






new energy Eni New Energy SpA

PROGETTO ITALIA IMPIANTO EOLICO PORTO TORRES

PORTO TORRES (SS)
Eolico – Porto Torres – Area industriale Syndial


RELAZIONE IDROLOGICO IDRAULICA



CS-FS	01	19/12/2019	Emissione Finale	M. Di Prinzio	E.Pallavicini	M. Parenti	N. Abdel Karim	A.Milanese
CS-FS	00	29/11/2019	Emissione per Commenti	M. Di Prinzio	E.Pallavicini	M. Parenti	N. Abdel Karim	A.Milanese
Stato di Validità	Numero Revisione	Data	Descrizione	Proger Preparato	Proger Verificato	EniProgetti Controllato	EniProgetti Approvato	Eni New Energy Approvato
Indice Revisione								
Logo Committente e Denominazione Commerciale  new energy Eni New Energy SpA				Nome progetto PROGETTO ITALIA IMPIANTO EOLICO PORTO TORRES		ID Documento Committente SY2400FARU00164 Commessa N.		
Logo Appaltatore e Denominazione Commerciale  progetti EniProgetti SpA						ID Documento Appaltatore --		
Nome d'Impianto e Oggetto PORTO TORRES (SS) Eolico - Porto Torres - Area industriale Syndial						Scala n.a.	Numero di Pagine 1 /15	
Titolo Documento Relazione Idrologico Idraulica								


Software: Microsoft Word

File name:SY2400FARU00164_CSFS01_15

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 2 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	3
2	CARATTERISTICHE TOPOGRAFICHE DEL SITO	4
3	CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	4
4	CONSIDERAZIONI IDRAULICHE	8
4.1	PIAZZOLE DI MONTAGGIO	8
4.2	FOSSI DI GUARDIA NEI TRATTI IN TRINCEA	11
4.2.1	Determinazione delle massime portate al colmo di piena	11
4.2.2	Dimensionamento idraulico dei fossi di guardia	13
5	CONCLUSIONI	15

 new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 3 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

1 INTRODUZIONE

Lo scopo del presente documento è quello di fornire delle indicazioni preliminari per la messa in sicurezza idraulica rispetto all'afflusso delle acque meteoriche per l'impianto eolico in progetto, di potenza nominale pari a circa 34 MWp che Eni New Energy S.p.A. intende realizzare all'interno del perimetro dello stabilimento industriale di Porto Torres (SS), nelle aree di pertinenza di Eni Rewind S.p.A.. L'area oggetto di intervento, avente una superficie complessiva di circa 215 ha, è situata all'interno della porzione di aree di stabilimento attualmente destinate a petrolchimica, impianti di bonifica, servizi, verde consortile e nuovi lotti per industria di varia natura.

