

Regione
Sicilia



Provincia di
Catania



Committente:

CALTA WIND S.r.l.
Piazza Europa,14
87100 Cosenza

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "CALTAGIRONE"

Elaborato:

Relazione idraulica

PROGETTO	DISCIPLINA	AMBITO	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVO	SCALA
W-CAL	P	ID	RE	01	-

NOME FILE:

W-CAL-P-ID-RE-01_Relazione idraulica

Progettazione:



Ing. Saverio Pagliuso

Ing. Mario Francesco Perri

Ing. Giorgio Salatino

Rev:	Prima Emissione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	07/2023	PRIMA EMISSIONE	GEMSA PRO	GEMSA PRO	CALTA WIND S.r.l.

Sommario

1	PREMESSA	2
2	QUADRO NORMATIVO	3
3	CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL BACINO	4
4	CALCOLO IDROLOGICO E IDRAULICO	5
4.1	METODO TCEV	6
4.2	CALCOLO DELLA C.P.P.	12
4.3	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	18
4.4	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO ANTE OPERAM E POST OPERAM	18
4.5	COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	19
4.6	RISULTATI	20
4.7	VERIFICHE IDRAULICHE ED INVARIANZA IDRAULICA	21
5	PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA	22
5.1	FOSSI DI GUARDIA.....	23
5.2	TOMBINI CIRCOLARI.....	25

1 Premessa

La presente relazione descrive gli interventi per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle opere per la realizzazione del Parco Eolico “Caltagirone” in progetto nei territori dei Comuni di Caltagirone e Licodia Eubea in provincia di Catania.

Il progetto di costruzione del Parco eolico prevede la realizzazione di n. 14 aerogeneratori tipo modello Vestas V163 con potenza unitaria variabile e potenza complessiva del parco pari a 63,00 MW.

Il Parco eolico in progetto viene proposto dalla società PLT RE s.r.l., con sede a Milano (MI) in Via Chiaravalle,7/9, società interessata alla promozione, realizzazione e sfruttamento di impianti per la produzione di energia elettrica da fonte eolica mediante aerogeneratori.

All'interno dell'elaborato verranno analizzati i criteri utilizzati delle principali opere previste in questa fase di progetto definitivo. Il sistema di fossi di guardia previsti in progetto e degli opportuni sistemi di recapito rispetta l'equilibrio idrogeologico preesistente. Le scelte progettuali sono state condotte in modo tale da avere opere ad “impatto zero” sull'esistente reticolo idrografico, recapitando, ove possibile, le acque superficiali convogliate dai fossi di guardia presso gli impluvi ed i solchi di erosione naturali, e in alcuni casi si è previsto l'uso di tombini interrati per il passaggio dell'acqua nel percorso verso lo scarico.

L'obiettivo che si vuole raggiungere è quello di intercettare e allontanare tempestivamente le acque di scorrimento superficiale, al fine di garantire la vita utile delle opere civili, riducendo le operazioni di manutenzione al minimo indispensabile.

2 Quadro normativo

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

Se infatti un terreno è impermeabilizzato si elimina la quantità d'acqua assorbita dallo stesso e si riduce il tempo di corrivazione, ovvero il tempo che impiega l'acqua a ruscellare verso il recapito finale. Questa condizione genera un aumento importante delle portate defluenti e può portare all'esondazione dei ricettori finali non in grado di contenere la portata aggiuntiva scaricata.

La Legislazione impone di perseguire l'invarianza idraulica delle trasformazioni d'uso del suolo e di conseguire, tramite la gestione e la separazione locale delle acque meteoriche a monte dei ricettori, la riduzione quantitativa dei deflussi, il progressivo riequilibrio del regime idrogeologico e idraulico e la conseguente attenuazione del rischio idraulico.

La Legislazione Siciliana in materia di gestione idraulica del territorio è così articolata:

- **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A)**, ovvero il sistema di gestione dei rischi di alluvioni redatto dall'Assessorato Territorio Ambiente della Regione Siciliana, ai sensi **dell'art. 7 del D.Lgs 49/2010** nell'ambito delle attività di pianificazione di cui agli **artt. 65,66,67 e 68 del D.Lgs 152/2006**. Il fine ultimo del piano è quello di ridurre gli effetti delle alluvioni sulla salute umana, territorio, beni ecc. (Art. 1 Comma 1 Direttiva 2007/60/CE);

D.D.G. n. 102 del 23/06/2021, della Regione Siciliana, riportante le linee guida sulla procedura da seguire per gli studi di invarianza idraulica ed idrologica.

3 Caratteristiche morfologiche del bacino

Il parco eolico in progetto ricade, per l'agro degli Aerogeneratori, in un'area a Sud-Est rispetto al centro abitato del Comune di Caltagirone (CT).

Il territorio oggetto di intervento si inserisce all'interno di una zona orografica sub-pianeggiante dell'entroterra collinare della Sicilia sud-orientale con altitudine media di circa 420 m s.l.m. Morfologicamente il territorio è caratterizzato da valli aperte con sezioni trasversali a V ampie, poco incise e con versanti declivi. Le caratteristiche di elevata erodibilità dei terreni, prevalentemente argillosi o argillosi-sabbiosi.

L'area oggetto d'intervento progettuale rientra all'interno di tre impluvi fluviali, denominati Torrente dei Margi, Vallone Grotta dei Panni, Vallone Cugnolongo. La confluenza di questi impluvi, danno origine al torrente Ficuzza, il quale è un affluente nel fiume Acate o Drillo.

Dalla cartografia a disposizione sono stati definiti due sottobacini: il bacino che comprende l'area del parco considerando torrente Ficuzza e il sottobacino relativo al Vallone Granieri e Torrente dei Margi.

