

REGIONE
CALABRIA



Provincia di
Catanzaro



Committente:

Cropani Wind Energy S.r.l.

via Sardegna, 40
00187 Roma (RM)
P.IVA/C.F. 15856981004

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "CROPANI"

Elaborato:

Relazione Idraulica

ID PROGETTO	DISCIPLINA	CAPITOLO	TIPO	REVISIONE	SCALA	FORMATO
IT-VesCro-Gem	CW	HYD	TR	0	----	A4

NOME FILE:

IT-VesCro-Gem-CW-HYD-TR-01-Rev.0

Progettazione:



Ing. Saverio Pagliuso

Ing. Mario Francesco Perri

Ing. Giorgio Salatino

Ing. Claudio Coscarella

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Ottobre 2021	PRIMA EMISSIONE	GEMSA	GEMSA	CWE

Sommario

1	PREMESSA	2
2	AREA DI INTERVENTO	2
3	ANALISI IDROLOGICA	3
3.1	MODELLO IDROLOGICO UTILIZZATO - TCEV	3
4	VERIFICHE IDRAULICHE	7
4.1	DETERMINAZIONE DELLE MASSIME PORTATE AL COLMO DI PIENA	7
4.2	INTERVENTI IN FASE DI LAVORAZIONE	10
4.3	IDRAULICA - REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE DEL BACINO.....	10
4.4	FOSSI DI GUARDIA.....	11
4.5	TOMBINI	12

1 Premessa

Il presente elaborato contiene l'analisi idrologica e la progettazione idraulica delle opere per la realizzazione del Parco Eolico "Cropani" in progetto nel territorio del Comune di Cropani (CZ).

Il progetto di costruzione del Parco eolico prevede la realizzazione di n. 14 aerogeneratori tipo modello Vestas V162 con potenza unitaria variabile e potenza complessiva del parco pari a 84 MW.

Il Parco eolico in progetto viene proposto dalla società Cropani Wind Energy S.r.l., con sede a Roma in Via Sardegna,40, 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 analizzate le caratteristiche idrologiche del territorio interessato in relazione agli interventi e successivamente, attraverso un'analisi probabilistica delle precipitazioni, saranno dimensionate le opere idrauliche previste in progetto.

Le opere idrauliche in progetto saranno parte integrante della rete di raccolta delle acque meteoriche ricadenti nelle aree di progetto e connesse alla rete di bacini idrografici esistenti.

2 Area di intervento

Il parco eolico in progetto ricade nell'area del territorio dei Comuni di Comuni di Cropani (CZ), Sersale (CZ) e Cerva (CZ) per l'agro degli Aerogeneratori mentre la Stazione di utenza verrà realizzata nel Comune di Belcastro (CZ).

Il territorio di intervento si configura all'interno della fascia ionica catanzarese, caratterizzata da rilievi di marcata entità, con carattere collinare, medio montano e con pendenze dei versanti consistenti.

La Calabria è una Regione ricca di corsi d'acqua, dovuta principalmente alle copiose precipitazioni che riguardano il suo territorio oltre al clima ed alla natura del terreno prevalentemente di origine argillosa e sabbiosa che trattiene a lungo le acque meteoriche ivi ricadenti.

Nel territorio di intervento vi è una discreta presenza di corsi d'acqua ricadenti all'interno del reticolo idrografico oltre a numerosi altri fossi naturali creatisi nel tempo e

riportati nella Carta Tecnica Regionale della Regione Calabria nonché riportata all'interno della cartografia formato GIS della Regione Calabria.

È stata preliminarmente effettuata una sovrapposizione su interfaccia GIS fra le opere previste per la realizzazione del parco eolico in progetto ed il reticolo idrografico disponibile fra la cartografia ufficiale della Regione Calabria.

La sovrapposizione evidenzia come il Parco eolico in progetto e le sue opere connesse non intersecano in alcun punto il reticolo idrografico.

3 Analisi Idrologica

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.

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.

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.

3.1 Modello idrologico utilizzato - TCEV

Le curve di Possibilità Pluviometrica da utilizzare per lo studio idrologico dei bacini idrografici afferenti alle opere in progetto si rappresentano in funzione del tempo di ritorno T , che rappresenta il numero medio di anni che bisogna attendere affinché un certo valore (in questo caso di altezza di pioggia) possa essere superato almeno una volta.

Per il progetto è stato scelto un tempo di ritorno $T = 20$ anni.

L'analisi è completata con l'utilizzo del metodo TCEV (Two Component Estimation Value) che consente di poter interpretare la presenza di singolarità all'interno della serie dei valori osservati, giustificandoli come eventi particolarmente

estremi, dovuti a fenomeni fisici più rari (componente straordinaria), rispetto alla maggior parte dei massimi osservati (componente di base).