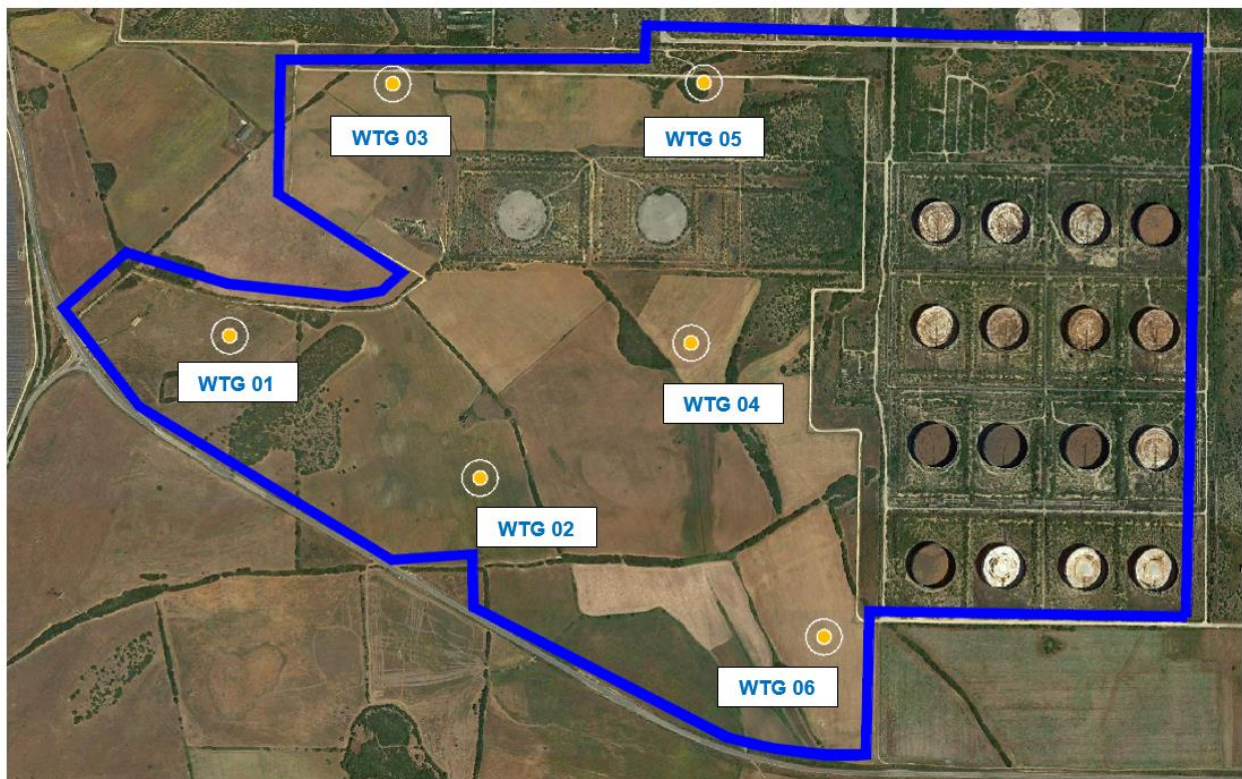


Figura 1-1: Inquadramento su ortofoto dell'area di progetto

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 4 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

2 CARATTERISTICHE TOPOGRAFICHE DEL SITO

Il sito in oggetto ricade in corrispondenza di un'area sub pianeggiante e si trova ad una quota compresa circa fra i 19 m e i 38 m s.l.m., con una pendenza degradante in direzione nord, verso la linea di costa con una pendenza di circa 8° (cfr. Rilievo topografico planoaltimetrico – Planimetria SDF – Doc.n.SY2400FADG005151).

3 CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Le valutazioni idrauliche di cui ai capitoli seguenti sono state effettuate a partire dalla definizione delle curve di possibilità pluviometrica, le quali mettono in relazione l'altezza di pioggia caduta in una determinata area con la durata dell'evento di pioggia e con il suo tempo di ritorno T, definito come il numero di anni che bisogna mediamente attendere prima del verificarsi di un evento di pioggia di pari intensità.

Per la definizione delle precipitazioni si è fatto riferimento ai risultati dell'analisi regionale sulle precipitazioni breve e intense riportate nel progetto "VAPI Sardegna". In particolare i dati presi a riferimento nel presente studio sono stati estratti dal documento *"STUDI, INDAGINI, ELABORAZIONI ATTINENTI ALL'INGEGNERIA INTEGRATA, NECESSARI ALLA REDAZIONE DELLO STUDIO DENOMINATO PROGETTO DI PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF) – Metodologie di analisi"* della Regione Autonoma della Sardegna. Elaborato 1.1.

La procedura individuata definisce innanzitutto la sottozona omogenea SZO della Regione Sardegna di appartenenza del bacino in esame, secondo la divisione riportata in figura seguente (Figura 3-1).

L'area in esame ricade in **ZONA OMOGENEA 2 SZO**.

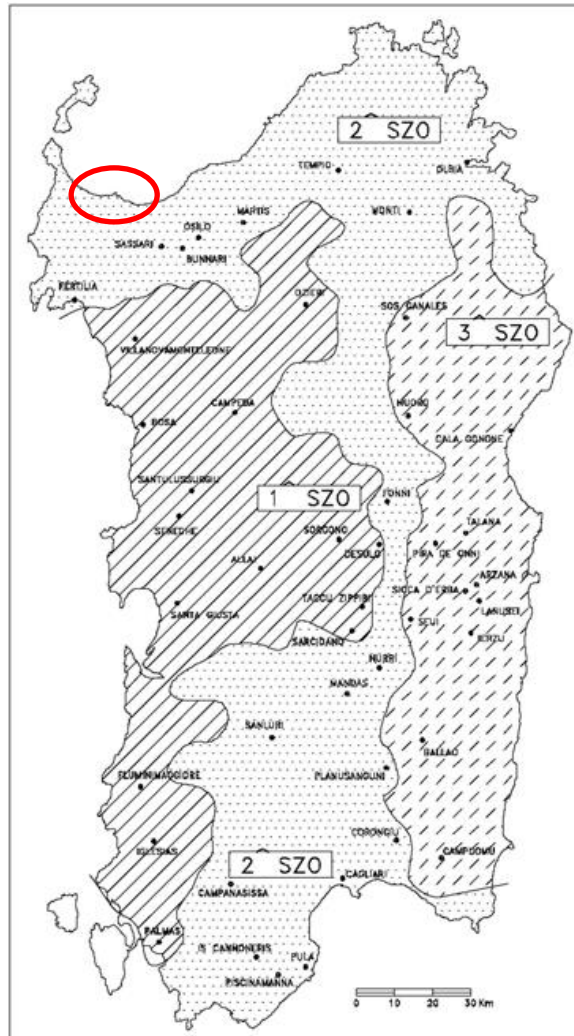


Figura 3-1: Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna.

La pioggia indice $\mu(\tau)$ di durata t (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata τ) può essere espressa in forma monomia:

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{n_1}$$


dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g ¹,

$$a_1 = \mu_g / (0.886 * 24^{n_1})$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log \mu_g$$

La pioggia indice giornaliera μ_g viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in Figura 3-2.

¹ Deidda, Piga, Sechi, 1998, *Analisi regionale di frequenza delle precipitazioni intense in Sardegna*.

 new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 6 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

L'area in esame si trova compresa tra le isoiete 45 mm e 50 mm, per lo studio si considera una **pioggia indice giornaliera pari a 47 mm**.

