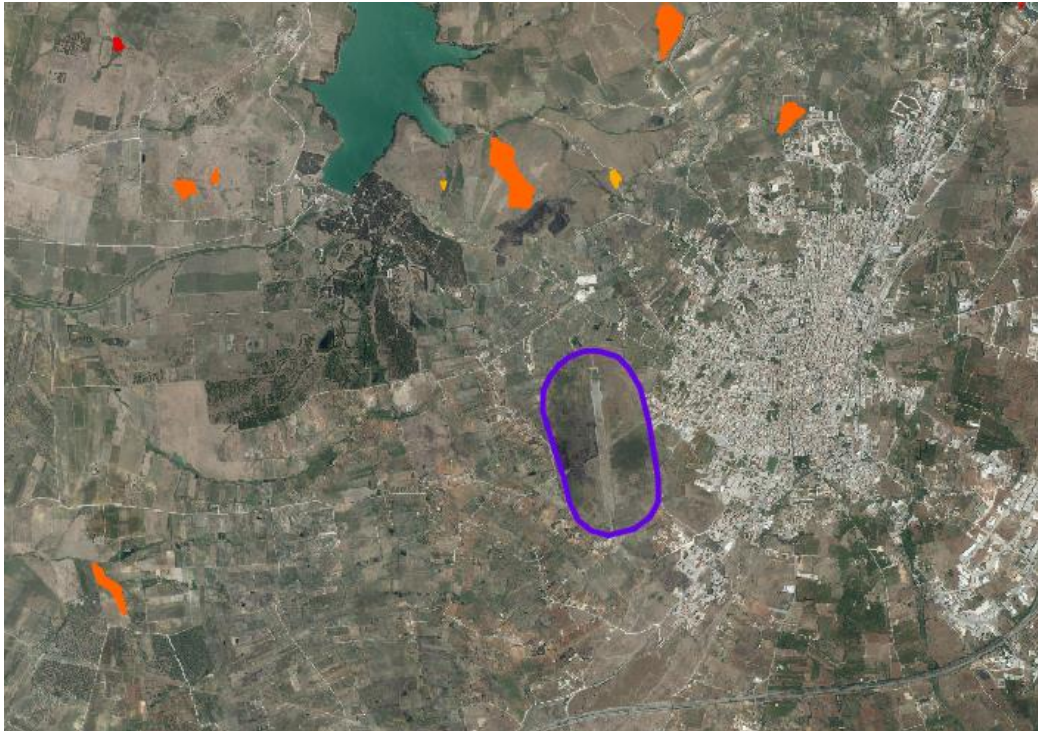


Figura 5: Area di impianto (cerchio blu) rispetto ad aree a pericolosità e rischio idraulico o frana secondo classificazione PAI

2.5 Uso del suolo

L'area di progetto, in base al Corine Land Cover 2012, presenta il codice 124, ovvero "Territori modellati artificialmente – zone industriali, commerciali e reti di comunicazione – Aeroporti".

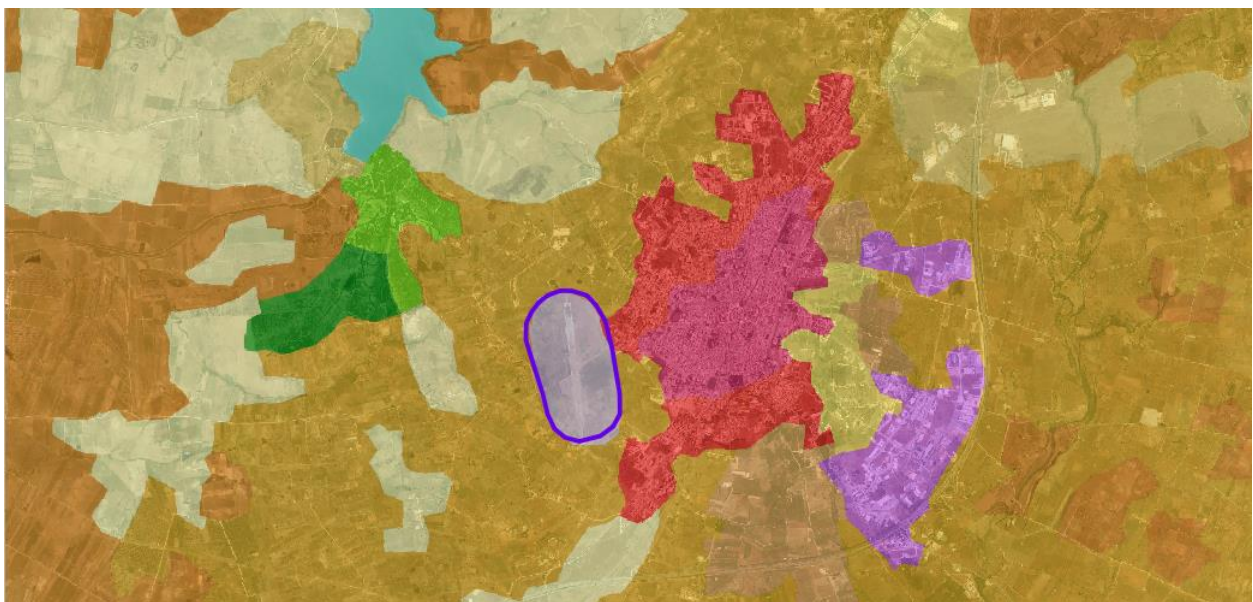


Figura 6: Area di impianto (cerchio blu) rispetto al Corine Land Cover 2012

Il dislivello (calcolato utilizzando un DEM con risoluzione 10 m) risulta di circa 15 metri, con la linea di

	ID Documento Committente 082601BARG00032		Pagina 8	
			Stato di Validità	Numero Revisione
	EV-FS		00	

massima pendenza con direzione NE-SW. Sono riconoscibili le tracce lasciate dalla pista di volo e alcune piste che attraversano l'area, che nel complesso appare comunque pianeggiante.

3 DATI METEOROLOGICI

3.1 Sintesi dati climatici Castelvetro

Di seguito la sintesi dei dati medi climatici mensili per Castelvetro ricavata dal sito [climate.data.org \(https://it.climate-data.org/europa/italia/sicily/castelvetro-13899/\)](https://it.climate-data.org/europa/italia/sicily/castelvetro-13899/):

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Precipitazione (mm)	68	65	54	50	25	7	3	9	44	77	77	69
Umidità (%)	77	75	74	71	66	60	58	0	69	75	76	76
Giorni di pioggia (n°)	8	7	6	6	4	1	1	1	5	6	8	8
Ore di sole (ore)	6.1	6.7	8.3	10.1	11.5	12.7	12.6	11.8	9.8	8.2	6.9	6.2
Temperatura media (°C)	10.5	10.4	12.3	14.8	18.5	22.9	25.7	26.1	22.7	19.4	15.4	12
Temperatura massima (°C)	13.1	13.1	15.5	18.2	22.2	27	30	30.2	26.1	22.5	17.9	14.4
Temperatura minima (°C)	8	7.7	9.3	11.4	14.6	18.4	21.2	21.8	19.4	16.6	13	9.7

3.2 Dati pluviometrici disponibili

Ai fini dell'analisi pluviometrica dell'area di progetto sono stati utilizzati i dati registrati nelle seguenti stazioni pluviometriche:

- Castelvetro
- Partanna
- Santa Ninfa

Tutte e 3 dispongono di serie pluviometriche fino a 120 ore. I dati di pioggia sono stati ricavati agli Annali idrologici disponibili sul sito della Regione Sicilia al seguente link <https://www.regione.sicilia.it/istituzioni/regione/strutture-regionali/presidenza-regione/autorita-bacino-distretto-idrografico-sicilia/annali-idrologici>

Peri i successivi calcoli si è deciso di considerare i dati provenienti dal pluviometro di Castelvetro in quanto situato in prossimità dell'area di impianto (cerchio rosso in *Figura 7*). Di seguito vengono indicate le coordinate del pluviometro ricavate dalla relazione del PAI del bacino del Modione.

Tabella 1 – Coordinante dei pluviometri Castelvetro e Partanna

Tabella 1.4 - Elenco delle stazioni pluviometriche e termo-pluviometriche ricadenti all'interno del bacino del F. Modione (056) e dell'area intermedia tra F. Arena e F. Modione (055)

STAZIONE	ANNI DI OSSERVAZIONE	STRUMENTO	QUOTA (m s.l.m.)	COORDINATE (UTM)	
				Nord	Ovest
Castelvetro	19965-1994	Termo-pluviometro	190	4173397	303708
Partanna	19965-1994	Termo-pluviometro	407	4176651	313369

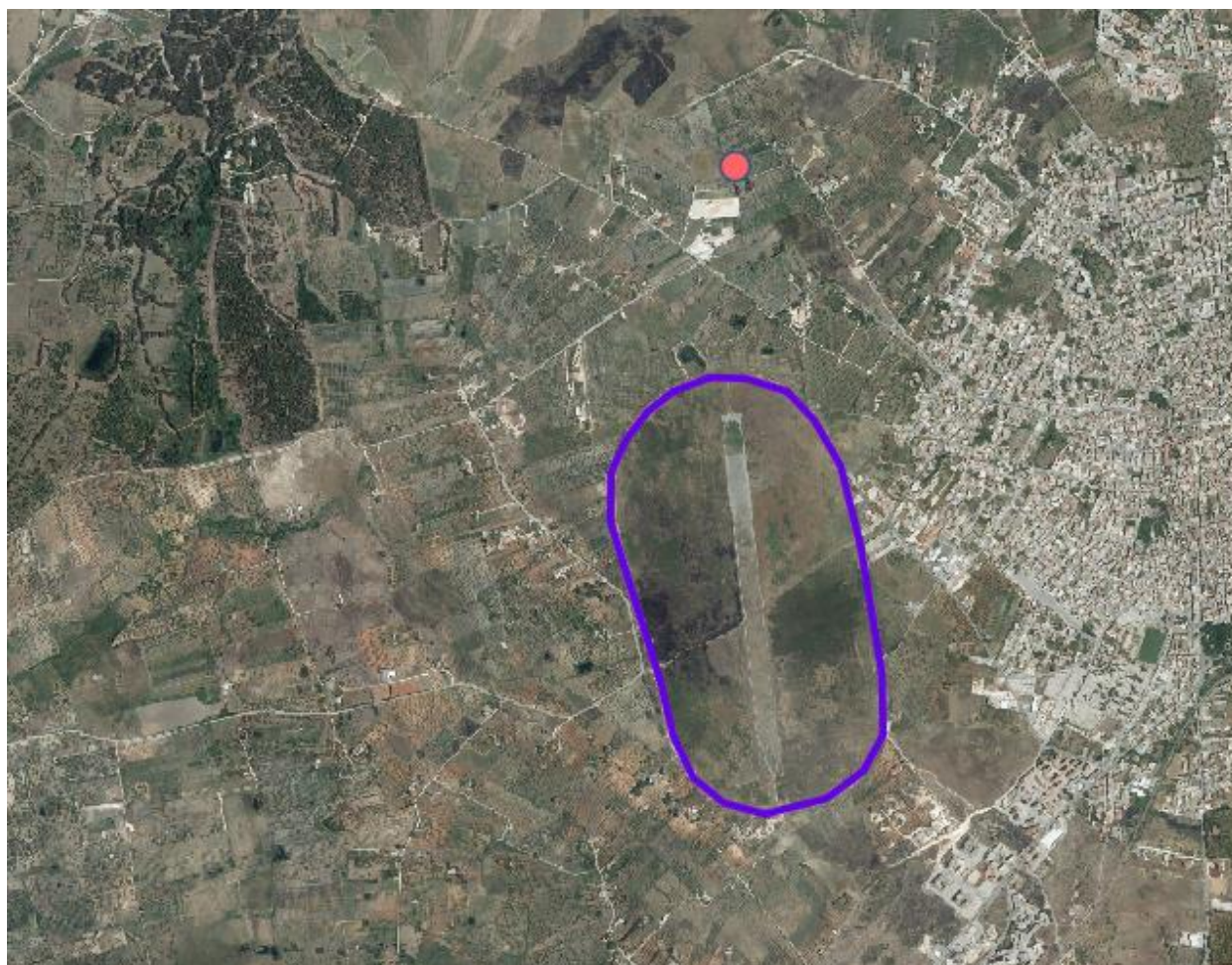


Figura 7: Inquadramento del pluviometro di Castelvetrano rispetto all'area di progetto

3.3 Pluviometro Castelvetrano

I dati disponibili sono i seguenti:

Tabella 2 – Dati pluviometrici stazione pluviometrica Castelvetrano – Serie di 45 osservazioni di altezze di pioggia [mm] per diverse durate per il periodo 1953 - 2016

n°	Durate								
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
1	41	46	48	49.8	51.8	52.4	52.6	54	62.2
2	48	59	67.6	67.6	73.4	73.8	76.4	83.8	95.8
3	19.6	28.2	28.4	33.6	38.2	38.4	41.4	43.4	51.6
4	48.4	60	60.4	87.2	87.2	87.2	87.4	87.4	87.8
5	28.2	39.8	44.4	44.4	51.8	52.6	63.4	63.6	63.6
6	38	42	42	43.4	45.2	82.8	83	83.2	83.4
7	28.4	28.4	28.4	33.8	55	68.4	83.4	84	84.2
8	28.4	42.6	68.6	120.8	129	136.8	137	137	142
9	27	35.4	36.6	39	42.2				
10	18.4	20.4	24.2	25	33	34	43.4	61.2	61.4
11	10	22.8	24.6	24.6	29	33.2	46.6	52	67.4

12	52.6	53.8	53.8	53.8	53.8	53.8	54.6	55.6	56.4
13	18.4	21.2	37.6	59.2	63				
14	19	43.4	46.4	50.6	50.6				
15	26.8	30.2	34.8	49.6	79				
16	47.2	49.2	49.2	49.8	49.8	49.8	49.8	51	51
17	38.6	39	40.2	41.2	43.2	49	59.2	65.4	67.4
18	53	58.6	59.2	59.4	59.4	59.4	69	69	70
19	32.2	34.6	42.4	42.6	47.6				
20	10.6	15.2	19.2	27.4	29.4	29.4	40	40	47
21	19.2	35.6	37.2	37.6	37.6	37.6	38.2	38.2	38.6
22	44	75.6	102.2	106.8	113.4	119	127	134.8	135
23	10.4	13.6	20	22.6	38.2	39	48.6	49.4	49.6
24	9.4	15.4	17	17	19.6	26.4	31.8	38.4	42
25	23.6	26.8	31.6	34.4	55.6	64.6	65.8	99	99
26	28.4	29.6	35.8	47.2	78	113.8	118.6	119.2	119.8
27	27	27.8	28.4	42.8	42.8	44.8	48.6	50	50.2
28	60	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	101.4	101.4	101.4
29	27.6	42.6	51.8	51.8	74.6	74.6	74.6	74.6	74.8
30	13	16	23.8	27.4	43.2	43.2	43.2	43.2	43.2
31	27.6	33	33	33	44.4	80	80.2	85.8	104.2
32	14.2	14.2	21.2	23.6	24.4	30	44	55	56
33	26	27.8	31.2	35.6	35.6	43.4	54.4	61.2	66.2
34	19.8	33.6	41.2	56.4	56.4	59.2	64.4	106.2	109.2
35	37.2	45	54.8	77.2	77.2	77.2	78	78.2	78.2
36	32.6	34.8	34.8	34.8	34.8	38.2	46.2	56.4	60.8
37	16.2	32.4	40	40.8	62.6	69	85.8	110.2	110.2
38	17.8	25	37	63.4	70.4	71.8	100	100.2	113.2
39	11.6	17	17.2	38	66.8	77.8	85.4	90.4	94.6
40	32	42.2	56.8	82.2	92.4	92.4	94.8	95	95
41	26.2	37.4	38.2	38.4	38.4				
42	27	34.2	44	66.8	80	111.8	137.8	139.6	165.6
43	21.8	28.6	34	37.6	66	68.2	68.4	73.8	91.2
44	34.6	44.6	60.8	66.8	66.8				
45	25	30.6	40.4	47.8	47.8	47.8	49.6	55.8	55.8

Tabella 3 – Dati statistici stazione pluviometrica Castelvetro

Parametro	Durate								
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	45	45	45	45	45	38	38	38	38
Somma dei dati	1266	1633	1888.2	2232.6	2578.4	2430.6	2674	2886.6	3045
Valore minimo	9.4	13.6	17	17	19.6	26.4	31.8	38.2	38.6
Valore massimo	60	99.8	102.2	120.8	129	136.8	137.8	139.6	165.6
Valore media	28.13	36.29	41.96	49.61	57.30	63.96	70.37	75.96	80.13
Dev. Standard	12.64	16.60	18.38	22.64	23.22	27.32	27.85	28.31	30.17
Coeff. Variazione	0.449	0.457	0.438	0.456	0.405	0.427	0.396	0.373	0.376
Coeff. Assimetria	0.625	1.518	1.468	1.326	1.004	0.826	0.927	0.693	0.86

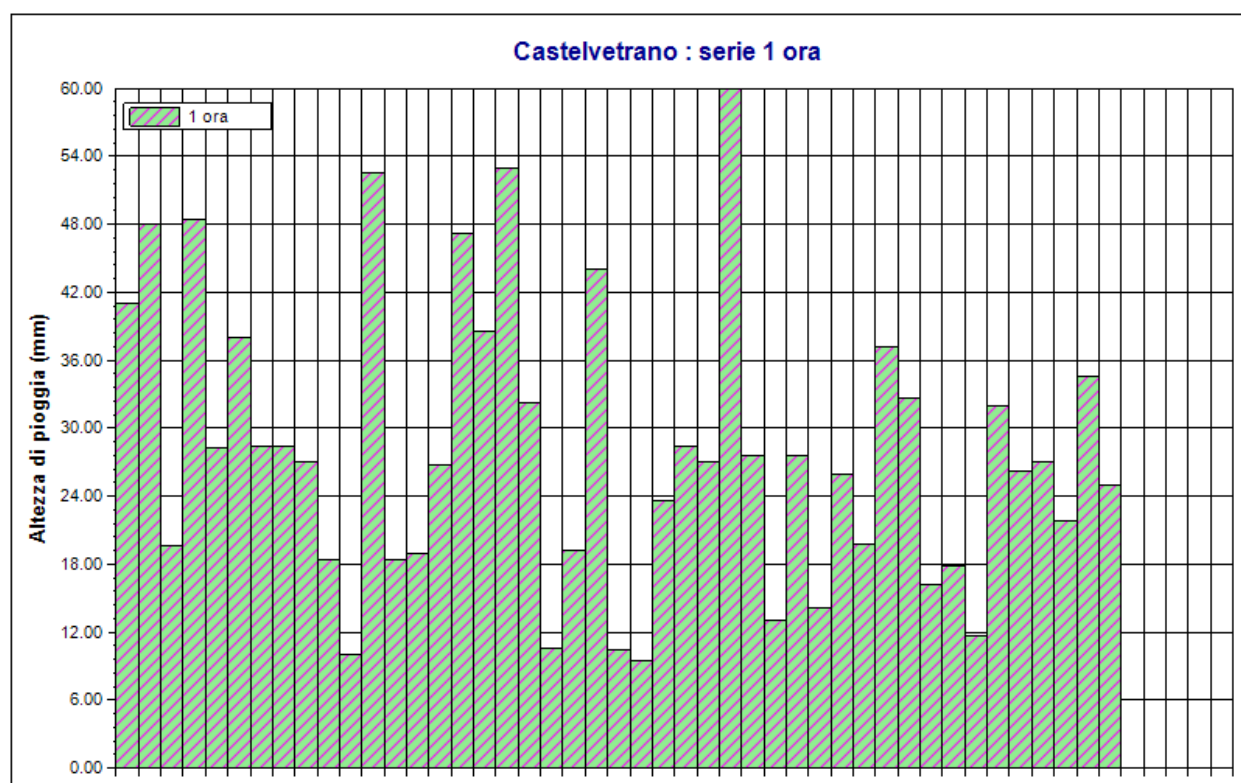


Figura 8: Castelvetro – altezze di pioggia per durata di 1 ora

3.4 Pluviometro Partanna

I dati disponibili sono i seguenti:

Tabella 4 – Dati pluviometrici stazione pluviometrica Partanna – Serie di 46 osservazioni di altezze di pioggia [mm] per diverse durate per il periodo 1953 - 2016

n°	Durate								
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
1	30	33.8	40.8	40.8	45.6	54.6	59.2	62	62.8
2	16.6	26.2	29.8	41.6	53.6	53.8	63.6	63.8	63.8
3	38	42	42	43.4	45.2	82.8	83	83.2	83.4

4	12.6	19.8	20.8	29	55.4	71.6	80.8	81	81
5	27.6	43	66.6	90	98.2	103	103.6	103.8	108.4
6	27	37.4	39.4	39.6	43.8				
7	27.6	27.8	33	47.4	59.8	60.4	82.2	91	98
8	20.2	33	38.4	39	41.4	42.6	47.6	52.6	58
9	22	32.2	32.2	34.4	41	45	47	58.2	58.6
10	17.4	24.6	33	33.4	33.6	37.4	50	58	73.2
11	46.8	49.4	49.6	53	71.2	74	74	74	74
12	26.4	30	44.8	66.2	70	70.2	81	93.4	93.6
13	28	50	53.6	56	56	63.4	63.6	63.6	68.2
14	19.6	21.4	36	36.4	39.6	43	50.6	61	76.6
15	38.6	43	50.8	58	62.4	83.6	85.2	92.2	151.2
16	55.4	58	58.2	58.2	58.2	69.6	77.6	85	78.6
17	28	34	36.4	46.6	47.8	50.6	50.6	50.8	60
18	32.4	34.8	35	35	35.4	44.6	45.4	45.4	46.4
19	14.4	20.6	31.6	35.6	35.6	42.8	57.6	67.4	67.4
20	45.4	69	69	70.6	70.6	70.6	87.2	87.2	94.6
21	28.2	30.8	30.8	35	46.6	57.4	67	70.2	70.4
22	26.6	27.8	27.8	27.8	30.2	30.8	34.2	46.2	49.8
23	19.6	33.6	52	69	84	84	94.8	95	103
24	12	16.8	17.2	17.2	18.4	17.6	36.4	36.6	51.6
25	22.8	28	30.6	44.2	46	64.2	64.8	97.6	113
12	14.2	19.8	22.4	38.8	37	38.6	39.6	43	50
27	26	46	48	50.4	52.6	52.6	69.6	96.4	105.2
28	29	29	32.6	35.2	53.8	77.8	78.8	79	79.8
29	18.4	18.8	26.8	32.4	33.2	33.2	34.4	38.8	39.2
30	52.2	67.8	86.4	91.8	93.8	112	117.2	121.8	131.8
31	27.2	38.6	41	48.2	63	66	68	69.8	70
32	22	30.2	30.4	34.4	50.8	51.2	54	55	55.2
33	25.2	34	37	47.8	49	60.6	64.4	75.4	83.4
34	29.4	46.4	56.2	63.8	74.6	74.6	78.8	80	99.8
35	20.2	29.8	35.2	43	50.8	50.8	67.8	81.6	86.2
36	23	24.8	276	31.6	81.4	81.2	81.6	82	82.4
37	30.2	31.6	31.6	31.6	39.2	46.4	59.8	76.4	84.2
38	35	70	73.2	80	92.4	94.6	94.8	122	129.4
39	26	272	34	60.5	70	70.4	79.6	79.8	95
40	10.6	15.6	21	35	41.6	60	62.2	66.8	68.4
41	29	42.6	52.2	71.8	82.8	83	83	83	83
42	30	35.6	41.6	43.8	44.2	62	76.8	86	92.4
43	13.8	28.8	43.8	55	59	71.2	88	93	103.4
44	36	65	128.4	154	158.2	160.4	196.8	209	249.2

45	31.4	32	45	49.2	53.8	59.4	60.6	75.2	75.4
46	27	43.6	59.2	67.4	67.4	90.6	91	96.8	140.4

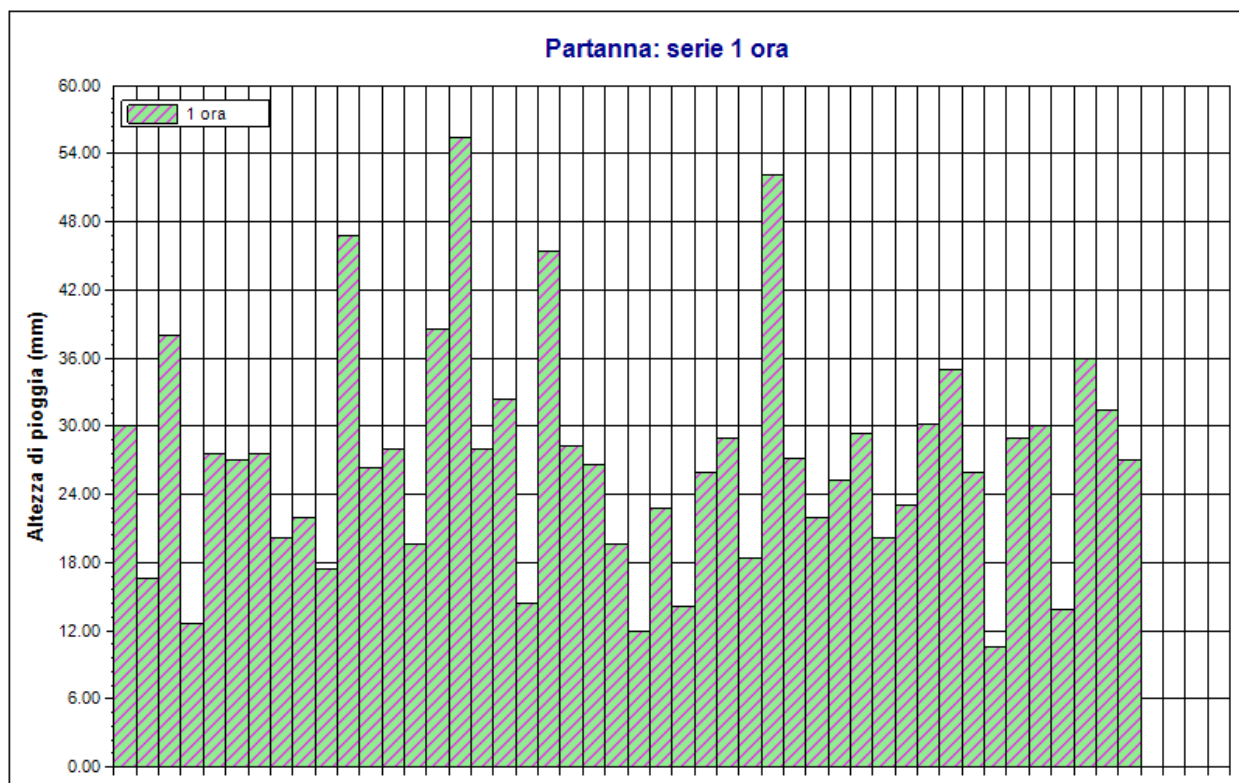


Figura 9: Partanna – altezze di pioggia per durata di 1 ora

3.5 Pluviometro Santa Ninfa

I dati disponibili sono i seguenti:

Tabella 5 – Dati pluviometrici stazione pluviometrica Santa Ninfa – Serie di 37 osservazioni di altezze di pioggia [mm] per diverse durate per il periodo 1953 - 2016

n°	Durate								
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
1	22.8	29.2	31.8	39.2	39.2	428	55.4	61.8	74.4
2	57	79.4	85.4	91.4	91.4	105.4	105.6	106	119.8
3	25.4	27	27.2	33.4	46	49.6	49.6	52	62.4
4	31	51.2	51.6	63	76.2				
5	33	35.4	35.6	38.6	41.2				
6	30.4	36.8	39.4	40.4	40.4				
7	28.4	34.8	57.2	62.4	63	63.4	72	72.4	72.4
8	39	64	64.6	80.6	81.8	81.8	81.8	90.6	90.6
9	27.6	27.6	27.6	27.6	46.8	47.2	47.6	49.6	57
10	21.4	33.4	35.4	36	45.8	46.4	56.6	56.8	58
11	15.2	26.4	30.6	34.6	65	92.8	111.4	112.6	112.6
12	27.8	42.8	63.6	87.2	94.2	96.4	96.6	96.6	98.4

13	33.2	33.2	34.6	38.4	47.4				
14	31	46.2	51.8	53.6	57.6	67.4	70.2	71.4	76.2
15	30	46.8	46.8	68.4	76.6	81.4	84.6	85	85
16	28.2	28.2	35.8	37.4	38				
17	29.2	29.8	29.8	30.8	30.8	37.4	41.2	54.2	61.8
18	21.8	22.8	35.2	50.2	51.6	51.6	73.2	81.8	81.8
19	21.2	46.6	57.6	61.2	61.4	71.6	71.6	71.6	75.8
20	16	24.6	34.4	39.8	57.2				
21	60.6	84.4	96	99	99.4	99.6	108.8	114.4	149.8
22	25.8	25.8	29.4	35.2	53.8	65.2	70.6	74.2	75.4
23	20	29	40	61.2	61.2	61.2	61.2	61.4	61.4
24	29.6	32	32.2	34.2	34.2				
25	19.2	23.8	29.6	30.4	34.8	52.8	742	75.8	76.4
26	60	63.2	64	65.4	65.4	65.4	77	77.4	84.6
27					25	50	70	82.5	87.5
28					82	87	99	126.5	129.5
29					59.2	64	84	86	100.5
30					70	76	78	78	78
31					61	80.5	80.5	80.5	80.5
32					32	44.2	53.7	60.3	67.3
33					54	74.2	96.6	96.8	110
34					125	129	155	182.5	202.5
35					52.2	55.2	55.2	70.2	76.7
36					120	144	159.5	169	178.3
37					55.2	55.2	55.2	606.6	60.6

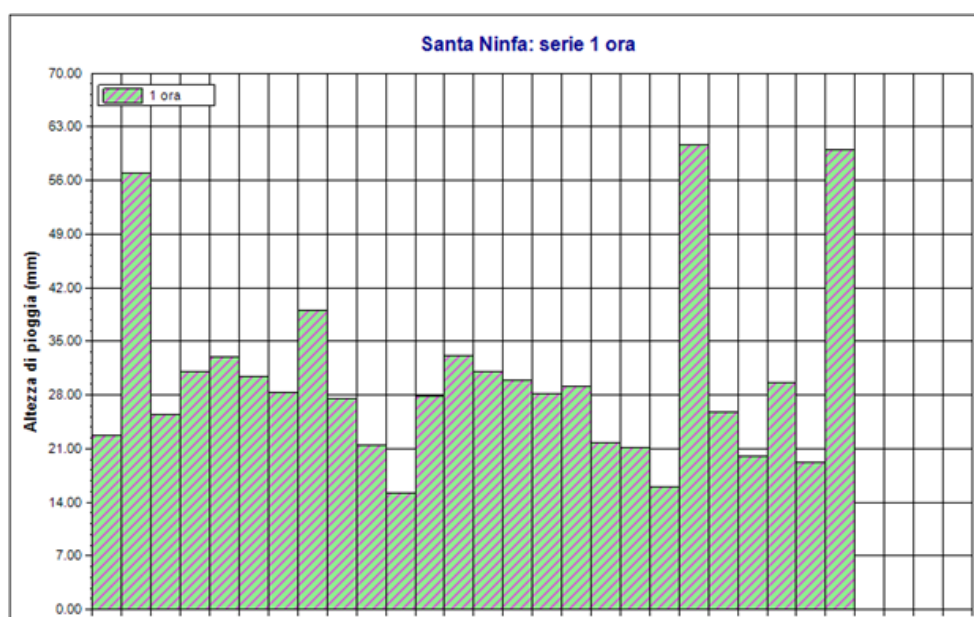


Figura 10: Santa Ninfa – altezze di pioggia per durata di 1 ora

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

4 STUDIO IDROLOGICO

4.1 Premessa

Lo studio idrologico si basa sulla definizione delle curve di possibilità pluviometrica relative all'area di progetto attraverso 3 distinte metodologie:

- 1 **Legge di pioggia di Gumbel**: per diverse durate e tempi di ritorno sono state ricavate altezze di pioggia partendo dai dati pluviometrici della stazione di Castelvetrano utilizzando il software Runoff Lab rilasciato dalla società GeoStru.
- 2 **Metodo VA.PI sulla Valutazione delle Piene in Italia**: ha come obiettivo la regionalizzazione delle piogge intense su tutto il territorio nazionale secondo criteri omogenei (utilizza un'elaborazione di 3° livello in cui tutti i parametri sono stati stimati con tecniche di analisi regionale utilizzando i risultati ottenuti dal Progetto VAPI per la regione Sicilia portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali
- 3 **TCEV di livello 2**: il livello 2 di regionalizzazione utilizza parametri delle precipitazioni ricavate dalle serie pluviometriche locali utilizzando il software Runoff Lab rilasciato dalla società GeoStru.

Le curve di possibilità pluviometrica, ricavate con i vari metodi, avranno la seguente forma:

$$h = a * d^n$$

Dove:

- h è l'altezza di pioggia relativa ad una ceca durata con un prestabilito tempo di ritorno;
- d è la durata dell'evento;
- a e n sono i parametri della curva

Nella stima delle portate utili alla verifiche di compatibilità idraulica e al dimensionamento della rete di smaltimento delle acque è stata considerata la curva di possibilità pluviometrica, derivante da ciascuna metodologia applicata, che produce il massimo risultato.