Il risultato è un modello a quattro parametri che per la sua estrema flessibilità si dimostra quello più adatto ad interpretare meglio le serie di valori estremi osservati.

La funzione di distribuzione di probabilità cumulata C.D.F. del massimo annuale per il modello TCEV assume la seguente espressione:

$$F_x(x) = \exp \left[-\lambda_1 \cdot \exp \left(-\frac{x}{\theta_1} \right) - \lambda_2 \cdot \exp \left(-\frac{x}{\theta_2} \right) \right]$$

I parametri λ_1 e λ_2 rappresentano il numero medio annuo di eventi superiori a due soglie (una per ogni componente), mentre θ_1 e θ_2 sono i valori medi degli eventi delle due componenti (è dimostrabile che la TCEV equivale al prodotto di due distribuzioni di Gumbel).

Analogamente una formulazione alternativa per esprimere la funzione di distribuzione cumulata è la seguente:

$$F_x(x) = \exp \left[-\lambda_1 \cdot \exp \left(-\frac{x}{\theta_1} \right) - \lambda_* \lambda_1^{1/\theta} \cdot \exp \left(-\frac{x}{\theta_* \theta_2} \right) \right]$$

dove:

$$\theta_* = \theta_2 / \theta_1$$
$$\lambda_* = \lambda_2 / \lambda_1^{1/\theta}$$

Al fine di determinare x_T occorre avere in definitiva una stima dei quattro parametri Λ_1 , Λ_2 , θ_1 e θ_2 o equivalentemente dei quattro parametri Λ_* , θ_* , Λ_1 e θ_1 .

Tali quattro parametri possono essere stimati con l'utilizzo del metodo dei momenti o col metodo della massima verosimiglianza.

Nella pratica, tuttavia raramente si dispone di una serie di osservazioni dei valori estremi di precipitazione così numerosa da consentire di stimare senza troppa incertezza tutti i quattro parametri della distribuzione TCEV, cosicché si adotta il metodo del valore indice.

Il metodo del valore indice si basa sull'assunto che qualunque variabile aleatoria può essere trasformata nel prodotto di un fattore di crescita per il valore indice (un valore particolare della variabile: di solito si utilizza la moda o la media della distribuzione).

Utilizzando come valore indice la media, la TCEV per il fattore di crescita k_T assume la seguente espressione:

$$F_x(k_T) = \exp \left[-\lambda_1 \cdot \exp(-\eta \cdot k_T) - \lambda_2 \lambda_1^{1/\theta_*} \cdot \exp \left(-\frac{\eta \cdot k_T}{\theta_*} \right) \right]$$

dove:

$$\eta = \frac{\mu_x}{\theta_1} = \ln \Lambda_1 + 0.57722 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*}{j!} \Gamma(j/\theta_*)$$

La procedura di stima dei parametri viene di solito condotta determinando dapprima Λ^* , θ^* e Λ_1 , e di conseguenza η , che risulta univocamente determinato; successivamente, si determina il valore indice.

Nella pratica si utilizzano delle tecniche di analisi regionale per diminuire le incertezze dovute alla bontà delle serie storiche disponibili; sono disponibili vaste aree all'interno delle quali è possibile assumere la costanza di alcuni parametri:

- 1° livello di regionalizzazione, i parametri Λ^* , θ^* vengono assunti costanti all'interno di vaste aree omogenee, generalmente si utilizza con almeno 40/50 anni di osservazione, vanno stimati puntualmente Λ_1 e θ_1
- 2° livello di regionalizzazione, in aggiunta ai parametri Λ^* , θ^* viene assunto costante anche il parametro di scala Λ_1 generalmente si utilizza con almeno 20/30 anni di osservazione, vanno stimati puntualmente X
- 3° livello di regionalizzazione, vengono assunti costanti tutti i 4 parametri, X viene ricavata con espressioni matematiche settate per fasce territoriali omogenee

L'analisi idrologica utilizzata all'interno del presente studio idrologico utilizzerà il sia il secondo che il terzo livello di regionalizzazione.

A questo livello è possibile ritenere costante il coefficiente di asimmetria campionario, ciò implica, per il legame che intercorre tra il coefficiente di asimmetria teorico ed i parametri θ^* e θ_* , che nelle zone omogenee questi due parametri risultino essere costanti.