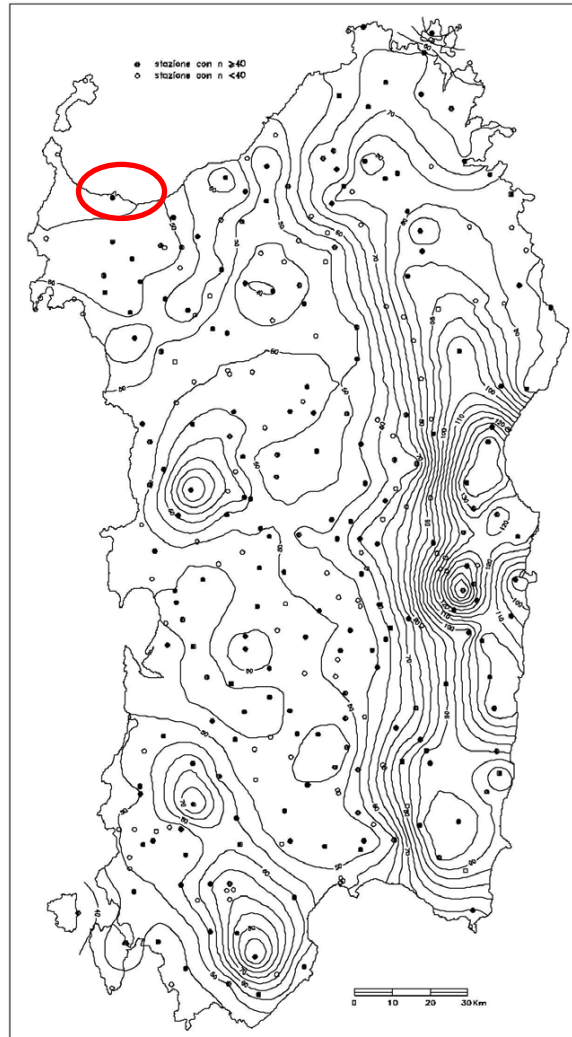


Figura 3-2: Carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera μ_g (espressa in mm).

L'altezza di pioggia $h_T(\tau)$ di durata generica τ con assegnato tempo di ritorno T in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice $\mu(\tau)$ per un coefficiente di crescita $K_T(\tau) = a_2 T^{n_2}$:

$$h_T(\tau) = \mu(\tau)K_T(\tau) = (a_1 a_2)^{(n_1 + n_2)}$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona, per differenti T e τ :

per tempi di ritorno $T > 10$ ANNI

SZO 2

$$a_2 = 0,44182 + 1,0817 \text{Log}_{10} T$$

$$n_2 = -0,18676 + 0,24310 \text{Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 \text{ (per } \tau \leq 1 \text{ ora)}$$

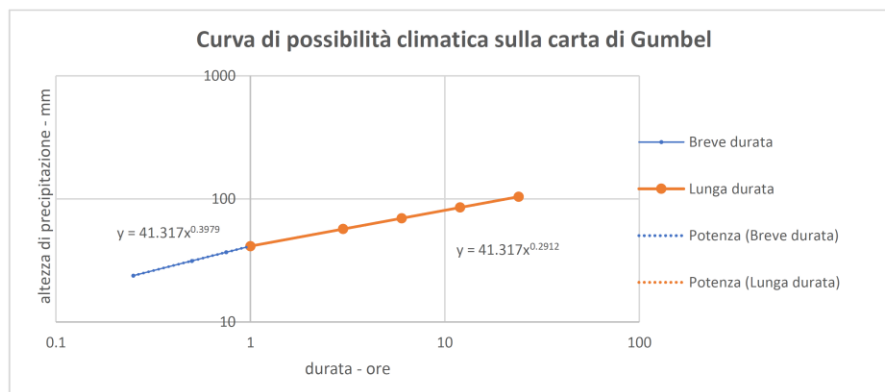
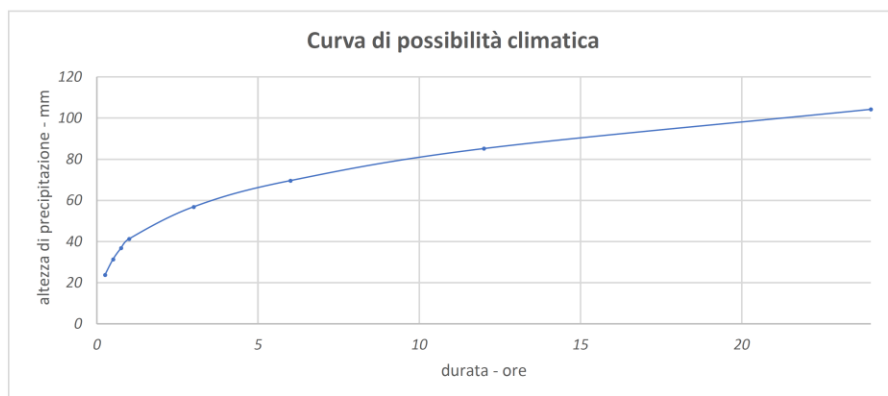
$$n_2 = -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}_{10} T \text{ (per } \tau \geq 1 \text{ ora)}$$

	durata	breve durata				lunga durata			
		min	30	45	60	180	360	720	1440
	ore	0.25	0.5	0.75	1	3	6	12	24
T>10 anni	30	anni							
pioggia indice		13.3	16.4	18.6	20.3	28.3	34.9	43.0	53.0
KT		1.8	1.9	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
altezza di pioggia - hT(durata)		23.8	31.4	36.8	41.3	56.9	69.6	85.2	104.2

pioggia indice giornaliera


47 mm

2 SZO	T>10 anni	
a1	20.257	
n1	0.303	
a2	2.040	
n2	0.095	durata <1h
n2	-0.012	durata >1h



coeff della retta calcolata	d < 1 h	d > 1 h
a	41.317	41.317
n	0.3979	0.2912

Figura 3-3: Report dei calcoli idrologici effettuati con tempo di ritorno 30 anni.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 8 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