4.2 Legge di pioggia di Gumbel

4.2.1 Metodologia di calcolo

Per stimare la legge di pioggia si ipotizza che le altezze di precipitazione massime annuali per diverse durate, si distribuiscono secondo la legge di Gumbel (G. Becciu, A. Paoletti, Fondamenti di costruzioni idrauliche, UTET, 2013)

$$\varphi(h) = e^{-e^{-\alpha*(h-\varepsilon)}}$$

I parametri ε ed a sono legati alla media h e allo scarto quadratico medio σ della x dalle relazioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$\varepsilon = \eta - 0,45 * \sigma$$

Per la stima dei due parametri si utilizza il metodo dei momenti ottenendo:

$$\alpha = \frac{1.283}{s}$$

$$\varepsilon = M - 0,45 * s$$

Dove s e M indicano i momenti campionari del primo e secondo ordine. Utilizzando la relazione tra probabilità di superamento e periodo di ritorno:

$$T \leq \frac{1}{1 - P}$$

Applicando passaggi matematici si ottiene la seguente relazione:

$$h = M - s * \left[0.45 + 0.78 * \ln \ln \left(\frac{T}{T - 1} \right) \right]$$

Mediante tale relazione, per ciascuno valore di tempo di ritorno T, si ottengono cinque valori di h corrispondenti alle durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore; i punti (t,h) individuano una curva con tempo di ritorno fissato, chiamata curva di possibilità pluviometrica per un determinato tempo di ritorno

L'insieme dei punti così individuati verrà interpretato da una legge di tipo monomia

$$h = a * t^n$$

dove a ed n sono parametri caratteristici della stazione e verranno stimati per i diversi tempi di ritorno T.

Di seguito vengono riportate le curve di possibilità pluviometrica della stazione di Castelvetrano per i tempi di ritorno analizzati.

4.2.2 Risultato delle elaborazioni

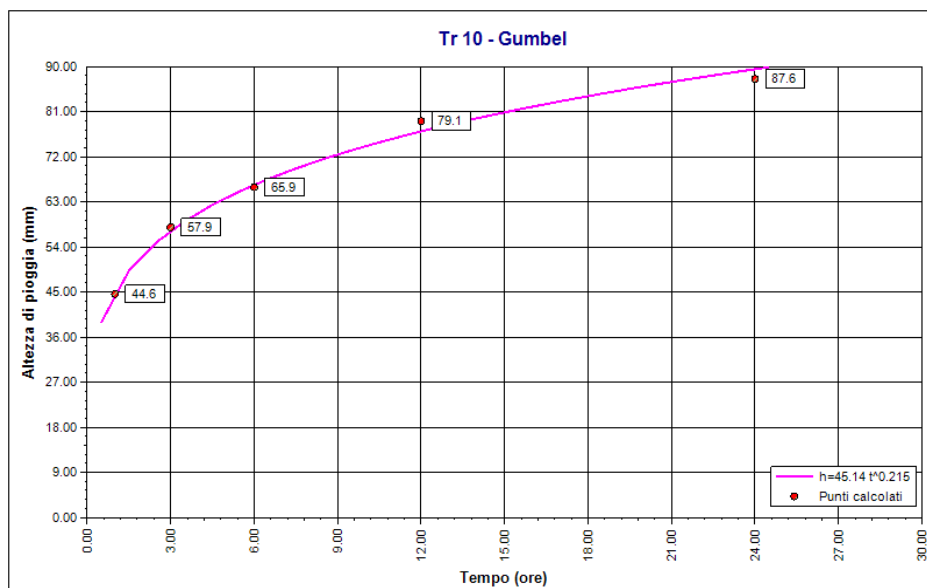


Figura 11: Castelvetrano – Curva di possibilità pluviometrica T=10 anni

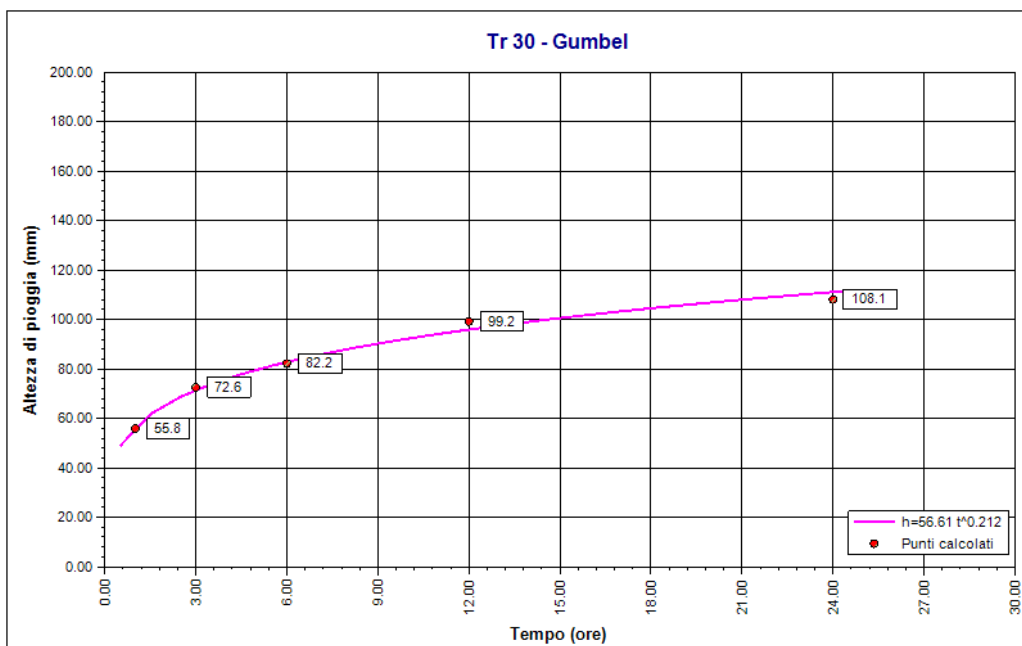


Figura 12: Castelvetrano – Curva di possibilità pluviometrica T=30 anni

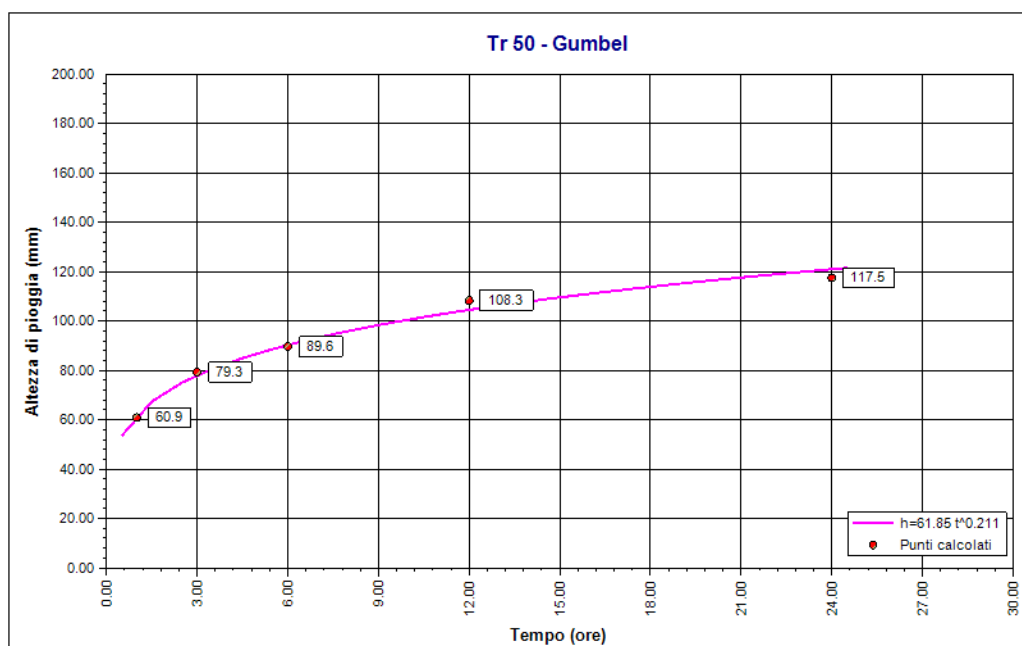


Figura 13: Castelvetrano – Curva di possibilità pluviometrica T=50 anni

Di seguito vengono indicati i parametri della curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno e le altezze di piogge di pioggia (in mm) per alcune durate di tempo.

Tabella 6 – Altezze pioggia [mm] e parametri curva possibilità pluviometrica Castelvetrano

Tr	a	n	h 1 ora	h 3 ore	h 6 ore	h 12 ore	h 24 ore
10	45.14	0.22	44.62	57.94	65.94	79.15	87.59
30	56.61	0.21	55.80	72.62	82.19	99.17	108.12
50	61.85	0.21	60.90	79.32	89.61	108.30	117.49

4.2.3 Pluviogramma sintetico

Di seguito si riportano i pluviogrammi sintetici relativi alla distribuzione di Gumbel con tempi di ritorno di 30 e 50 anni. La durata dell'evento di pioggia è pari 1 ore. Il tipo di ietogramma considerato è quello Chicago con picco pari a 0.4 rispetto alla durata dell'evento. L'intervallo di discretizzazione è pari a 5 minuti.

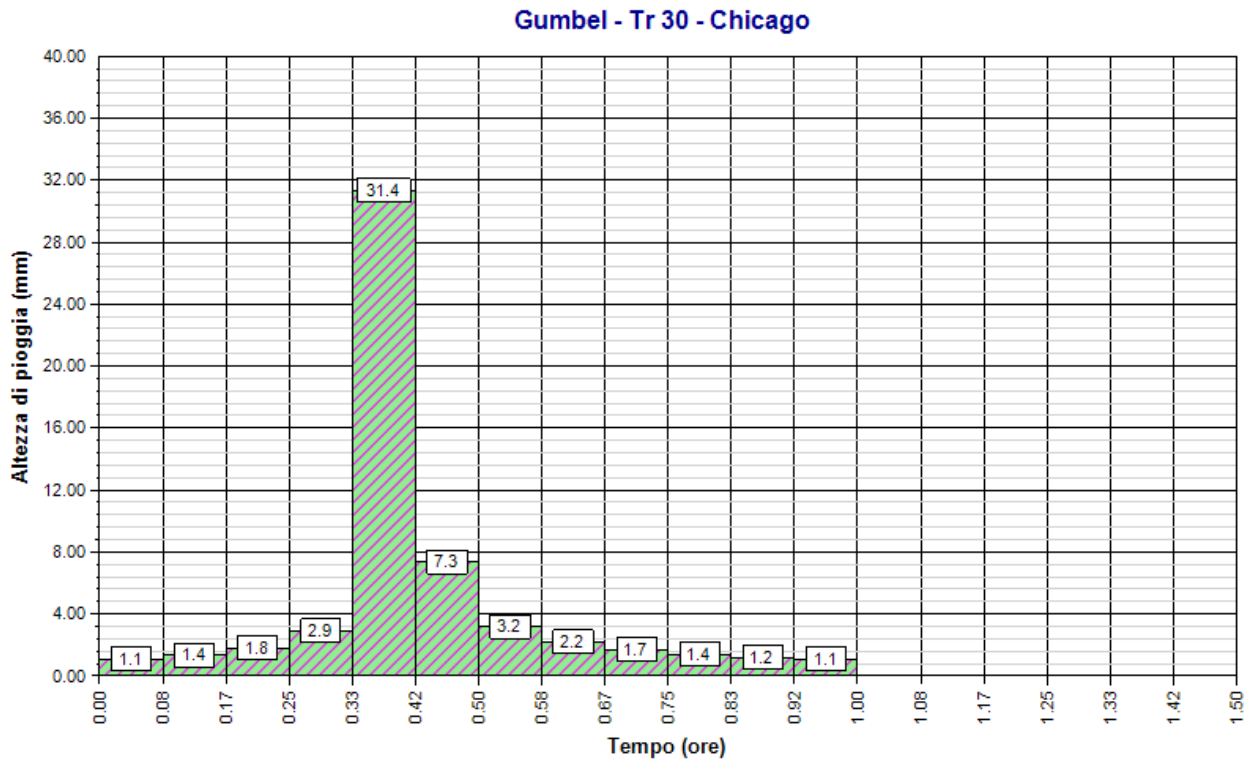


Figura 14: Castelvetrano – Pluviogramma sintetico Gumbel T=30 anni

Gumbel - Tr 50 - Chicago

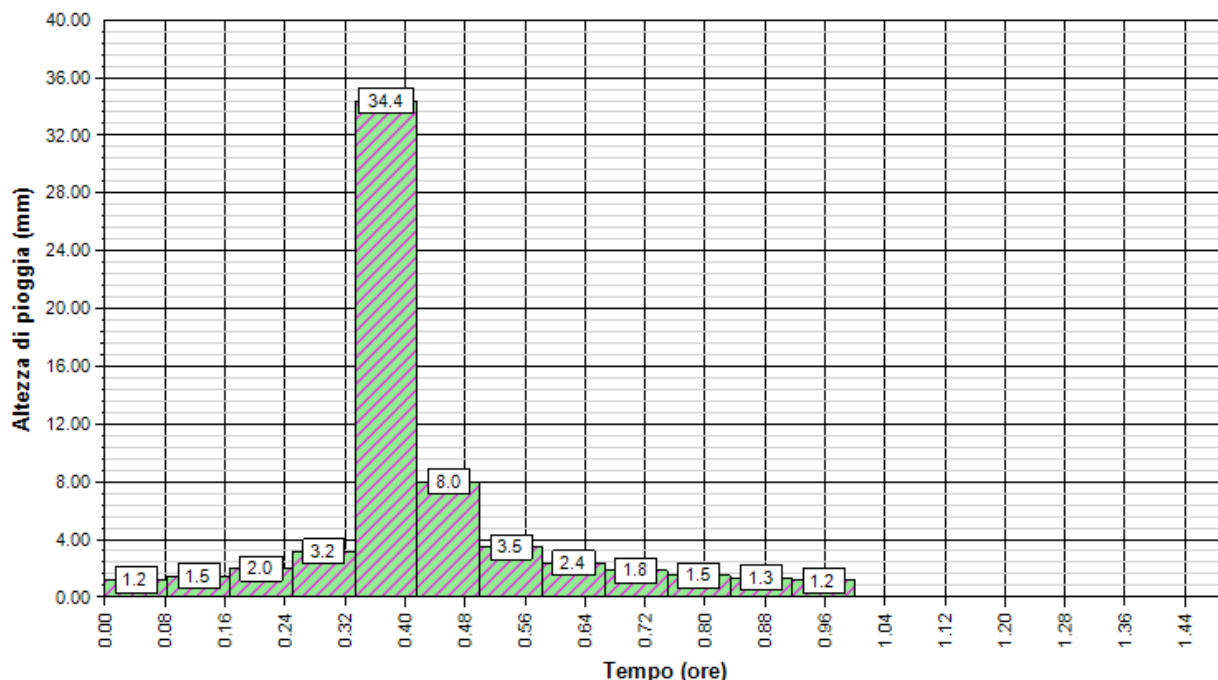


Figura 15: Castelvetroano – Pluviogramma sintetico Gumbel T=50 anni

4.3 Procedura VA.PI

4.3.1 Metodologia di calcolo

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

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 Conti et al., 2007 inserita nel documento "La valutazione delle piene in Italia" portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. In allegato è presente il documento completo con la sintesi relativa alla Regione Sicilia.

In sintesi i parametri da utilizzare per l'approccio TCEV sono quattro Λ^* , Λ_b , θ^* e $\theta_{b,d}$.

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali si individua:

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 20	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

- Nel *primo livello di regionalizzazione*, regioni omogenee rispetto ai due parametri Λ^* e θ^* , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di asimmetria;
- Il *secondo livello di regionalizzazione* individua sottozone omogenee rispetto al parametro di scala Λ_b , (dipendente dal fattore di crescita che dipende dal tempo di ritorno) da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione;
- Il *terzo livello di regionalizzazione* individua sottozone omogenee rispetto alla dipendenza del parametro $\theta_{b,d}$ e quindi della media $\mu_{h,d}$ e da altre grandezze relative al sito di misura.

In base ai dati disponibili, al 1° livello di regionalizzazione, è stata identificata una dipendenza unica per tutta la regione dei parametri di forma Λ^* e θ^* dalla durata d :

$$\theta^*(d) = 1.95 + 0.0284 * d$$

$$\Lambda^*(d) = 0,175 * d^{0.301}$$

Al 2° livello è stata fatta una suddivisione dell'isola in 3 sottozone omogenee, in cui il parametro Λ_b varia con la durata d secondo le seguenti espressioni:

$$SZO A \rightarrow \Lambda_b = 14.55 * d^{0.2419}$$

$$SZO B \rightarrow \Lambda_b = 12.40 * d^{0.1802}$$

$$SZO C \rightarrow \Lambda_b = 11.96 * d^{0.0960}$$

La curva di crescita $K_t(d)$, valida per $T \geq 10$ anni, assume la seguente espressione approssimata:

$$SZO A \rightarrow K_t(d) = 0.5391 - 0.001635 * d + (0.0002212 * d^2 + 0.00117 * d + 0.9966) * \log T$$

$$SZO B \rightarrow K_t(d) = 0.5135 - 0.002264 * d + (0.0001980 * d^2 + 0.00329 * d + 1.0508) * \log T$$

$$SZO C \rightarrow K_t(d) = 0.5015 - 0.003516 * d + (0.0003720 * d^2 + 0.00102 * d + 1.0101) * \log T$$

Come mostrato nella seguente figura, l'area di progetto ricade all'interno della SZO A. Tale figura è stata ricavata dalla relazione del progetto VAPI relativo alla regione Sicilia

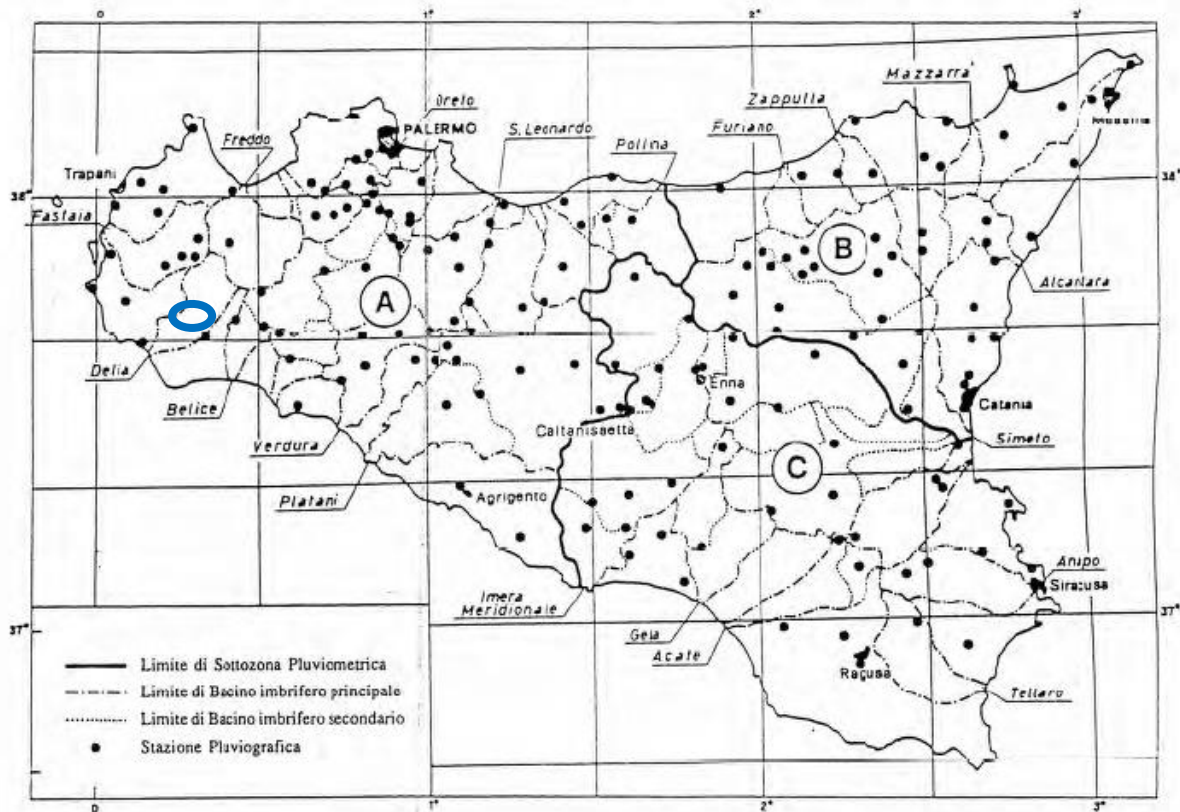


Figura 16: Inquadramento dell'area di impianto in base alla suddivisione in sottozone omogenee del progetto VA.PI

Al 3° livello di regionalizzazione, per il calcolo della precipitazione indice $\mu_{h,d}$ sono state definite le seguenti relazioni, distinte per durate di pioggia superiori o inferiori ad 1 ora:

a) Per $d \geq 1$ ora

$$\mu_{h,d} = a * d^n$$

in cui d è espressa in ore. I parametri a e n sono stati valutati nelle 155 stazioni di misura pluviografiche mediante regressione ai minimi quadrati in campo logaritmico. Per la loro stima sono fornite delle mappe iso-parametriche

b) Per $d < 1$ ora

$$\mu_{h,d} = 0.208 * a * d^{0.386}$$

In cui d è espressa in minuti. Tale espressione è stata ricavata analizzando i dati forniti nella Tab. V degli Annali Idrologici, relativi alle precipitazioni di breve durata e notevole intensità, che costituiscono un complesso di 191 stazioni con 354 dati.

Le seguenti immagini sono state ricavate dal documento del Progetto VAPI per la regione Sicilia.

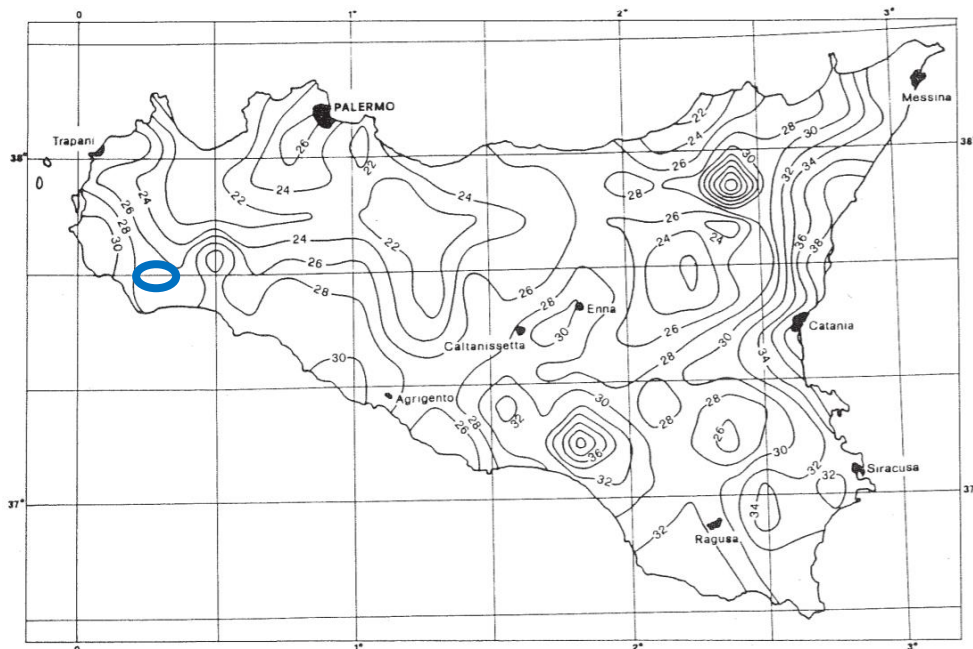


Figura 17: Mappa iso-parametrica "a" del metodo VA.PI – 3° livello di regionalizzazione

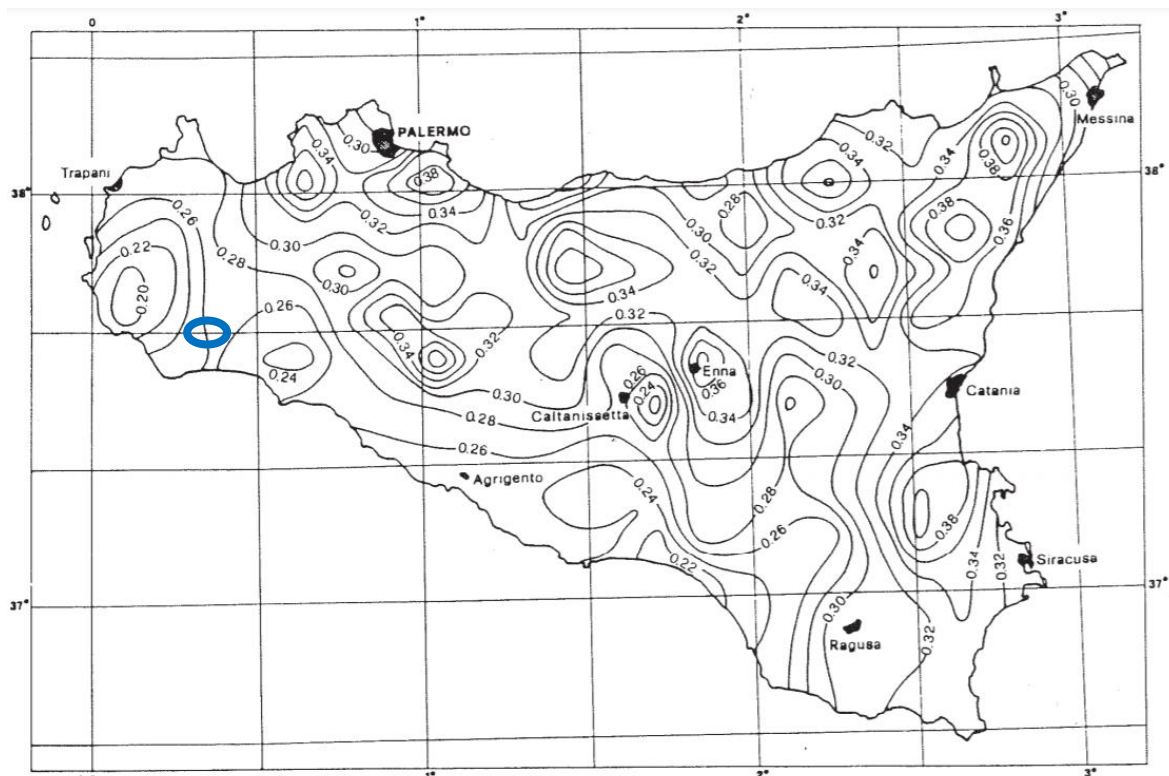


Figura 18: Mappa iso-parametrica "n" del metodo VA.PI – 3° livello di regionalizzazione

4.3.2 Risultato delle elaborazioni

Si riportano di seguito le altezze di pioggia calcolate.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 23	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Sono state assunte come durate delle piogge 1, 3, 6, 12 e 24 ore e anche 15, 26 (tempo di corrivazione) e 45 minuti. I tempi di ritorno considerati sono 10, 30 e 50 anni. Dall'analisi delle mappe iso-parametriche (vedi *Figura 17* e *Figura 18*) sono stati selezionati i valori dei parametri "a" ed "n".

Tabella 7 – Metodo VA.PI con tempo di ritorno pari a 10 anni.

Tr [anni]	10				
d [ore]	Kt[-]	a [mm/h ⁿ]	n [-]	μ h,d	h [mm]
0.25	1.536	28.00	0.386	16.57	25.44
0.44	1.536	28.00	0.386	20.60	31.64
0.75	1.535	28.00	0.386	25.31	38.87
1.00	1.535	28.00	0.26	28.00	42.99
3.00	1.536	28.00	0.26	37.26	57.24
6.00	1.541	28.00	0.26	44.61	68.75
12.00	1.562	28.00	0.26	53.43	83.45
24.00	1.652	28.00	0.26	63.98	105.68

Tabella 8 – Metodo VA.PI con tempo di ritorno pari a 30 anni.

Tr [anni]	30				
d [ore]	Kt[-]	a [mm/h ⁿ]	n [-]	μ h,d	h [mm]
0.25	2.011	28	0.386	16.57	33.32
0.44	2.011	28	0.386	20.60	41.44
0.75	2.011	28	0.386	25.31	50.92
1.00	2.012	28	0.26	28.00	56.33
3.00	2.014	28	0.26	37.26	75.05
6.00	2.024	28	0.26	44.61	90.28
12.00	2.059	28	0.26	53.43	110.02
24.00	2.202	28	0.26	63.98	140.85

Tabella 9 – Metodo VA.PI con tempo di ritorno pari a 50 anni.

Tr [anni]	50				
d [ore]	Kt[-]	a [mm/h ⁿ]	n [-]	μ h,d	h [mm]
0.25	2.232	28	0.386	16.57	36.98
0.44	2.233	28	0.386	20.60	46.00
0.75	2.233	28	0.386	25.31	56.52
1.00	2.233	28	0.26	28.00	62.52
3.00	2.237	28	0.26	37.26	83.33
6.00	2.248	28	0.26	44.61	100.29
12.00	2.291	28	0.26	53.43	122.38
24.00	2.457	28	0.26	63.98	157.20

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 24	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

4.4 TCEV 2° LIVELLO

4.4.1 Distribuzione probabilistica TCEV secondo livello

Il modello TCEV consente di costruire un modello regionale articolato in una struttura gerarchica. Infatti, si può assumere che esistano delle regioni in cui è costante il solo coefficiente di asimmetria e quindi siano costanti i parametri Λ^* e θ^* e delle sotto-regioni di queste, più limitate, in cui sia costante pure il coefficiente di variazione e, quindi, il parametro Λ_1 .

Al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee (szo), con estensione minore rispetto alle precedenti, nelle quali oltre al coefficiente di asimmetria risulta costante anche il coefficiente di variazione. In una sottozona risultano quindi costanti i tre parametri Λ^* , θ^* e Λ_1 . Λ_1 può quindi essere stimato in base a tutte le serie storiche ricadenti nella sottozona.

In una sottozona rimane costante la CDF di x/m . Infatti, dall'espressione della CDF della TCEV, introducendo i parametri Λ^* e θ^* si ha:

Metodo di stima dei parametri: Massima verosimiglianza

Elaborazioni presenti: 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

Elaborazioni valide: 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

$$F_x(x) = \exp \left[-\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\mathcal{G}_1} \right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp \left(-\frac{x}{\mathcal{G}_1 \mathcal{G}_*} \right) \right]$$

poiché si può scrivere:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = \frac{x}{\mu} \cdot \frac{\mu}{\mathcal{G}_1}$$

e cioè:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = x' \cdot \eta$$

avendo posto (variabile indice):

$$x' = \frac{x}{\mu}$$

E

$$\eta = \frac{\mu}{\mathcal{G}_1} = \ln \Lambda_1 + \gamma_\varepsilon - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left(\frac{j}{\mathcal{G}_*} \right) = f(\Lambda_1, \Lambda_*, \mathcal{G}_*)$$

si ottiene

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 25	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

$$F_{x'}(x') = \exp \left[-\Lambda_1 \exp(-\eta x') - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\vartheta_*} \exp \left(-\frac{\eta x'}{\vartheta_*} \right) \right]$$

Alla precedente espressione si dà il nome di **curva di crescita**.

In definitiva la stima x_T di una grandezza idrologica ad un prefissato tempo di ritorno può essere effettuata, in base al modello TCEV: Il secondo livello di regionalizzazione è espresso nel seguente modo Al livello di regionalizzazione due, in cui i parametri Λ^* , θ^* e Λ_1 sono stimati a livello regionale e θ_1 dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \vartheta_1; \Lambda_1^R; \vartheta_*^R; \Lambda_*^R)$$

Espressioni delle CDF della distribuzione

TCEV secondo livello: 1 ora	$F_x(x) = \exp \left[-14.55 \exp \left(-\frac{x}{7.839} \right) - 0.68 \exp \left(-\frac{x}{15.510} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 3 ore	$F_x(x) = \exp \left[-18.98 \exp \left(-\frac{x}{9.050} \right) - 1.03 \exp \left(-\frac{x}{18.418} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 6 ore	$F_x(x) = \exp \left[-22.44 \exp \left(-\frac{x}{9.811} \right) - 1.30 \exp \left(-\frac{x}{20.802} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 12 ore	$F_x(x) = \exp \left[-26.54 \exp \left(-\frac{x}{10.574} \right) - 1.55 \exp \left(-\frac{x}{24.222} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 24 ore	$F_x(x) = \exp \left[-31.39 \exp \left(-\frac{x}{11.523} \right) - 1.69 \exp \left(-\frac{x}{30.323} \right) \right]$

Espressioni delle Curve di crescita

TCEV secondo livello: 1 ora	$F_x(x) = \exp \left[-14.550 (34.717)^{-x'} - 0.677 (6.007)^{-x'} \right]$
TCEV secondo livello: 3 ore	$F_x(x) = \exp \left[-18.979 (51.000)^{-x'} - 1.035 (6.903)^{-x'} \right]$
TCEV secondo livello: 6 ore	$F_x(x) = \exp \left[-22.444 (67.278)^{-x'} - 1.302 (7.279)^{-x'} \right]$

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 26	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

TCEV secondo livello: 12 ore	$F_X(x) = \exp \left[-26.541 (93.500)^{-x} - 1.546 (7.250)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 24 ore	$F_X(x) = \exp \left[-31.386 (144.922)^{-x} - 1.687 (6.626)^{-x} \right]$

Stima parametri

Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	45	45	45	45	45
Valore medio	28.13	36.29	41.96	49.61	57.3
Dev. standard	12.64	16.6	18.38	22.64	23.22

Parametri regionali					
Descrizione	Parametri zona: Sicilia - Sottozona: A - Durata: 1 ora	Parametri zona: Sicilia - Sottozona: A - Durata: 3 ore	Parametri zona: Sicilia - Sottozona: A - Durata: 6 ore	Parametri zona: Sicilia - Sottozona: A - Durata: 12 ore	Parametri zona: Sicilia - Sottozona: A - Durata: 24 ore
Lambda*	0.175	0.2436	0.3001	0.3694	0.4555
Teta*	1.9784	2.0352	2.1204	2.2908	2.6316
Lambda 1	14.55	18.9792	22.4439	26.541	31.386

Parametri stimati					
Teta 1	7.83945	9.04958	9.81052	10.57355	11.52251
Lambda 2	0.67736	1.03457	1.30154	1.54553	1.6875
Teta 2	15.50956	18.4177	20.80223	24.22188	30.32263

4.4.2 Risultato delle elaborazioni

Di seguito vengono proposte le curve di possibilità pluviometrica relative a tempi di ritorno di 10, 30 e 50 anni.