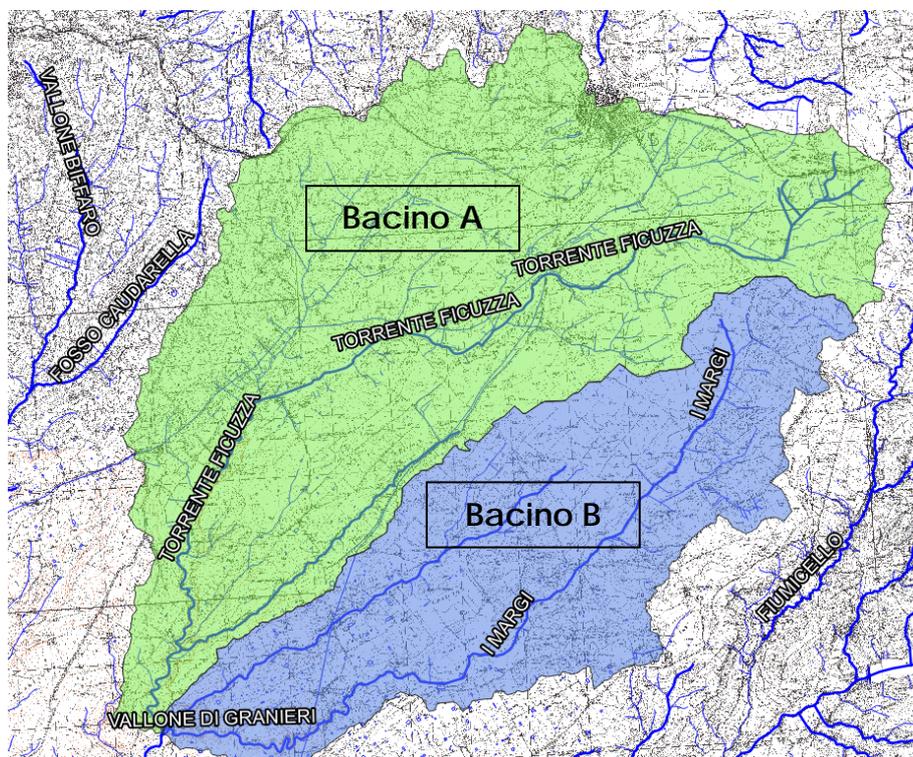


Figura 1-Individuazione dei bacini idrografici su IGM

Al fine di verificare il principio dell'invarianza idraulica è necessario innanzitutto individuare il bacino idrografico di riferimento per il calcolo delle portate. Il bacino è stato individuato ponendo la sezione di chiusura a valle dell'ultima confluenza delle superfici scolanti del parco eolico. Il bacino idrografico così definito è stato analizzato e i parametri descrittivi sono di seguito riportati:

Tabella 1- Dati bacini idrografici

Bacino	Superficie	Lunghezza asta principale	Pendenza asta principale	Quota massima	Altitudine media	Quota media della sezione di chiusura	Altezza media
	S	L	J	Hmax	hm	hmin	Hm
	[Kmq]	[km]	[m/m]	[m slm]	[m slm]	[m slm]	[m slm]
A	70,755	21,15	0,011	673,40	430,34	218,11	212,23
B	38,639	16,66	0,010	573,25	407,66	218,23	189,43

4 Calcolo idrologico e idraulico

Il dimensionamento e la verifica di un sistema di drenaggio si basa sulla valutazione delle portate di pioggia, che possono essere determinate con i seguenti metodi:

- metodo diretto che prevede l'elaborazione statistica delle portate registrate nelle stazioni di misura;
- metodo indiretto che consente la determinazione delle portate di piena a partire dalle precipitazioni che si abbattano sul bacino.

Nel caso in esame si utilizzerà il metodo indiretto poiché i dati di registrazione delle portate non sono disponibili.

Dunque, occorre studiare la pluviometria dei vari bacini in esame per passare poi al calcolo delle portate.

Si è condotta l'analisi sullo studio pluviometrico applicando il metodo TCEV (Two Component Extreme Value Distribution) così come sviluppato e applicato dallo studio "regional frequency analysis of extreme precipitation in Sicily, italy" di Lo Conti et altri 2007.

Obiettivo dello studio è quello di fornire gli elementi idrologici e idraulici necessari per il mantenimento della continuità della rete di drenaggio naturale sul territorio,

nonché le problematiche idrologiche e idrauliche connesse con l'inserimento del corpo stradale nel contesto naturale preesistente.

Il progetto per la realizzazione del parco eolico prevede la realizzazione della viabilità all'interno dell'area di intervento esistente. La progettazione deve includere, pertanto, la definizione ed il dimensionamento di una rete di drenaggio delle acque meteoriche a protezione della viabilità dalle acque di scorrimento superficiali e per lo smaltimento delle acque di piattaforma stradale.

La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione piogge-portate che prevede, come input, la definizione di un particolare evento di pioggia.

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

Il dimensionamento delle opere idrauliche da progettare verrà effettuata a valle della analisi idrologica della zona oggetto di intervento che consentirà di definire i valori di portata di progetto attraverso la definizione della curva di possibilità pluviometrica nonché della definizione dei bacini idrografici afferenti. A tal proposito si rimanda al progetto esecutivo tale studio e dimensionamento delle opere.

L'analisi idrologica terrà conto, pertanto, delle caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici individuati nonché dei tempi di ritorno scelti e della metodologia utilizzata nel corso dello studio.

4.1 Metodo TCEV

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

Il Progetto VAPI sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha

come obiettivo predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali.

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.

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

Nel *primo livello* di regionalizzazione si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per la regione Sicilia. La Sicilia si può pertanto ritenere una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri α e β sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

Il *secondo livello* di regionalizzazione riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque

sottozone pluviometriche omogenee Z0 –Z5, Z1, Z2, Z3, Z4, come rappresentato nella figura seguente:

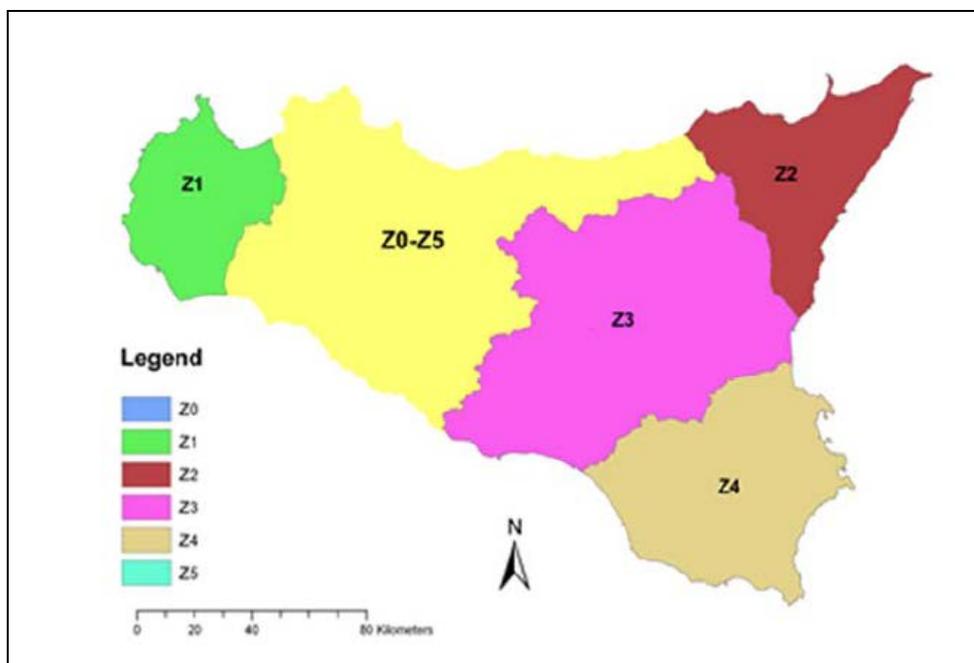


Figura 2-Suddivisione Sicilia in sottozone pluviometriche omogenee.