4 CONSIDERAZIONI IDRAULICHE

Il progetto prevede la regimazione delle acque meteoriche provenienti dalle piazzole di montaggio, attuando degli interventi diversificati in base all'assetto topografico specifico, ovvero se le opere si trovano in rilevato oppure in trincea; allo stesso modo è concepito il sistema di regimazione delle acque provenienti dalle strade.

L'apporto meteorico sulle superfici delle piazzole verrà smaltito per infiltrazione superficiale data l'alta permeabilità della finitura superficiale. Sebbene quindi non sia necessario dare una pendenza alla finitura delle piazzole (pendenza massima tollerata inferiore all'1%) nell'area di pavimentazione in corrispondenza della fondazione dell'aerogeneratore si prevede comunque una pendenza pari all'1% per agevolare la corrivazione superficiale e diminuire l'infiltrazione.

Per le strade si prevede una superficie inclinata trasversalmente con pendenza pari al 2%. Per i tratti in rettilineo la configurazione sarà tipicamente "a schiena d'asino" con una doppia pendenza laterale, mentre per i tratti in curva tutta la carreggiata avrà un'unica pendenza discendente verso il margine interno.

Per proteggere le superfici al piede di trincee si prevede la realizzazione di un fosso di guardia per convogliare l'acqua verso aree limitrofe interne all'impianto e favorirne l'infiltrazione.

4.1 Piazzole di montaggio

A partire dalla stima delle altezze di pioggia per il tempo di ritorno considerato, si passa alla determinazione dei volumi di pioggia interessati dall'area di progetto, per poterle confrontare con i volumi di acqua potenzialmente infiltrabili nel suolo.

Il volume di pioggia in ingresso nel sistema è pari a:

$$V\text{-ingresso} = h * A / 1000$$

dove:

- h = altezza di pioggia, in mm;
- A = estensione del bacino sotteso, in m².

Il volume di pioggia infiltrato nel terreno è pari a:

$$V\text{-uscita} = k * A * 60 * t$$

dove:

- k = permeabilità media del terreno, limi sabbiosi argillosi, sabbie limo argillose e argille con limi sabbiose, ordine di 10⁻⁶ m/s;
- A = estensione del bacino sotteso, in m²;
- t = tempo, in min;

Il valore di permeabilità utilizzato nel calcolo, k, è stato ottenuto sulla base dei dati derivati dalla "Carta della Permeabilità dei substrati della Sardegna" (Figura 4-1) e dai valori bibliografici di permeabilità dei terreni (Figura 4-2).

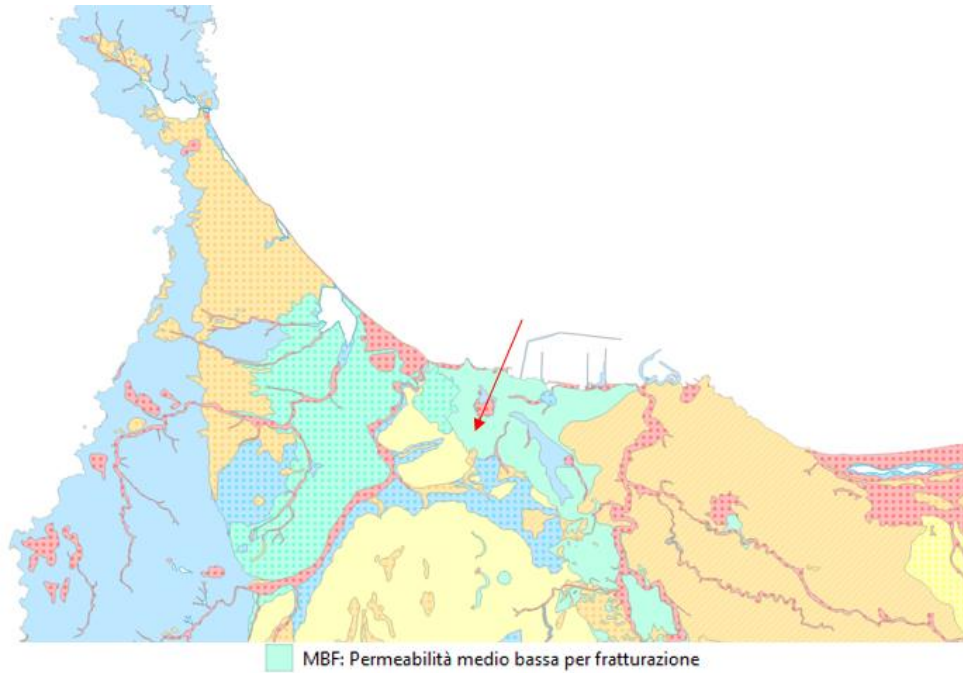


Figura 4-1: "Carta della Permeabilità dei substrati della Sardegna", 2019.