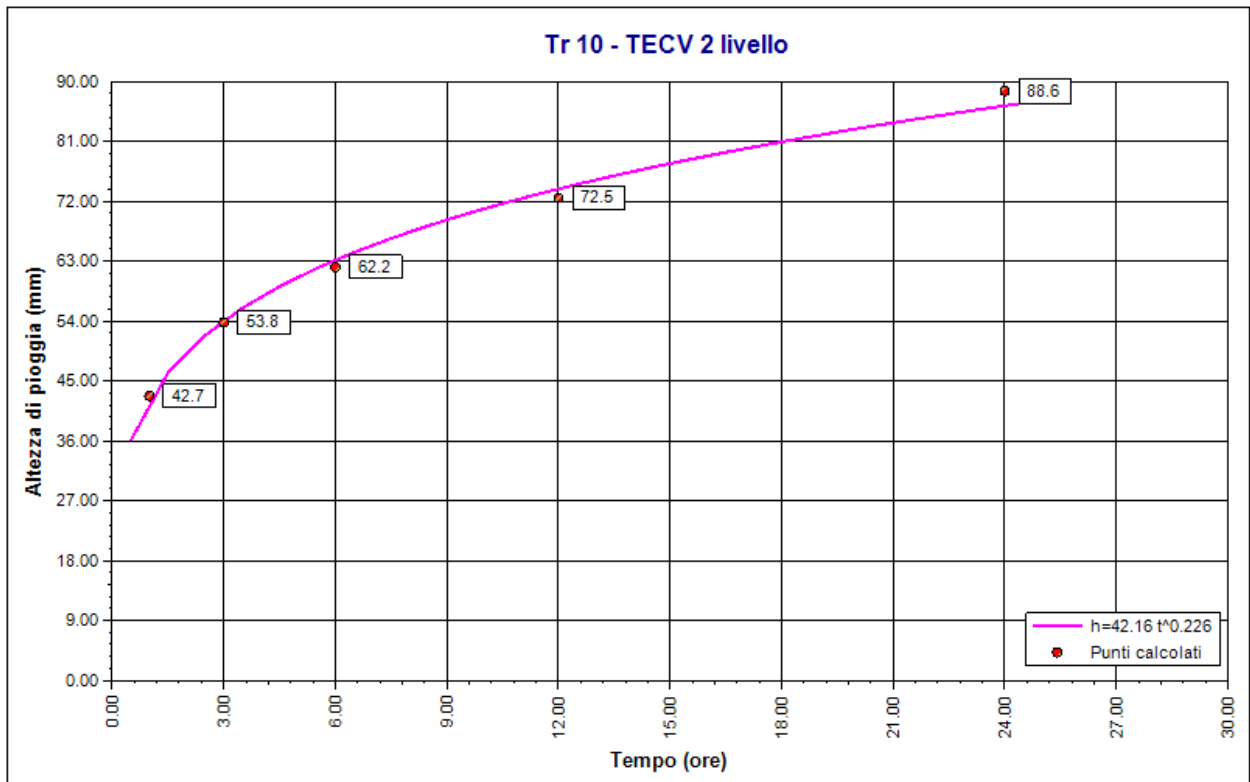


Figura 19: Castelvetro – Curva di possibilità pluviometrica T=10 anni TCEV 2°livello

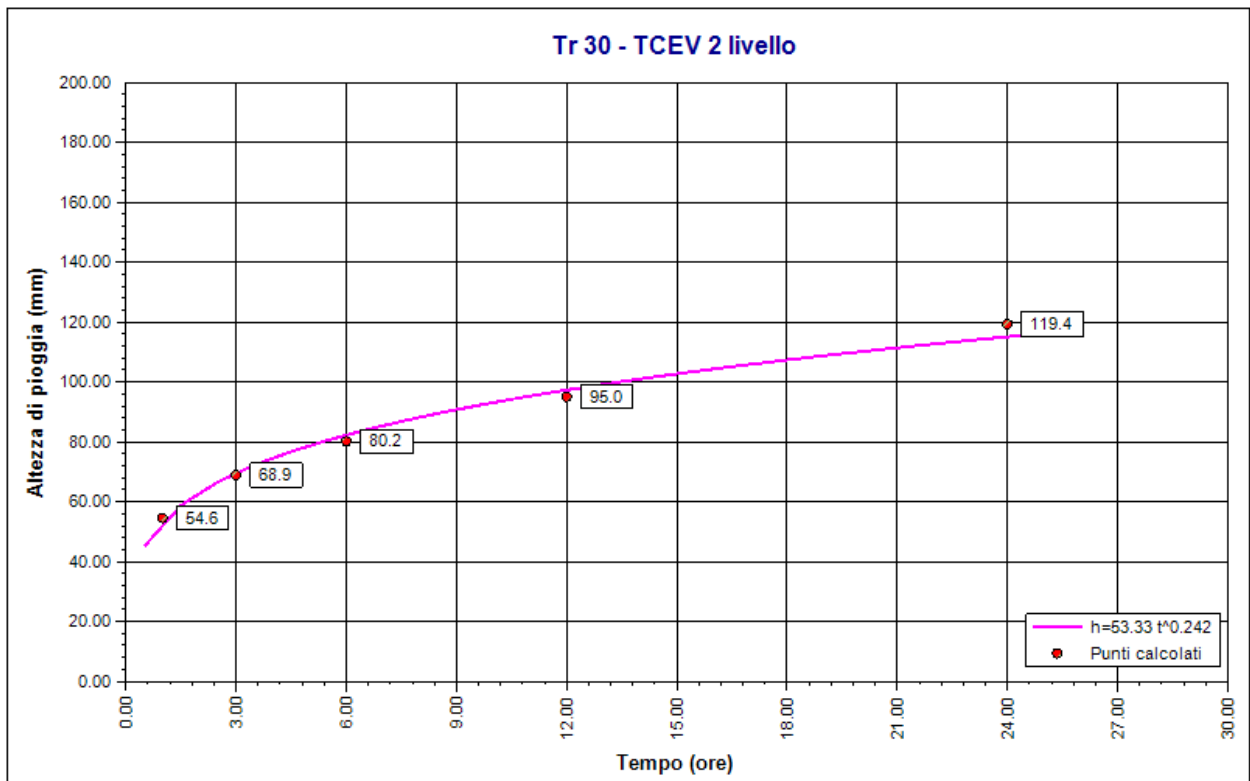


Figura 20: Castelvetro – Curva di possibilità pluviometrica T=30 anni TCEV 2°livello

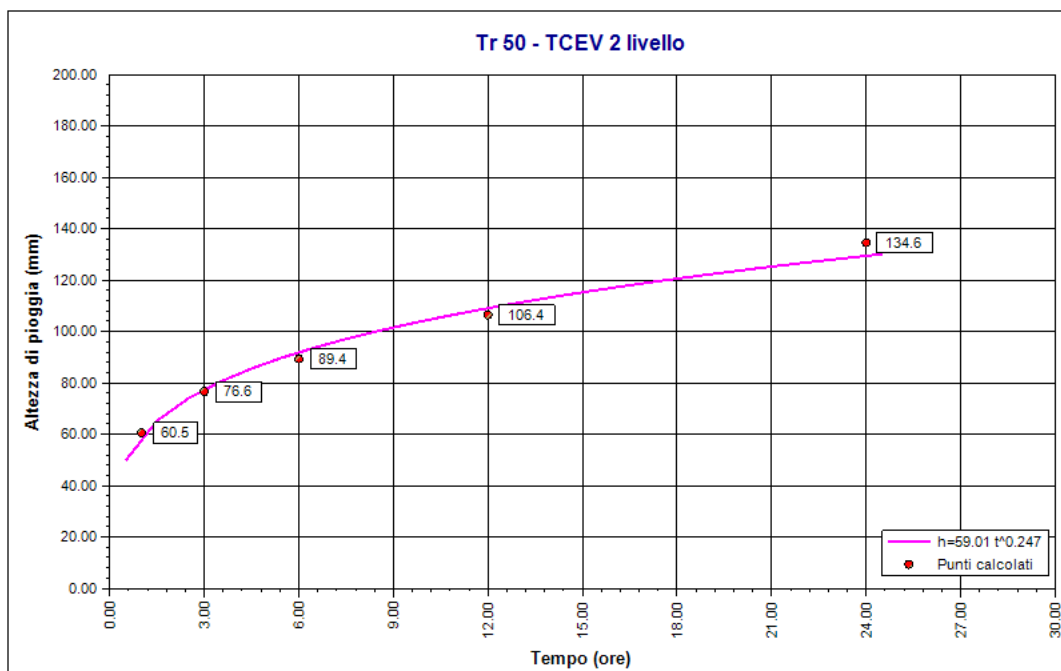


Figura 21: Castelvetro – Curva di possibilità pluviometrica T=50 anni TCEV 2° livello

Di seguito vengono indicati i parametri della curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno e le altezze di piogge di pioggia (in mm) per alcune durate di tempo.

Tabella 10 – Altezze pioggia [mm] e parametri curva possibilità pluviometrica Castelvetro utilizzando TCEV di 2° livello

	Tr	a	n	h 1 ora	h 3 ore	h 6 ore	h 12 ore	h 24 ore
TCEV 2° LIVELLO	10	42.16	0.23	42.75	53.81	62.16	72.51	88.56
	30	53.33	0.24	54.56	68.91	80.18	95.02	119.39
	50	59.01	0.25	60.48	76.57	89.38	106.45	134.58

4.5 Confronto tra i risultati

In base ai dati ricavati dalle elaborazioni dei paragrafi precedenti, i dati ottenuti mostrano che i valori maggiormente cautelativi si ottengono con la procedura VA.PI di 3° livello.

Tabella 11 – Altezze pioggia [mm] per durate di diverse e parametri curva possibilità pluviometrica Castelvetro in base al metodo applicato

	Tr	a	n	h 1 ora	h 3 ore	h 6 ore	h 12 ore	h 24 ore
GUMBEL	10	45.14	0.22	44.62	57.94	65.94	79.15	87.59
	30	56.61	0.21	55.80	72.62	82.19	99.17	108.12
	50	61.85	0.21	60.90	79.32	89.61	108.30	117.49
VAPI	10			42.99	57.24	68.75	83.45	105.68
	30			56.33	75.05	90.28	110.02	140.85
	50			62.52	83.33	100.29	122.38	157.20
TCEV 2° LIVELLO	10	42.16	0.23	42.75	53.81	62.16	72.51	88.56
	30	53.33	0.24	54.56	68.91	80.18	95.02	119.39

	50	59.01	0.25	60.48	76.57	89.38	106.45	134.58
--	----	-------	------	-------	-------	-------	--------	--------

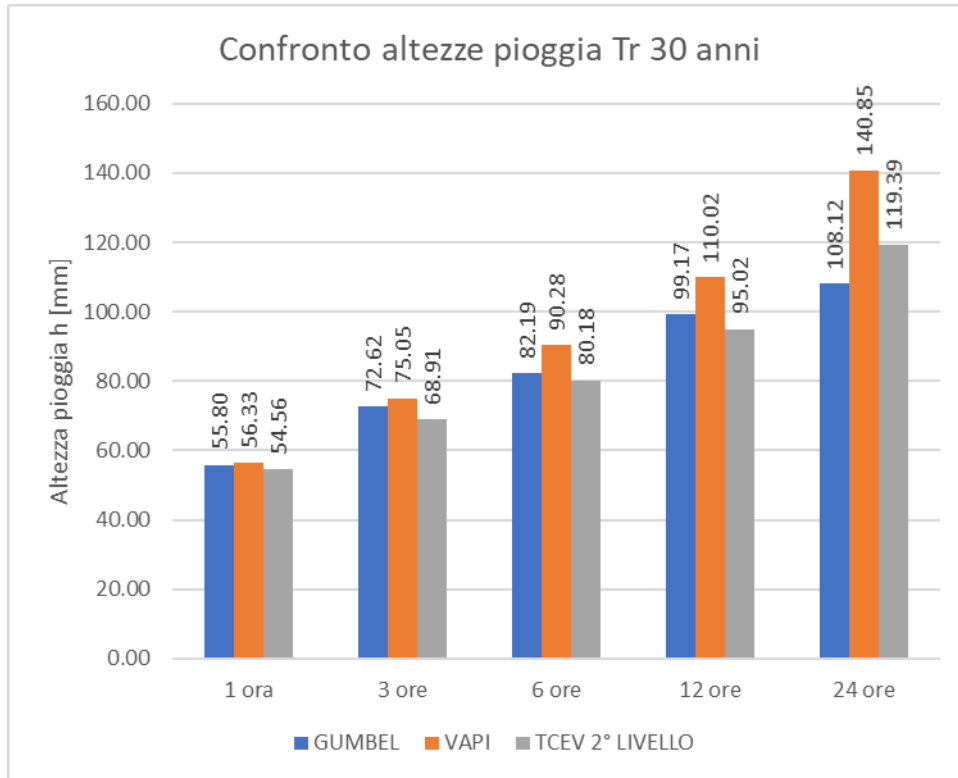


Figura 22: Piogge per tempi di ritorno di 30 anni e durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore a seconda del metodo utilizzato

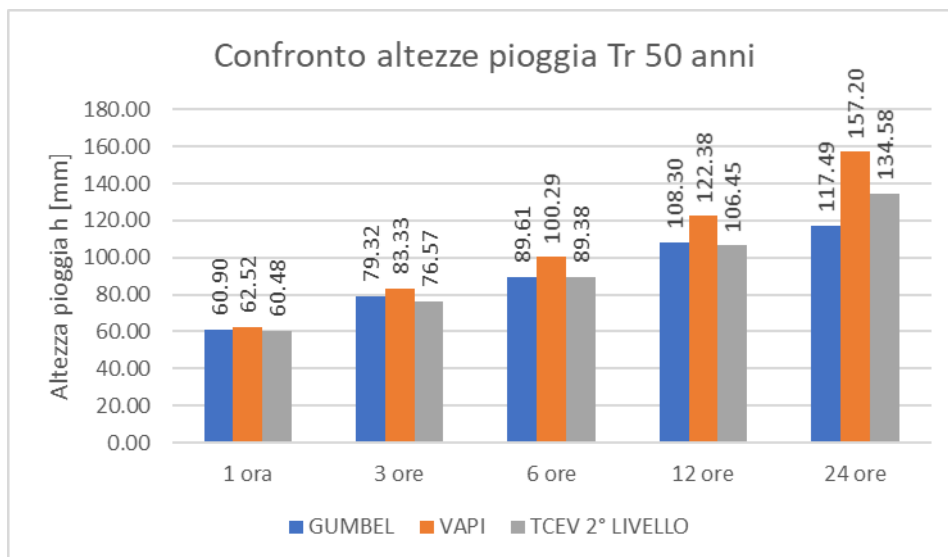


Figura 23: Piogge per tempi di ritorno di 50 anni e durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore a seconda del metodo utilizzato

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 30	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

5 DEFINIZIONE CLASSE INTERVENTO PER STUDIO INVARIANZA IDRAULICA

5.1 Premessa sulla proposta progettuale

L'area di intervento ha una superficie di circa 96,4 ha.

L'impostazione progettuale non prevede la trasformazione dell'area dove verranno infissi i pali di sostegno ai pannelli rispetto alla situazione attuale.

L'unica trasformazione sarà la realizzazione di piste di servizio in terra battuta di servizio all'interno dell'impianto, che per quanto fatte in materiale sciolto, tendenzialmente riducono le capacità di assorbimento del terreno. Verranno posizionate le attrezzature tecnologiche cabine di trasformazione, batterie accumulo, etc.), di dimensioni limitate rispetto all'area, che saranno le uniche aree che risulteranno impermeabili rispetto allo stato di fatto.

Di seguito uno schema riepilogativo relativo all'area di impianto:

Tabella 12 – Riepilogo aree impianto

RIEPILOGO AREE		
Aree a prato/piantumate	860937.7	mq
Pista aeroporto + strade esistenti	89172	mq
Piste di servizio	11637.5	mq
Componenti tecnologiche	2252.8	mq
Area totale	964000	mq

L'intervento in progetto non introduce variazioni di rilievo nella relazione tra gli eventi meteorologici ed il suolo e disincentiva la possibilità che si presentino fenomeni degradativi di tipo erosivo.

I pannelli saranno montati su supporti tubolari infissi nel terreno.

Tali supporti sorreggono l'insieme dei pannelli assemblati, mantenendoli alti da terra, e fra le file di pannelli viene lasciata libera una fascia di ampia larghezza.

L'impatto per sottrazione di suolo è da considerarsi poco significativo in quanto, una volta posati i moduli, l'area sotto i pannelli resta libera e subisce un processo di rinaturalizzazione spontanea che porta in breve al ripristino del soprassuolo originario, temporaneamente alterato dalle fasi di cantiere.

Alla dismissione dell'impianto, lo sfilamento dei pali di supporto dei pannelli garantirà l'immediato ritorno alle condizioni ante-operam del terreno.

Il terreno, lasciato allo stato naturale, sarà rinverdito naturalmente in poco tempo.

La superficie del campo fotovoltaico resterà permeabile, dove non sono presenti l'ex pista aeroportuale e le strade esistenti, pertanto il regime di infiltrazione non verrà alterato.

La coltre erbacea che verrà a formarsi naturalmente sull'interfila dei pannelli avrà funzionalità antierosiva nei confronti dell'erosione da impatto delle gocce di pioggia (splash erosion), l'erosione diffusa a seguito di eventi di media durata (sheet erosion) o fenomeni di erosione concentrata dovuta a incanalamenti superficiali delle acque (rills erosion).

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 31	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

5.2 Indicazioni tecnico - normative

Secondo la normativa siciliana Allegato n. 1 “Indirizzi applicativi invarianza idraulica e idrologica” (protocollo n° 6834 del 11/10/2019) della D.D.G. n.102 del 23/06/2021, i criteri da seguire per la valutazione dell’invarianza idraulica di un progetto sono i seguenti:

“ ...

- 1 *Nelle zone di trasformazione con superficie minore o uguale a 10000 m², si applicano i requisiti minimi per la realizzazione di sistemi di raccolta delle acque piovane. Il volume complessivo dei predetti sistemi non potrà essere inferiore a 500 m³ per ettaro di superficie scolante impermeabile interna alle suddette zone, ad esclusione delle superfici permeabili destinante a verde e non compattate.*
- 2 *Nel caso di modesti interventi per una superficie inferiore a 1000 m², si farà ricorso all’installazione di pozzi perdenti per un volume di 5 m³ per ogni 100 m² di superficie da verificare, preliminarmente, mediante un test di infiltrazione in situ.*
- 3 *Per gli interventi con superficie maggiore di 10000 m² si dovrà elaborare lo studio sull’invarianza idraulica e idrologica.*

Nei calcoli idrologici, finalizzati alla determinazione degli idrogrammi netti, la valutazione delle perdite idrologiche può essere effettuata in via semplificativa adottando i noti metodi di trasformazione afflussi-deflussi (metodo razionale, metodo SCS, metodo del CN, ecc) per quelle trasformazioni a basso coefficiente di deflusso medio ponderale post intervento ($\varphi_{medio} < 0,5$), ossia per le aree trasformate complessivamente permeabili, o attraverso metodi da modellazione numerica (SWMM, HEC-HMS, etc) per i casi di alto coefficiente di deflusso medio della trasformazione ($\varphi_{medio} > 0,5$), ossia per aree ad elevata impermeabilizzazione del suolo.

Il tempo di ritorno delle piogge da adoperare nel calcolo dei volumi (laminazione/infiltrazione) è pari a 30 anni, nel rispetto dei franchi di sicurezza, mentre il tempo di ritorno di 50 anni dovrà essere utilizzato per la verifica delle opere in condizioni limite e per il dimensionamento e la verifica delle eventuali misure locale anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

Nei calcoli idraulici, lo studio dei corpi idrici superficiali e il dimensionamento dei canali di drenaggio potrà essere sviluppata in via semplificata adottando il moto uniforme solo nei casi più elementari mentre , per i casi più complessi e comunque per quelli in aree con alto coefficiente di deflusso medio ponderale ($\varphi_{medio} > 0,5$), si adotterà il calcolo in condizioni di moto permanente anche con l’ausilio di modellazione numerica (HEC-RAS, SWIMM, ecc).

Per l’applicazione del principio di invarianza idrologica e/o idraulica potranno essere progettate soluzioni di infiltrazione e/o laminazione dei deflussi meteorici e delle relative portate allo scarico.

È richiesta la relazione di un tecnico abilitato, qualificato e di esperienza nell’esecuzione delle valutazioni idrologiche, e dei calcoli idraulici. Nella progettazione delle soluzioni tecniche che prevedano l’utilizzo di sistemi vegetativi per la laminazione, l’infiltrazione e la fitodepurazione delle acque di drenaggio superficiale, è altresì necessaria la collaborazione con esperti nel settore delle sistemazioni agro-forestali.

“ ...”

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 32	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

6 STIMA DELLA PORTATA DI PIENA

6.1 Metodo razionale

Per l'applicazione del metodo razionale, impiegato nella stima delle portate meteoriche superficiali è necessario utilizzare le curva di possibilità pluviometriche caratteristiche dell'area oggetto di intervento, calcolate nel capitolo n° 4.14.

Il tempo di ritorno assunto per la stima delle portate è pari a 10, 30 e 50 anni.

Il tempo di ritorno (e quindi la probabilità di non superamento) è stato assegnato con lo scopo di rappresentare uno scenario il più fedele alla realtà ovvero uno scenario che, se pur descritto ed esprimibile mediante un'espressione analitica, possa essere significativo e rappresentativo del regime pluviometrico stagionale che caratterizza la zona oggetto di studio.

6.1.1 Dati morfologici e tempo di corrivazione

Il bacino considerato è quello che include il campo fotovoltaico incluse le aree perimetrali di compensazione.

La modellazione dell'area è stata condotta in modo da definire il percorso delle acque di ruscellamento ed il tempo di corrivazione per l'area in esame.

Viene assegnato al bacino un tempo caratteristico, definito di corrivazione, che corrisponde teoricamente al tempo necessario affinché una particella d'acqua caduta sui punti più distanti della superficie scolante raggiunga la sezione di chiusura.

Il tempo di corrivazione può essere stimato con diverse formule, in questo caso è stata scelta quella di Kirpich (E. Usai, Manuale di idrologia per la progettazione, Biblioteca Tecnica Hoepli, 2012), valore per bacini con estensione inferiore a 20 km².

La formula è la seguente

$$t_c = 0.000325 * \left(\frac{L}{\sqrt{i}}\right)^{0.77}$$

Dove:

- t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore
- L è la lunghezza dell'asta principale espressa in metri
- i è la pendenza media dell'asta principale

Tabella 13 – Riepilogo caratteristiche bacino

Superficie	0.96	km2
Perimetro	3.82	km
Quota massima	175	m slm
Quota minima	160	m slm
Quota chiusura	160	m slm
differenza quote	15	m
L	1280	m
i	0.012	-
tc	0.44	ore

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 33	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

6.1.2 Coefficiente di deflusso annuo medio del bacino (Kennessey 1930)

Non tutto il volume d'acqua che precipita sulla superficie del bacino contribuisce alla formazione dei deflussi superficiali perché parte di essa si infiltra nel terreno o si invasa momentaneamente nelle depressioni superficiali.

Sono stati proposti diversi metodi per stimare il coefficiente di deflusso, ossia il rapporto tra la quantità d'acqua defluita da una sezione di chiusura e la quantità d'acqua affluita nel bacino sotto forma di precipitazione.

Il metodo proposto da Kennessey (1930), applicabile soprattutto a piccoli bacini, presuppone che il calcolo del coefficiente di deflusso medio di un bacino sia la somma di tre componenti legati, rispettivamente, all'acclività topografica media del bacino (C_a), alla sua copertura vegetale (C_v) ed alla permeabilità media del terreno (C_p).

Generalmente una maggiore acclività media contribuisce ad un aumento del deflusso, a discapito dell'infiltrazione e dell'evapotraspirazione.

La presenza di una fitta copertura vegetale ostacola il deflusso superficiale rallentandolo e favorendo l'infiltrazione.

I terreni che hanno una buona permeabilità riducono il deflusso superficiale contribuendo ad aumentare la perdita per infiltrazione.

Il coefficiente di deflusso è influenzato dalle condizioni meteo climatiche dell'area esaminata: infatti il coefficiente di deflusso è fortemente influenzato dalla distribuzione degli eventi meteorici nell'arco dell'anno, piuttosto che dai valori delle altezze di precipitazione e della temperatura.

Generalmente, una maggiore quantità d'acqua caduta sul bacino associata a temperature elevate comportano una maggiore evapotraspirazione, con conseguente diminuzione del deflusso superficiale; diversamente, se alla stessa quantità d'acqua sono associate basse temperature il deflusso superficiale sarà maggiore.

6.1.2.1 Indice di aridità I_a

Per tenere conto del fattore climatico, Kennessey, introduce l'indice di aridità I_a

$$I_a = \frac{\frac{P}{T + 10} + \frac{12 * p}{t}}{2}$$

Dove:

- P è l'afflusso medio mensile [mm]
- T è la temperatura media annua [°C]
- p è l'afflusso del mese più arido [mm]
- t è la temperatura del mese più arido [°C]

Tabella 14 – Dati stazione pluviometrica Castelvetro utilizzati per il calcolo di I_a ricavati dalla tabella identificata nel paragrafo 3.1

	ID Documento Committente 082601BARG00032		Pagina 34	
	Stato di Validità	Numero Revisione		
	EV-FS	00		

	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Precipitazione(mm)	68	65	54	50	25	7	3	9	44	77	77	69
Temperatura media (°C)	10.5	10.4	12.3	14.8	18.5	22.9	25.7	26.1	22.7	19.4	15.4	12
Temperatura massima (°C)	13.1	13.1	15.5	18.2	22.2	27	30	30.2	26.1	22.5	17.9	14.4
Temperatura minima (°C)	8	7.7	9.3	11.4	14.6	18.4	21.2	21.8	19.4	16.6	13	9.7

Di seguito i parametri e il risultato dell'indice di aridità utilizzando i valori di temperatura della *Tabella 14*

Tabella 15 – Indice di aridità I_a e parametri di calcolo

P	45.67	mm
T	17.56	°C
p	3	mm
t	25.7	°C
I_a	1.53	-

6.1.2.2 Coefficiente di deflusso annuo medio del bacino (Kennessey)

Il metodo proposto da Kennessey (1930) presuppone che il calcolo del coefficiente di deflusso medio di un bacino sia la somma di tre componenti legati all'acclività topografica media del bacino (C_a), alla sua copertura vegetale (C_v) ed alla permeabilità media del terreno (C_p).

Vengono individuati tre intervalli di valori del coefficiente I_a in cui ogni fattore (C_a , C_v e C_p) varia.

Tabella 16 – Parametri di calcolo del coefficiente di deflusso di Kennessey

Indice di aridità I_a	$I_a < 25$	$25 \leq I_a \leq 40$	$I_a > 40$
Permeabilità (C_p)	Coefficienti		
Molto bassa	0.21	0.26	0.30
Bassa	0.17	0.21	0.25
Mediocre	0.12	0.16	0.20
Buona	0.06	0.08	0.10
Elevata	0.03	0.04	0.05
Acclività (C_a)	Coefficienti		
> 35%	0.22	0.26	0.30
35% , 10%	0.12	0.16	0.20
10% , 3.5%	0.01	0.03	0.05
< 3.5%	0.00	0.01	0.03
Vegetazione (C_v)	Coefficienti		
Roccia nuda	0.26	0.28	0.30
Pascolo	0.17	0.21	0.25
Terra coltivata	0.07	0.11	0.15
Bosco	0.03	0.04	0.05

Per ciascun fattore, qualora siano presente più parametri, sarà necessario effettuare una media pesata dei coefficiente parziali rispetto alla superficie totale.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 35	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

6.1.2.3 Coefficiente di deflusso in condizioni attuali

- **Vegetazione**

Con destinazione pascolo (terreno esterno pista)	0,874828 km ²
Con destinazione roccia nuda (Piste e strade esistenti)	0,089172 km ²

- **Permeabilità**

Mediocre (terreno esterno pista)	0,874828 km ²
Molto bassa (Piste e strade esistenti)	0,089172 km ²

- **Acclività**

Porzione con acclività < 3.5 %	0,964000 km ²
--------------------------------	--------------------------

- **Coefficiente di deflusso medio del bacino (Kennessey)**

Vegetazione	$C_v = 0.178$
Permeabilità	$C_p = 0.128$
Acclività	$C_a = 0.000$

Coefficiente deflusso: $C_d = 0.307$

6.1.2.4 Coefficiente di deflusso in condizioni finali

- **Vegetazione**

Con destinazione pascolo (terreno esterno pista)	0,860938 km ²
Con destinazione roccia nuda (Piste e strade esistenti+nuovi edifici e piste)	0,103062 km ²

- **Permeabilità**

Mediocre (terreno esterno e pista nuova)	0,860938 km ²
Molto bassa (Piste e strade esistenti e nuovi edifici)	0,103062 km ²

- **Acclività**

Porzione con acclività < 3.5 %	0,964000 km ²
--------------------------------	--------------------------

- **Coefficiente di deflusso medio del bacino (Kennessey)**

Vegetazione	$C_v = 0.180$
Permeabilità	$C_p = 0.174$
Acclività	$C_a = 0.000$

Coefficiente deflusso: $C_d = 0.354$

6.1.3 Portata di piena con il metodo razionale

Il metodo analitico o razionale definisce dalle formule empiriche, sulla base di uno schema di bilancio idrologico, in cui figura la precipitazione di assegnato tempo di ritorno T che determina l'evento di piena, la portata di assegnata frequenza probabile.

Il metodo proposto trova frequente applicazione soprattutto per la stima della portata di piena di piccoli bacini.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 36	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Facendo riferimento al metodo razionale (E. Usai, Manuale di idrologia per la progettazione, Biblioteca Tecnica Hoepli, 2012), la portata massima di piena di assegnato tempo di ritorno può essere calcolata dalla seguente relazione:

$$Q_t = \frac{C_d * h_t * A * k}{t_c}$$

Dove

- A è la superficie del bacino espressa in km²;
- h_t è l'altezza di precipitazione che cade sulla superficie del bacino dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica con fissato tempo di ritorno T, in corrispondenza di una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione t_c ; è espressa in mm;
- t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore.
- C_d è il coefficiente di deflusso calcolato ai paragrafi 6.1.2.3 e 6.1.2.4
- k è un fattore di conversione delle grandezze pari a 0.2777

6.1.3.1 Portata di piena in condizioni attuali

Tabella 17 – Portate condizioni attuali per tempi di ritorno di 10, 30 e 50 anni

Tr [anni]	ht [mm]	A [kmq]	tc [ore]	Cdef AO [-]	Qt AO [m3/s]
10	37.92	0.96	0.44	0.307	7.002
30	47.67	0.96	0.44	0.307	8.803
50	52.13	0.96	0.44	0.307	9.626

6.1.3.2 Portata di piena in condizioni finali

Tabella 18 – Portate condizioni finali per tempi di ritorno di 10, 30 e 50 anni


Tr [anni]	ht [mm]	A [kmq]	tc [ore]	Cdef PO [-]	Qt PO [m3/s]
10	37.92	0.96	0.44	0.353	8.070
30	47.67	0.96	0.44	0.353	10.146
50	52.13	0.96	0.44	0.353	11.094

6.1.3.3 Sintesi dei risultati

Il risultato dell'elaborazione mostra che la portata in condizioni finali aumenta rispettivamente di circa 1 m³/s per tempo di ritorno di 10, di circa 1,3 m³/s per un tempo di ritorno di 30 e di circa 1,5 m³/s per un tempo di ritorno di 50 anni.

Tabella 19 – Riepilogo ortate condizioni attuali e finali per tempi di ritorno di 10, 30 e 50 ann

Tr [anni]	QAO - QPO [m3/s]	QAO - QPO [l/s]
10	1.068	1067.88
30	1.342	1342.49
50	1.468	1467.94

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 37	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

6.2 Metodo S.C.S.

Il metodo di Soil Conservation Service (S.C.S) è una procedura che consente la ricostruzione delle piene nei bacini idrografici.

Il metodo consente sia la semplice determinazione del volume della piena o della portata al colmo sia la completa ricostruzione dell'idrogramma di piena.

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

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

Dove:

- V è il volume di deflusso
- P_n è la precipitazione netta
- W è l'invaso del suolo (volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo)
- S è il valore massimo del suddetto invaso.

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale P le perdite iniziali (I_a) dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabili per esempio, alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per loro morfologia, consentono l'accumulo idrico, all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente e all'infiltrazione prima della formazione del deflusso.

La precipitazione netta si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W$$

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

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

Le perdite iniziali sono espresse dalla relazione in pratica costante per ogni tipo di bacino

$$I_a = 0.2 * S$$

E tenendo conto che

$$P_n = P - I_a$$

Si ottiene

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

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

La valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

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

in cui figura un parametro CN , denominato Curve Number, che assume valori compresi tra 100 e 0.

Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati in un'apposita tabella, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino.

La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica.