La loro stima è stata effettuata utilizzando tutte le serie storiche disponibili nella zona in esame, riducendo in tal modo l'incertezza della stima; mentre la stima dei parametri Λ_1 viene ricavata dalla seguente tabella:

	Piogge giornaliere	Portate
1° LIVELLO		
θ_*	2.154	2.654
Λ_*	0.418	0.350
2° LIVELLO		
$\Lambda_{1\ TIRRENO}$	48.914	10.147
$\Lambda_{1\ CENTRO}$	22.878	5.519
$\Lambda_{1\ IONIO}$	10.987	3.047

In base ai valori riportati in tabella i valori dei fattori di crescita per alcuni tempi di ritorno per le diverse fasce territoriali sono di seguito riportate:

T (anni)	Piogge			Portate		
	Tirreno	Centro	Ionio	Tirreno	Centro	Ionio
5	1.22	1.26	1.31	1.31	1.37	1.46
10	1.45	1.52	1.63	1.67	1.81	2.01
20	1.69	1.81	1.97	2.09	2.32	2.64
50	2.04	2.21	2.46	2.71	3.07	3.57
100	2.31	2.54	2.84	3.21	3.67	4.31
200	2.59	2.87	3.24	3.7	4.27	5.06
500	2.97	3.31	3.77	4.36	5.07	6.05
1000	3.26	3.65	4.17	4.86	5.67	6.8

Le relazioni matematiche utilizzate nel terzo livello di regionalizzazione per la stima dei valori medi delle piogge giornaliere ed orarie sono le seguenti:

$$\text{piogge giornaliere} \quad \log \bar{X} = a y + b$$

$$\text{piogge orarie} \quad \bar{X}_t = c t^{(d + a y)/\log 24}$$

dove y è la quota della stazione rispetto al livello del mare.

I parametri da impiegare per le diverse aree omogenee sono riportate nella tabella seguente:

3° LIVELLO - Piogge giornaliere ed orarie				
Area omogenea	a	b	c	d
T1	0.00014	1.907	27.79	0.521
T2	0.00021	1.683	23.75	0.365
T3	0.00022	1.769	26.61	0.402
T4	0.00028	1.736	16.73	0.367
C1	0.00049	1.690	21.73	0.411
C2	0.00021	1.683	23.75	0.365

C3	0.00016	1.951	31.02	0.517
C4	0.00032	1.840	33.22	0.377
C5	0.00036	1.815	34.99	0.329
I1	0.00026	1.778	24.37	0.449
I2	0.00025	1.922	30.97	0.489
I3	0.00043	1.953	39.58	0.414
I4	0.00027	1.817	34.13	0.342

4 Verifiche idrauliche

4.1 Determinazione delle massime portate al colmo di piena

La determinazione delle massime portate al colmo di piena è stata eseguita con il metodo della corrivazione, applicando la formula razionale:

$$Q_p = \frac{\varphi \cdot i \cdot A}{3600}$$

dove:

Q_p è la portata in mc/s

φ è il coefficiente di afflusso medio del bacino

A è l'area del bacino in mq

i è l'intensità media della pioggia con durata pari al tempo di corrivazione T_c del bacino in mm/h

Il valore del coefficiente di afflusso φ è fortemente variabile in funzione del tipo di suolo del bacino e del suo rivestimento. Trattandosi di un suolo prevalentemente argilloso, è stato imposto un coefficiente pari a 0,8, scelta cautelativa, tipica di un terreno poco permeabile, che amplifica i valori di portata di progetto conferendo ampi margini di sicurezza al funzionamento idraulico delle opere progettate.

Secondo questo metodo il bacino imbrifero è visto come un dispositivo atto a trasformare gli afflussi (input) in deflussi (output) con modalità dipendenti da ipotesi di linearità e stazionarietà: la portata transitante attraverso la sezione terminale considerata è calcolata come somma dei contributi delle aree elementari gravanti a monte della sezione stessa.

È possibile quindi individuare per ciascun punto del bacino idrografico un tempo di corrivazione inteso come l'intervallo temporale necessario ad una goccia

d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura, attraverso il proprio scorrimento superficiale.

Il tempo maggiore rappresenta il tempo di corrivazione del bacino ovvero il tempo che una goccia d'acqua impiega per raggiungere la sezione di chiusura partendo dal punto idraulicamente più lontano.

Il calcolo dei tempi di corrivazione viene effettuato utilizzando tre diverse espressioni ovvero:

Formula di Pezzoli

$$t_c = \frac{0.055 L}{\sqrt{i}}$$

Dove:

- t_c = tempo di corrivazione (h)
- L = lunghezza dell'asta principale (km)
- i = pendenza media dell'asta principale (-)

Formula di Puglisi

$$t_c = 6L^{2/3}(h_{\max} - h_{\min})^{-1/3}$$

dove:

- t_c = tempo di corrivazione (h)
- h_{\max} =quota massima del bacino
- h_{\min} = quota della sezione di chiusura (m s.l.m.)
- L =lunghezza dell'asta principale (km)

Formula di Viparelli

$$t_c = \frac{L}{S}$$

dove:

- t_c = tempo di corrivazione (h)
- L =lunghezza dell'asta principale (km)
- S = area del bacino (km²)

Per ciascuno bacino idrografico vengono ricavati i risultati delle tre espressioni e la loro media viene assunta come tempo di corrivazione.