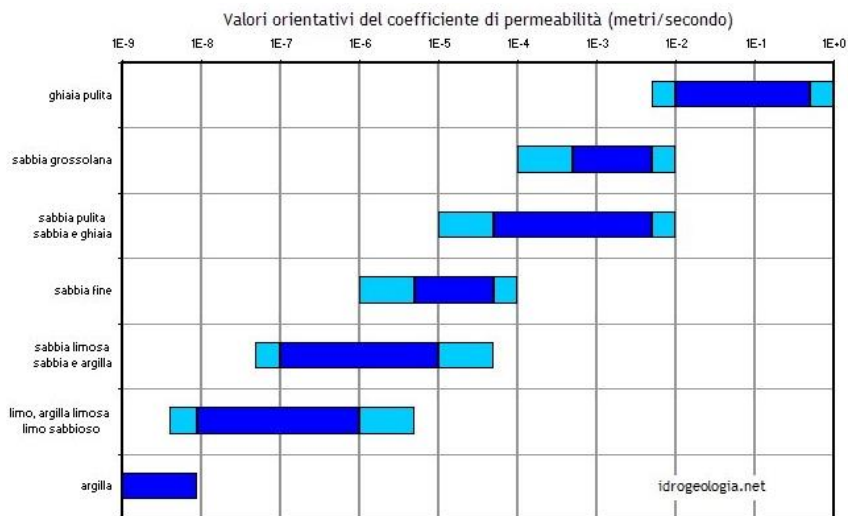


Figura 4-2: Valori orientativi di permeabilità dei terreni. (fonte: idrogeologia.net).

Tenendo conto che l'estensione di ciascuna piazzola di montaggio è all'incirca di 7.000 m², è possibile simulare l'andamento dei volumi in ingresso (pioggia) e in uscita (infiltrazione) in funzione del tempo per ciascuna delle sei aree di nuova realizzazione. Tale andamento è raffigurato nel Grafico 1.