A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati in letteratura; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

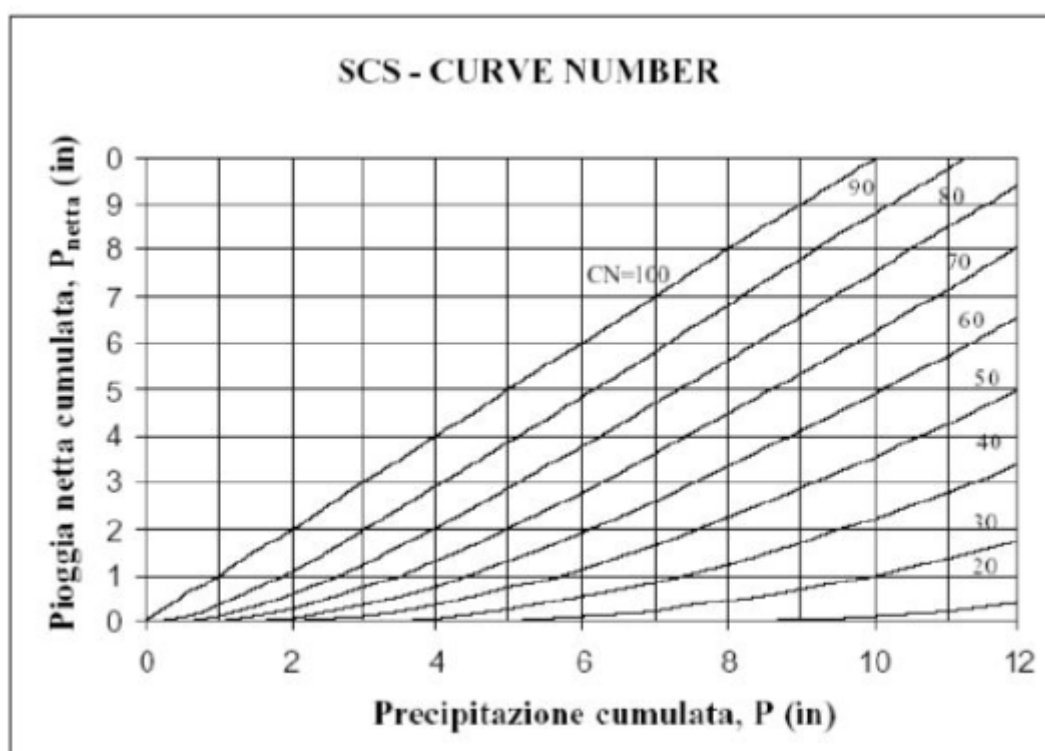


Figura 24: Rapporto tra pioggia cumulata e pioggia netta in funzione del CN

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

Gruppo A: Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.

Gruppo B: Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.

Gruppo C: Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa.

Gruppo D: Suoli ad elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
	A	B	C	D
↓ Tipologia di Uso del Territorio				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	80	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500+1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000+1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500+2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000+5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000+10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tabella 20 – Valori di CN – II (Slide del corso di idrologia AA 2011 del Politecnico di Torino (http://www.idrologia.polito.it/didattica/Idrologia/2011/Argomento_7/produs_deflusso_superficiale.pdf))

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

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

Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC) (G. Becciu, A. Paoletti, Fondamenti di costruzioni idrauliche, UTET, 2013)

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

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 40	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Per condizioni antecedenti l'evento molto umide, AMC III, o molto asciutte, AMC I, si possono derivare i relativi valori di CN, determinati con le tabelle del precedente paragrafo e riferiti ad una condizione media di umidità (classe II) usando rispettivamente:

$$CN (I) = \frac{4.2 * CN (II)}{10 - 0.058 * CN (II)}$$

$$CN (III) = \frac{23 * CN (II)}{10 + 0.13 * CN (II)}$$

In sintesi, una volta determinato il curve number CN, con S e la possiamo calcolare la pioggia netta. La pioggia lorda deve essere calcolata mediante l'analisi idrologica.

6.2.1 CN -Stato attuale

Per individuare il valore del CN è necessario caratterizzare il suolo da un punto di vista geo-pedologico, ovvero valutare il tipo di suolo sul quale si intende intervenire e l'uso che ne viene fatto.

In maniera cautelativa si è scelto di attribuire al suolo tipologia D, ovvero quella dei suoli che, quando completamente saturi, hanno un deflusso superficiale potenziale (runoff) alto e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni.

Ad ogni classe viene associato un valore del CN nella condizione AMC II (Antecedent Moisture Condition, ovvero la condizione di umidità del suolo in funzione della precipitazione antecedente di 5 giorni) che verrà pesato sulle superfici così da ottenere un valore caratteristico per l'intera area di intervento.

Dalla mappa dell'uso del suolo della Regione Sicilia sono state le tipologie, codifiche ed estensioni che possono essere suddivise nella seguenti classi:

- Aeroporti

All'interno dell'area di impianto sono presenti le seguenti tipologie di area:

- Pista di aeroporto
- Strade esistenti
- Terreno

Per lo scenario ante-operam un valore identificativo del CN per l'intera lottizzazione mediante media pesata sulle aree.

- *Tabella 21* – Valori di CN in funzione del tipo di suolo allo stato attuale

Tipo terreno	Codice UDS	S [mq]	CN II - D
terreno	condizioni normali con copertura erbosa tra il 50% e il 75%	874828	84
pista aeroporto	considerato come parcheggio impermeabilizzante, tetti	86757	98
strade esistenti	strade pavimentate con cordoli e fognature	2415	98
		CN - II AO	85.30

Dalla combinazione dell'attribuzione della classe di tipo di suolo e dell'uso del suolo, tramite la tabella UDS sopra riportata, è possibile stimare il valore di CN-II medio dell'intera lottizzazione in oggetto allo stato attuale. Il valore è sopra riportato ed è pari a 85,30.

Tale valore deve essere poi convertito in CN-IIIa (AMC III), più cautelativo rispetto alla condizione II, secondo quanto previsto dalla metodologica proposta dal Soil Conservation Service (SCS):

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 41	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

$$CN (III) = \frac{23 * CN (II)}{10 + 0.13 * CN (II)} = 93,0$$

6.2.2 CN -Stato di progetto

Con la medesima procedura descritta al paragrafo precedente, si deve determinare il valore CN nella configurazione di progetto in quanto gli interventi previsti modificano inevitabilmente l'utilizzo del suolo. Lo stato finale prevede la realizzazione di un campo fotovoltaico, ovvero il mantenimento dell'attuale stato del terreno, facilitando la rinaturalizzazione dello stesso in ampie porzioni, la realizzazione di piste in terra battuta o ghiaia all'interno e l'impermeabilizzazione di circa 2253 m², a seguito della posa delle componenti tecnologiche.

È prevista una corrispondenza tra le varie tipologie di copertura e il parametro CN, per cui è possibile ottenere anche nello scenario post-operam un valore identificativo del CN per l'interna lottizzazione mediante media pesata sulle aree.

		S [mq]	CN II - D
terreno	condizioni normali con copertura erbosa intorno al 50%	823091.7	89
zone mitigazione	condizioni normali con copertura erbosa compresa tra 50% e 75% dell'area	37846	84
pista aeroporto	considerato come parcheggio impermeabilizzante, tetti	86757	98
strade esistenti	strade pavimentate con cordoli e fognature	2415	98
strade nuove	Strade con letto in ghiaia	11637.5	91
zone impermeabilizzanti (impianti tecnologici)	considerato come parcheggio impermeabilizzante, tetti	2252.8	98
		CN - II PO	89.68

Dalla combinazione dell'attribuzione della classe di tipo di suolo e dell'uso del suolo, tramite la tabella UDS sopra riportata, è possibile stimare il valore di CN-II medio dell'intera lottizzazione in oggetto allo stato attuale. Il valore è sopra riportato ed è pari a 89,68.

Tale valore deve essere poi convertito in CN-IIIa (AMC III), più cautelativo rispetto alla condizione II, secondo quanto previsto dalla metodologia proposta dal Soil Conservation Service (SCS):

$$CN (III) = \frac{23 * CN (II)}{10 + 0.13 * CN (II)} = 95,2$$

6.2.3 Modello SCS – CN

Il modello idrologico SCS-CN permette di simulare il deflusso superficiale in corrispondenza di una data precipitazione. Il processo di trasformazione afflussi-deflussi è suddiviso nelle seguenti fasi:

- a) Determinazione delle piogge nette;
- b) Trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 42	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

È necessario definire un pluviogramma, che viene considerato uniformemente distribuito sull'intero bacino.

Le piogge nette si calcolano, a partire dal pluviogramma, secondo il metodo del Curve Number (CN) proposto dall'SCS (Soil Conservation Service). L'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

dove:

R è il deflusso fino all'istante t (mm)

P è la precipitazione fino all'istante t (mm)

S sono le perdite fino all'istante t (mm)

viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$\frac{S}{S'} = \frac{R}{P}$$

e assume la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S'} [mm]$$

che definisce l'andamento nel tempo del deflusso R nota la precipitazione P e la massima infiltrazione S' . Considerando che un'aliquota di P si invasa nelle depressioni superficiali o si infiltra prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$R = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S'} [mm]$$

essendo Ia (mm) la perdita iniziale (*Initial abstraction*).

L'unico parametro del modello risulta quindi essere l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione S' (mm), che si ricava dalla seguente formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

dove CN (*Curve Number*) è un indice compreso tra 0 e 100 fornito dalle tabelle SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità.

La trasformazione afflussi-deflussi quindi è ottenuta tramite l'idrogramma unitario SCS (1972) di seguito riportato, che richiede come unico parametro il tempo t_{LAG} (ore) pari al ritardo tra il baricentro del diagramma delle piogge nette e il picco dell'idrogramma unitario.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 43	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Il parametro di t_{lag} è stato calcolato attraverso la formula di Mokus

$$t_{lag} = 0.342 * \frac{L^{0.8}}{i^{0.5}} * \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0.7}$$

Dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale espressa in km
- I è la pendenza media del bacino
- CN è il valore di CN del bacino

Il parametro t_{lag} è pari a 0,57 ore nel caso ante operam e 0,51 ore nel caso post operam.

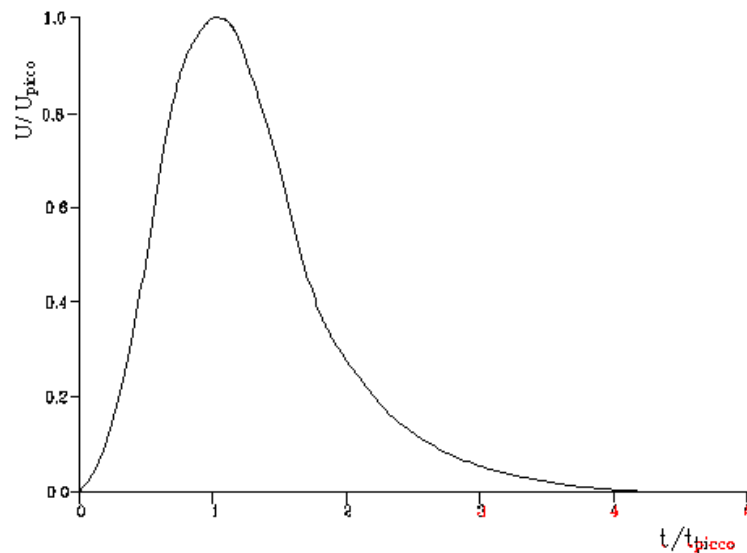
L'istante e la portata di picco rispetto alla precipitazione unitaria sono calcolati come:

$$t_{picco} = 0,5\Delta t + t_{lag}$$

$$U_{picco} = 0,2084 \frac{A}{t_{picco}}$$

dove t_{picco} è il tempo in ore del picco dell'idrogramma unitario, Δt è l'intervallo di calcolo espresso in ore, U_{picco} è la portata massima dell'idrogramma unitario espressa in $m^3/s/mm$ e A è l'area del sottobacino misurata in km^2 .

Δt è stato assunto pari a 5 minuti.



Idrogramma unitario adimensionalizzato SCS

La portata è ottenuta tramite la sommatoria che discretizza l'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1)$$

dove $Q(i)$ è la portata alla fine dell'intervallo i -esimo, $U(j)$ è la j -esima ordinata dell'idrogramma unitario, ricavabile dalla precedente figura, e $P(i)$ è la pioggia netta all'intervallo i -esimo.

6.2.3.1 Idrogramma tempo di ritorno 30 e 50 anni – stato attuale

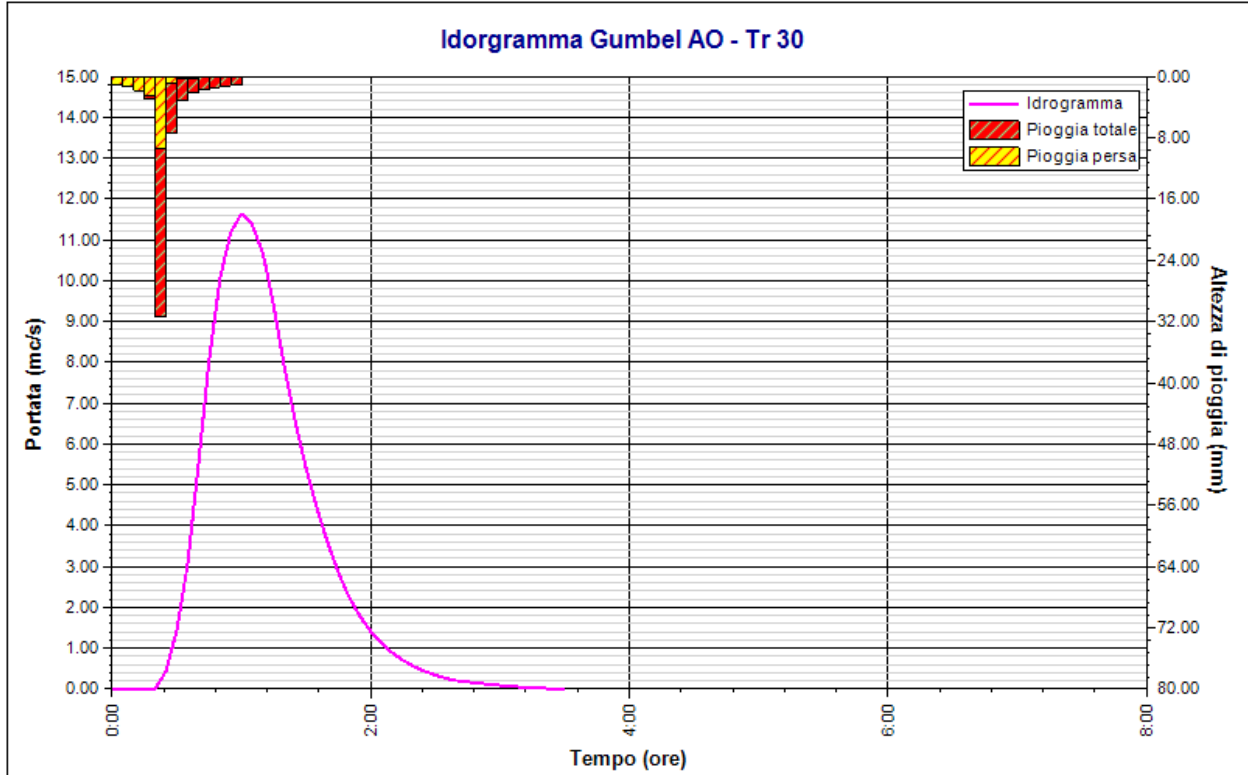


Figura 25: Idrogramma SCS-CN da Gumbel iniziale CN 93.0 Tr 30

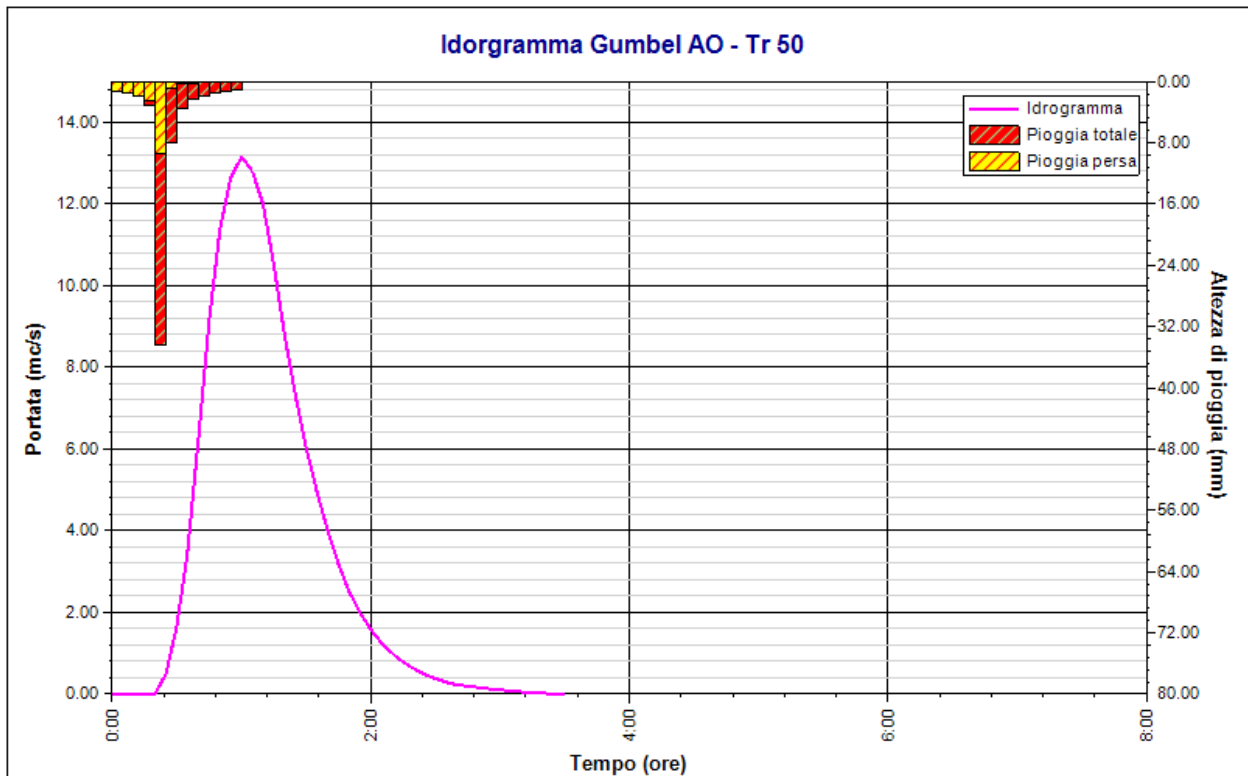


Figura 26: Idrogramma SCS-CN da Gumbel iniziale CN 93.0 Tr 50

6.2.3.2 Idrogramma tempo di ritorno 30 e 50 anni – stato di progetto

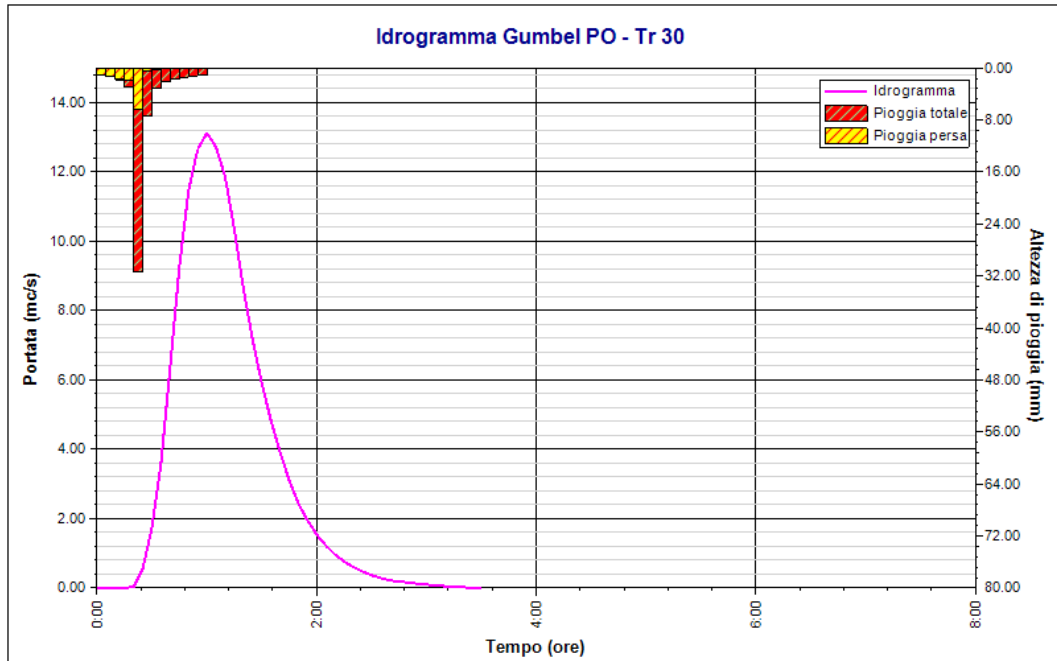


Figura 27: Idrogramma SCS-CN da Gumbel finale CN 95.2 Tr 30

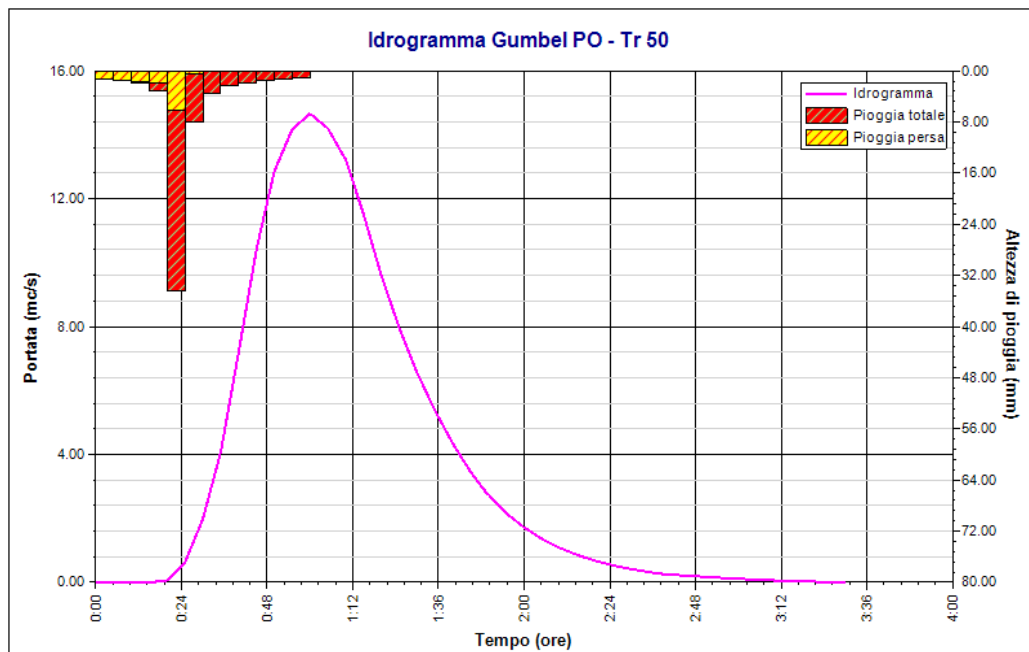


Figura 28: Idrogramma SCS-CN da Gumbel finale CN 95.2 Tr 50

6.2.4 Sintesi dei risultati

Di seguito la tabella riepilogativa con i risultati del modello

Tabella 22 – Risultati modello SCS -CN per tempi di ritorno di 30 e 50 anni

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 46	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Parametro	AO - TR 30	AO - TR 50	PO - TR 30	PO - TR 50	U.M.
Portata massima	11.656	13.155	13.121	14.668	mc/s
Istante picco	1	1	1	1	ore
Istante picco	60	60	60	60	minuti
Durata totale evento	3.5	3.5	3.5	3.5	ore
Volume afflusso	54	59	54	59	mc x 1000
Volume deflusso	37	42	42	47	mc x 1000
Altezza afflusso	56.61	61.85	56.61	61.85	mm
Altezza deflusso	38.78	43.68	43.42	48.47	mm
Coeff. deflusso	0.69	0.71	0.77	0.78	-
Coeff. udometrico	12.14	13.7	13.67	15.28	mc/s/kmq

differenza portate		
tr 30 anni	tr 50 anni	U.M.
1.465	1.513	mc/s
1465	1513	l/s

6.3 Confronto portate di massima piena


Le elaborazioni condotte hanno mostrato risultati comparabili tra di loro.

In tabella vengono riportati i valori ottenuti in base al tempo di ritorno e al sistema utilizzato.

METODO RAZIONALE - PORTATA MASSIMA DI PIENA Q (mc/s)	
Differenza Q ante - post operam Tr 30	Differenza Q ante - post operam Tr 50
1.34	1.47

METODO SCS - CN - PORTATA MASSIMA DI PIENA Q (mc/s)	
Differenza Q ante - post operam Tr 30	Differenza Q ante - post operam Tr 50
1.465	1.513

In via cautelativa, verrà utilizzata la portata con tempo di ritorno di 50 anni ottenuta dal metodo SCS -CN per la verifica delle opere dimensionate nel capitolo successivo. Tale valore è pari a 14,668 m³/s.

	ID Documento Committente		Pagina 47	
	082601BARG00032		Stato di Validità	Numero Revisione
			EV-FS	00

7 CALCOLO VOLUME DI LAMINAZIONE

7.1 Metodo semplificato delle piogge

7.1.1 Premessa

Il calcolo del **volume di invaso per la laminazione** delle acque meteoriche può essere sviluppato in via semplificata per aree impermeabilizzate a basso coefficiente di deflusso medio ponderale (<f<50%) adottando il *metodo semplificato delle piogge* come indicato nell'Allegato n. 1 "Indirizzi applicativi invarianza idraulica e idrologica" (protocollo n° 6834 del 11/10/2019) della D.D.G. n.102 del 23/06/2021, secondo cui il volume di laminazione è espresso dalla seguente relazione:

$$V_{MAX} = 10 * S * \varphi_{medio} * a * \left(\frac{Q_{IMP}}{2.78 * S * \varphi_{medio} * a * n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - 3.6 * Q_{IMP} * \left(\frac{Q_{IMP}}{2.78 * S * \varphi_{medio} * a * n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Dove:

- V_{MAX} è il volume di invaso necessario per non superare la portata limite allo scarico espressa in m³
- S è la superficie scolante a monte della vasca/invaso di laminazione espressa in ettari;
- φ_{medio} è il coefficiente di deflusso medio ponderale dell'area di progetto;
- a ed n parametri delle curve di possibilità pluviometrica;
- Q_{IMP} è la portata limite allo scarico corrispondente ad un coefficiente udometrico pari a 20 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata dall'intervento di urbanizzazione. Tale valore limite è ridotto a 10 l/s per ettaro impermeabilizzato qualora lo scarico avvenga all'interno di aree a pericolosità P3 e P4 del P.A.I espressa in l/s;

Per il calcolo del coefficiente di deflusso φ sarà possibile adoperare una metodologia approfondita basata sulle più diffuse formule dei manuali tecnici di idrologia e idraulica, che tengono in considerazione l'umidità iniziale del terreno (grado di saturazione), la porosità, la pendenza, la copertura vegetale, ecc. (ad es.: metodo del Curve Number, equazione di Horton, metodo Green-Ampton, metodo Kennessey, ecc.).

In alternativa, si dovranno utilizzare i seguenti coefficienti φ per tipologia di suolo

- | | |
|--|-----|
| • Superficie impermeabili | 1.0 |
| • Pavimentazione drenanti o semipermeabili | 0.7 |
| • Aree permeabili | 0.3 |
| • Incolto e uso agricolo | 0.2 |

Il parametro 0,2 (relativo a terreni incolti, sterrati non compattati) è stato ricavato dal Regolamento recante le disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'art. 14, c.1, l. k) della regionale 29 aprile 2015 n.11 della regione Friuli Venezia Giulia.

Tale valore risulta essere più cautelativo rispetto a quello indicato nella normativa siciliana sopracitata, che è pari a 0.

Il tempo di ritorno utilizzato per il calcolo del volume di laminazione è pari a 50 anni.

7.1.2 Risultati del calcolo del coefficiente medio ponderale

Stato attuale:

Cdef Prima dell'intervento (AO)			
	Sup		Cdef [-]
Pista aeroporto	86757	m ^q	1

	ID Documento Committente 082601BARG00032		Pagina 48	
			Stato di Validità EV-FS	Numero Revisione 00

Terreno	874828	mq	0.2
Strada esistente	2415	mq	1
		Cdef AO	0.27a

Stato di progetto:

Cdef Dopo l'intervento (PO)			
	Sup		Cdef [-]
Pista aeroporto	86757	mq	1
Terreno	823091.7	mq	0.2
Strada esistente	2415	mq	1
Strade nuove	11637.5	mq	0.70
Zone piantumazione	37846	mq	0.30
zone impermeabili	2252.8	mq	1
		Cdef PO	0.286

7.1.3 Calcolo volume di invaso

Nel presente caso non scaricando le acque né in zone P3 né in zone P4, come mostrato nella *Figura 5*, la portata adottata è pari a 20 l/s per ettaro di area impermeabilizzata.

Il coefficiente di deflusso utilizzato nel calcolo del volume di invarianza idraulica è pari alla differenza tra il coefficiente di deflusso post-operam e quello ante-operam. Tale valore è pari a 0,012.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti:

Tabella 23 – Parametri calcolo volume di laminazione

DATI		
a	61.85	mm/h ⁿ
n	0.21	-
S	964000	mq
Cdef PO	0.012	-
Qu,lim	22.81	l/s

W0	653	m3
-----------	------------	-----------

8 TIPOLOGIA DI SISTEMA DI LAMINAZIONE ADOTTABILE

Al fine di garantire l'invarianza idraulica relativa all'insieme di interventi previsti in progetto, risulta necessario ricavare un'opera capace di raccogliere ed immagazzinare un volume di deflusso pari a 653 m³, come calcolato e rappresentato nel paragrafo 7.1.3.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 49	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Il volume in eccedenza (volume di invarianza e di ruscellamento) dovrà essere adeguatamente regimato all'interno dell'area interessata dal progetto attraverso idonee misure compensative, senza gravare sulla rete idrografica esistente.

Come dimostrato dalle analisi idrologiche e idrauliche, per compensare i volumi in eccesso provenienti dalle nuove trasformazioni del suolo, si rende necessaria la messa in opera di sistemi di attenuazione e di mitigazione.

In particolare, il volume in esubero dovrà essere regimato attraverso la realizzazione di invasi o bacini di laminazione opportunamente dimensionati e tali da non modificare la portata dello stato attuale dell'area, garantendo il principio dell'invarianza idraulica.

Nel caso specifico, il volume in esubero a seguito della trasformazione del suolo risulta pari a 653 m³, che dovrà essere regimato attraverso la realizzazione di depressioni del terreno che convogliano i volumi d'acqua presso una vasca di accumulo la cui funzione è quella di trattenere l'acqua che defluisce in superficie durante gli eventi meteorici, per rilasciarla quindi gradualmente verso un corpo superficiale, oppure verso un sistema di infiltrazione posto lungo il perimetro Ovest dell'impianto.

In particolare, tale sistema di infiltrazione può essere ricavato realizzando una depressione disperdente lungo perimetro Ovest dell'impianto in corrispondenza della fascia verde di mitigazione dell'impatto visivo dell'impianto. La vasca di laminazione sarà posizionata presso l'area ovest dell'impianto, in una zona priva di pannelli fotovoltaici.

Il documento della Commissione Europea (2014) "*Una guida in supporto della selezione, della progettazione e della realizzazione delle Misure di Ritenzione Naturale delle Acque in Europa*", propone metodi che, ripristinando il funzionamento naturale degli ecosistemi, favoriscono la mitigazione dei cambiamenti climatici e migliorano lo stato generale dei corpi idrici, contribuendo così anche al raggiungimento di alcuni degli obiettivi previsti da diverse politiche dell'Unione Europea.

Nel caso specifico, il volume di laminazione necessario alla garanzia dell'invarianza idraulica potrà essere ricavato con le depressioni inserite nell'ambito/in corrispondenza delle opere di mitigazione a verde, ricavate mediante movimenti terra limitati, e con la realizzazione della vasca di laminazione. Il fondo delle depressioni sarà impostato ad una quota di circa - 0,6 m rispetto al piano campagna, mentre il fondo della vasca sarà impostato a -3.5 m, ben al di sopra della falda acquifera presente nella zona.

Le opere idrauliche saranno quindi del tipo normalmente asciutto.

Le depressioni sono canali lineari, non troppo profondi e ampi che possono raccogliere e convogliare le acque di superficie così riducendo le portate e i volumi di ruscellamento.

È necessaria una manutenzione continua per mantenere la funzionalità della depressione.

Indicazioni progettuali

Per garantire il principio di invarianza idraulica, nel caso in esame, si prevede di realizzare una vasca di laminazione e un sistema di drenaggio lungo il perimetro dell'area di impianto; di seguito si descrivono le due opere:

- Vasca di laminazione, posta nella zona Ovest dell'area di impianto, avente volume utile di 17550 m³. La parte superiore della vasca di dimensioni planimetriche 97 m x 57 m, profonda 3,5 m avrà le sponde inclinate di 45°. La base della vasca avrà dimensioni 90 m x 50 m. Le sponde e il fondo saranno ricoperti da geo tessuto. Tale vasca riceverà le acque dalle depressioni e tubi presenti nelle zone 3 e 4, identificate successivamente, e le recapiterà verso il corpo idrico superficiale posto a circa 120 m al di fuori della recinzione dell'impianto. Utilizzando il metodo dell'omogeneità, considerando che alla vasca sottendono i volumi delle zone n° 3 e 4° e partendo da valore di $Q_{u,lim}$ calcolato nel paragrafo 7.1.3, il volume in uscita dalla vasca $Q_{u,vasca}$ è stato calcolato come segue:

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 50	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

$$Q_{u,vasca} = Q_{u,lim} * \frac{A_3 + A_4}{A_{totale}} = 22,81 * \frac{155000 + 154000}{964000} = 7.32 \text{ l/s}$$

Alla portata relativa all'invarianza idraulica precedentemente indicata, sarà presente un ulteriore tubo che permetterà il deflusso delle acque di ruscellamento. Il valore di portata complessivamente scaricata dalla vasca sarà pari a 0,400 m³/s.

