



REGIONE SICILIA

REGIONE SICILIA
PROVINCIA DI TRAPANI
COMUNE DI TRAPANI



AUTORIZZAZIONE
UNICA ex d.lgs. 387/03

Progetto definitivo per la realizzazione del parco
eolico "GUARINE FARDELLA" e relative opere
connesse nel comune di TRAPANI (Tp)

Titolo elaborato

**RS06REL0004A0-Relazione
idrologica**

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0429	B	R06	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Febbraio 2022	Prima emissione	MNA	GMA	GDS

Proponente

Wind Guarine Fardella srl
via Durini, 9
20122 Milano (Mi)

Progettazione

 **F4 Ingegneria srl**
Via Di Giura - Centro direzionale, 85100 Potenza
Tel: +39 0971 1944797 - Fax: +39 0971 55452
www.f4ingegneria.it - f4ingegneria@pec.it

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni DI SANTO)



 Società certificata secondo la norma UNI-EN ISO 9001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).





Sommario

1 Premessa	2
2 Interventi in progetto	4
3 Analisi idrologica	5
3.1 Bacini idrografici	5
3.2 Tempi di corrivazione	6
3.3 Portate al colmo di piena	7
4 Analisi idraulica	10
4.1 Geometria del modello idrodinamico	10
4.2 Portate di piena	11
4.3 Condizioni al contorno	11
4.4 Parametri di scabrezza	11
4.5 Risultati del modello idrodinamico	11
5 Analisi idraulica semplificata	15
6 Conclusioni	18





1 Premessa

La presente relazione idrologica accompagna il progetto di realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Guarine Fardella”, da realizzarsi nel territorio comunale di Trapani, da parte della società **Wind Guarine Fardella srl**, con sede legale in Via Durini 9, Milano, in qualità di proponente. La società proponente appartiene al gruppo **GR Value Development (Green Resources Value) Srl** che rappresenta una giovane e dinamica realtà focalizzata nell’aggregazione di impianti fotovoltaici di piccole/medie dimensioni in esercizio, con l’obiettivo di migliorare i rapporti di performance e di sviluppare opportunità di investimento nel settore delle energie rinnovabili, principalmente eolico e fotovoltaico. GR Value copre, con un team altamente qualificato, tutta la catena del valore nelle rinnovabili, dallo sviluppo alla costruzione, fino alla completa gestione patrimoniale (incluso O&M e Energy Trading).

Il parco in oggetto sarà costituito da 7 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6 MW, per una potenza complessiva di 42 MW.

L’area individuata per la realizzazione del suddetto impianto ricade nel territorio di Trapani.

Per le finalità di questa analisi, infatti, appare opportuno ricordare che il sito di interesse è caratterizzato da alcuni rami del reticolo idrografico.

Dal punto di vista amministrativo, pertanto, il presente intervento ricade all'interno dell'area di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Sicilia.

Dato che, in questo caso, una porzione del cavidotto intercetta il reticolo idrografico, si è proceduto nella presente all’analisi dei regimi di deflusso dei corsi d’acqua, determinando la profondità di escavazione per la posa del suddetto.

Nella figura seguente è mostrata la planimetria della posizione dell'area di interesse con l'indicazione del reticolo idrografico desunto dalla cartografia IGM in scala 1:25'000 e dal WMS dei reticoli idrografici reperibile dal Geoportale Nazionale.

Le analisi idrologiche, illustrate in dettaglio nel seguito, sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia (come previsto all'interno del citato PAI) al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Nel caso di specie, inoltre, è stata effettuata una analisi idraulica semplificata basata su una verifica di erosione che ha determinato la profondità massima di escavazione della corrente in piena mediante l’utilizzo del modello HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*.