A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo Λ_1 (Tabella 2), che risulta indipendente dalla durata.

Tabella 2- Parametro Λ_1 per ogni sottozona pluviometrica omogenea.

Sottozona Parametro	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅
Λ_1	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Le sottozone Z₀ e Z₅, possono anche essere "unite" e considerate come una sottozona unica, visti i valori pressoché identici del parametro Λ_1 .

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

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

In tale relazione i coefficienti a e b sono stati tarati in funzione della particolare sottozona (Tabella 3).

Tabella 3-Parametri a e b della legge TCEV per ogni sottozona pluviometrica omogenea

Sottozona	Z0-Z5	Z1	Z2	Z3	Z4
Parametro a	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
Parametro b	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

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

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

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

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

Per le stazioni pluviografiche siciliane la media teorica μ risulta coincidente con quella campionaria; per ciascuna delle 172 stazioni siciliane che vantano almeno

10 anni di funzionamento è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata t:

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

Per ogni stazione pluviografica i valori dei coefficienti a ed n sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti a ed n possono essere stimati sulla base della carta delle iso-a e delle iso-n (Cannarozzo et al, 1995). Nella Figura 4 e nella Figura 5 è possibile vedere la variazione dei coefficienti a ed n per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

Tale risultato consente di definire le curve di probabilità pluviometrica C.P.P. mediante i soli valori dei due parametri a ed n, piuttosto che ricorrendo ai cinque valori della media corrispondenti alle durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, con i soli due parametri a ed n.

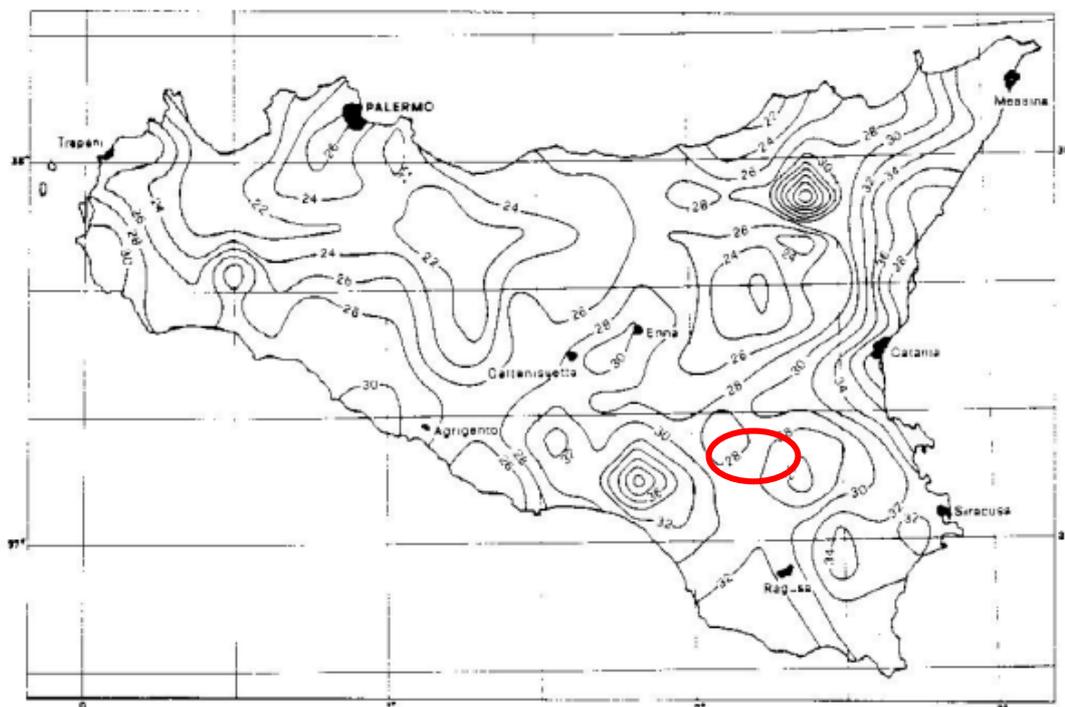


Figura 3- Carta delle iso-a · 10² per il territorio siciliano (Cannarozzo, D'Asaro, Ferro)