Le modalità di svuotamento della vasca verranno analizzate nella successiva fase di progettazione esecutiva in funzione delle quote del corpo idrico superficiale. Lo scarico potrà essere a gravità o mediante l'utilizzo di un sistema di pompaggio.

Tale opera, oltre al volume di invarianza idraulica, laminerà anche parte del deflusso superficiale sull'area di impianto.

L'opera non presenterà opere murarie e sarà realizzata in materiale vegetale attraverso opere di ingegneria naturalistica come indicato nell'*Allegato 2 parte B "Tipologie costruttive per la realizzazione dei Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile"* della DDG n. 102 del 23/06/2021. Tale opera è riconducibile alla categoria "*U10 Bacini di ritenzione*" indicata nelle Misure di ritenzione naturale delle piene (NWRM) relativa ai Sistemi di Drenaggio Urbano Sostenibile (SUDS).

- Depressioni perimetrali lato W:** tale opera si svilupperà lungo il perimetro N-W, W e S dell'area di impianto e accoglierà le acque provenienti dalle depressioni verticali e orizzontali presenti all'interno dell'area di impianto. Sarà realizzato all'interno della fascia mitigativa presente in prossimità della recinzione. In genere le depressioni sono efficienti e più semplici da costruire e mantenere se il canale ha una forma trapezoidale o parabolica, con lati poco profondi, profondità non eccessive e una pendenza ridotta. Dovrebbero essere situati in aree soleggiate per consentire la crescita della vegetazione. L'ispezione e la manutenzione periodica sono essenziali. L'obiettivo primario delle depressioni in questo caso è l'accumulo e l'infiltrazione delle acque piovane. La loro efficienza dipende in grande misura da una buona progettazione e dalle caratteristiche del paesaggio locale/di bacino; in genere possono ridurre il ruscellamento medio di oltre il 50%. Le depressioni che consentono l'infiltrazione dove appropriato contribuiscono pertanto lievemente a una migliore ricarica della falda. Possono contribuire anche alla conservazione della biodiversità e all'adattamento ai cambiamenti climatici.

L'opera sarà larga 5 m e avrà una profondità massima di 0,6 m dal piano campagna. L'opera si svilupperà per circa 2300 m e ha una sezione utile di 1.5 m². Il volume complessivo è pari a circa 3500 m³



Figura 29: Esempi di depressione con funzione di laminazione

Per garantire un battente inferiore a 25 cm nell'area di impianto, vista l'elaborato "082600BARU00018_Relazione idrologica – idraulica", è stato necessario realizzare un sistema di drenaggio per la gestione delle acque piovane cadute all'interno dell'area di impianto.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 51	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

Il sistema di drenaggio sarà composto da depressioni posizionate tra le file dei tracker.

I recapiti finali di queste depressioni saranno la vasca di laminazione e la depressione perimetrale descritte precedentemente.

Il sistema di depressioni è stato progettato senza considerare la possibilità di infiltrazione delle acque nel terreno. Per questo motivo tale sistema risulta essere a favore di sicurezza.

Il sistema complessivo può essere suddiviso in 7 zone, come mostrato nella *Figura 30*.

A ciascuna zona corrisponde una superficie S. Per la verifica delle successive depressioni si è utilizzato il metodo dell'omogeneità delle aree: tale metodo è applicabile vista l'omogeneità altimetrica e di permeabilità delle varie aree. La portata d'acqua di ciascuna area è stata calcolata nel seguente modo.

$$Q_{sottozona,i} = Q_{TR50} * \frac{A_{sottozona,i}}{A_{totale}}$$

Vista l'omogeneità anche nelle varie sottozone, sono stati assegnati i valori di portata per ciascuna depressione verticale in funzione della loro posizione, ovvero se ad E o W della pista dell'aeroporto. La definizione della portata corrispondente alla zona E o W della pista è stata calcolata nel seguente modo:

$$Q_{W o E} = Q_{sottozona,i} * \frac{A_{W o E}}{A_{sottozona,i}}$$

Dopo aver calcolato la portata corrispondente alla zona E o W della pista, tale valore è stato diviso per il numero di nuove depressione naturali verticali presenti. Il posizionamento delle depressioni verticali (direzione N-S) e orizzontali (direzione E-O) è mostrato nella tavola allegata alla presente relazione.

Nelle seguenti tabelle sono mostrati i parametri sopra citati.

Tabella 24 – Parametri per le verifiche delle opere di drenaggio

Area totale	964000	m ²
Q _{tr 50}	14.668	mc/s
Sottozona	Area sottozona [m ²]	Q sottozona [m ³ /s]
1° zona	74000	1.126
2° zona	145000	2.206
3° zona	155000	2.358
4° zona	154000	2.343
5° zona	136000	2.069
6° zona	140000	2.130
7° zona	160000	2.435

Sottozona	Q sottozona [m ³ /s]	Area sottozona W [m ²]	Area sottozona E [m ²]	Q W [m ³ /s]	Q E [m ³ /s]
1° zona	1.126	49000	25000	0.746	0.380
2° zona	2.206	89000	56000	1.354	0.852
3° zona	2.358	85000	70000	1.293	1.065
4° zona	2.343	80000	74000	1.217	1.126
5° zona	2.069	66000	70000	1.004	1.065
6° zona	2.130	65000	75000	0.989	1.141
7° zona	2.435	65000	95000	0.989	1.445

Sottozona	Q W [m3/s]	Q E [m3/s]	n° depressione W	n° depressioni E	Q x un canale E [m3/s]	Q x un canale E [m3/s]
1° zona	0.746	0.380	4	3	0.186	0.127
2° zona	1.354	0.852	4	3	0.339	0.284
3° zona	1.293	1.065	4	4	0.323	0.266
4° zona	1.217	1.126	5	4	0.243	0.281
5° zona	1.004	1.065	5	4	0.201	0.266
6° zona	0.989	1.141	5	4	0.198	0.285
7° zona	0.989	1.445	3	5	0.330	0.289

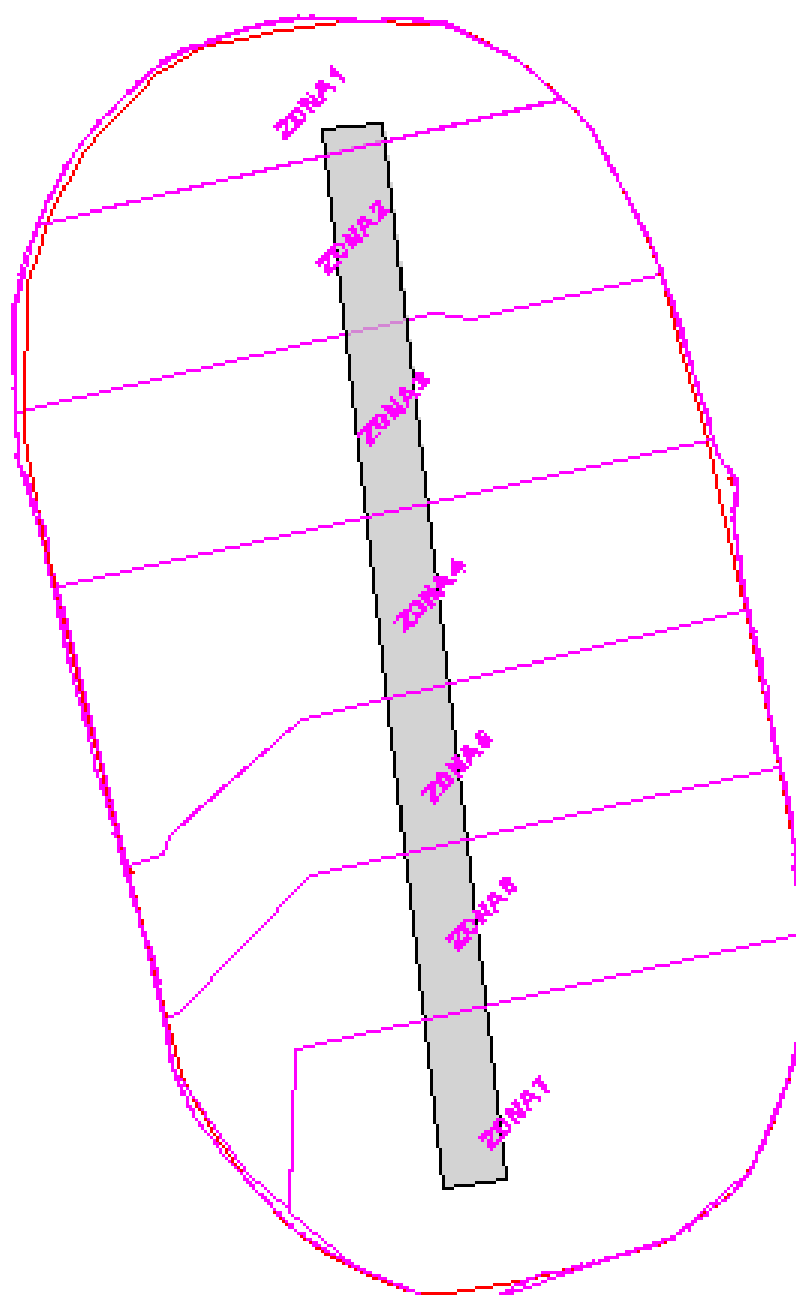


Figura 30: Identificazione delle zone del sistema

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 53	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

In generale il sistema di drenaggio sarà composto da:

- Depressioni direzioni N-S (identificate come verticali) avente profondità massima di 0,6 m e larghezza in sommità di 2,2 m. Le sponde laterali saranno inserite dei geo tessuti per evitare l'erosione delle sponde. Tale tipologia garantisce una sezione di 0,66 m². Di seguito un'immagine della tipologia di depressione.

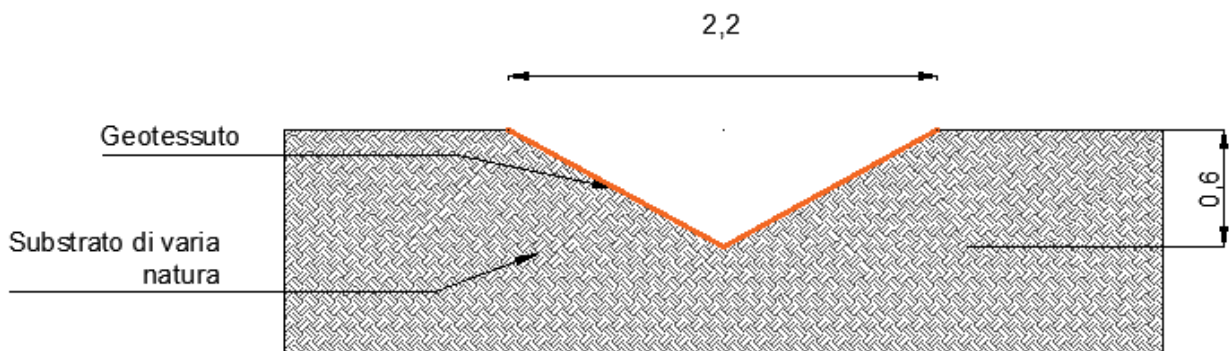


Figura 31: Sezione tipo depressione verticale

Di seguito viene effettuata la verifica della depressione verticale più gravosa, ovvero quella nella sottozona 2 ad est della pista dell'aeroporto; tale opera dovrà garantire il transito di 339 l/s di acqua. Le depressioni verticali, visto l'andamento morfologico dell'area, avranno una pendenza circa dell'1%. La formula utilizzata per la verifica della depressione è quella di Chezy definita come segue:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * \sqrt{i}$$

Dove:

- n è il coefficiente di Manning pari a 0,020 ovvero il valore massimo per canali rettilinei, buona manutenzione, non vegetati;
- A, in m² è l'area pari $z * h^2$ con z pari alla pendenza delle sponde e h altezza di acqua nel canale. In questo caso le sponde sono inclinate di 45° rispetto all'orizzontale e z è pari 1;
- R, raggio idraulico, in metri, ovvero $\frac{A}{P} = \frac{z * h^2}{2 * h * \sqrt{1 + z^2}}$;
- i, pendenza del corso d'acqua pari a 0.01.

Considerando un franco di sicurezza di 0,10 m, ovvero un tirante h di 0,50 m, utilizzando la formula sopra riportata, il canale permette di convogliare una portata di 394 l/s, valore maggiore di quello da verificare pari a 339 l/s.

- Depressioni direzione E-W (identificate come orizzontali) avente profondità massima di 1 m e larghezza in sommità di 2,6 m. Tali depressioni fungeranno come opera di collegamento al recapito finale. Le sponde laterali saranno inserite delle geo tessuti per evitare l'erosione delle sponde. Di seguito un'immagine della tipologia di depressione.

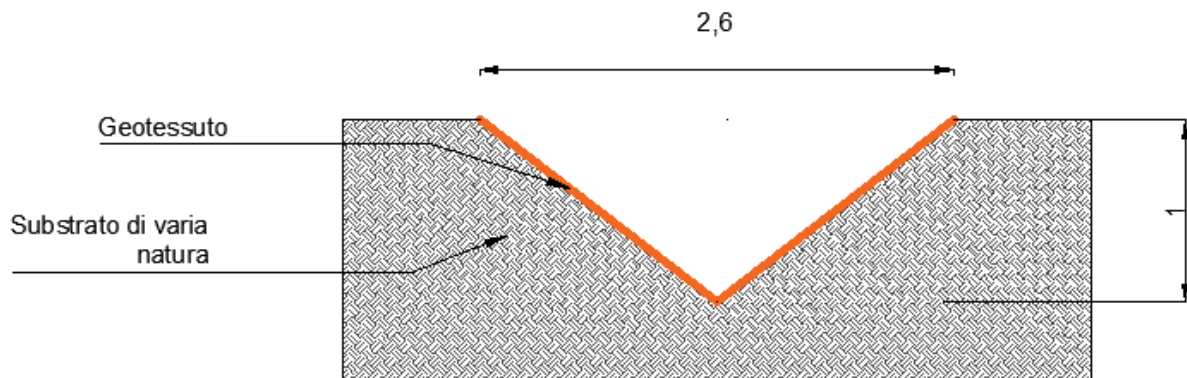


Figura 32: Sezione tipo depressione orizzontale

Di seguito viene effettuata la verifica della depressione orizzontale più gravosa, ovvero quella nella sottozona 3 successiva all'immissione della dell'ultima depressione verticale; tale opera dovrà garantire il transito di 2,358 m³/s di acqua.

Utilizzando la metodologia del caso delle depressioni verticali, considerando un tirante di 0,9 m (franco di sicurezza di 10 cm) e pendenza del canale del 2%, la portata convogliata dal canale è pari a 2,670 m³/s, valore maggiore della portata di progetto di 2,358 m³/s.

- Tubazioni in PE, posti sotto le strade interne in direzione E-W, avente diametri appropriati per garantire il deflusso delle portate di progetto, ovvero 2,358 m³/s. Tale scelta progettuale è stata individuata vista le dimensioni ridotte presenti a lato della viabilità interna.

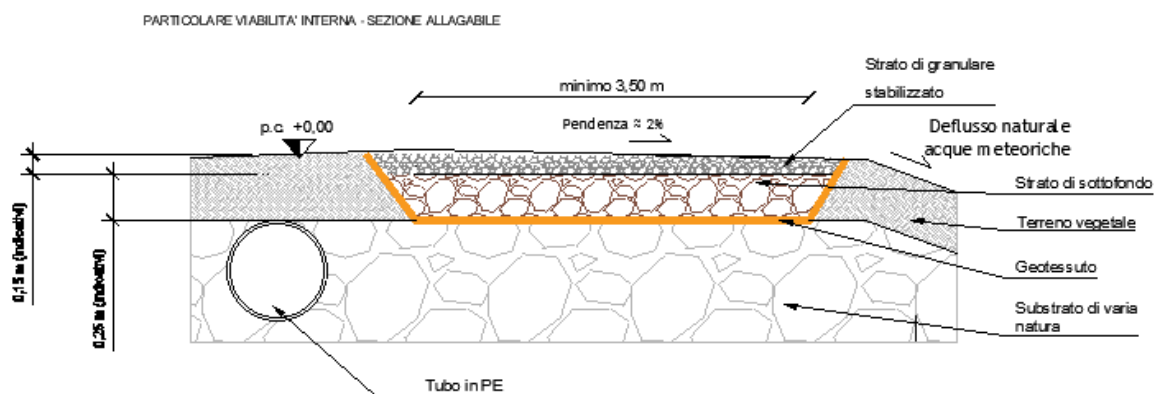


Figura 33: Sezione tipo tubo

Nella tavola allegata alla presente relazione è mostrata la planimetria con tutte le opere sopra citate.


Di seguito vengono descritte le soluzioni proposte per le 7 zone identificate nella *Figura 30*.

1° zona

La 1° zona, situata a nord dell'impianto è composta, da 7 depressioni verticali, 1 depressione orizzontale lunga 535 m che trasporta le acque verso la depressione perimetrale situata lungo il perimetro dell'impianto.

L'attraversamento della pista avverrà tramite tubo in PE DN 500.

La lunghezza complessiva delle depressioni verticali è pari a 830 m pari un volume di 547,8 m³.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 55	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

2° zona

La 2° zona, situata a sud della 1° zona, è composta da 7 depressioni verticali; le acque vengono raccolte da un tubo in PE, lunga 720 m, che le convoglia verso la depressione perimetrale situata lungo il perimetro dell'impianto.

La tubazione in PE avrà DN 630 nel tratto ad E e DN 800 nel tratto a W della pista.

La lunghezza complessiva delle depressioni verticali è pari a 1440 m pari un volume di 950,4 m³.

3° zona

La 3° zona, situata a sud della 2° zona, è composta da 8 depressioni verticali lunghe complessivamente 1740 m, le acque passanti dalla depressione orizzontale, lunga complessivamente circa 840 m, arriveranno alla vasca di laminazione posta ad ovest dell'area di impianto.

Il volume complessivo delle depressioni verticali è pari a 1148,4 m³.

4° zona

La 4° zona, situata nella fascia centrale dell'area di impianto, è composta da 9 depressioni verticali lunghe complessivamente 1885 m; le acque vengono raccolte da un tubo in PE, lunga circa 900 m.

La tubazione in PE avrà DN 630 nel tratto ad E della pista e DN 900 a Ovest della pista che convoglierà le portate alla vasca di laminazione posta ad Ovest dell'impianto.

Il volume complessivo delle depressioni verticali è pari 1244,1 m³.

La vasca di laminazione dovrà contenere i volumi delle acque provenienti dalle depressioni, dalle acque di ruscellamento delle zone n° 3 e 4 e dalle acque di invarianza idraulica. Tale volume è pari a 17.550 m³.

5° zona

La 5° zona, situata nella zona sud dell'impianto, è composta da 9 depressioni verticali, 1 depressione orizzontale lunga 845 m che trasporta le acque verso la depressione perimetrale situata lungo il perimetro dell'impianto.

L'attraversamento della pista avverrà tramite tubo in PE DN 630.

La lunghezza complessiva delle depressioni verticali è pari a 1495 m pari un volume di 1098,5 m³.

6° zona

La 6° zona è composta da 9 depressioni verticali lunghe complessivamente 1635 m; le acque vengono raccolte da un tubo in PE, lunga 750 m, che le convoglia verso la depressione perimetrale situata lungo il perimetro dell'impianto.

La tubazione in PE avrà DN 800 sia nel tratto ad E che in quello a W della pista.

Il volume complessivo delle depressioni verticali è pari 1079,1 m³.

7° zona

La 7° zona situata a sud dell'area di impianto è costituita da 8 depressioni verticali lunghe complessivamente 1960 m; le acque verranno convogliate verso la depressione perimetrale situata lungo il perimetro W dell'impianto.

Il volume complessivo della vasca di laminazione (17550 m³) e della depressione lungo il perimetro W dell'area di impianto (3500 m³) risultano essere maggiori del volume derivato dai calcoli di invarianza idraulica del paragrafo 487.1.3, ovvero 653 m³.

La cabina di raccolta MTR e i componenti del sistema di accumulo BEES avranno un sistema di tubi in PE, di diametro adeguato, che raccoglieranno le acque superficiali provenienti dalle strutture e le invieranno ad 1 pozzo perdente situato in prossimità delle stesse come mostrato nel seguente estratto dell'allegato planimetrico.

Le dimensioni sono: altezza utile pari a 3 m, diametro di 2 m e spessore di ghiaione di 0,5 m sul fondo e 0,75 m sulle superfici laterali.

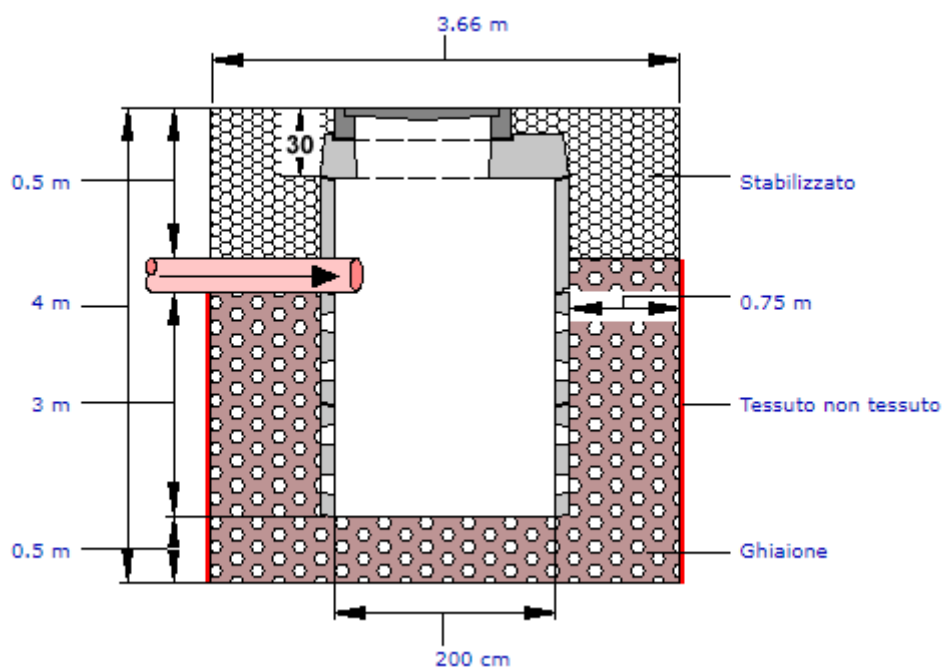


Figura 34: Pozzo perdente per MTR e BESS

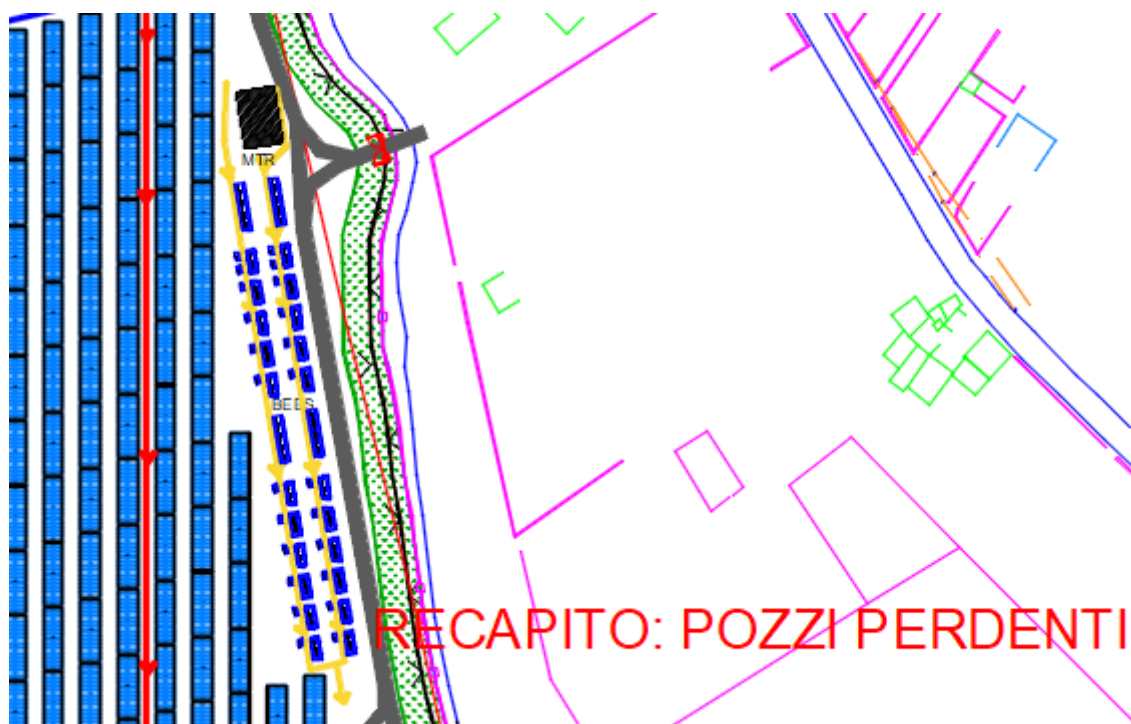


Figura 35: Sistema drenaggio MTR e BEES

L'insieme delle opere descritte nel presente capitolo, oltre a garantire il principio di invarianza idraulica, permetteranno anche di assorbire parte del deflusso superficiale delle acque in modo tale da ottenere battenti d'acque nelle zone più depresse inferiori a 25 cm consentendo così il mantenimento delle migliori condizioni per l'operatività e la manutenzione dell'impianto fotovoltaico.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 57	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

La sezione e tipologia definitiva delle depressioni, così come la pendenza longitudinale delle stesse e l'integrazione con le opere di mitigazione a verde, sarà comunque da confermare in fase esecutiva, facendo in modo di evitare il convogliamento delle acque verso porzioni di campo più depresse.

Qualora fosse necessario, durante il progetto esecutivo, potranno essere effettuate delle leggere modifiche alle opere necessarie alla gestione delle acque piovane.

	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 58	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

9 CONCLUSIONI

Il presente studio riguarda l'analisi dell'invarianza idraulica relativa al progetto per la realizzazione di un impianto fotovoltaico nel comune di Castelvetro.

L'area di studio possiede una superficie totale pari a 964.000 mq circa.

L'analisi dell'invarianza idraulica degli interventi progettuali è stata sviluppata seguendo i riferimenti di indirizzo in materia, e la legislazione vigente (Allegato n. 1 "Indirizzi applicativi invarianza idraulica e idrologica" (protocollo n° 6834 del 11/10/2019) della D.D.G. n.102 del 23/06/2021)

La metodologia seguita riguarda il calcolo delle massime piogge e delle massime portate utilizzando diversi metodi per confronto e scegliendo sempre il valore più cautelativo ottenuto.

Il volume di laminazione è stato calcolato attraverso il metodo semplificato delle piogge, come indicato nella normativa regionale (Allegato n. 1 "Indirizzi applicativi invarianza idraulica e idrologica" (protocollo n° 6834 del 11/10/2019) della D.D.G. n.102 del 23/06/2021).

La differenza tra i valori ricavati, corrispondente al volume necessario a garantire la invarianza idraulica degli interventi in progetto, è pari a 653 m³.

Il principio di invarianza idraulica verrà garantito dalla realizzazione di una depressione lungo il perimetro Ovest dell'impianto avente volume di 3500 m³ e di una vasca di laminazione avente volume 17550 m³.

Verrà realizzato un sistema di drenaggio interno all'area di impianto che sarà composto da una serie di depressioni in terra, coperte da geo tessuti, che si sviluppano in direzione N-S, seguendo la morfologia del terreno, che raccoglieranno le acque e le invieranno verso la depressione perimetrale e verso la vasca di laminazione posta a W dell'impianto.

Le depressioni verticali avranno sezione triangolare con larghezza massima in sommità pari a 2.2 m e profondità massima pari a 0.6 m.

Le depressioni verticali recapiteranno le acque a depressioni orizzontali, sempre in terra, o a tubazioni in PE. Tali opere recapiteranno le acque presso o la vasca di laminazione o depressione verticale lungo il perimetro W dell'impianto. Le depressioni orizzontali avranno sezioni triangolari con larghezza massima in sommità pari a 2.6 m e profondità massima pari a 1 m.

La vasca di laminazione situata nella zona W dell'area di impianto avente volume utile circa 17550 m³ che scaricherà le acque nel corpo idrico superficiale situato a circa 120 m dall'impianto. La portata scaricata sarà pari a 400 l/s, di cui circa 7 l/s dovuti all'invarianza idraulica; l'allontanamento avverrà mediante uno scarico a gravità o mediante un sistema di pompaggio.

La depressione lungo il perimetro W dell'area di impianto verrà realizzata all'interno della fascia mitigativa e avrà dimensioni (larghezza 5 m e profondità massima pari a 0,6 m) tali da fungere sia da opera di accumulo che di infiltrazione.

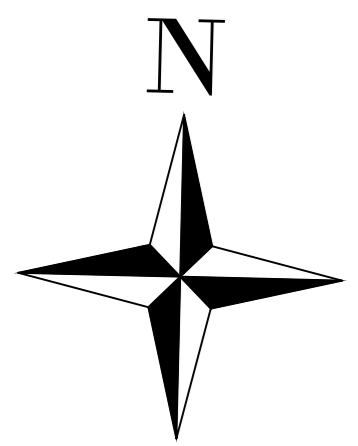
Le opere previste, oltre a garantire il principio di invarianza idraulica, permetteranno anche di assorbire parte del deflusso superficiale delle acque in modo tale da ottenere battenti d'acque nelle zone più depresse inferiori a 25 cm consentendo così il mantenimento delle migliori condizioni per l'operatività e la manutenzione dell'impianto fotovoltaico.

Sarà presente un sistema di allontanamento delle acque dalle zone dove sono presenti MTR e BEES costituito da tubi che raccoglieranno le acque e le invieranno verso un pozzo perdente, posto nella zona E dell'impianto, che le disperderà nel terreno.