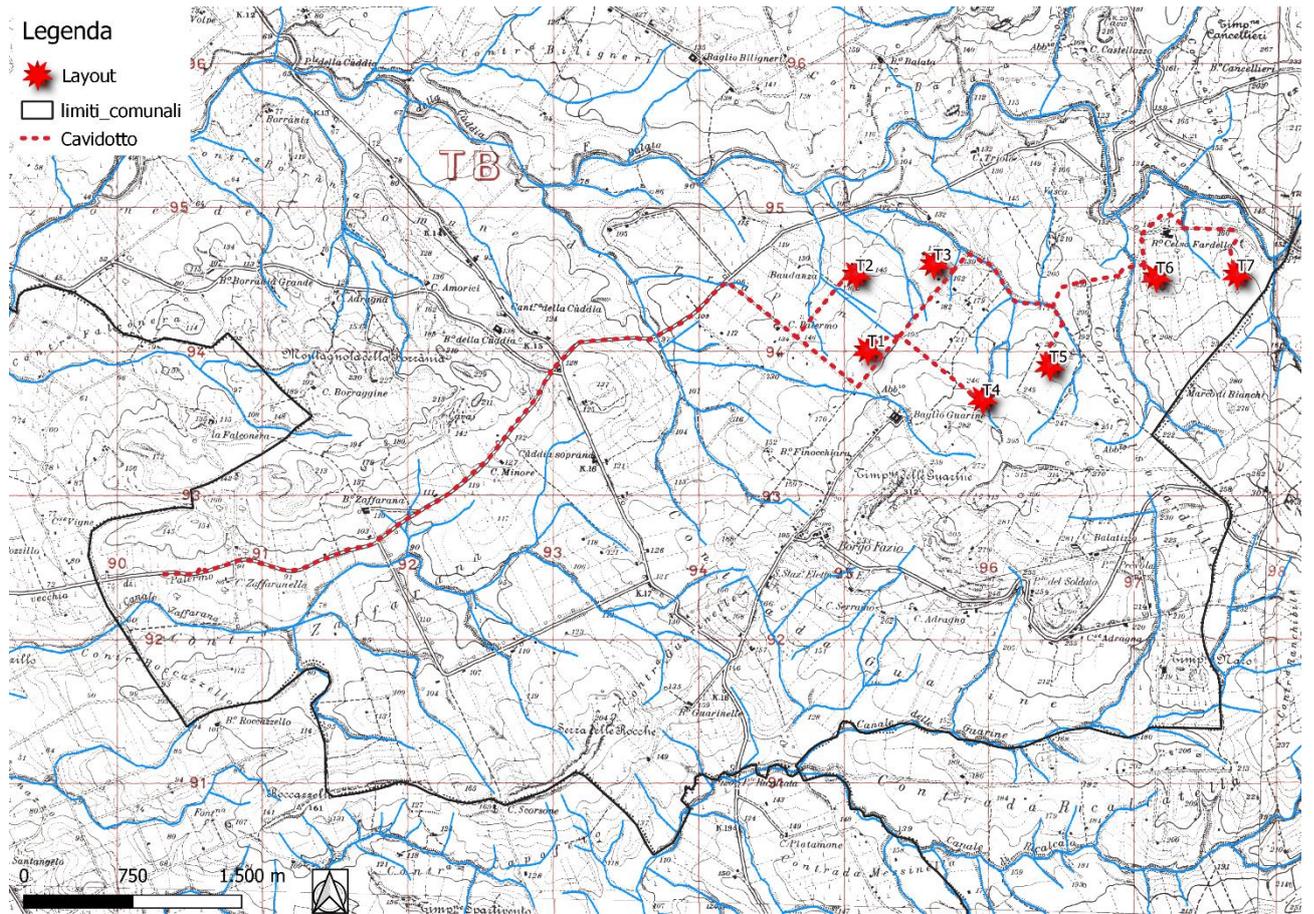


Figura 1: Planimetria di inquadramento dell'area di interesse



2 Interventi in progetto

Come anticipato in premessa, il parco eolico in progetto è costituito da una serie di interventi descritti negli elaborati tecnici del presente progetto.