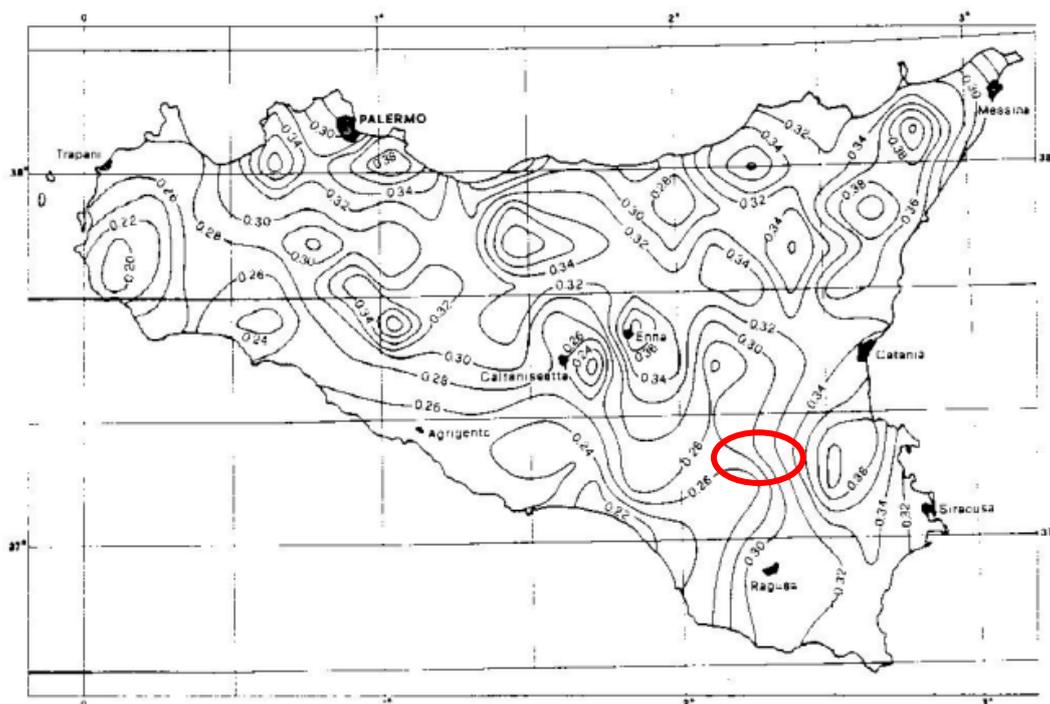


Figura 4-Carta delle iso-n per il territorio siciliano (Cannarozzo, D'Asaro, Ferro)

I bacini idrografici in studio ricadono nella sottozona C, e delle stazioni pluviometriche interessate, per i calcoli successivi, verrà presa in considerazione la stazione pluviometrica di Licodia Eubea posizionata a 580 m.s.m., e i relativi valori dei parametri sono:

$$a = 28,6$$

$$n = 0,2411$$

4.2 Calcolo della c.p.p.

L'espressione della curva di possibilità pluviometrica delle piogge di breve durata (1-3-6-12-24ore) secondo il metodo TCEV, benché matematicamente definita assume una forma complessa diversa dalla forma canonica

$$h = a t^n$$

Al fine di riportare la CPP in forma canonica, si sono calcolati, per assegnato tempo di ritorno, i valori delle altezze di pioggia probabili al variare della durata t.

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea Z4: il fattore di crescita è calcolato attraverso la seguente espressione, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti a e b (in base ai valori della Tabella 3)

$$KT=0.4946 \cdot \ln(t)+0.4616$$

Di seguito si riportano i tabulati e le c.p.p. per la stazione di Licodia Eubea, elaborate per un tempo di ritorno di 30-50-100-200-300 anni.

Tabella 4-Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno $T_R=25$ anni

Durata t	Tempo di ritorno TR	$h'(t,T)=K_T$	$\mu(t)$	Altezza pioggia h(t,T)
[ore]	[anni]		[mm]	[mm]
1	25	2,054	28,60	58,73
3	25	2,054	37,27	76,55
6	25	2,054	44,05	90,47
12	25	2,054	52,07	106,93
24	25	2,054	61,54	126,38

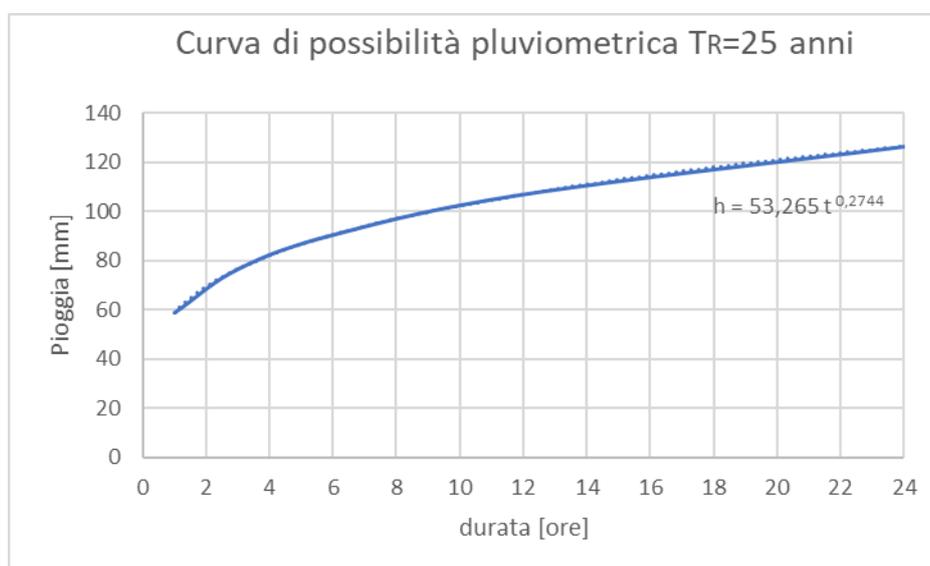


Figura 5-Curva di possibilità pluviometrica per $T_R=25$ anni

Tabella 5- Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno $T_R=50$ anni

Durata t	Tempo di ritorno TR	$h'(t,T)=K_T$	$\mu(t)$	Altezza pioggia h(t,T)
[ore]	[anni]		[mm]	[mm]
1	50	2,396	28,60	68,54
3	50	2,396	37,27	89,33
6	50	2,396	44,05	105,57
12	50	2,396	52,07	124,78
24	50	2,396	61,54	147,47

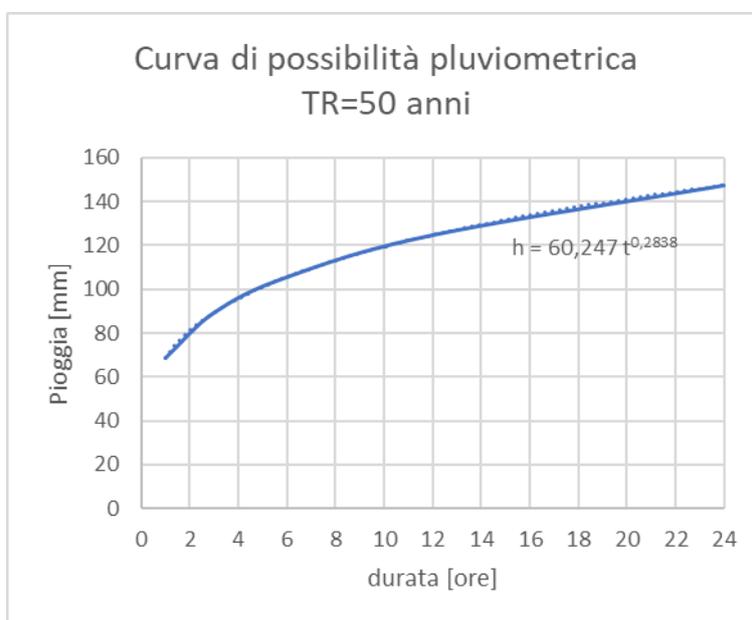


Figura 6-Curva di possibilità pluviometrica per $T_R=50$ anni

Tabella 6-Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno TR=100 anni

Durata t	Tempo di ritorno TR	$h'(t,T)=K_T$	$\mu(t)$	Altezza pioggia h(t,T)
[ore]	[anni]		[mm]	[mm]
1	100	2,739	28,60	78,34
3	100	2,739	37,27	102,10
6	100	2,739	44,05	120,68
12	100	2,739	52,07	142,63
24	100	2,739	61,54	168,57