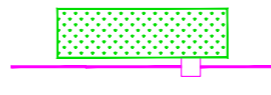


	<p>ID Documento Committente</p> <p>082601BARG00032</p>	<p>Pagina 59</p>	
		<p>Stato di Validità</p>	<p>Numero Revisione</p>
		<p>EV-FS</p>	<p>00</p>











10 ALLEGATI




10.1 ALLEGATO 1 – Planimetria generale con posizionamento opere idrauliche e sezioni tipiche

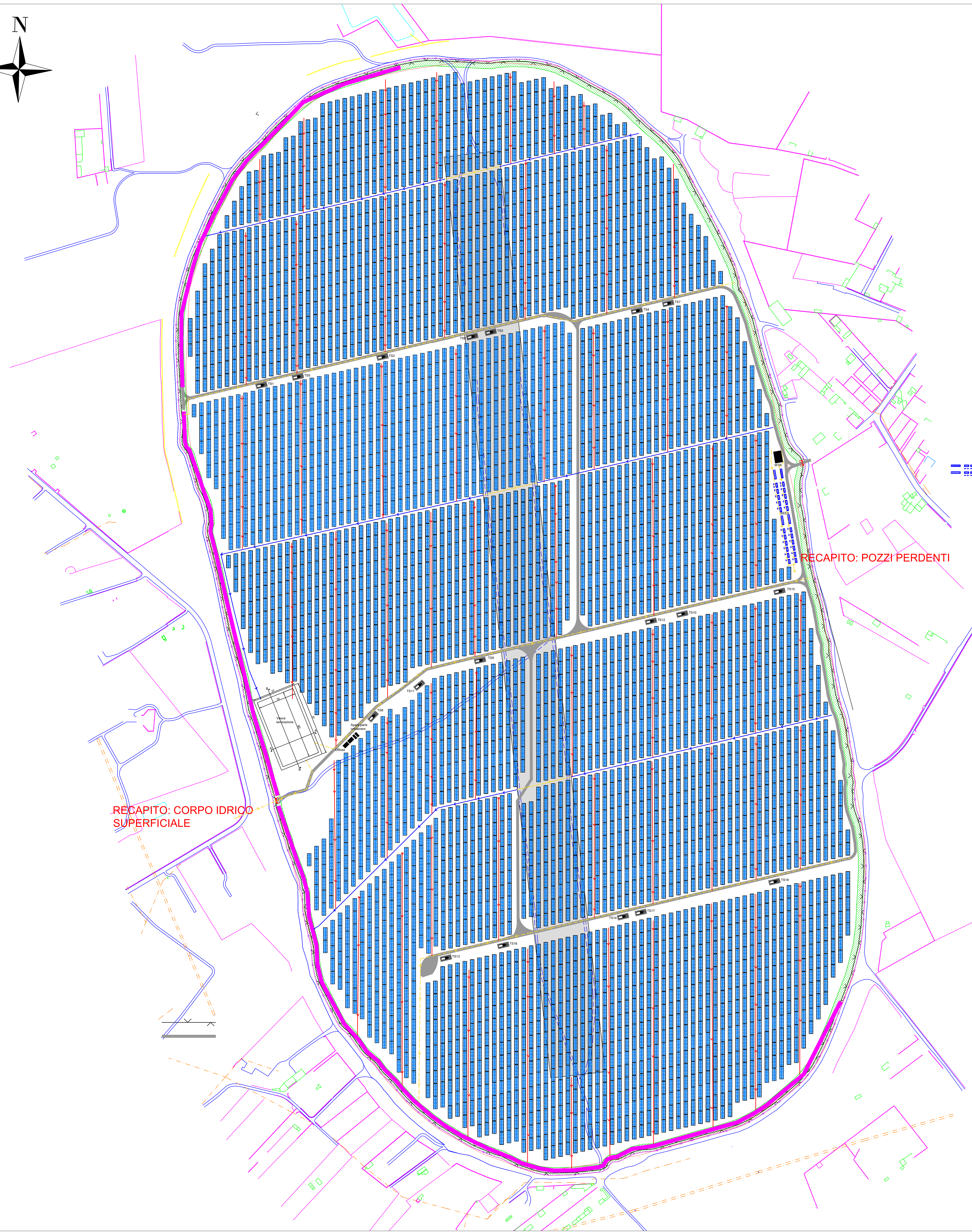


LEGENDA

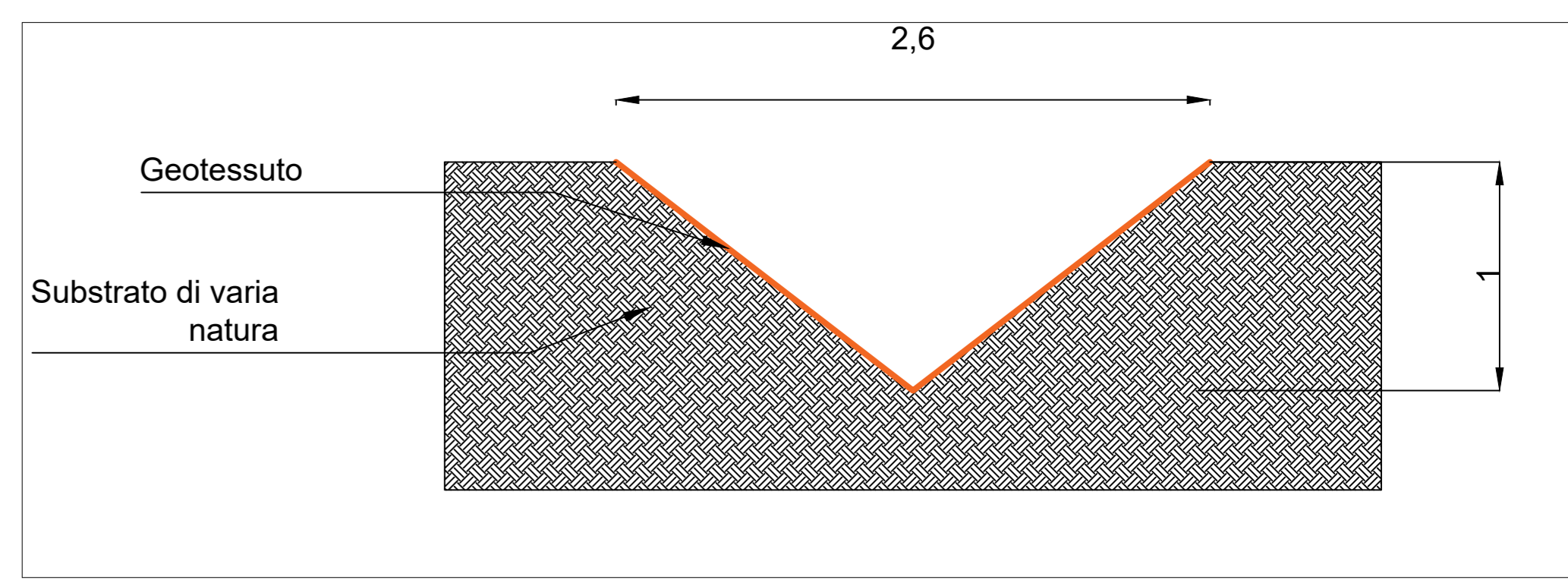
-  CONFINE CATASTALE
-  RECINZIONE
-  STRADE INTERNE FV (LARGHEZZA 3.5 m)

-  FASCIA DI MITIGAZIONE 10 m
-  CANCELLO DI INGRESSO
-  VECCHIA PISTA AEROPORTO
-  TRACKER MONOASSIALE
-  CABINA DI CONVERSIONE E TRASFORMAZIONE
-  CABINA MTR
-  EDIFICI ESISTENTI
-  STRADE ESISTENTI
-  DEPRESSIONI ORIZZONTALI
-  DEPRESSIONI VERTICALI
-  TUBAZIONI IN PE

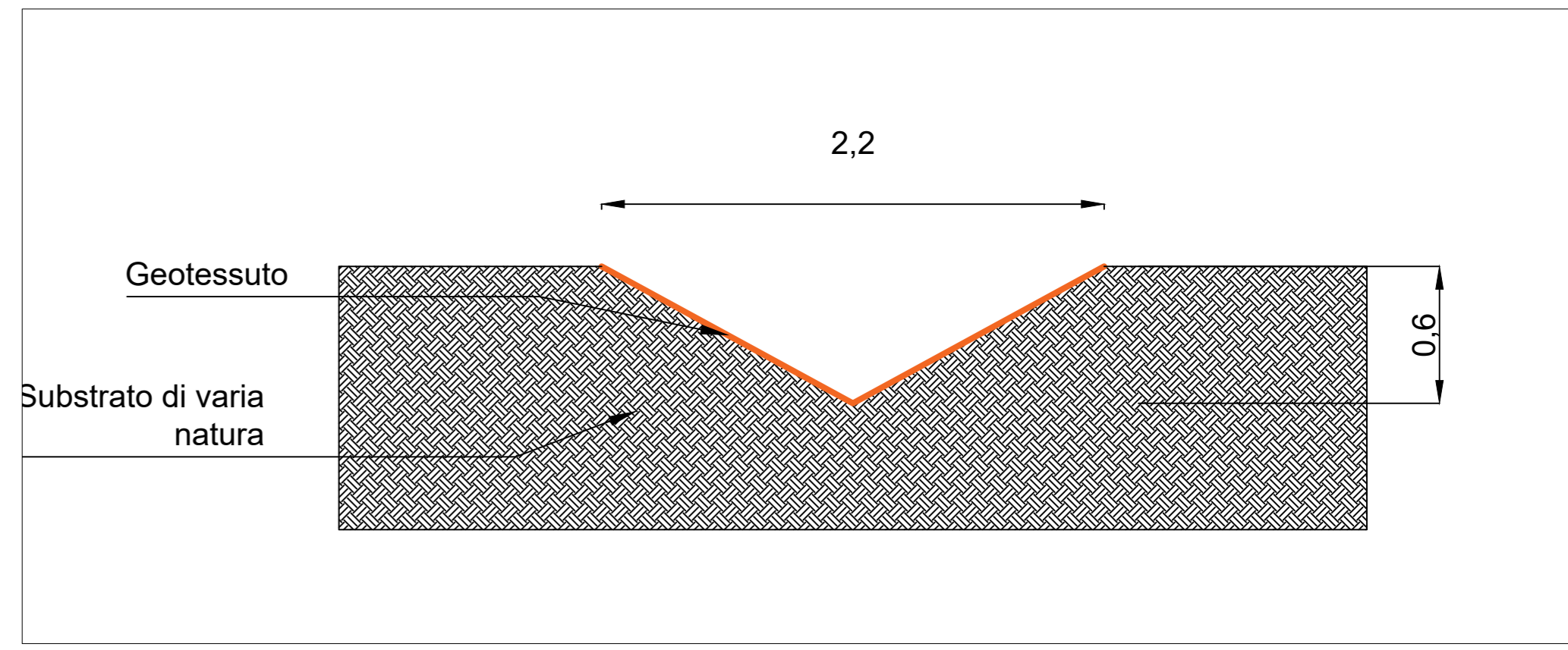
-  CONTAINER E UFFICI
-  IMPIANTO DI ACCUMULO ELETTROCHIMICO (BESS)
-  DEPRESSIONI PERIMETRALE



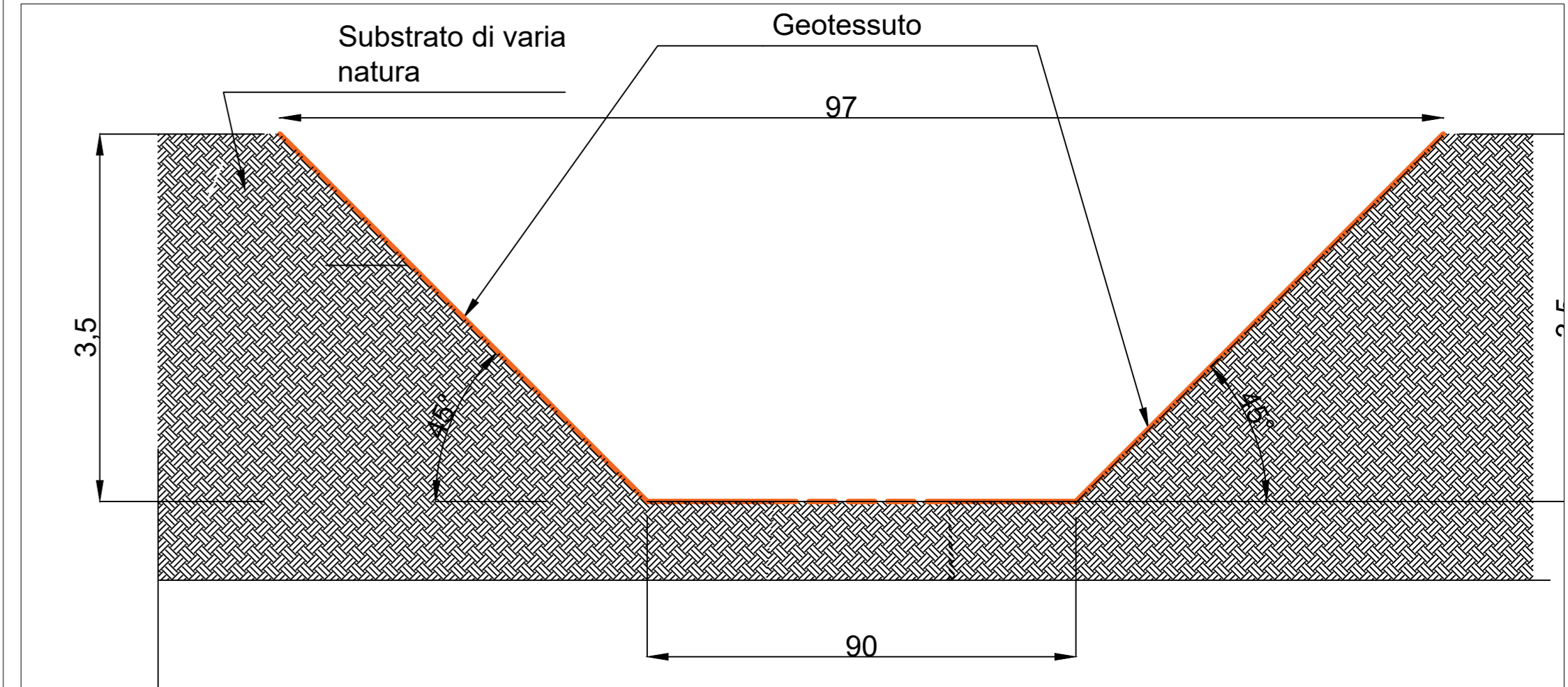
SEZIONE DEPRESSIONE ORIZZONTALE - SCALA 1: 25



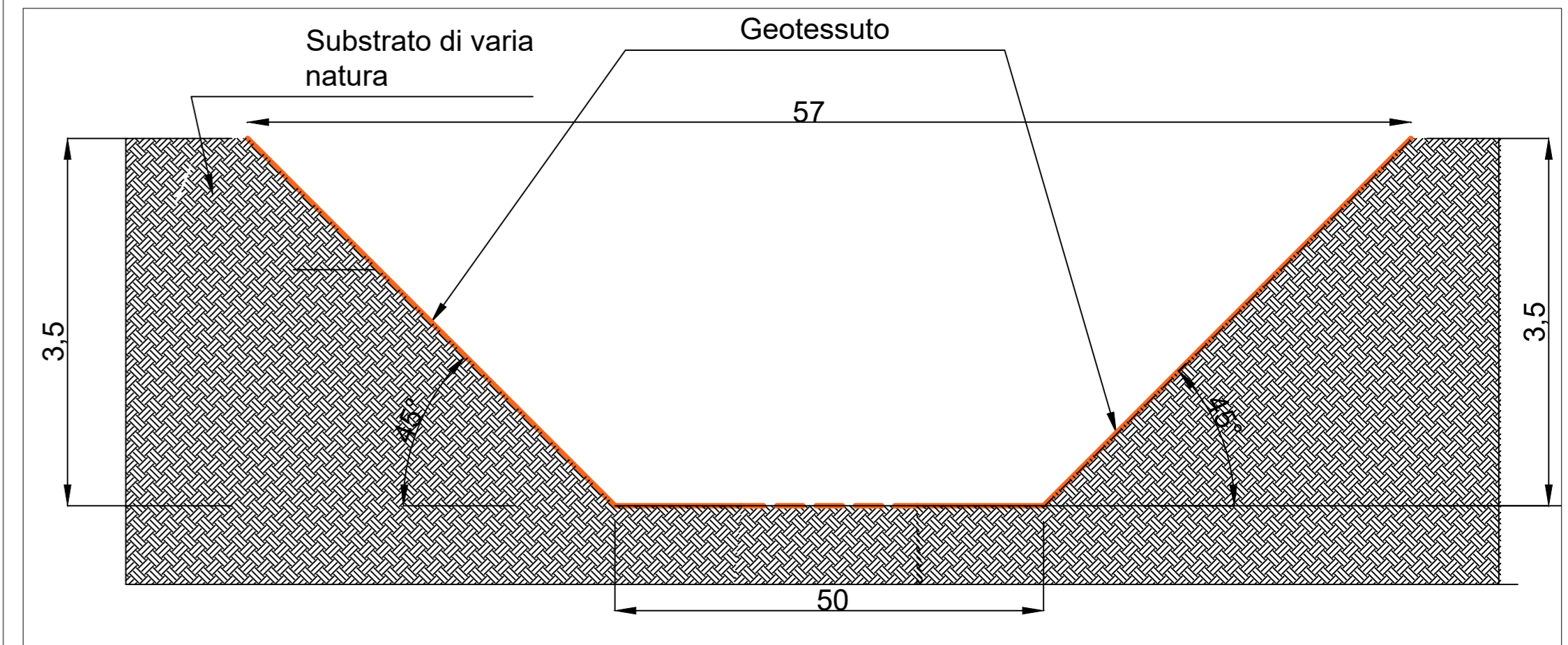
SEZIONE DEPRESSIONE VERTICALE - SCALA 1: 25



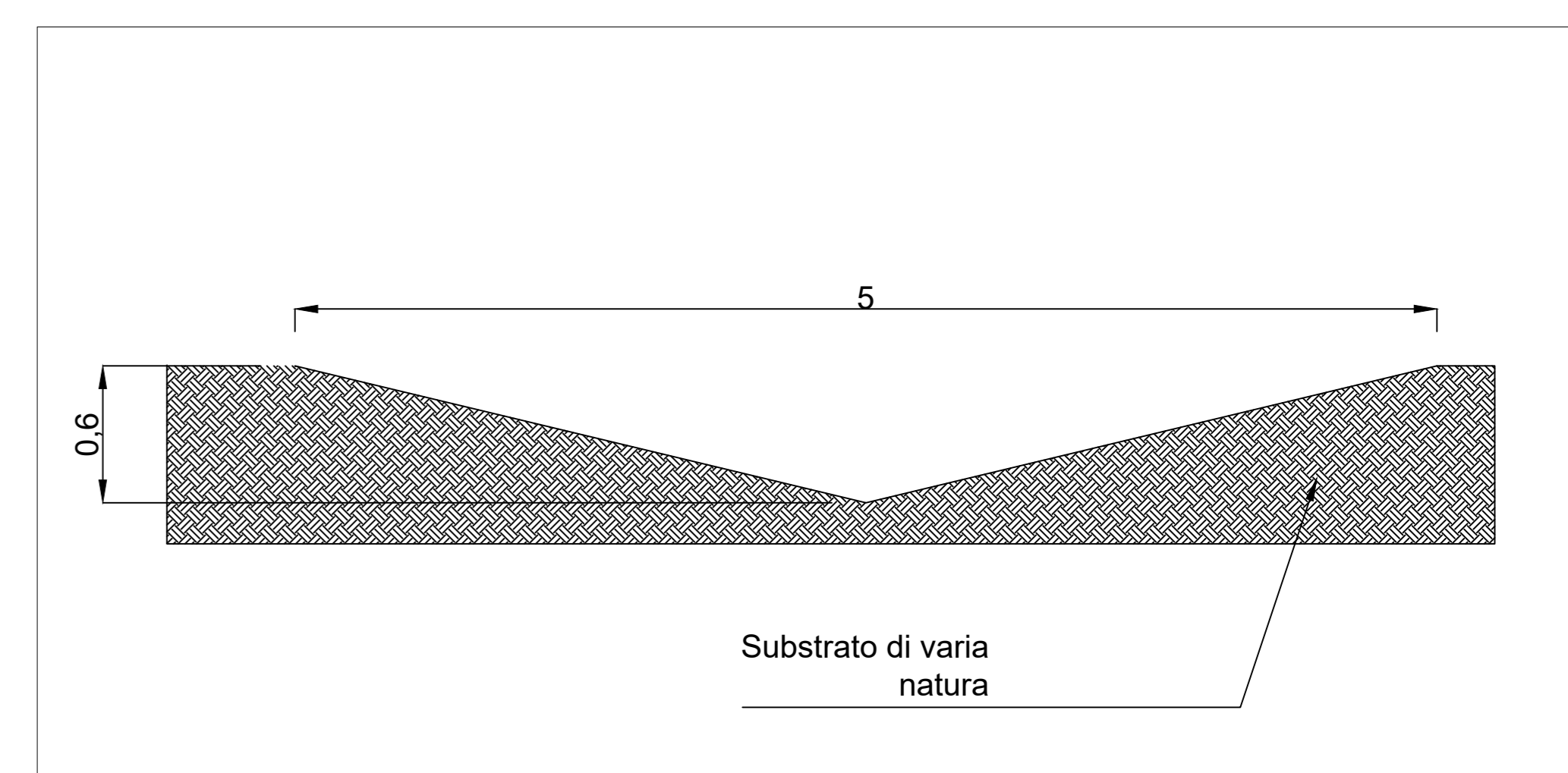
SEZIONE BB VASCA - SCALA 1: 50




SEZIONE AA VASCA - SCALA 1: 50



SEZIONE DEPRESSIONE PERIMETRALE - SCALA 1: 25



	ID Documento Committente 082601BARG00032	Pagina 61	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		EV-FS	00

10.2 ALLEGATO 2 – Progetto VAPI – Rapporto Nazionale Valutazione delle Piene in Sicilia

CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE
GRUPPO NAZIONALE PER LA DIFESA DALLE CATASTROFI IDROGEOLOGICHE

UU. OO. 1.32 - 3.11 - Università di Palermo - Istituto di Idraulica - Palermo
U. O. 1.10 - Università di Palermo - Istituto di Idraulica Agraria - Palermo

PROGETTO VAPI
RAPPORTO NAZIONALE

L - VALUTAZIONE DELLE PIENE IN SICILIA

a cura di
M. Cannarozzo e V. Ferro



VALUTAZIONE DELLE PIENE IN SICILIA

INDICE

	Pag.
INTRODUZIONE	1-1
CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IDROGRAFICO E RETE DI MISURA	2-1
ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE ESTREME	3-1
3.1 Cenni al modello probabilistico TCEV e alla tecnica di regionalizzazione adottata	3-1
3.2 Analisi regionale delle piogge di breve durata (1,3,6,12 e 24 ore)	3-2
3.2.1 <i>Primo livello di regionalizzazione</i>	3-2
3.2.2 <i>Secondo livello di regionalizzazione</i>	3-2
3.2.3 <i>Terzo livello di regionalizzazione</i>	3-4
4. ANALISI REGIONALE DELLE PORTATE AL COLMO	4-1
4.1 Primo livello di regionalizzazione	4-1
4.2 Secondo livello di regionalizzazione	4-1
4.3 Terzo livello di regionalizzazione	4-2
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	5-1
6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	6-1

1. INTRODUZIONE

Il Rapporto Regionale Sicilia è stato predisposto in collaborazione tra le differenti Unità Operative del GNDCI. In particolare le U.O. 1.10 e 3.11, dirette rispettivamente dai Proff. I. Melisenda Giambertoni e M. Santoro, hanno sviluppato la procedura regionale con riferimento alle piogge di massima intensità e durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore; l'U. O. 1.32 diretta dal Prof. G. Benfratello ha invece condotto l'analisi di frequenza delle piene.

Il Rapporto Regionale Sicilia, pur avendo usufruito dell'impostazione metodologica dell'U.O. del CNR - IRPI di Cosenza, è stato predisposto seguendo anche procedure che si discostano dalle linee direttrici del Rapporto Regionale Calabria.

Allo stato attuale l'U.O. 1.32 ha effettuato una stesura preliminare del Rapporto Regionale che è stata sottoposta a revisione da parte delle Unità Operative del GNDCI.

L'indagine pluviometrica, sviluppata facendo ricorso ai massimi annuali delle piogge di breve durata, ha evidenziato una dipendenza dei parametri regionali e sottozonali del modello probabilistico TCEV dalla durata. I risultati dell'indagine sono stati pubblicati sul n.6 del 1990 della rivista *Idrotecnica* e sono stati anche presentati alla FAO European Forestry Commission, 17th Session of the Working Party on Management of Mountain Watershed svoltosi a Vicenza nel 1990.

L'analisi delle piene è stata effettuata facendo ricorso ai massimi annuali sia delle portate al colmo sia delle portate medie giornaliere, caratterizzate queste ultime da una base dati più ampia. I risultati dell'indagine sono oggetto della memoria "Contributo alla valutazione probabilistica delle piene nei corsi d'acqua siciliani" di M. Cannarozzo & V. Ferro, pubblicata sul n.5 del 1991 della rivista *Idrotecnica*.

Un approfondimento del terzo livello di regionalizzazione delle piene, che ha richiesto sia una particolare caratterizzazione geologica dei suoli con riferimento alla loro attitudine ad essere "infiltrati" sia la determinazione della copertura boscata dei bacini in studio, ha condotto ad un nuovo criterio di stima della portata indice. I risultati dell'indagine sono oggetto della memoria "Un criterio di valutazione della portata al colmo di piena per i piccoli bacini siciliani. Contributo alla stima della portata indice" di F. D'Asaro, L. Ercoli & V. Ferro, pubblicata sul n.4 del 1992 della rivista *Idrotecnica*.

I risultati complessivi dell'indagine sono stati sintetizzati nella memoria "Regional rainfall and flood frequency analysis for Sicily using the TCEV distribution" che sarà pubblicata sul n. 1 del 1995 della rivista *Hydrological Sciences Journal*.

La relazione è articolata in tre sezioni. La prima presenta una breve descrizione delle caratteristiche del sistema idrografico isolano, con particolare riferimento ai corsi d'acqua che rivestono un interesse per i fenomeni alluvionali, unitamente alla rete di misura delle stazioni pluviografiche ed idrometriche utilizzate per lo svolgimento dell'indagine regionale.

Segue, dopo una breve presentazione del modello probabilistico adottato e delle specifiche procedure di regionalizzazione utilizzate, l'esposizione dei risultati dell'analisi regionale dei massimi annuali, rispettivamente, delle piogge di breve durata e delle portate di piena.

2. CARATTERISTICHE DEL SISTEMA IDROGRAFICO E RETE DI MISURA

Il territorio della Sicilia, che ha una estensione di circa 26.000 km², è suddiviso in tre versanti in cui ricadono, secondo la suddivisione operata dal Servizio Idrografico Italiano, 192 tra bacini e sottobacini. Riferirsi ai versanti, negli studi idrologici condotti per il territorio siciliano (Quignones, 1974), (Cannarozzo & Ferro, 1985), ha significato raggruppare bacini *simili* dal punto di vista idrologico, aventi esposizione e latitudine non molto dissimili, e tenendo in tal modo in considerazione anche l'incidenza delle eventuali diversità esistenti nel regime pluviometrico.

Il carattere spiccatamente torrentizio di tutti i corsi d'acqua siciliani, anche di quelli che hanno un notevole bacino imbrifero e percorrono lunghi tratti in pianura, ha da sempre determinato esondazioni delle piene ed allagamenti dei terreni rivieraschi con danni ingenti (Santoro, 1986).

Il principale corso d'acqua isolano, che ha caratteristiche di perennità, è il Fiume Simeto che ha un bacino idrografico esteso 4200 km², quasi un sesto dell'intera isola, e che comprende, oltre al corso d'acqua principale lungo 120 km, anche tre importanti affluenti: il Salso, il Dittaino, il Gornalunga aventi bacini, rispettivamente, di 800 km², 920 km² e 980 km². L'interesse verso i complessi problemi idraulici della sua rete di corsi d'acqua naturali e di bonifica è connessa ai problemi di protezione idraulica della piana di Catania (Bonvissuto, 1984).

Altri corsi d'acqua isolani che rivestono interesse sia per l'estensione del proprio bacino sia per i danni che eventuali loro esondazioni provocherebbero ad importanti centri abitati (Santoro, 1988) sono l'Imera Meridionale, l'Oreto e la rete idrografica che domina l'abitato di Trapani.

L'Imera Meridionale, che poco prima dello sbocco a mare nel Canale di Sicilia attraversa l'abitato di Licata, ha un corso d'acqua principale lungo 144 km che percorre un bacino esteso 2015 km² dai versanti meridionali delle Madonie con cime fra le più alte della Sicilia, fino al Canale di Sicilia, occupando gran parte della zona centrale dell'isola.

L'Oreto ha un bacino idrografico esteso 136 km². La rete idrografica che domina l'abitato di Palermo risulta particolarmente complessa per la presenza di corsi d'acqua (Cannizzaro e Papireto) la cui connessione idrografica con l'Oreto si è evoluta nel tempo a seguito di azione antropiche correttive determinate da eventi alluvionali.

Il bacino idrografico che domina Trapani e le sue immediate adiacenze è da considerarsi un "piccolo bacino", interessando una superficie di poco superiore ai 100 km²; eppure la grave soggezione dei centri urbani e delle altre infrastrutture del Trapanese al rischio di alluvione è apparsa evidente in più occasioni. Il sistema idrografico principale è costituito dalle due aste dei torrenti Lenzi e Paceco, i quali, sottendono bacini estesi, rispettivamente, 55 km² e 44 km². Il territorio attorno a Trapani può porsi ad esempio delle situazioni idrologiche ed orografiche, in Sicilia molto diversificate, e pur tutte di difficile soluzione. La pianura costiera

quasi orizzontale, e - a contrasto - il massiccio del monte Erice, con ripidi versanti incombenti sulla pianura stessa e direttamente sulla città, ha imposto provvedimenti *sui generis* di difesa diretta dalle alluvioni articolata con quella indiretta.

La rete di misura delle precipitazioni del Servizio Idrografico Italiano (fig.1) è costituita da 370 stazioni di cui 250 pluviografiche; tra quest'ultime 172 vantano almeno un decennio di osservazione nel periodo che va dal 1928 al 1981. I 172 pluviografi sono equamente distribuiti nel territorio isolano: il 32% nel versante settentrionale, il 38% in quello sud-occidentale ed il 30% in quello orientale.

La dimensione delle serie storiche, variabile dai 10 ai 45 anni, è mediamente pari a 23 anni per un totale di 3929 dati.

Le stazioni idrometriche siciliane (fig.2), che vantano almeno dieci anni di funzionamento, sono ventisette e sono anch'esse sufficientemente ben distribuite nei tre versanti: il 36% delle stazioni ricade nel versante settentrionale, il 43% in quello sud-occidentale ed il 21%, infine, in quello orientale.

I dati di portata al colmo utilizzati nell'indagine, reperiti sia nella pubblicazione n.17 del S.I.I. sia forniti dalla Sezione del S.I.I. di Palermo, sono 588 pari ad un numero medio di 22 osservazioni per stazione. Sono state prese in considerazione anche le serie storiche dei valori massimi annuali delle portate medie giornaliere, pubblicate fino al 1982 negli Annali Idrologici del S.I.I., relative a 33 stazioni idrometriche caratterizzate da una dimensione campionaria N maggiore o uguale a 10 anni.

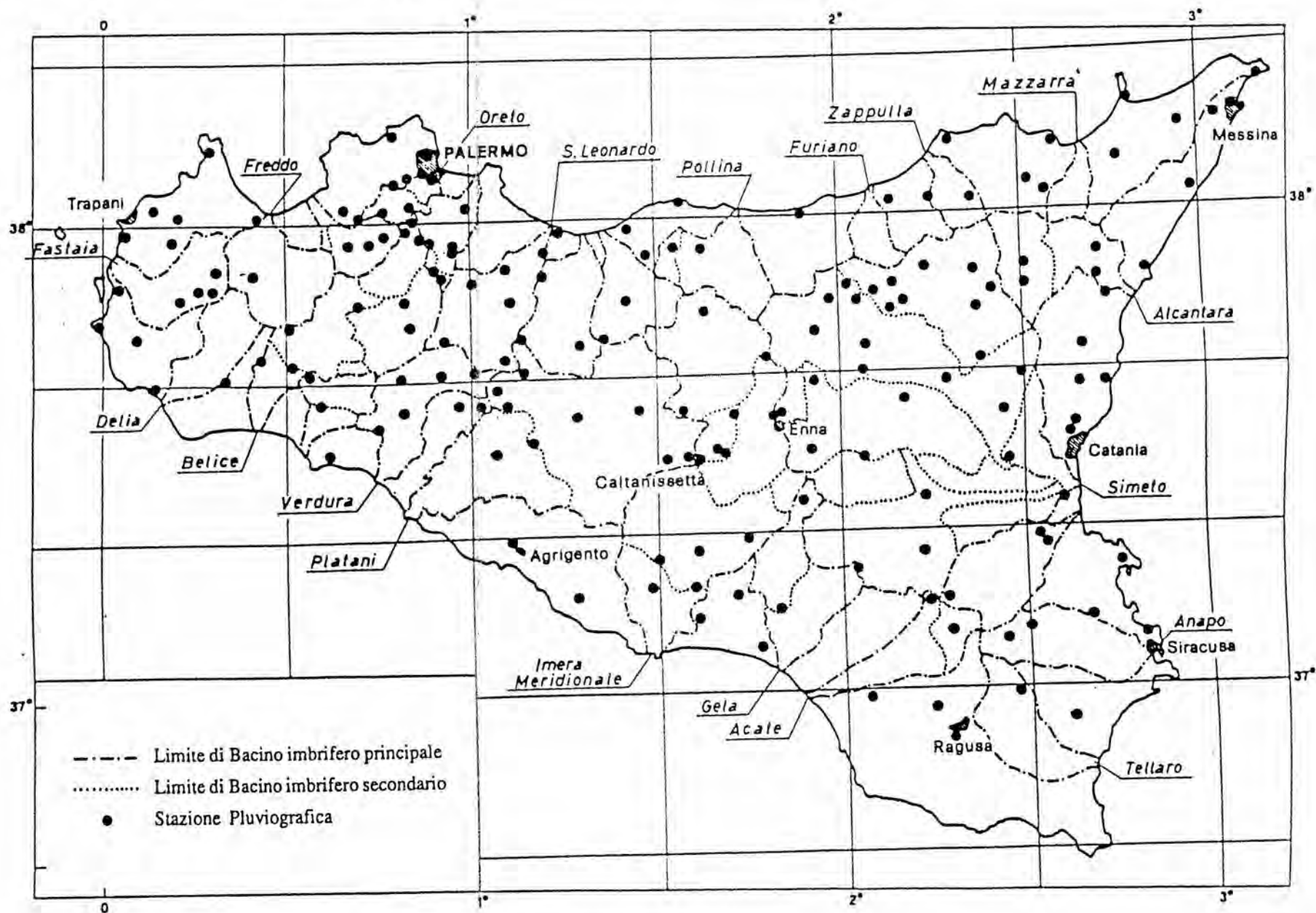


Fig. 1 Stazioni pluviografiche siciliane considerate nell'indagine



Fig. 2 Stazioni idrometriche siciliane considerate nell'indagine

3. ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE ESTREME

3.1 Cenni al modello probabilistico TCEV e alla tecnica di regionalizzazione adottata

L'osservazione empirica dei campioni dei massimi annuali delle portate al colmo e delle piogge di assegnata durata ha portato a riconoscere l'esistenza di alcuni valori estremamente più elevati degli altri denominati *outliers*. Per tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici è stata proposta la seguente legge di distribuzione di probabilità, denominata TCEV :

$$P(x) = \exp \left[-\lambda_1 \exp \frac{-x}{\theta_1} - \lambda_2 \exp \frac{-x}{\theta_2} \right] \quad (1)$$

in cui si è indicato con $P(x)$ la probabilità di non superamento della variabile idrologica x (altezza di pioggia di assegnata durata t) e con $\lambda_1, \lambda_2, \theta_1, \theta_2$ i quattro parametri della legge.

Se si utilizza la variabile ridotta della componente base y , la (1) diventa:

$$P(y) = \exp \left[-\exp(-y) - \Lambda^* \exp \left(\frac{-y}{\Theta^*} \right) \right] \quad (2)$$

in cui si è indicato con Λ^* e Θ^* i due parametri regionali.

Dall'analisi svolta da Beran, Hosking & Arnell (1986), condotta in tutto il campo dei valori reali di y , deriva la procedura gerarchica di regionalizzazione che si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni statistici.

Nel *primo livello di regionalizzazione* è stato verificato, analizzando la distribuzione empirica di frequenza sia del coefficiente di asimmetria sia della variabile ridotta y , che la Sicilia è un'unica zona pluviometrica e idrometrica omogenea. Di conseguenza, per ciascuna variabile idrologica x esaminata (pioggia di fissata durata o portata al colmo), i parametri regionali Λ^* e Θ^* assumono un valore unico per l'intero territorio isolano.