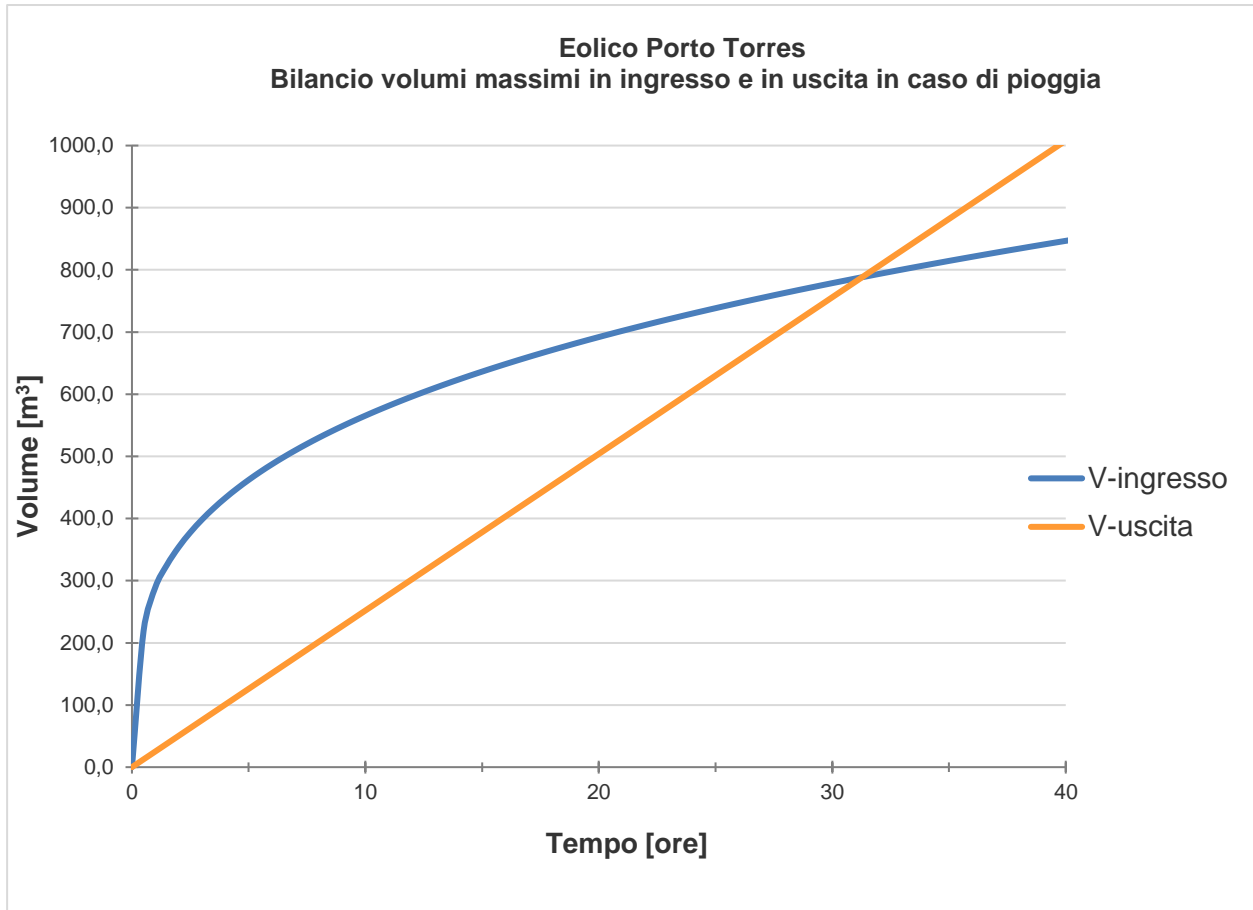


Grafico 1: Bilancio dei volumi di acqua per l'impianto eolico Porto Torres

Come è possibile evincere dal grafico, si verifica un accumulo di acqua nell'impianto per le prime 31,5 ore di pioggia. Successivamente tutta l'acqua si infila nel terreno senza generare ulteriori fenomeni di pozzangheramento.

Le altezze massime d'acqua, in mm, che si accumulano nell'impianto si possono calcolare con la seguente relazione:

$$H_{max} = (V\text{-ingresso} - V\text{-uscita}) / (A * 1000)$$

L'andamento delle altezze di pioggia accumulate in funzione del tempo è raffigurato nel *Grafico 2*.



Grafico 2: Altezze di pioggia cumulate per l'impianto eolico Porto Torres

Come è possibile evincere dal *Grafico 2*, il massimo accumulo di acqua è pari a circa 48 mm.

4.2 Fossi di guardia nei tratti in trincea


In corrispondenza dei tratti di viabilità e delle piazzole di manovre poste in assetto topografico di trincea, il progetto prevede la realizzazione di una rete di fossi di guardia in terra che hanno la funzione di raccogliere e lasciar infiltrare le acque provenienti dalle scarpate di trincea e dall'area di scolo a monte delle stesse, oltre che proteggere le opere in progetto.

4.2.1 Determinazione delle massime portate al colmo di piena

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

$$Q_{max} = \frac{\varphi i A}{360}$$

dove Q_{max} è la portata di picco (m^3/s);
 φ è il coefficiente di afflusso medio del bacino (-);
 A è l'area del bacino (ha);

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 12 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

i è l'intensità media della pioggia con durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino (mm/h).

Il valore del coefficiente di afflusso è fortemente variabile in funzione del tipo di suolo del bacino e del suo rivestimento. Trattandosi di un suolo costituito da un alternanza di limi sabbiosi argillosi, sabbie limo argillose e argille (cfr. Relazione geologica, TECNOIN), e riferendosi ai dati riportati nella Tabella 4-1, è stato imposto un coefficiente pari a 0,8 per le aree di scarpata, quelle che subiscono un rimaneggiamento, scelta cautelativa, tipica di un terreno poco permeabile, che amplifica i valori di portata di progetto; mentre si considera un valore di 0,22 per le aree verdi, naturali

Applicando la seguente formulazione di Larcán, Mignosa e Paoletti, 1987, si è ottenuto un valore medio del coefficiente di afflusso pari a 0,28.

$$\varphi = \varphi_{perm}(1 - I_m) + I_m$$

Dove φ_{perm} è stato stabilito sulla base della Tabella 4-1, mentre I_m rappresenta l'aliquota delle aree impermeabili, nel presente caso le aree di scarpata essendo rimaneggiate sono state assimilate ad aree con permeabilità nulla.

Tabella 4-1: Contributi al deflusso delle aree permeabili e impermeabili, [Manuale di Progettazione, Centro studi deflussi urbani]

T [anni]	φ_{perm}	φ_{imp}
< 2 anni	0,00 ÷ 0,15	0,60 ÷ 0,75
2 ÷ 10 anni	0,10 ÷ 0,25	0,65 ÷ 0,80
> 10 anni	0,15 ÷ 0,30	0,70 ÷ 0,90

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.

Tale metodo non considera quindi la capacità d'invaso della rete ma solo la sua capacità di trasferimento, pertanto viene considerato un tempo di accesso alla rete di drenaggio pari a 3 minuti.

Considerando la limitata estensione dei tratti analizzati, si ipotizza un tempo di corrivazione pari a circa 15 minuti (lunghezza del tratto massimo di percorrenza della precipitazione circa 440 m e velocità ipotizzata 0,5 m/s) che sommati al tempo di accesso alla rete porta ad un tempo totale di accesso pari a 18 minuti.

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:

$$h_{max,T} = a t^n$$

dove T è il tempo di ritorno (assunto pari a 30 anni), a ed n sono i due coefficienti ricavati dalla curva di probabilità pluviometrica, t è la durata della pioggia espressa in ore.

Infine è possibile calcolare l'intensità di pioggia i con un semplice rapporto fra $h_{max,T}$ e t_c :

$$i = \frac{h_{max,T}}{t_c}$$

La portata di picco è stata calcolata per il caso più critico dell'intera area di studio, ovvero quello individuato in corrispondenza del bacino di scolo afferente all'aerogeneratore WTG02 (Figura 4-3).