Il cavidotto in progetto, tuttavia, presenta alcune interferenze con il reticolo idrografico. Per l'interferenza con il cavidotto, identificata nella figura precedente, è stata predisposta un'analisi idraulica “semplificata”, preceduta da una idraulica in moto permanente, mediante l'utilizzo del modello monodimensionale HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*, con lo scopo di determinare le caratteristiche idrodinamiche necessarie per la valutazione della massima profondità di erosione.

L'analisi idraulica semplificata è rivolta infatti principalmente ai punti di intersezione degli impluvi esistenti con i cavidotti in caso di assenza di un attraversamento esistente o di un attraversamento non asfaltato ed è caratterizzata dalle seguenti fasi:

- AS1) analisi idrologica in base al metodo VAPI Sicilia;
- AS2) **verifica di erosione dell'intersezione a guado** finalizzata alla determinazione della profondità di posa in opera del cavidotto in progetto.

Il cavidotto in progetto verrà quindi posizionato ad una profondità pari a quella massima di escavazione più un franco di sicurezza di 1.00m.

Si riporta di seguito una mappa con le ulteriori interferenze individuate.

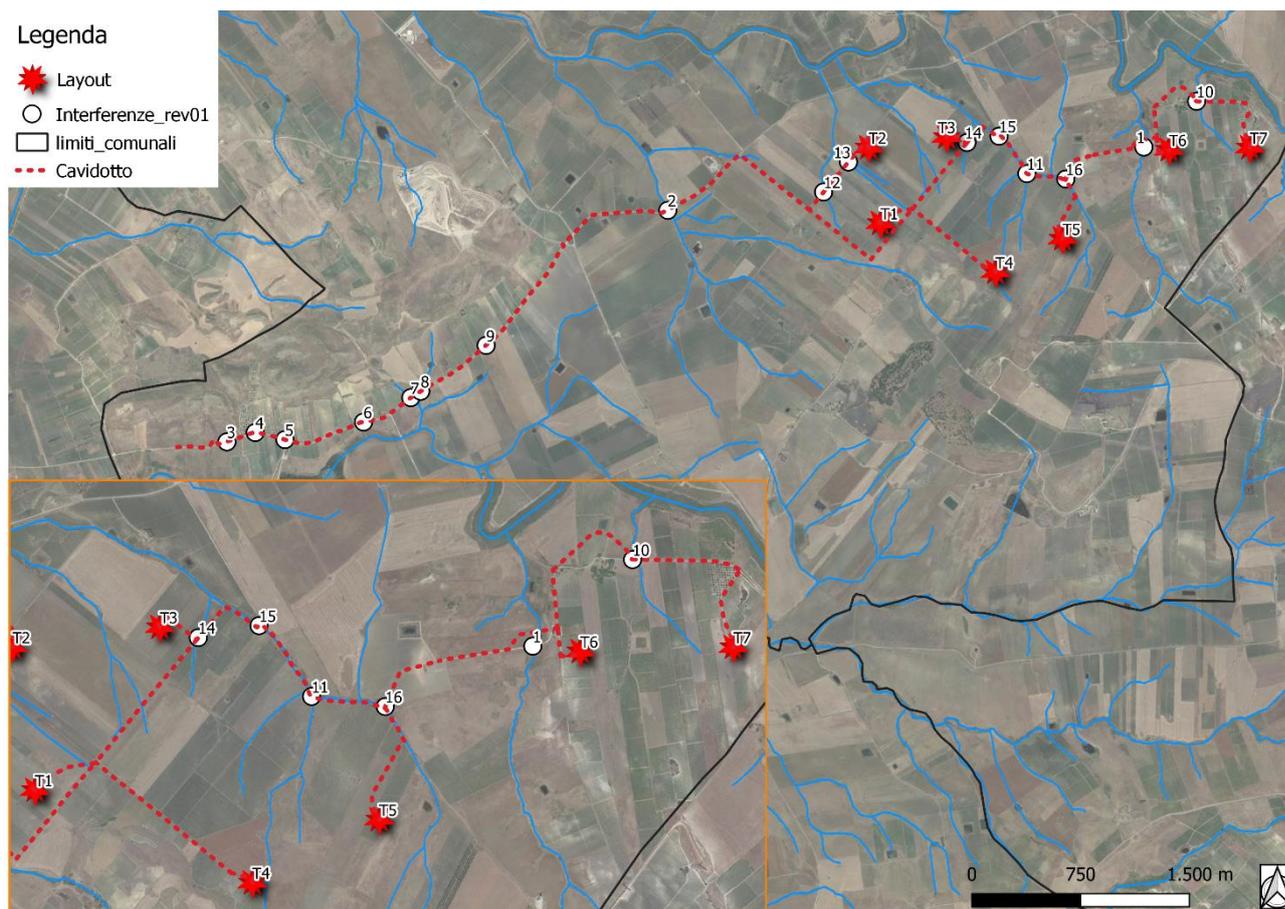


Figura 2: Planimetria con l'indicazione dei tratti di intervento

3 Analisi idrologica

Nella presente analisi idrologica sono state determinate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia come illustrato all'interno della Relazione di Piano del PAI, redatto dall'Autorità di Bacino della Sicilia.

Per tali scopi, sono state individuate le caratteristiche dei bacini idrografici che, successivamente, sono state utilizzate per la definizione dei tempi di corrivazione. Grazie al metodo VAPI, infine, sono state calcolate le massime altezze della precipitazione critica per i bacini individuati e, mediante l'utilizzo del metodo razionale, sono state valutate le portate al colmo di piena.