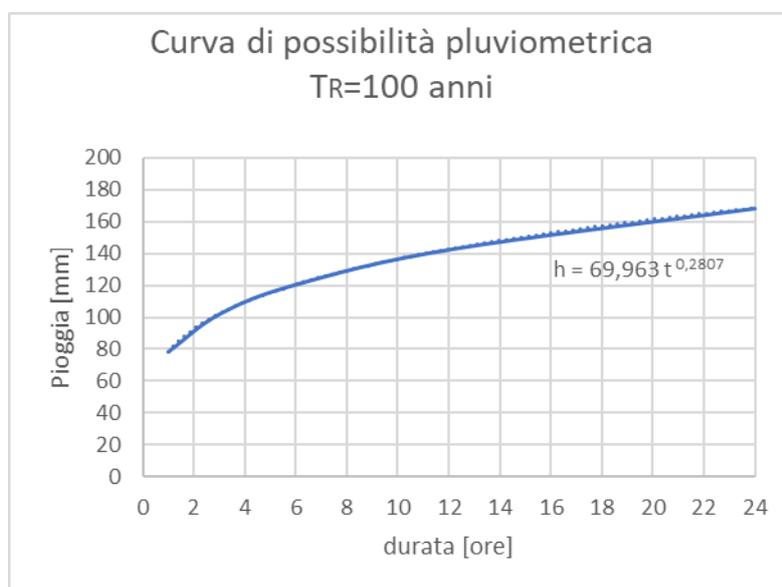


Figura 7-Curva di possibilità pluviometrica per $T_R=100$ anni

Tabella 7- Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno $T_R=200$ anni

Durata t	Tempo di ritorno TR	$h'(t,T)=K_T$	$\mu(t)$	Altezza pioggia h(t,T)
[ore]	[anni]		[mm]	[mm]
1	200	3,082	28,60	88,15
3	200	3,082	37,27	114,88
6	200	3,082	44,05	135,78
12	200	3,082	52,07	160,48
24	200	3,082	61,54	189,67

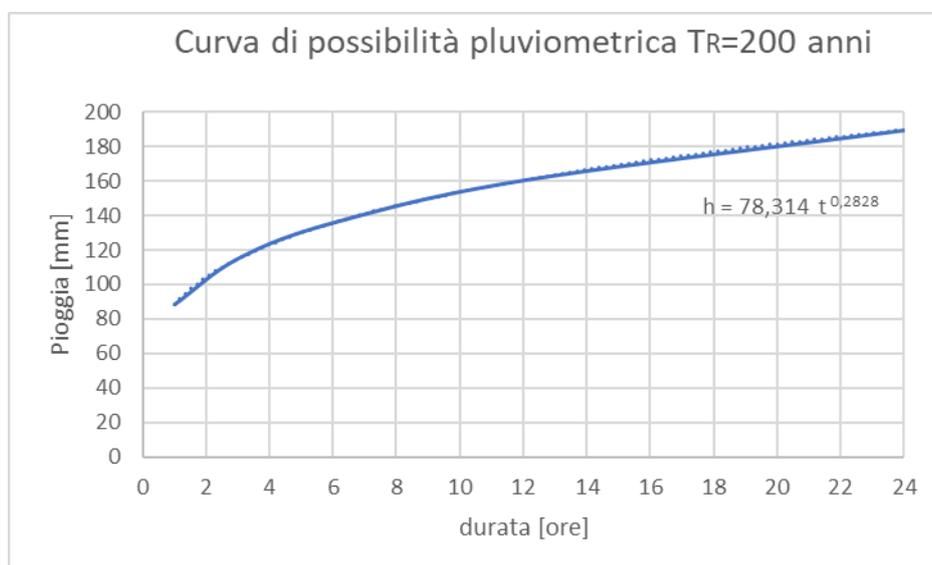


Figura 8- Curva di possibilità pluviometrica per $T_R=200$ anni

Tabella 8- Altezze di pioggia massime probabili per assegnata durata e tempo di ritorno $T_R=300$ anni

Durata t	Tempo di ritorno TR	$h'(t,T)=K_T$	$\mu(t)$	Altezza pioggia h(t,T)
[ore]	[anni]		[mm]	[mm]
1	300	3,283	28,60	93,88
3	300	3,283	37,27	122,36
6	300	3,283	44,05	144,61
12	300	3,283	52,07	170,92
24	300	3,283	61,54	202,01

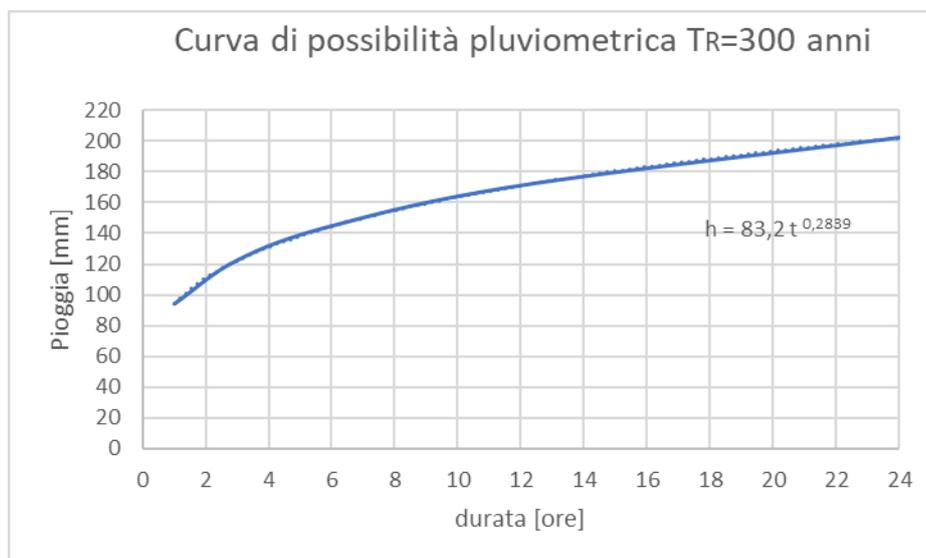


Figura 9- Curva di possibilità pluviometrica per $T_R=300$ anni

4.3 Calcolo del tempo di corrivazione

Per procedere al calcolo della portata di piena ad assegnato tempo di ritorno è necessario valutare il tempo di corrivazione, inteso come il tempo impiegato da una goccia di acqua, caduta nel punto più sfavorito per raggiungere la sezione di chiusura. Il tempo di corrivazione del bacino è stato determinato utilizzando la formula di Giandotti:

$$\tau_c = \frac{4S^{0,5} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{med}}}$$