Nel *secondo livello di regionalizzazione* sono state individuate tre sottozone omogenee, che sono risultate coincidenti per l'analisi delle piogge e delle piene, nelle quali risultano costanti i tre parametri Λ^* e Θ^* e λ_1 . In ciascuna sottozona omogenea è così completamente individuata la *curva di crescita*:

$$P(x') = \exp \left[-\lambda_1 (\exp(\alpha))^{-x'} - \Lambda^* \lambda_1^{1/\Theta^*} \left(\exp \left(\frac{\alpha}{\Theta^*} \right) \right)^{-x'} \right] \quad (3)$$

nella quale si è indicato con x' la variabile adimensionale x/μ essendo μ la media della legge TCEV e con α il rapporto tra la media μ ed il parametro θ_1 .

Nel *terzo livello di regionalizzazione* si procede, infine, alla determinazione di criteri regionali per la stima del parametro centrale della distribuzione di probabilità.

3.2 Analisi regionale delle piogge di breve durata (1, 3, 6, 12 e 24 ore)

3.2.1 Primo livello di regionalizzazione

L'analisi dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore ha evidenziato la dipendenza dei parametri regionali dalla durata t (ore) ed ha condotto, unitamente alla conoscenza dei parametri regionali determinati per le piogge giornaliere (Ferrari, 1985), alle seguenti relazioni valide per l'intera Sicilia:

$$\begin{aligned}\Theta^* &= 1.95 + 0.0284t \\ \Lambda^* &= 0.175t^{0.301}\end{aligned}\quad (4)$$

La distribuzione di probabilità della variabile ridotta y assume allora la seguente espressione:

$$P(y) = \exp\left[\exp(-y) - 0.175t^{0.301} \exp\left(\frac{-y}{1.95 + 0.0284t}\right)\right] \quad (5)$$

3.2.2 Secondo livello di regionalizzazione

L'individuazione delle sottozone pluviometriche omogenee è stata effettuata facendo ricorso alla tecnica di raggruppamento denominata *cluster analysis* e caratterizzando ciascuna stazione oltre che con il valore del coefficiente di variazione della componente base CVI anche con le sue coordinate geografiche piane valutate rispetto ad un sistema di riferimento arbitrariamente prescelto.

L'analisi ha condotto a suddivisioni praticamente invariabili con la durata e pertanto è stata assunta un'unica suddivisione che è quella di fig.3.

La Sicilia è stata così divisa nelle seguenti tre sottozone:

A - Sottozona Ovest, delimitata ad est dallo spartiacque del F. Imera Meridionale e del F. Pollina;

B - Sottozona Nord - Est, delimitata dai bacini del F. Pollina ad ovest e del F. Salso-Simeto a sud;

C - Sottozona Sud - Est, delimitata a nord dal bacino del F. Salso-Simeto e ad ovest dallo spartiacque del F. Imera Meridionale.

Si è attribuito a ciascuna sottozona, per ciascuna durata, un valore costante del parametro λ_1 , Λ_1 , pari alla media aritmetica dei valori che competono alle singole stazioni ricadenti nella sottozona. La funzione $\Lambda_1(t)$ è di tipo monomio e, per ciascuna sottozona, assume la seguente espressione:

$$\text{Sottozona A} \quad \Lambda_1 = 14.55 t^{0.2419} \quad (6a)$$

$$\text{Sottozona B} \quad \Lambda_1 = 12.40 t^{0.1802} \quad (6b)$$

$$\text{Sottozona C} \quad \Lambda_1 = 11.96 t^{0.0960} \quad (6c)$$

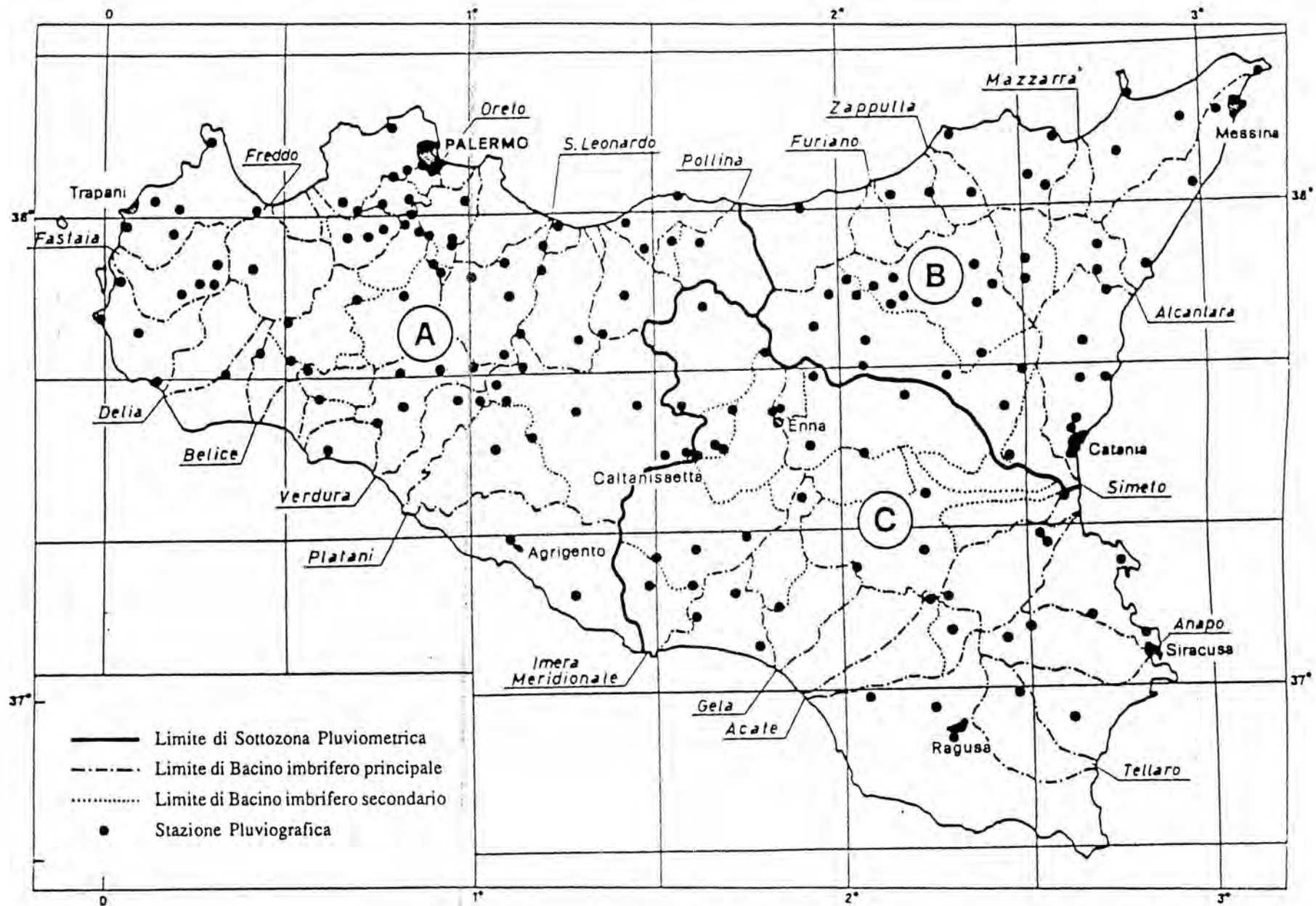


Fig. 3 Sottozone pluviometriche omogenee

Anche il parametro α , che compare nella curva di crescita (3) è funzione, per ciascuna sottozona, della durata t :

$$\text{Sottozona A} \quad \alpha = 3.5208 t^{0.1034} \quad (7a)$$

$$\text{Sottozona B} \quad \alpha = 3.3536 t^{0.0945} \quad (7b)$$

$$\text{Sottozona C} \quad \alpha = 3.3081 t^{0.0765} \quad (7c)$$

Poiché la curva di crescita (3) non è esplicitabile rispetto ad x' , cioè non è direttamente deducibile il valore di x' corrispondente ad una prefissata frequenza probabile, sono state dedotte le seguenti espressioni esplicite *approssimate* valide per valori del tempo di ritorno $T \geq 10$ anni:

Sottozona A

$$x'_{t,T} = 0.5391 - 0.001635t + (0.0002212t^2 + 0.00117t + 0.9966) \log T \quad (8a)$$

Sottozona B

$$x'_{t,T} = 0.5135 - 0.002264t + (0.0001980t^2 + 0.00329t + 1.0508) \log T \quad (8b)$$

Sottozona C

$$x'_{t,T} = 0.5015 - 0.003516t + (0.0003720t^2 + 0.00102t + 1.0101) \log T \quad (8c)$$

in cui si è indicato con \log il logaritmo decimale.

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica si ottiene, infine, moltiplicando ciascuna delle equazioni (8) per la legge di variazione della media μ del modello TCEV con la durata t , ovvero:

$$x_{t,T} = x'_{t,T} \mu(t) \quad (9)$$

3.2.3 Terzo livello di regionalizzazione

Il confronto tra la media teorica μ e quella campionaria m_c ha evidenziato che, per ciascuna durata, i suddetti statistici possono ritenersi coincidenti. Si è fatto allora riferimento ai valori della media campionaria della quale è stata studiata la regionalizzazione.

In questo modo si può svincolare il terzo livello di regionalizzazione dalla procedura gerarchica potendosi aggiornare il valore della media campionaria indipendentemente dalle fasi precedenti.

La media m_c , per le 172 stazioni pluviografiche, relativa alle cinque durate studiate varia con la durata stessa secondo il seguente legame di tipo monomio:

$$m_c(t) = a t^n \quad (10)$$

una
Tale risultato consente di definire la curva di probabilità pluviometrica con i soli due parametri a e n della (10) riportati in Tab.1.

7a) Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i valori di a e di n possono essere dedotti, rispettivamente, dalle carte di fig.4 e 5 dove sono tracciate le linee ad egual valore di a (iso- a) e di n (iso- n).
7b)
7c)

nte
ate
di

3a)
3b)
3c)

do
la

9)

er
to
ra
le
te

)

Tab. 1 - Valori delle costanti a e n della (10) per le stazioni pluviografiche siciliane

Codice	Stazione	Bacino di appartenenza	a	n
1	Monforte S. Giorgio	Niceto	35.9	0.3391
2	Milazzo	Tra Muto e Mela	30.3	0.2208
3	Castroreale	Longano	27.4	0.4470
4	Montalbano Elicona	Mazzarrà	26.2	0.4255
5	Tindari	Tra Mazzarrà e Timeto	26.5	0.2977
6	S. Piero Patti	Timeto	28.3	0.3369
7	Capo d'Orlando	Tra Naso e Zappulla	20.5	0.2934
8	Tortorici	Zappulla	28.4	0.3347
9	Alcara Li Fusi	Rosmarino	23.2	0.3970
10	Sanfratello	Inganno	21.9	0.3723
11	S. Stefano di Camastra	S. Stefano	26.7	0.2560
12	Castelbuono	Pollina	25.6	0.3451
13	Isnello	Pollina	25.0	0.4109
14	Cefalù	Pollina	27.3	0.2827
15	Collesano	Roccella	28.1	0.3880
16	Caltavuturo	Imera Settentrionale	20.4	0.4252
17	Gioia (Fattoria)	Torto	20.5	0.3147
18	Termini Imerese	Tra Torto e S. Leonardo	30.5	0.2635
19	Imbriaca	S. Leonardo	22.6	0.3567
20	Vicari	S. Leonardo	22.5	0.3205
21	Campofelice di Fitalia	S. Leonardo	22.9	0.2244
22	Mezzoiuso	S. Leonardo	20.6	0.3415
23	Sambuchi	S. Leonardo	19.5	0.3172
24	Caccamo	S. Leonardo	22.0	0.3414
25	Ciminna	S. Leonardo	20.8	0.3529
26	Monumentale	S. Leonardo	29.3	0.2608
27	Turdiepi (Fattoria)	Eleuterio	21.6	0.3511
28	Lupo	Eleuterio	24.9	0.2819
29	Ficuzza	Eleuterio	22.2	0.3088
30	Ficuzza Bosco	Eleuterio	24.1	0.3792
31	Marineo	Eleuterio	27.4	0.2979
32	Risalaimi	Eleuterio	24.9	0.3272
33	Misilmeri	Eleuterio	21.0	0.3054
34	Pioppo	Oreto	27.4	0.4032
35	Altofonte	Oreto	25.0.	0.3567
36	Romitello	Tra Oreto e Giancaldara	30.1	0.2972
37	S. Martino delle Scale	Tra Oreto e Giancaldara	28.2	0.3327
38	Montepellegrino	Tra Oreto e Giancaldara	29.5	0.2733
39	Partinico	Tra Oreto e Giancaldara	21.2	0.3120
40	Palermo Ist. Zoot.	Tra Oreto e Giancaldara	25.1	0.2928
41	Palermo Serv. Idr.	Tra Oreto e Giancaldara	28.7	0.3143
42	Palermo Oss. Astr.	Tra Oreto e Giancaldara	22.2	0.2687

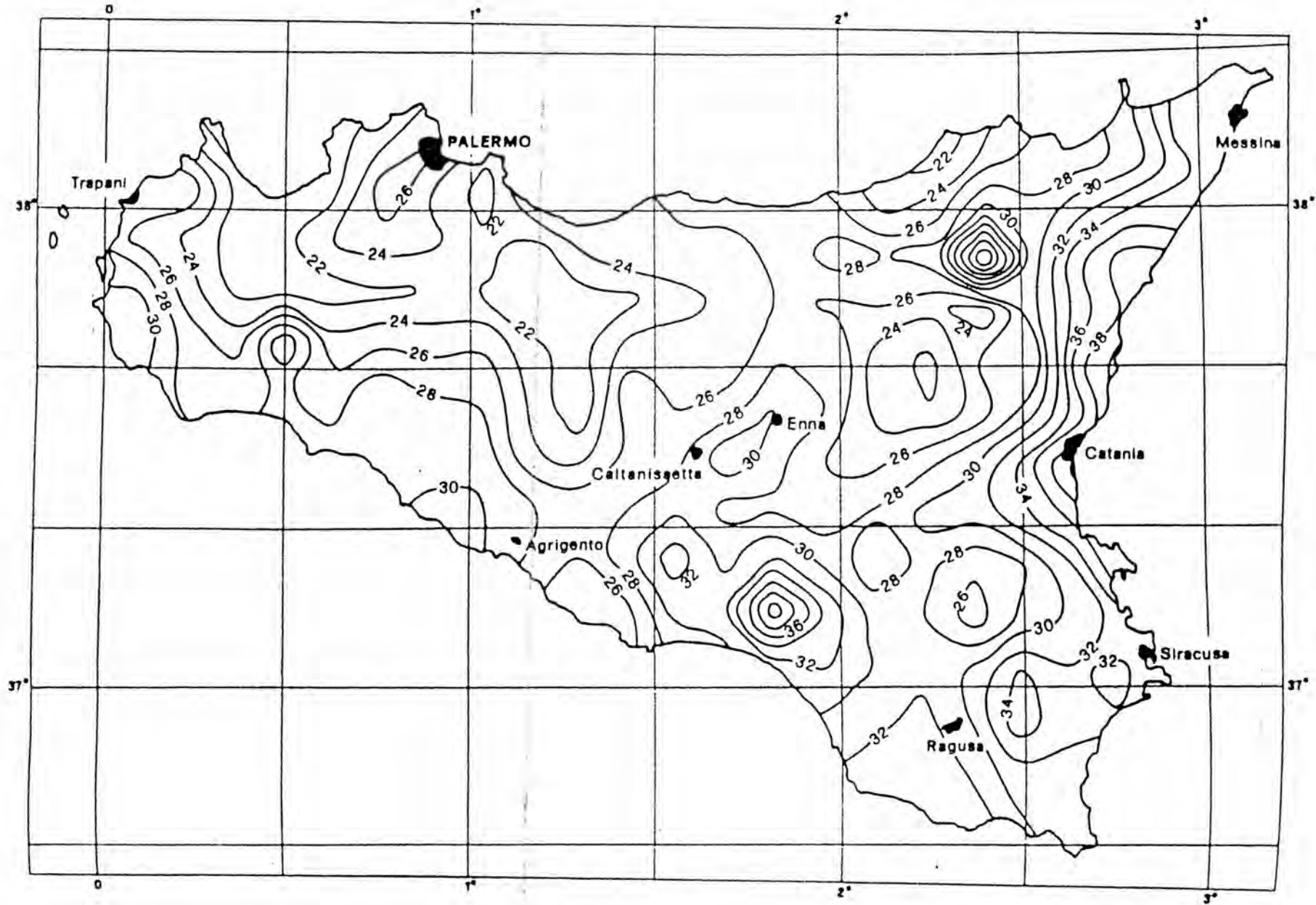


Fig. 4 Carta delle iso-a

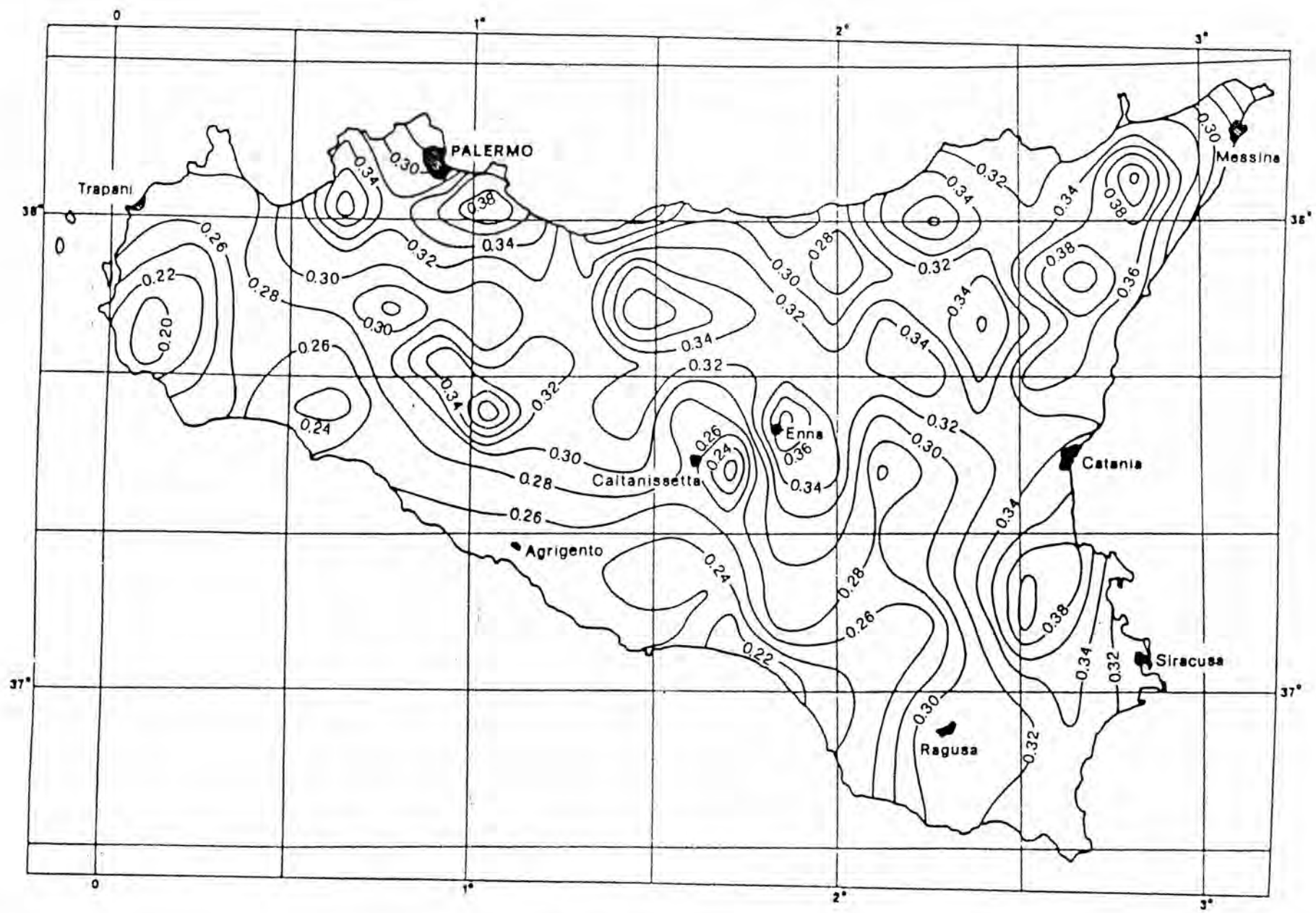


Fig. 5 Carta delle iso-n

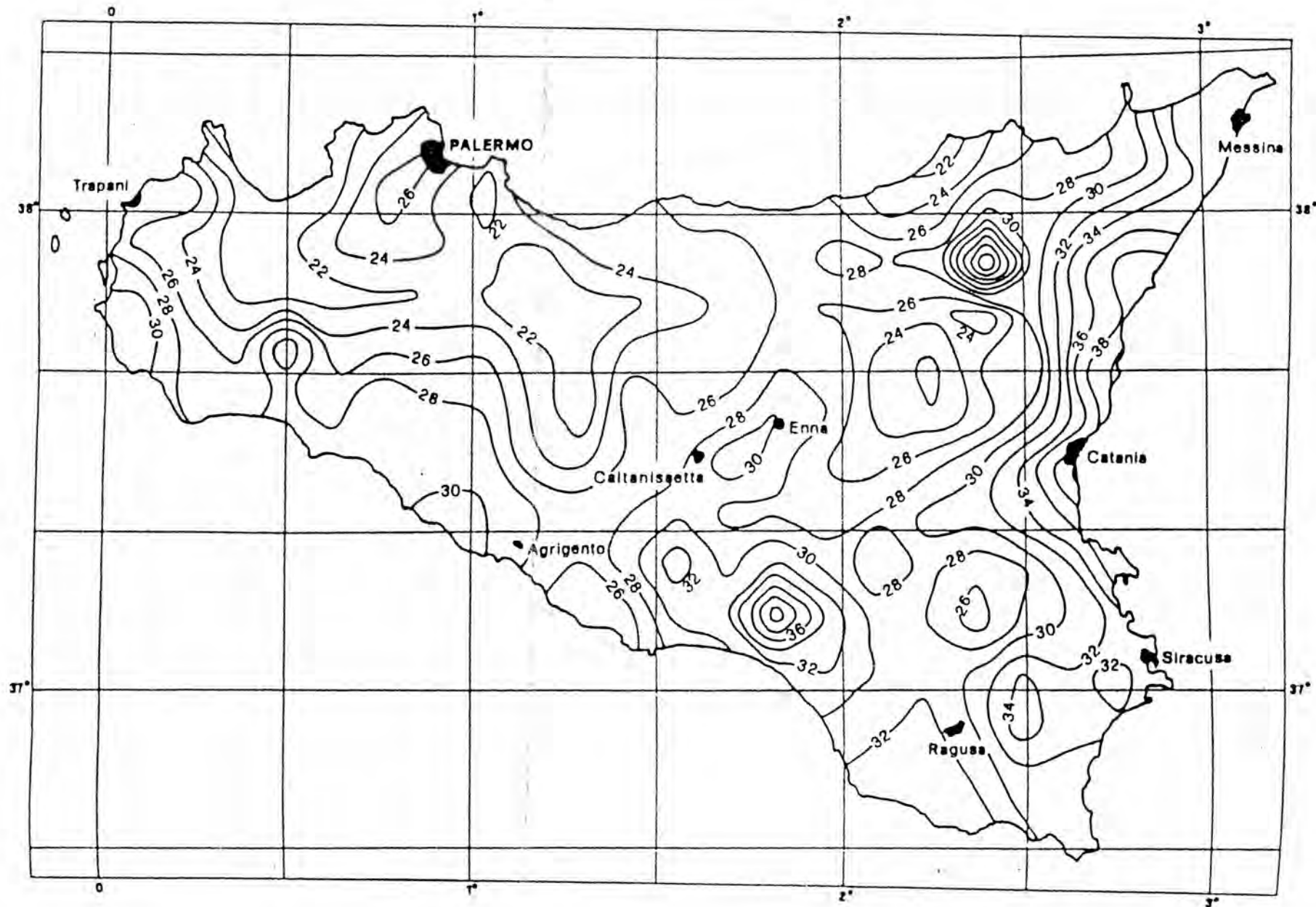


Fig. 4 Carta delle iso-a

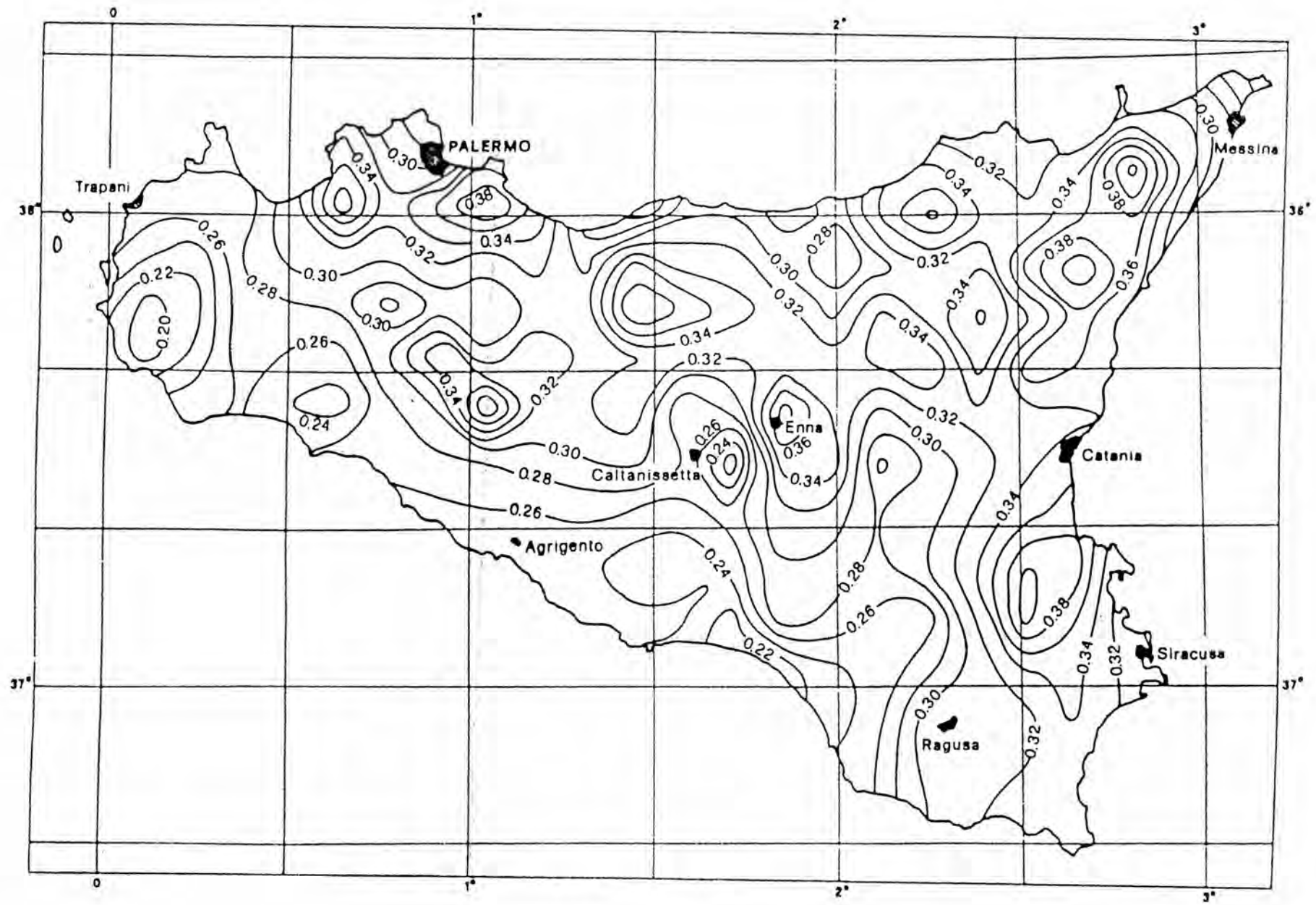


Fig. 5 Carta delle iso-n

4. Analisi regionale delle portate al colmo

4.1 Primo livello di regionalizzazione

Il confronto tra le distribuzioni empiriche di frequenza dell'asimmetria dei 27 campioni per i quali si dispone sia delle portate al colmo sia delle corrispondenti portate medie giornaliere, ha mostrato la sostanziale coincidenza tra le due curve. Pertanto nell'analisi di frequenza delle piene è stata utilizzata l'informazione idrologica contenuta nelle serie storiche, numericamente più consistenti, dei massimi annuali delle portate medie giornaliere.

Le stime dei parametri regionali, condotte con le 33 serie di portata media giornaliera, sono le seguenti:

$$\Lambda^* = 0.8320 \quad (11a)$$

$$\Theta^* = 3.3110 \quad (11b)$$

4.2 Secondo livello di regionalizzazione

Le motivazioni di carattere idrologico, legate al regime pluviale del territorio siciliano e le verifiche effettuate, pur con i limiti derivanti dalla base dati attualmente disponibile, hanno suggerito di adottare nell'analisi di frequenza delle piene la stessa suddivisione in sottozone omogenee adottata nell'analisi di frequenza delle piogge brevi (fig.3).

Il confronto tra la curva di crescita *empirica* relativa al campione dei massimi annuali delle portate al colmo e la curva di crescita *teorica* i cui parametri sono stimati utilizzando o i dati al colmo o quelli giornalieri, ha dimostrato che sono da preferire le stime dei parametri su base giornaliera di seguito riportate:

Sottozona A

$$\lambda_1 = 9.6289 \quad \alpha = 4.7415 \quad (12a)$$

Sottozona B

$$\lambda_1 = 6.7115 \quad \alpha = 4.3805 \quad (12b)$$

Sottozona C

$$\lambda_1 = 4.1923 \quad \alpha = 3.9099 \quad (12c)$$

Le curve di crescita esplicite, seppure approssimate e valide per $T \geq 5$ anni, hanno le seguenti espressioni:

$$\text{Sottozona A} \quad x'_T = 0.3232 + 1.6071 \log T \quad (13a)$$

$$\text{Sottozona B} \quad x'_T = 0.2670 + 1.7503 \log T \quad (13b)$$

$$\text{Sottozona C} \quad x'_T = 0.1785 + 1.9611 \log T \quad (13c)$$

In definitiva la portata Q_T di assegnato tempo di ritorno può essere stimata con la semplice relazione:

$$Q_T = x'_T \mu = x'_T m_c \quad (14)$$

4.3 Terzo livello di regionalizzazione

Obiettivo del terzo livello di regionalizzazione è quello di fornire uno strumento di stima della portata indice, generalmente assunta coincidente con la media campionaria m_c , individuando un legame tra i valori di m_c rilevati nelle sezioni strumentate e le caratteristiche geomorfoclimatiche, di uso del suolo e copertura vegetale dei relativi bacini idrografici.

Per il territorio siciliano è stata individuata una relazione (fig. 6) tra m_c e la superficie del bacino idrografico S espressa in km^2 :

$$m_c = 3.09 S^{0.736} \quad (15)$$

Una ulteriore analisi condotta su dodici piccoli bacini, aventi superficie compresa tra 10 e 139 km^2 , ha condotto alla seguente relazione per la stima di m_c :

$$m_c = 3.42 \frac{0.35^{n-1}}{S_p + S_b} a S^{0.5(n+1)} \quad (16)$$

in cui S_p è la percentuale di superficie permeabile, determinata sulla base dei tipi litologici ricadenti nel bacino e classificati secondo quanto riportato in Tab.2, S_b è la percentuale di superficie boscata, a e n (Tab. 1, figg. 4 e 5) sono i parametri della curva di probabilità pluviometrica adottati per il bacino.

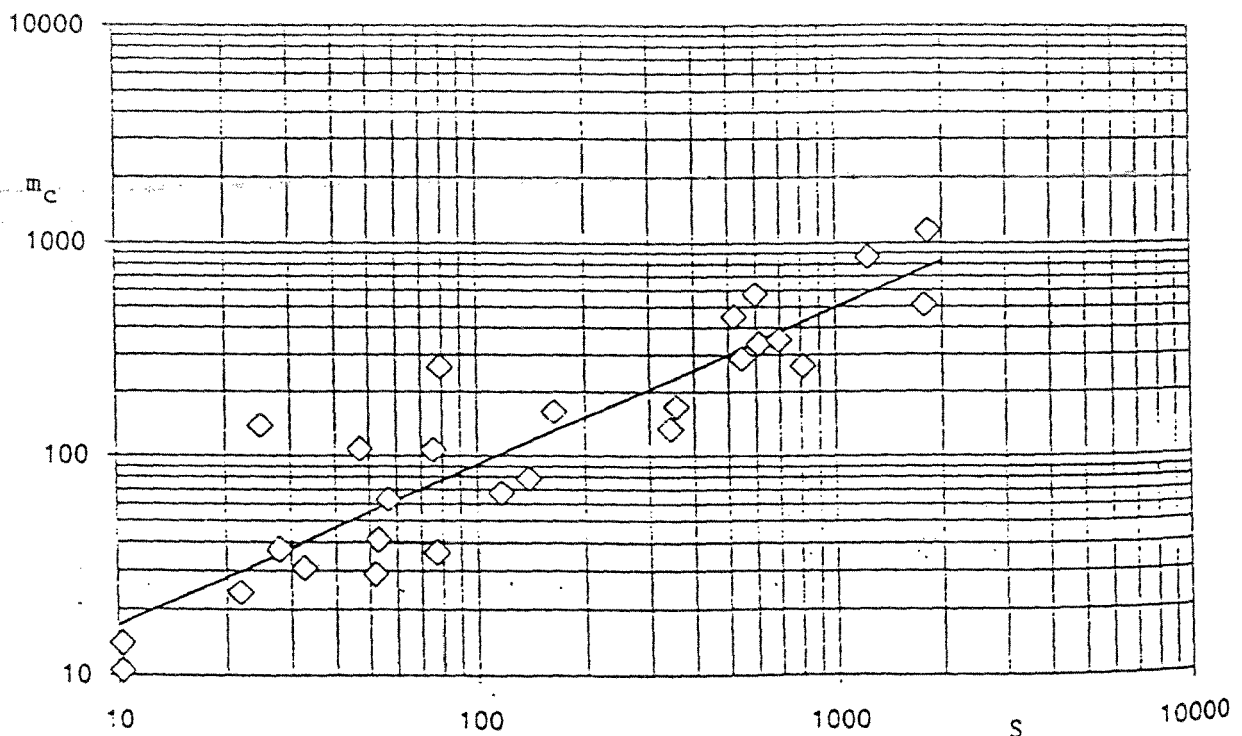


Fig. 6 Correlazione tra la media dei massimi annuali delle portate al colmo m_c e la superficie del bacino idrografico S

Tab.2 Classificazione delle permeabilità per le diverse formazioni litologiche presenti nei bacini in istudio

4. Analisi regionale delle portate al colmo

4.1 Primo livello di regionalizzazione

Il confronto tra le distribuzioni empiriche di frequenza dell'asimmetria dei 27 campioni per i quali si dispone sia delle portate al colmo sia delle corrispondenti portate medie giornaliere, ha mostrato la sostanziale coincidenza tra le due curve. Pertanto nell'analisi di frequenza delle piene è stata utilizzata l'informazione idrologica contenuta nelle serie storiche, numericamente più consistenti, dei massimi annuali delle portate medie giornaliere.