Assumendo la durata dell'evento piovoso uguale al tempo di corrivazione (situazione più critica) è possibile calcolare l'altezza di pioggia con durata T_c utilizzando l'espressione della curva di probabilità pluviometrica:

$$h_T = a \cdot t^n$$

dove T è il tempo di ritorno (assunto pari a 20 anni), a ed n sono i due coefficienti ricavati dalla curva di probabilità pluviometrica, t è la durata della pioggia espressa in ore.

L'espressione della curva di possibilità pluviometrica, già ricavata all'interno del precedente paragrafo, è:

$$H_{20} = 55,57 \cdot t^{0,255}$$

Tale curva è valida per gli eventi di durata superiori ad una ora, in caso di eventi di pioggia con durata inferiore ad un'ora tende a sovrastimare le altezze di pioggia ricavate.

Per ovviare a tale scostamento verrà utilizzata per i bacini con tempo di precipitazione inferiori ad una ora la formula di Bell (1969):

$$\frac{h_{d,T}}{h_{60,T}} = 0.54 * d^{0.25} - 0.50$$

Dove d è la durata dell'evento espressa in minuti, T è il tempo di ritorno ed $H_{60,T}$ è l'altezza di pioggia per un evento di pioggia di durata 60 min e tempo di ritorno T , pertanto a seguito delle correzioni da apportare con la formula di Bell, ove necessario, è possibile calcolare l'intensità di pioggia i con un semplice rapporto fra h_t e t_c :

$$i = \frac{h_T}{t_c}$$

Si riportano le caratteristiche morfologiche ed idrologiche dei sottobacini rappresentati nelle tavole PET-ID-02-01/02/03/04/05_Corografia dei bacini

4.2 Interventi in fase di lavorazione

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 piuttosto impervia con importanti pendii, rapidi cambi di pendenza e numerosi impluvi e displuvi.

Tale assetto territoriale rende necessario un dettagliato studio sul funzionamento idraulico delle aree di intervento durante gli eventi piovosi più intensi. 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.

4.3 Idraulica - Regimentazione delle acque meteoriche del bacino

Il Progetto Definitivo per le opere idrauliche relative al Parco eolico in progetto prevede la realizzazione della rete di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche che ricadono nei sottobacini delle opere in progetto e delle portate che possono danneggiare le opere una volta realizzate.

In virtù delle necessarie opere in progetto per la realizzazione della viabilità di servizio e delle piazzole per il montaggio degli aerogeneratori sono state individuati riprofilature si è suddivisa l'area della discarica in 2 differenti sottobacini idraulici le cui delimitazioni sono rappresentate da differenti tipologie di disconnessioni idrauliche:

- fosso di guardia in terra
- fossi di guardia stradali laterali
- displuvi naturali
- impluvi naturali

Tali sottobacini presentano la pendenza necessaria per scaricare le acque all'interno della rete di raccolta dei canali in progetto che a loro volta sversano direttamente nei fossi naturali esistenti.

Nei sottobacini individuati si tiene conto anche della naturale pendenza trasversale dovuta alla morfologia del suolo, al fine di minimizzare la quantità di opere idrauliche da realizzare e per ridurre il più possibile l'interferenza con lo stato di fatto dei luoghi.

4.4 Fossi di guardia

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-Strikler:

$$V = K_s \cdot J^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

Dove K_s è il coefficiente di Strickler che tiene conto della scabrezza, J è la cadente del canale (coincidente alla pendenza longitudinale del fondo dell'alveo), ed R è il raggio idraulico ovvero il rapporto fra Area della sezione bagnata e il Perimetro della sezione bagnata.

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.

Il coefficiente di scabrezza K_s è un valore variabile nel tempo, influenzato dalle reali condizioni di conservazione ed usura della superficie delle due differenti tipologie, valore che col tempo non corrisponderà più a quello iniziale: per tale motivo è sufficientemente cautelativo porre tale coefficiente pari a $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per le sezioni in terra e per quelle in terre rivestite in geocomposito.

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.

4.5 Tombini

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 29 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 R_{ck} per resistere ai carichi stradali ivi gravanti. La verifica

idraulica dei tombini avviene mediante l'utilizzo della formula di Gaukler-Strickler, in ipotesi di moto uniforme:

$$V = K_s \cdot J^{\frac{1}{3}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

Dove K_s è il coefficiente di Strickler che tiene conto della scabrezza, J è la cadente del canale (coincidente alla pendenza longitudinale del fondo dell'alveo), ed R è il raggio idraulico ovvero il rapporto fra Area della sezione bagnata e il Perimetro della sezione bagnata. 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.