Dove:

- S è la superficie del bacino espressa in kmq;
- L la lunghezza dell'asta fluviale principale;
- h_{med} l'altezza media del bacino, espressa in m, riferita alla sezione di chiusura;

Il tempo di corrivazione risulta pari per il bacino A risulta pari a 5,60 ore, mentre per il bacino B risulta di 4,53 ore.

4.4 Stima delle portate di progetto ante operam e post operam

La stima delle portate ad assegnato tempo di ritorno è stata effettuata mediante la formula razionale, il cui approccio si basa sull'utilizzo della curva di possibilità pluviometrica e sull'ipotesi che a parità di tempo di ritorno, la portata al colmo maggiore è prodotta dall'evento la cui durata è identica al tempo di corrivazione.

Il metodo razionale, detto anche cinematico, fornisce la portata di piena tramite l'espressione:

$$Q = \frac{\phi i_c A}{3.6}$$

nella quale:

- ϕ è il coefficiente di afflusso, indicante il rapporto tra i deflussi e gli afflussi;
- i_c è l'intensità di pioggia di un evento avente durata $d = t_c$ [mm/ora]
- A è la superficie del bacino (o area scolante) [km²]

- Q è la portata al colmo di piena che defluisce alla sezione di chiusura in corrispondenza di un evento di durata t_c e tempo di ritorno T [m³/s].

4.5 Coefficiente di deflusso

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

Il *coefficiente di deflusso (o di riduzione) ϕ* consente di determinare le precipitazioni efficaci, che contribuiscono effettivamente alla formazione del deflusso in corrispondenza della sezione di chiusura. Si ipotizza che la restante parte dia luogo a perdite (rappresentate essenzialmente dai termini legati ad infiltrazione, evapotraspirazione,...), o che giunga "in ritardo" alla sezione di chiusura, non contribuendo così al picco di portata.

Il coefficiente di deflusso varia tra 0 e 1. Coefficiente uguale a zero corrispondono superfici per le quali è nulla la quantità di acqua rilasciata nei corsi d'acqua;

coefficiente uguale a 1 corrispondono invece superfici che rilasciano verso il corso d'acqua il 100 % dell'acqua captata. Nello specifico, in riferimento alle aree di progetto, ad esclusione e limitatamente dei tratti viari asfaltati (valore del coefficiente di deflusso potrà essere uguale a 1) si possono considerare le zone in studio costituite essenzialmente da aree agricole con assenza, anche nell'intorno significativo, di aree pavimentate e/o impermeabili. Il valore del coefficiente di deflusso adottato per le aree in studio, in relazione alle valutazioni che ci troviamo su aree agricole, con litologia di substrato costituita da vulcaniti, depositi alluvionali, con limitati lembi di aree in zona a permeabilità bassa per la natura marnosa del substrato di riferimento, e con assenza di superfici impermeabili può essere considerato pari a $\phi = 0,6$ (aree permeabili – ante operam)

Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso relativi alle piazzole (pavimentazioni drenanti e semipermeabili) si assume per queste aree un coefficiente pari a

$$\phi_{\text{piazzole}} = 0.85.$$

Il coefficiente di deflusso da utilizzare nel calcolo della portata *post operam* è pari a 0,6 ed è stato calcolato tenendo conto delle piazzole secondo la formula di media pesata:

$$\phi = \frac{(A_{\text{bacino}} - A_{\text{piazzole}}) * \phi_{\text{bacino}} + A_{\text{piazzole}} * \phi_{\text{piazzole}}}{A_{\text{tot}}}$$

4.6 Risultati

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dall'applicazione della formula razionale considerando come tempo di ritorno

- **T= 25 anni**

Calcolo delle portate [T=25 anni] ANTE OPERAM						
BACINO	A [kmq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5,6	0,6	88,52	15,808	186,4161
B	38,639	4,5	0,6	84,31	18,736	120,6569

Calcolo delle portate [T=25 anni] POST OPERAM							
BACINO	A [kmq]	Ap [mq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5818,95	5,6	0,60	88,52	15,808	186,4225
B	38,639	10630,00	4,5	0,60	84,31	18,736	120,6707

- **T=50 anni**

Calcolo delle portate [T=50 anni] ANTE OPERAM						
BACINO	A [kmq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5,6	0,6	132,86	23,725	279,7752
B	38,639	4,5	0,6	126,54	28,119	181,0831

Calcolo delle portate [T=50 anni] POST OPERAM							
BACINO	A [kmq]	Ap [mq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5818,95	5,6	0,6	132,86	23,725	279,7848
B	38,639	10630,00	4,5	0,6	126,54	28,119	181,1038

- **T=100 anni**

Calcolo delle portate [T=100 anni] ANTE OPERAM						
BACINO	A [kmq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5,6	0,6	118,08	21,086	248,6555
B	38,639	4,5	0,6	112,46	24,991	160,941

Calcolo delle portate [T=100 anni] POST OPERAM							
BACINO	A [kmq]	Ap [mq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5818,95	5,6	0,600021	118,08	21,086	248,664
B	38,639	10630,00	4,5	0,600069	112,46	24,991	160,9595

• **T=200 anni**

Calcolo delle portate [T=200 anni] ANTE OPERAM						
BACINO	A [kmq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5,6	0,6	132,86	23,725	279,7752
B	38,639	4,5	0,6	126,54	28,119	181,0831

Calcolo delle portate [T=200 anni] POST OPERAM							
BACINO	A [kmq]	Ap [mq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5818,95	5,6	0,600021	132,86	23,725	279,7848
B	38,639	10630,00	4,5	0,600069	126,54	28,119	181,1038