Le stime dei parametri regionali, condotte con le 33 serie di portata media giornaliera, sono le seguenti:

$$\Lambda^* = 0.8320 \quad (11a)$$

$$\Theta^* = 3.3110 \quad (11b)$$

4.2 Secondo livello di regionalizzazione

Le motivazioni di carattere idrologico, legate al regime pluviale del territorio siciliano e le verifiche effettuate, pur con i limiti derivanti dalla base dati attualmente disponibile, hanno suggerito di adottare nell'analisi di frequenza delle piene la stessa suddivisione in sottozone omogenee adottata nell'analisi di frequenza delle piogge brevi (fig.3).

Il confronto tra la curva di crescita *empirica* relativa al campione dei massimi annuali delle portate al colmo e la curva di crescita *teorica* i cui parametri sono stimati utilizzando o i dati al colmo o quelli giornalieri, ha dimostrato che sono da preferire le stime dei parametri su base giornaliera di seguito riportate:

Sottozona A

$$\lambda_1 = 9.6289 \quad \alpha = 4.7415 \quad (12a)$$

Sottozona B

$$\lambda_1 = 6.7115 \quad \alpha = 4.3805 \quad (12b)$$

Sottozona C

$$\lambda_1 = 4.1923 \quad \alpha = 3.9099 \quad (12c)$$

Le curve di crescita esplicite, seppure approssimate e valide per $T \geq 5$ anni, hanno le seguenti espressioni:

$$\text{Sottozona A} \quad x'_T = 0.3232 + 1.6071 \log T \quad (13a)$$

$$\text{Sottozona B} \quad x'_T = 0.2670 + 1.7503 \log T \quad (13b)$$

$$\text{Sottozona C} \quad x'_T = 0.1785 + 1.9611 \log T \quad (13c)$$

In definitiva la portata Q_T di assegnato tempo di ritorno può essere stimata con la semplice relazione:

$$Q_T = x'_T \mu = x'_T m_c \quad (14)$$

4.3 Terzo livello di regionalizzazione

Obiettivo del terzo livello di regionalizzazione è quello di fornire uno strumento di stima della portata indice, generalmente assunta coincidente con la media campionaria m_c , individuando un legame tra i valori di m_c rilevati nelle sezioni strumentate e le caratteristiche geomorfoclimatiche, di uso del suolo e copertura vegetale dei relativi bacini idrografici.

Per il territorio siciliano è stata individuata una relazione (fig. 6) tra m_c e la superficie del bacino idrografico S espressa in km^2 :

$$m_c = 3.09 S^{0.736} \quad (15)$$

Una ulteriore analisi condotta su dodici piccoli bacini, aventi superficie compresa tra 10 e 139 km^2 , ha condotto alla seguente relazione per la stima di m_c :

$$m_c = 3.42 \frac{0.35^{n-1}}{S_p + S_b} a S^{0.5(n+1)} \quad (16)$$

in cui S_p è la percentuale di superficie permeabile, determinata sulla base dei tipi litologici ricadenti nel bacino e classificati secondo quanto riportato in Tab.2, S_b è la percentuale di superficie boscata, a e n (Tab. 1, figg. 4 e 5) sono i parametri della curva di probabilità pluviometrica adottati per il bacino.

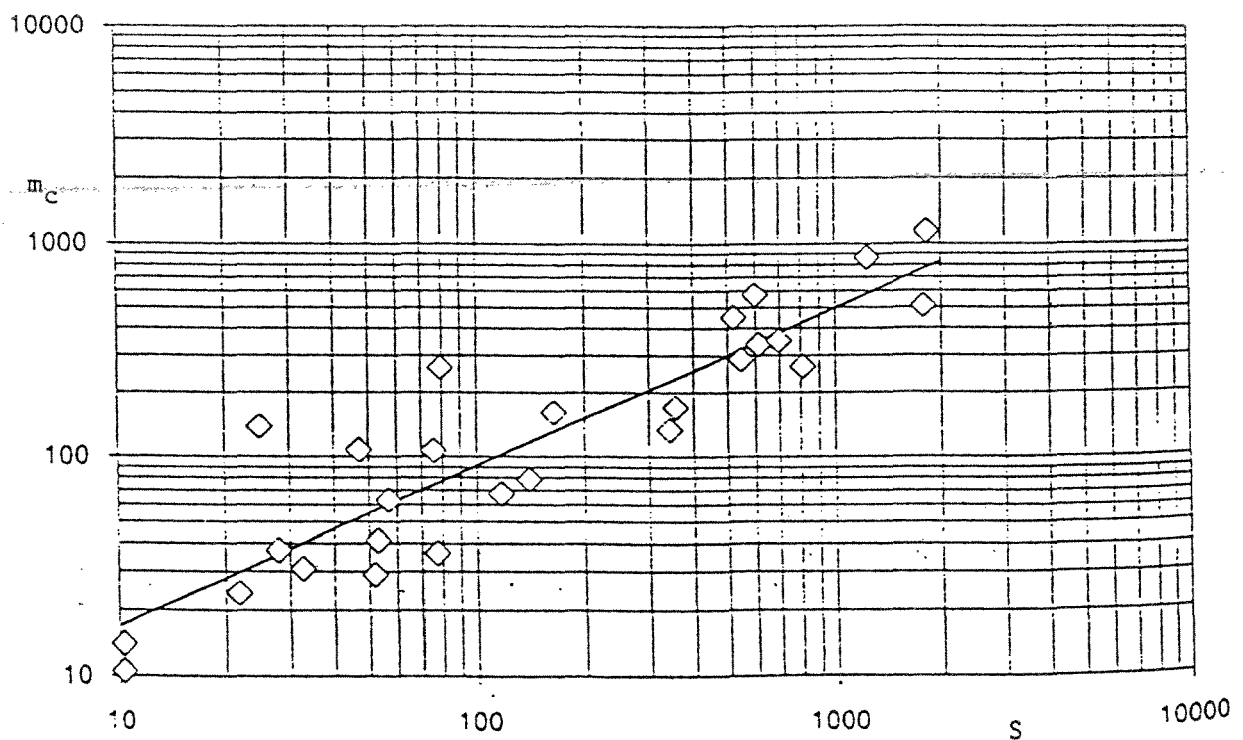


Fig. 6 Correlazione tra la media dei massimi annuali delle portate al colmo m_c e la superficie del bacino idrografico S

Tab.2 Classificazione delle permeabilità per le diverse formazioni litologiche presenti nei bacini in istudio

Tab.2 Classificazione delle permeabilità per le diverse formazioni litologiche presenti nei bacini in istudio

STRATO SUPERFICIALE PERMEABILE	STRATO SUPERFICIALE MEDIAMENTE PERMEABILE	STRATO SUPERFICIALE A BASSA PERMEABILITA'
<p>Alluvioni ghialose (<i>Olocene</i>)</p> <p>Detrito di falda costituito da elementi lapidei in scarsa matrice limoso - sabbiosa</p> <p>Calcareniti bioclastiche, sabbie, arenarie e conglomerati (<i>Tirreniano - Pliocene sup.</i>)</p> <p>Gessi selenitici e saccaroidi, straterellati o in grossi banchi (<i>Messiniano</i>)</p> <p>Calcarei evaporitici vacuolari, brecciatl o compatti (<i>Messiniano</i>)</p> <p>Conglomerati, sabbie ed arenarie (<i>Tortoniano</i>)</p> <p>Quarzareniti ed arenarie quarzose in banchi, talora con scarse intercalazioni pelitiche (<i>Miocene inf. - Oligocene</i>)</p> <p>Calclutiti e calcari marnosi, talora selciferi, talora con intercalazioni arenitiche e di megabrecce (<i>Eocene inf. - Cretaceo</i>)</p> <p>Calcarei detritici e detrito-organogeni (<i>Cretaceo inf. - Giura sup.</i>)</p> <p>Dolomie saccaroidi o brecciate, calcari dolomitici in grossi strati (<i>Trias sup. - Lias inf.</i>)</p> <p>Calcarei, talora dolomitici, a grana fine o grossa, stratificati, con sottili intercalazioni marnose e noduli di selce (<i>Trias sup. Cretaceo inf.</i>)</p>	<p>Detrito di falda in matrice a grana medio fine (<i>Olocene</i>)</p> <p>Depositi alluvionali terrazzati e lacustri, a granulometria eterogenea (<i>Quaternario</i>)</p> <p>Sabbie, arenarie ed argille sabbiose (<i>Pliocene sup.</i>)</p> <p>Marne, calcari marnosi e marne argillose (<i>Pliocene inf.</i>)</p> <p>Diatomiti con intercalazioni argillo - arenacee (<i>Miocene sup.</i>)</p> <p>Marne sabbiose, sabbie e conglomerati (<i>Tortoniano sup. - Messiniano</i>)</p> <p>Molasse, sabbie argillose ed argille sabbiose (<i>Miocene medio</i>)</p> <p>Calcareniti, calciruditi e marne (<i>Miocene inf.</i>)</p> <p>Quarzareniti, in fitta alternanza con peliti e siltiti (<i>Oligocene sup. - Miocene inf.</i>)</p> <p>Argille marnose con intercalazioni di arenarie, conglomerati e breccie (<i>Eocene sup. - Oligocene</i>)</p> <p>Calcarei e calcari marnosi straterellati con intercalazioni di marne ed argille marnose (<i>Eocene sup. - Oligocene</i>)</p> <p>Marne calcaree e calcari marnosi duri e compatti, con rare intercalazioni di argille e arenarie siltose (<i>Eocene medio - sup.</i>)</p> <p>Calclutiti, calcisiltiti e marne compatte con passaggi verso termini più argillosi (<i>Cretaceo sup. - Eocene medio sup.</i>)</p> <p>Marne, calclutiti selciferi, radiolariti ed argilliti straterellate con intercalazioni di calcari detritici (<i>Cretaceo medio - Lias sup.</i>)</p> <p>Calclutiti, marne e marne argillose, straterellate con intercalazioni di calcari detritici e lenti di selce (<i>Trias sup.</i>)</p>	<p>Limi palustri ed alluvioni a grana fine (<i>Quaternario</i>)</p> <p>Argille e marne argillose (<i>Pliocene medio</i>)</p> <p>Argille gessose (<i>Messiniano</i>)</p> <p>Argille siltose a frattura concoide con rare intercalazioni di sabbie più o meno argillose, con rare lenti conglomeratiche (<i>Tortoniano</i>)</p> <p>Argille e argille marnose e sabbiose con cristalli di gesso (<i>Miocene medio - sup.</i>)</p> <p>Brecce argillose inglobanti lembi di altre formazioni (<i>Miocene medio - sup.</i>)</p> <p>Argilliti talora siltose, con rare e sottili intercalazioni di siltiti, ed arenarie quarzose (<i>Oligocene sup. - Miocene inf.</i>)</p> <p>Marne argillose con sottili livelli arenacei, argille e marne a volte scagliettate (<i>Miocene inf. - Tortoniano</i>)</p> <p>Argille scagliose o caotiche inglobanti lembi di altre formazioni, con rare intercalazioni di diaspri (<i>Eocene - Cretaceo sup.</i>)</p>

VALUTAZIONE DELLE PIENE IN SICILIA

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il Rapporto Regionale Sicilia, che raccoglie tutte le analisi idrologiche condotte per il territorio isolano, è stato predisposto evidenziando le difformità e le eventuali novità procedurali introdotte rispetto alle linee direttrici tracciate dal Rapporto Calabria.

In particolare l'analisi delle piogge di breve durata ha evidenziato che i parametri regionali e sottozonali del modello TCEV risultano dipendenti dalla durata.

Per ciascuna sottozona omogenea viene fornita una semplice relazione che approssima la legge inversa della curva di crescita del modello TCEV.

Per i due parametri che figurano nella legge monomia che lega la media dell'altezza di pioggia di assegnata durata alla durata stessa, è fornita una rappresentazione territoriale del tipo ad iso-linee non essendosi riscontrata alcuna dipendenza dall'altitudine della stazione di misura.

Nell'analisi probabilistica delle piene sono stati stimati i parametri regionali della TCEV facendo ricorso alle serie storiche dei valori massimi annuali delle portate medie giornaliere.

Nel secondo livello di regionalizzazione sono state assunte le sottozone idrometriche omogenee coincidenti con quelle pluviometriche ed il confronto, per ciascuna sottozona, tra la curva di crescita empirica e quelle teoriche (portate al colmo, portate medie giornaliere) ha indotto a preferire ancora una volta la stima del parametro sottozonale su base media giornaliera.

L'ultimo livello dell'analisi regionale è stato sviluppato sia fornendo una semplice relazione che lega la media dei massimi annuali delle portate al colmo con la superficie del bacino idrografico, sia deducendo, per piccoli bacini, un'espressione della portata indice in cui figurano le caratteristiche di permeabilità e di copertura boscata del bacino in istudio.

Allo stato attuale della ricerca il terzo livello di regionalizzazione è invero quello che necessita di ulteriori approfondimenti, al fine di individuare criteri alternativi per la stima della portata indice in sezioni non strumentate o con una modesta informazione idrologica.

Va ricordato, in conclusione, che gli strumenti predisposti nel Rapporto Regionale Sicilia, suscettibili sicuramente di miglioramenti ed eventuali aggiornamenti, forniscono stime sufficientemente attendibili della portata di piena di assegnata frequenza probabile.

E' chiaro però che l'analisi regionale, proprio perchè utilizza una estesa base-dati, può indurre delle mitigazioni sui fattori locali che, essendo peculiari di un singolo bacino, influiscono sul valore della portata indice.

In sede applicativa gli strumenti analitici presentati vanno pertanto utilizzati con le necessarie integrazioni provenienti da studi specifici a scala di bacino.

6. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BERAN M., HOSKING J.R.M., ARNELL N.: Comment on "Two component extreme value distribution for flood frequency analysis by F. Rossi, M. Fiorentino, P. Versace". *Water Resources Research*, Vol. 22, 2, 1986.
- BONVISSUTO G. : La evoluzione dei criteri sistematori della rete idrografica del maggiore bacino siciliano in venticinque anni di studi, di interventi e di controlli. *Atti Acc. Naz. Sc. Lett. e Arti di Palermo*, Serie V, Vol. IV, Parte I, 1983-84.
- CANNAROZZO M., FERRO V.: Un semplice modello regionale per la valutazione del trasporto solido in sospensione nei corsi d'acqua siciliani. *Atti Acc. Naz. Sc. Lett. e Arti di Palermo*, Serie V, Vol. V, Parte I, 1984-85.
- CANNAROZZO M., D'ASARO F., FERRO V.: Analisi regionale dei massimi annuali delle piogge di breve durata per il territorio siciliano. *Idrotecnica*, 6, 1990.
- CANNAROZZO M., FERRO V.: Contributo alla valutazione probabilistica delle piene dei corsi d'acqua siciliani. *Idrotecnica*, 5, 1991.
- CANNAROZZO M., FERRO V., NASELLO C.: Valutazione delle piene in Sicilia. *Rapporto 90/91 del GNDCI*, Roma, Dicembre 1992.
- CANNAROZZO M., D'ASARO F., FERRO V.: Valutazione delle piene in Sicilia. Rapporto Regionale. Consiglio Nazionale delle Ricerche, GNDCI - Linea 1, Palermo, giugno 1993.
- CANNAROZZO M., D'ASARO F., FERRO V.: Regional rainfall and flood frequency analysis for Sicily using the TCEV distribution. *Hydrological Sciences Journal*, 1, 1995.
- FERRARI E.: Modelli idrologici per lo studio delle massime altezze di pioggia giornaliere. Un'applicazione al caso della Sicilia. *Tesi di Laurea non pubblicata*, Università della Calabria, Cosenza, 1985.
- QUIGNONES R.: Correlazione tra gli afflussi e i deflussi dei principali bacini siciliani. Parte I. Correlazione tra afflussi e deflussi annuali. *L'Ingegnere*, 6, 1974.
- SANTORO M: Studi sulla difesa dalle inondazioni dei tronchi vallivi dei grandi fiumi siciliani. *Rapporto 1986 del GNDCI*, Linea 3, Roma, Dicembre 1986.
- SANTORO M: Studi sulla difesa dalle esondazioni dei tronchi vallivi dei grandi fiumi siciliani. *Rapporto 1988 del GNDCI*, Linea 3, Roma, Dicembre 1988.

11. SINTESI DEL RAPPORTO REGIONALE SICILIA

11.1 Premessa

In questa breve nota vengono sintetizzati i risultati salienti del Progetto VAPI per la stima delle portate di assegnato tempo di ritorno, per qualsiasi sezione del reticolo idrografico dei corsi d'acqua della Sicilia.

La sintesi è stata articolata con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, *Valutazione delle Piene in Sicilia* [Cannarozzo et al., 1993], a cui si rimanda per ogni ulteriore approfondimento. Nello stesso documento si rimanda, per quanto riguarda l'analisi dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, a quanto contenuto in Ferrari [1986].

La presentazione sintetica dei risultati, che si riporta nel seguito, fornisce unicamente le indicazioni essenziali all'applicazione delle procedure proposte.

11.2 Base dati utilizzata

11.2.1 Pluviometria

I dati idropluviometrici relativi alla regione Sicilia sono gestiti dal compartimento di Palermo del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN).

In particolare si è fatto riferimento alla sola rete pluviografica del SIMN, che al 1981 risultava composta da 172 stazioni di misura con almeno 10 anni di osservazione, con una densità media di una stazione per 150 km². In questa maniera si è completamente rinunciato all'informazione pluviometrica, pure consistente di 225 stazioni con numerosità superiore a 30 anni, come risulta da Ferrari [1986], per concentrarsi direttamente sull'analisi delle grandezze di più immediato interesse alla derivazione delle portate di piena.

11.2.2 Idrometria

Si distinguono nel seguito i dati relativi a:

- **massimi annuali delle portate istantanee**: si tratta complessivamente di 27 stazioni idrometrografiche con numerosità superiore a 10 anni di osservazione. Complessivamente si hanno 588 valori di massimo annuale della portata al colmo di piena, per una numerosità media di 22 anni per stazione, ottenuti integrando i dati riportati nella Pubbl. n. 17 del SIMN con informazioni originali messe a disposizione dal Compartimento di Palermo, fino al 1982.
- **massimi annuali delle portate giornaliere**: si tratta complessivamente di 33 stazioni idrometriche con numerosità superiore a 10 anni di osservazione. Complessivamente si hanno 710 valori di massimo annuale della portata giornaliera, per una numerosità media ancora di 22 anni per stazione, ma con una migliore copertura del territorio regionale. Questi dati sono stati riportati dalla parte II degli Annali Idrologici del SIMN (Compartimento di Palermo), editi fino al 1982.

11.3 Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno

11.3.1 Pluviometria

11.3.1.1 Piogge giornaliere

Come già detto, seguendo le indicazioni contenute in Cannarozzo et al. [1993], in questa sezione si riportano i risultati ottenuti in un lavoro di Ferrari [1986], aggiornato solo ai dati pubblicati dal SIMN fino al 1979, che identifica una sola zona omogenea al primo livello di regionalizzazione, con parametri di forma pari a:

$$\Lambda_* = 0.4551; \quad \theta_* = 2.6319$$

da cui sono escluse le isole minori.

Al secondo livello, utilizzando criteri di cluster analysis, sono state effettuate verifiche sulla significatività della suddivisione in sottozona omogenee (SZO) in numero da 1 a 5. Il risultato finale è la suddivisione del territorio regionale in 3 SZO, come mostrato in fig. 11.1. I parametri di scala stimati per le singole SZO sono:

SZO C (45 stazioni) $\Lambda_1 = 11.813$

SZO D (60 stazioni) $\Lambda_1 = 15.859$

SZO E (114 stazioni) $\Lambda_1 = 23.144$

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) all'interno della sottozona pluviometrica omogenea previamente identificata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k/\theta_*})} \quad (11.2)$$

I parametri ottenuti per l'intera regione Sicilia sono riportati in Tab. 1.

Sottozona	Λ_*	θ_*	Λ_1	η
C	0.455	2.632	12	4.001
D	0.455	2.632	16	4.288
E	0.455	2.632	23	4.651

Tab. 11.1. Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge giornaliere in Sicilia

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (11.2) per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, nella Tab. 11.2, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (11.2) per alcuni valori del periodo di ritorno.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZO C)	0.86	1.31	1.68	2.10	2.24	2.54	2.69	3.14	3.60	4.20	4.66
K_T (SZO D)	0.87	1.29	1.64	2.02	2.15	2.43	2.57	2.99	3.42	3.98	4.41
K_T (SZO E)	0.88	1.27	1.58	1.94	2.06	2.32	2.44	2.83	3.22	3.74	4.13

Tab. 11.2: valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge giornaliere in Sicilia, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

Nelle pratiche approssimazioni, è possibile anche fare riferimento ad una espressione semplificata del tipo:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \text{Ln } \Lambda_*}{\eta} + \frac{\text{Ln } \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \text{Ln } T \quad (11.3)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV nelle diverse SZO della Sicilia, diventa:

$$\text{SZO C } K_T = 0.1031 + 0.658 \text{Ln } T \quad (11.4a)$$

$$\text{SZO D } K_T = 0.1632 + 0.614 \text{Ln } T \quad (11.4b)$$

$$\text{SZO E } K_T = 0.2285 + 0.566 \text{Ln } T \quad (11.4c)$$

Per le piogge giornaliere, per valori del periodo di ritorno superiori a 10 anni, l'errore nell'uso delle (11.4) in luogo della (11.2) è sempre inferiore al 4 %, in tutte le SZO.

11.3.1.2 Piogge brevi

Solitamente si assume che il fattore probabilistico di crescita sia costante al variare della durata soprattutto a causa del numero ridotto di serie storiche disponibili per tale analisi e della loro generalmente più piccola dimensione campionaria che non ne permettono un'analisi sistematica come nel caso delle piogge giornaliere.

Nel caso in questione, invece, il data-base disponibile per le precipitazioni da 1 a 24 ore è sufficientemente esteso e sono state fatte alcune considerazioni sui parametri della distribuzione di probabilità del massimo annuale dell'altezza di precipitazione in durata d, $h(d)$, che hanno portato alla identificazione di una dipendenza unica per tutta la regione, dei parametri di forma dalla durata, del tipo:

$$\theta_*(d) = 1.95 + 0.0284 d \quad (11.5a)$$

$$\Lambda_*(d) = 0.175 d^{0.301} \quad (11.5b)$$

Al secondo livello, è stata effettuata una suddivisione dell'isola in 3 SZO, **non coincidenti con quelle trovate da Ferrari [1986] per le piogge giornaliere, e mostrate in fig. 11.2**, in cui il parametro di scala varia con la durata secondo le seguenti espressioni:

$$\text{SZO A: } \Lambda_1 = 14.55 d^{0.2419} \quad (11.6a)$$

$$\text{SZO B: } \Lambda_1 = 12.40 d^{0.1802} \quad (11.6b)$$

$$\text{SZO C: } \Lambda_1 = 11.96 d^{0.0960} \quad (11.6c)$$

L'espressione esplicita approssimata della curva di crescita, valida per $T \geq 10$ anni, del tipo (11.3), diviene quindi una funzione anche della durata, secondo le seguenti espressioni:

$$\text{SZO A: } K_T(d) = 0.5391 - 0.001635 d + (0.0002212 d^2 + 0.00117 d + 0.9966) \text{Ln } T \quad (11.7a)$$

$$\text{SZO B: } K_T(d) = 0.5135 - 0.002264 d + (0.0001980 d^2 + 0.00329 d + 1.0508) \text{Ln } T \quad (11.7b)$$

$$\text{SZO C: } K_T(d) = 0.5015 - 0.003516 d + (0.0003720 d^2 + 0.00102 d + 1.0101) \text{Ln } T \quad (11.7c)$$

11.3.2 Idrometria

11.3.2.1 Portate istantanee al colmo di piena

Al primo livello di regionalizzazione, Fiorentino et al. [1987] hanno mostrato che l'Italia Appenninica, inclusa la Sicilia ed esclusa parte della Liguria, può essere considerata una zona omogenea. Particolarizzando l'analisi alla sola regione Sicilia, ed assumendo che essa sia un'unica zona idrometrica omogenea, ne risultano i seguenti parametri di forma:

$$\Lambda_* = 0.9918; \quad \theta_* = 2.7998$$

sostanzialmente differenti da quelli del resto del territorio nazionale.

Al secondo livello, si è suddiviso il territorio regionale in 3 SZO, seguendo il criterio di omogeneità spaziale pluviometrico, in fig. 11.2. I parametri ottenuti per l'intera regione Sicilia sono riportati in Tab. 11.3.

Sottozona	Λ_*	θ_*	Λ_1	η
A	0.992	2.800	6.6	4.364
B	0.992	2.800	3.8	3.794
C	0.992	2.800	3.1	3.605

Tab. 11.3: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate istantanee in Sicilia

Si riportano di seguito, nella Tab. 4, i valori di K_T ottenuti numericamente dalla (2) per alcuni

valori del periodo di ritorno.

Nelle pratica, è possibile anche fare riferimento all'espressione semplificata del tipo (11.3), che nel caso in questione diventano:

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (SZO A)	0.85	1.45	1.91	2.36	2.51	2.82	2.97	3.42	3.87	4.46	4.91
K_T (SZO B)	0.83	1.51	2.04	2.57	2.74	3.10	3.26	3.78	4.30	4.99	5.51
K_T (SZO C)	0.82	1.54	2.10	2.66	2.83	3.21	3.38	3.93	4.48	5.20	5.75

Tab. 11.4: valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le portate in Sicilia, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

$$\text{SZO C } K_T = 0.3232 + 1.617 \text{ Log } T \quad (11.8a)$$

$$\text{SZO D } K_T = 0.2670 + 1.750 \text{ Log } T \quad (11.8b)$$

$$\text{SZO E } K_T = 0.1785 + 1.961 \text{ Log } T \quad (11.8c)$$

Per valori del periodo di ritorno compresi tra 5 e 1000 anni, l'errore nell'uso delle (11.8) in luogo della (11.2) è sempre inferiore al 5 %.

11.3.2.2 Volumi di piena: portate giornaliere

Il massimo annuale della portata media giornaliera è il dato idrometrico generalmente più disponibile, anche se nel caso di piccoli bacini, con tempo di risposta molto minore della giornata, tale dato presenta informazioni distorte in quanto riferentesi ad un giorno di calendario.

Allo scopo di verificare se, anche per le portate di piena si potesse pensare ad un fattore probabilistico di crescita variabile con la durata, sono state fatte le analisi di primo e secondo livello dei massimi annuali delle portate giornaliere, per le 3 SZO individuate nell'analisi pluviometrica, indicate in fig. 11.2. I parametri ottenuti per l'intera regione Sicilia sono riportati in Tab. 11.5.

Sottozona	Λ^*	θ^*	Λ_1	η
A	0.8320	3.3110	9.6	4.742
B	0.8320	3.3110	6.7	4.381
C	0.8320	3.3110	4.2	3.910

Tab. 11.5: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate giornaliere in Sicilia

In termini di curva probabilistica di crescita, i valori ottenibili utilizzando i parametri riportati in Tab. 11.5 differiscono sempre meno del 5% da quelli riportati in tab. 11.4, per cui si può concludere dicendo che, a livello di massimi annuali delle portate di piena, per durate fino ad almeno 24 ore, **la curva probabilistica di crescita è indipendente dalla durata** stessa.

11.4 Stima del valor medio

11.4.1 Leggi di probabilità pluviometriche

11.4.1.1 Piogge puntuali

Le **leggi di probabilità pluviometriche** definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata d , $m[h(d)]$, con la durata stessa.

Per la Sicilia è stata adottata una procedura che distingue:

- per $d \geq 1$ ora, per cui si ritiene valida una semplice espressione monomia del tipo:

$$m[h(d)] = a d^n \quad (11.9a)$$

in cui le durate sono in ore.

I parametri a ed n della (11.9) sono stati valutati in tutte le 155 stazioni di misura pluviografiche mediante regressione ai minimi quadrati in campo logaritmico. Per la stima della (11.9) in un punto qualsiasi della regione, sono fornite delle mappe isoparametriche nelle fig. 11.3.

- per $30 \text{ min} \leq d \leq 60 \text{ min}$, una espressione monomia valida per l'intera Sicilia, del tipo:

$$m[h(d)] = 0.208 m[h(60)] d^{0.386} \quad (11.9b)$$

in cui le durate sono in minuti.

Tale espressione è stata ricavata analizzando i dati forniti nella Tab. V degli Annali Idrologici, relativi alle precipitazioni di breve durata e notevole intensità, che costituiscono un complesso di 191 stazioni con 354 dati.

11.4.2 Piena media annua

11.4.2.1 Portata al colmo di piena istantanea

Quando nella sezione terminale del bacino in studio esiste una stazione di misura idrometrica, la stima della piena media annua $m(Q)$ può essere effettuata direttamente sulla serie osservata dei massimi annuali al colmo di piena, essendo tale stima piuttosto affidabile non appena la serie osservata sia di lunghezza appena sufficiente (4-5 anni)

Nel caso più frequente in cui tali dati dovessero mancare del tutto, possono essere utilizzati diversi modelli per la stima indiretta della piena media annua; nel seguito ne vengono riportati i principali risultati applicativi.

Regressione empirica: si propone la seguente relazione, valida per l'intero territorio:

$$m(Q) = 3.09 A^{0.736} \quad (11.10)$$

in cui con A si intende l'area del bacino, espressa in km^2 , mentre $m(Q)$ è in m^3/s .

Modelli concettuali: la formula razionale. Alla base di tale metodologia è l'assunzione di una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio, avente altezza h_p (in mm) e di durata pari al tempo di corrivazione t_c (in ore) del bacino, a cui consegue un idrogramma di piena standard di forma triangolare, con base pari a $2 t_c$ e portata al colmo x_Q pari a:

$$x_Q = \frac{\phi h_p A}{3.6 t_c} \quad (11.11a)$$

in cui A è l'area del bacino (in km^2), 3.6 è un coefficiente per rendere congruenti le dimensioni a primo e secondo membro e ϕ è il coefficiente di deflusso.

Nelle pratiche applicazioni, la (11.11a) può essere riscritta in senso probabilistico come:

$$m(Q) = \frac{\psi m[I(t_c)] A}{3.6} \quad (11.11b)$$

se $m[I(t_c)]$ è la media del massimo annuale dell'intensità di precipitazione nella durata t_c , pari a $m[h(t_c)]/t_c$, che può essere ricavata dalle analisi di cui al punto 11.4.1.1, una volta noto il **tempo di corrivazione**, mentre ψ rappresenta un **coefficiente medio di deflusso**.

La stima regionale dei due parametri del modello avviene attraverso le seguenti relazioni:

$$t_c = 0.35 \sqrt{A} \quad (11.12a)$$

$$\psi = \frac{12.3}{pp + pb} \quad (11.12b)$$

in cui:

pp è la percentuale di superficie permeabile del bacino

pb è la percentuale di superficie boscata del bacino

In mancanza di informazioni sulla copertura boschiva del bacino, può essere usata, in luogo della (11.12b), la seguente:

$$\psi = \frac{9.25}{pp} \quad (11.12c)$$

In mancanza di qualunque informazione idrogeologica e sull'uso del suolo, in prima approssimazione si può assumere un valor medio unico regionale del coefficiente di deflusso, pari a:

$$\psi = 0.364 \quad (11.12d)$$

Riferimenti bibliografici

Cannarozzo, M., F. D'Asaro e V. Ferro, (a cura di), *Valutazione delle Piene in Sicilia*, CNR-GNDCI, Pubbl. N. 1431, Studio K2., Cava de' Tirreni (SA), 1993.

Ferrari, E., *Modelli idrologici per lo studio delle massime altezze di pioggia giornaliera. Un'applicazione al caso della Sicilia*, Tesi di Laurea, non pubblicata, Università della Calabria, a.a. 1984/85, Cosenza, 1986.

Note

Fig. 1: suddivisione della Sicilia in 3 SZO secondo Ferrari, 1986

Fig. 2: suddivisione della Sicilia in 3 SZO secondo Cannarozzo et al., 1993

Fig. 3: mappe isoparametriche dei valori di a e di n della LPP (da Cannarozzo et al., 1993)