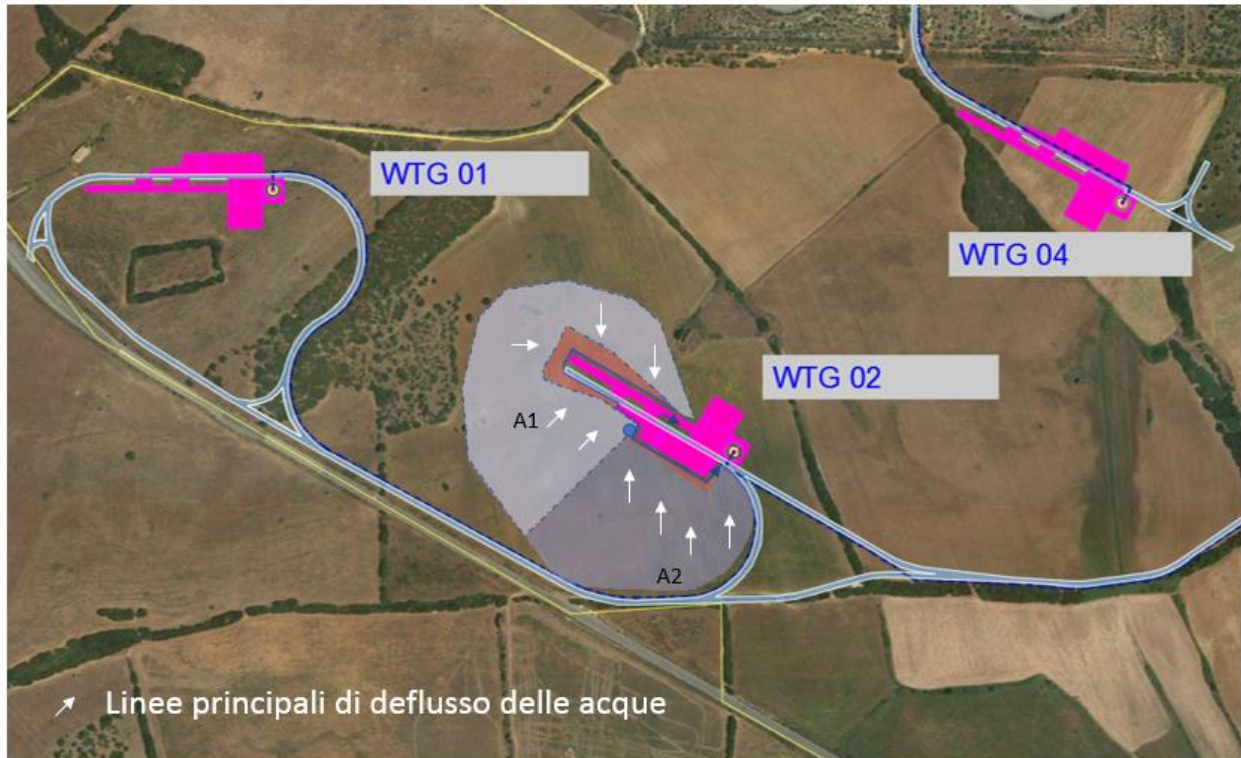


Figura 4-3: Bacino naturale di scolo in corrispondenza della piazzola WTG02.

Dai calcoli effettuati applicando il metodo razionale è risultata una portata di picco pari a circa 385 l/s. L'area considerata come bacino scolante è di 6,59 ha di cui 6,16 ha sono le aree verdi e 0,43 sono le superfici di scarpata. Si considera che la portata prodotta dagli afflussi meteorici ricadenti sul bacino di scolo considerato venga ripartito in due flussi principali provenienti rispettivamente dalle due aree individuate in Figura 4-3, A1 e A2 e confluenti nei due rami (orario e anti-orario).

Tabella 4-2: Risultati dei calcoli

Metodo razionale				
tc	0,3	h	18	min
phi	0,28	-		
i	76	mm/h		
A _{tot}	0,0659	km ²	6,59	ha
Portata totale	0,385	m³/s	385	l/s
Portata di verifica per il fosso di guardia	0,193	m³/s	193	l/s


4.2.2 Dimensionamento idraulico dei fossi di guardia

Le caratteristiche dimensionali dei fossi di guardia sono riportate nel prospetto in Tabella 4-3.

Una volta determinata la portata massima generata dall'area di drenaggio di estensione maggiore, e recapitata nei fossi di guardia, si è valutato il livello massimo di riempimento del fosso mediante l'applicazione della nota formula di Bazin:

$$Q = A v = A X \sqrt{Ri}$$

Questo documento è proprietà di Eni S.p.A.
Se ne vieta la diffusione e l'utilizzo per scopi diversi da quelli per i quali è stato inviato.

 eni new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 14 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

dove A è l'area (m^2);

v è la velocità (m/s);

X è il coefficiente di resistenza dimensionale in funzione del γ di Bazin ($m^{-1/2}/s$);

R è il raggio idraulico (m);

i è la perdita di carico o gradiente idraulico o pendenza motrice

Tabella 4-3: Quadro riassuntivo delle caratteristiche dimensionali dei fossi di guardia