• **T=300 anni**

Calcolo delle portate [T=300 anni] ANTE OPERAM						
BACINO	A [kmq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5,6	0,6	141,50	25,269	297,979
B	38,639	4,5	0,6	134,77	29,949	192,8654

Calcolo delle portate [T=300 anni] POST OPERAM							
BACINO	A [kmq]	Ap [mq]	tc[h]	ϕ	$h_{TR}(tc)$	i [mm/ora]	Q [mc/s]
A	70,755	5818,95	5,6	0,600021	141,50	25,269	297,9893
B	38,639	10630,00	4,5	0,600069	134,77	29,949	192,8875

4.7 Verifiche idrauliche ed invarianza idraulica

La modifica delle condizioni del suolo a seguito della progettazione impone di dimostrare, attraverso uno studio di carattere idrologico-idraulico, il rispetto del principio dell'invarianza idraulica secondo cui la trasformazione di un'area deve avvenire senza provocare aggravio della portata di piena del corpo idrico o della rete di drenaggio ricevente i deflussi originati dall'area stessa.

Nel caso in esame la superficie impermeabile prevista nel progetto è costituita dalle fondazioni delle torri, che quindi sono opere puntuali, che risultano notevolmente inferiori rispetto all'intera superficie permeabile dell'intero bacino, così come riportato all'art.2 comma 5 del D.D.G. n.102.

Per tali motivi, si può ragionevolmente considerare rispettato il principio di invarianza idraulica, esclusivamente tramite l'adozione di buone pratiche costruttive, senza l'adozione di dispositivi di compensazione (volume d'invaso) e/o dispositivi idraulici.

5 Progetto delle opere di regimazione idraulica

La durabilità delle opere civili dal punto di vista strutturale è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche.

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

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

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

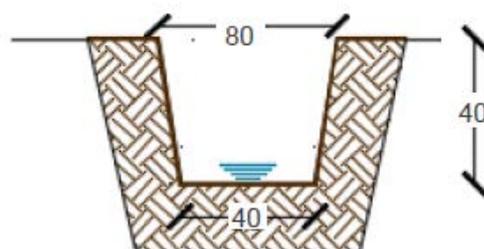
Il sistema di drenaggio delle viabilità è costituito da un insieme di fossi di guardia in terra e tombini idraulici circolari che, captate le acque le convogliano nel reticolo idrografico esistente.

Più in particolare la presenza dei fossi nei tratti in rilevato mitiga i fenomeni erosivi che possono innescarsi per ruscellamento ai piedi della scarpata; nei tratti in trincea la presenza del fosso rende possibile la captazione delle acque prima che queste possano giungere sulla sede stradale e comprometterne l'esercizio

Il parco eolico in progetto prevede la realizzazione di 14 aerogeneratori e della viabilità necessaria per la costruzione degli stessi e per la futura manutenzione e dismissione. L'orografia delle aree di intervento sia degli aerogeneratori che della viabilità è per lo più con pendenze dolci che consentono il naturale deflusso delle acque verso recapiti già esistenti su strade provinciali o comunali, oppure per alcune piazzole si è pensato di realizzare tubazioni interrato che terminano poi verso corsi d'acqua esistenti. Si è pensato a tubazioni interrato al fine di non deturpare la naturalezza e di minimizzare la quantità di opere idrauliche da realizzare e per ridurre il più possibile l'interferenza con lo stato di fatto dei luoghi.

Ai lati di ciascuna piazzola per la posa della torre, nonché lungo le strade di accesso, vengono realizzati dei fossi di guardia stradali laterali a protezione dei tracciati per canalizzare le acque provenienti dalle porzioni di terreno a monte del tracciato e per raccogliere le acque ricadenti all'interno della piazzola e delle strade di accesso.

I fossi di guardia stradali in progetto verranno realizzati mediante scavo a sezione obbligata sul terreno esistente realizzando una sagoma trapezoidale con altezza pari a 40 cm, base inferiore di 40 cm e base superiore di 80 cm.



Tali fossi di guardia stradali anche mediante la posa di opportuni tombini prefabbricati in cls e pozzetti prefabbricati in cls scaricheranno la portata in una rete idraulica secondaria.

La rete idraulica secondaria è composta sia da fossi di guardia che raccolgono le portate stradali sia da fossi realizzati per proteggere dall'erosione dovuta al consistente scorrimento delle acque superficiali i fronti di scavo e rilevato nonché la viabilità realizzati per consentire la costruzione del parco in progetto.

I fossi appartenenti alla rete idraulica secondaria scaricheranno a loro volte le portate all'interno di fossi naturali esistenti, alcuni censiti all'interno del reticolo idrografico.

5.1 Fossi di guardia

I fossi di guardia sono canali rivestiti da erba o piante resistenti all'erosione, costruiti per far defluire le acque di pioggia provenienti dalle superfici impermeabili in maniera regolare, sfruttando la capacità della vegetazione di ridurre le velocità di flusso. I parametri idraulici da controllare durante la progettazione sono: la lunghezza del canale, la pendenza longitudinale e l'altezza del tirante idrico. è

opportuno assicurare, per la portata di progetto, un tempo di permanenza dell'acqua di almeno 5 minuti, una velocità di scorrimento non superiore a 0,3 m/s e prevedere che il battente idrico sia comparabile all'altezza del manto erboso. La manutenzione della vegetazione richiede periodiche ispezioni. Questo tipo di soluzione tecnica è di interesse soprattutto nelle strade extraurbane ove le acque non sono raccolte dalla rete fognaria. L'intervento ha inoltre il grande vantaggio di poter essere inserito in maniera ottimale nel paesaggio, la presenza di vegetazione e la presenza di acqua può inoltre generare un incremento positivo della biodiversità.

I fossi di guardia in progetto sono stati individuati ai lati delle sezioni stradali della viabilità a servizio delle piazzole di montaggio delle torri sia per la realizzazione della rete di raccolta secondaria delle acque meteoriche fino al loro scarico all'interno dei fossi di scolo naturali.

Ciascun fosso viene dimensionato in base alla portata di progetto, stimata in considerazione del bacino dove il fosso insiste e dell'aliquota di portata del bacino in esso transitante nonché da eventuali scarichi derivanti da altri fossi di guardia e/o tombini.

Il dimensionamento di tali fossi tiene anche conto della scabrezza delle pareti e del fondo, della pendenza e dell'effettivo tirante durante le massime portate.

La verifica idraulica viene condotta nell'ipotesi di moto uniforme, implementando le formule prima illustrate su foglio di calcolo elettronico.