Fosso di guardia delle piazzole in trincea	
Larghezza base minore b	0,8 m
Larghezza base maggiore B	variabile, min 1,6 m
Profondità del fosso p	Variabile (pendenza min 0,005%)
Altezza del tirante idrico h	Variabile
Pendenza sponde s = a / p	1
Fosso di guardia delle strade in trincea	
Larghezza base minore b	0,3 m
Larghezza base maggiore B	variabile, min 0,9 m
Profondità del fosso p	Variabile con l'andamento della strada (pendenza min 0,005%)
Altezza del tirante idrico h	Variabile
Pendenza sponde s = a / p	1

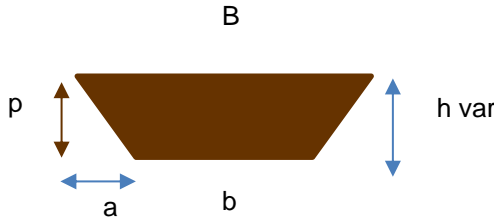


Tabella 4-4: Coefficienti di scabrezza di Bazin

Tipologia	Coeff. di scabrezza di Bazin, γ
Pareti cemento liscio, curve ampie, acqua limpida	0,06
Pareti cemento liscio, curve strette, acqua non limpida	0,10
Pareti cemento non liscio, curve strette, acqua non limpida	0,16
Tubi cemento liscio, curve ampie, acqua limpida	0,18
Tubi cemento liscio, curve strette, acqua non limpida	0,23
Canali in cemento grezzo, in muratura accurata	0,36
Canali in muratura di pietrame	0,46
Grandi canali in cemento grezzo	0,58
Grandi Canali in terra; pareti muratura deteriorata	0,85
Canali in terra; pareti muratura con lime	1,00
Canali in terra con lime	1,30
Canali in terra in cattive condizioni	1,75
Alvei naturali; canali in abbandono	2,30

 new energy Eni New Energy SpA	ID Documento Committente SY2400FARU00164	Pagina 15 / 15	
		Stato di Validità	Numero Revisione
		CS-FS	01

Tabella 4-5: Risultati delle verifiche idrauliche sui fossi di guardia in terra

	Caso fosso di guardia piazzola	Caso fosso di guardia strade
Altezza al 75% di riempim. (h) – (m)	1,1	0,225
$a = s \cdot h - (m)$	0,55	0,113
Base maggiore $DC = L + 2a$, (m)	1,9	0,525
Lato inclinato $AC = BD = (a^2 + h^2)^{0.5}$, (m)	1,230	0,252
Area= $(L + DC) / 2 \cdot h$, (m ²)	1,485	0,093
Cont. Bagn.= $L + 2 \cdot AC$, (m)	3,260	0,803
$R = A / C$, (m)	0,456	0,116
Coefficiente di scabrezza ($X = 87 / (1 + g / R^{0.5})$)	35,058	22,072
Velocità ($V = X \cdot (R \cdot i)^{0.5}$), (m/s) <i>con ipotesi di pendenza min pari a $i = 0.005\%$</i>	0,167	0,053
Portata al 75% di riempim. ($Q = A \cdot V$), (m ³ /s)	0,25	0,005
Portata al 75% di riempim. ($Q = A \cdot V$), (l/s)	250	4,9
Volume per ml, (m ³ /m)	202	0,093
Superficie drenante, (m ²)	119,68	0,07
grado di riempimento (h/p) %	0,75	0,75

Confrontando la massima portata che può fluire nel fosso di guardia con un livello di riempimento pari al 75%, che risulta essere pari a 0,25 m³/s con la portata massima prevedibile pari a 0,193 m³/s, la verifica idraulica risulta soddisfatta.

5 CONCLUSIONI

In considerazione della topografia delle aree di impianto e del fatto che le fondazioni in progetto non comportano alterazioni sostanziali al deflusso naturale delle acque meteoriche, si ritiene che non sia necessario prevedere opere specifiche di regimazione delle acque meteoriche, inoltre non si prevede di realizzare delle nuove superfici impermeabili.

L'apporto meteorico sulle superfici delle piazzole verrà smaltito per infiltrazione superficiale data l'alta permeabilità della finitura superficiale. Sebbene quindi non sia necessario dare una pendenza alla finitura delle piazzole (pendenza massima tollerata inferiore all'1%) nell'area di pavimentazione in corrispondenza della fondazione dell'aerogeneratore si prevede comunque una pendenza pari all'1% per agevolare la corvazione superficiale e diminuire l'infiltrazione.

Per le strade si prevede una superficie inclinata trasversalmente con pendenza pari al 2%. Per i tratti in rettilineo la configurazione sarà tipicamente "a schiena d'asino" con una doppia pendenza laterale, mentre per i tratti in curva tutta la carreggiata avrà un'unica pendenza discendente verso il margine interno.

Per proteggere le superfici al piede delle trincee, si prevede la realizzazione di un fosso di guardia che convogli l'acqua in aree limitrofe ed interne all'impianto, favorendo l'infiltrazione.

Si prevede di mantenere a verde tutte le aree non interessate da opere civili, permettendo di non alterare l'idrologia generale dell'area.