La formula pratica utilizzata per il dimensionamento è la nota espressione di Gaukler-Strickler:

$$Q = K * A * R^{\frac{2}{3}} * i^{0.5}$$

Dove:

K è il coefficiente di Strickler che tiene conto della scabrezza, assunto pari a 40 per i fossi in terra e quelli rivestiti in geocomposito [$m^{1/3}/s$];

A è l'area della sezione idraulica [m^2];

i è la pendenza del canale;

R è il raggio idraulico [m];

I canali trapezoidali vengono realizzati mediante con uno scavo a sezione obbligata sul terreno esistente, la sezione di alcuni fossi viene rivestita in geocomposito per limitare fenomeni erosivi dovuti a forti pendenze e/o elevate portate.

La verifica del corretto funzionamento idraulico dei canali stata eseguita nelle ipotesi di portata massima di progetto verificato che il grado di riempimento medio della sezione non superi il 75% e che la velocità non sia superiore a 8,00 m/s per le differenti sezioni.

5.2 Tombini circolari

Al fine di garantire le diverse connessioni fra i fossi di guardia in progetto all'interno del parco è stata prevista l'installazione di diversi tombini circolari prefabbricati in cls posati ad un'adeguata profondità.

Ogni tombino si dirama da un pozzetto prefabbricato in cls e scarica la propria portata in un ulteriore pozzetto prefabbricato garantendo così una continuità idraulica e ridistribuendo le portate secondo le caratteristiche orografiche e le pendenze delle aree in progetto.

Il progetto prevede la posa di tombini idraulici per consentire il deflusso delle acque meteoriche, raccolte a monte, al di sotto della sede stradale. Tali tombini sono formati con una tubazione circolare in Calcestruzzo Vibrocompresso, con un adeguato Rck per resistere ai carichi stradali ivi gravanti, inoltre hanno diametri nominali dell'ordine minimo di 800 mm fino ad un massimo di 2000 mm.

Il dimensionamento dei tombini circolari è stato effettuato in funzione di due verifiche:

- 1) Alla sezione di imbocco mediante la seguente legge di portata:

$$Q = CA\sqrt{2gD}$$

con la quale è possibile definire un deflusso a superficie libera all'interno dell'elemento circolare e dove compare il coefficiente C, che tiene conto del tipo di sagomatura all'imbocco. In fase di progettazione si può utilizzare un coefficiente C pari a 0.57-0.60, vista la possibilità di poter definire una tipologia di raccordo (canale – tombino) ottimale.

Viene imposta una pendenza longitudinale del tombino variabile fra l'1% ed il 2% al fine di permettere un deflusso delle acque tale da poter ottenere

un riempimento della sezione inferiore al 75%, in condizioni del colmo di piena. Nel caso di sezione circolare, la portata massima si ha per un'altezza pari ad $h=0.94 D$; per valori di altezze maggiori, la portata diminuisce gradualmente e raggiunge il valore di $Q=0.93 Q_{max}$ quando la sezione è piena (fig.2).

Per assicurare il funzionamento a superficie libera occorre prevedere, in sede di calcolo, un opportuno franco tra il pelo libero e la sommità della sezione. Solitamente, esso, per le opere stradali viene assunto pari al 20 ÷ 30 % dell'altezza della sezione.

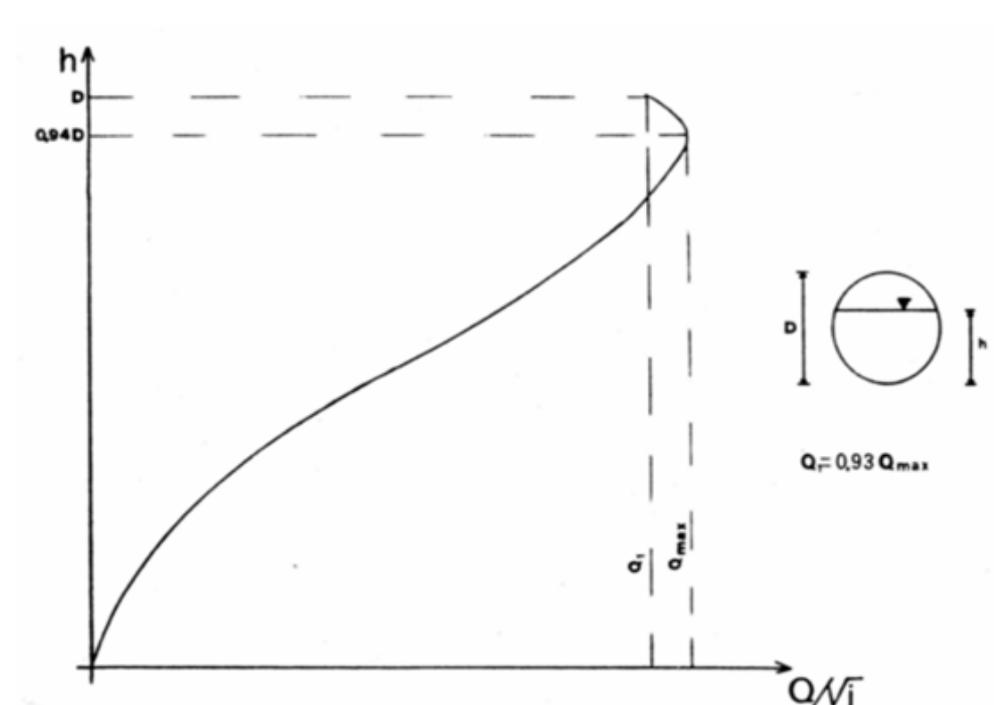


Figura 10- Scala della portata per sezione circolare.

- 2) Lungo lo sviluppo longitudinale del manufatto, mediante la formula di moto uniforme di Gaukler-Strickler per sezione circolare.

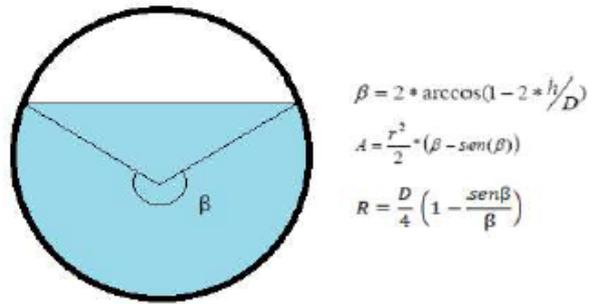


Figura 11- Scala di deflusso circolare