3.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati i bacini idrografici delle interferenze per le quali è necessaria una verifica per la profondità di escavazione della corrente. I suddetti bacini sono stati delimitati utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25'000 che il Modello Digitale del Terreno (*Digital Terrain Model, DTM*).

Il bacino idrografico è stato individuato in corrispondenza dell'interferenza del cavodotto in progetto con il reticolo idrografico, in modo da determinare le portate defluenti esattamente in quel punto.

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche fisiografiche dei bacini ricavate dal DTM della Regione Sicilia con dimensioni di cella di 10×10 m.

Caratteristiche fisiografiche									
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)		N (-)	c (-)
Bacino 1	0.898	304.21	216.99	154.76	1.67	8.95		0.4	0.40
Bacino 2	3.352	314.54	178.82	96.02	2.59	8.44		0.4	0.40
Bacino 10	0.110	210.70	177.55	155.34	0.44	12.58		0.4	0.40
Bacino 11	0.296	304.35	228.45	164.38	0.98	14.28		0.4	0.40
Bacino 12	0.223	250.28	172.07	140.79	0.30	36.50		0.4	0.40
Bacino 13	0.169	250.93	183.11	137.59	0.53	21.38		0.4	0.40
Bacino 14	0.070	209.24	185.71	156.19	0.22	24.11		0.4	0.40
Bacino 15	1.511	312.99	216.72	140.84	1.74	9.92		0.4	0.40
Bacino 16	0.560	314.54	232.68	179.14	1.13	11.98		0.4	0.40

Tabella 1

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "S" (km²): superficie del bacino;
- "Hmax" (mslm): quota massima;
- "Hmed" (mslm): quota media;
- "Hmin" (mslm): quota minima;
- "L" (km): lunghezza dell'asta principale;
- "i" (%): pendenza dell'asta principale;
- "y" (%): pendenza media di versante;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Come valore per il coefficiente di deflusso, in particolare, è stato scelto 0.40 per via del tipo di uso del suolo del bacino idrografico considerato che risulta, secondo la Carta CORINE, essenzialmente agricolo.

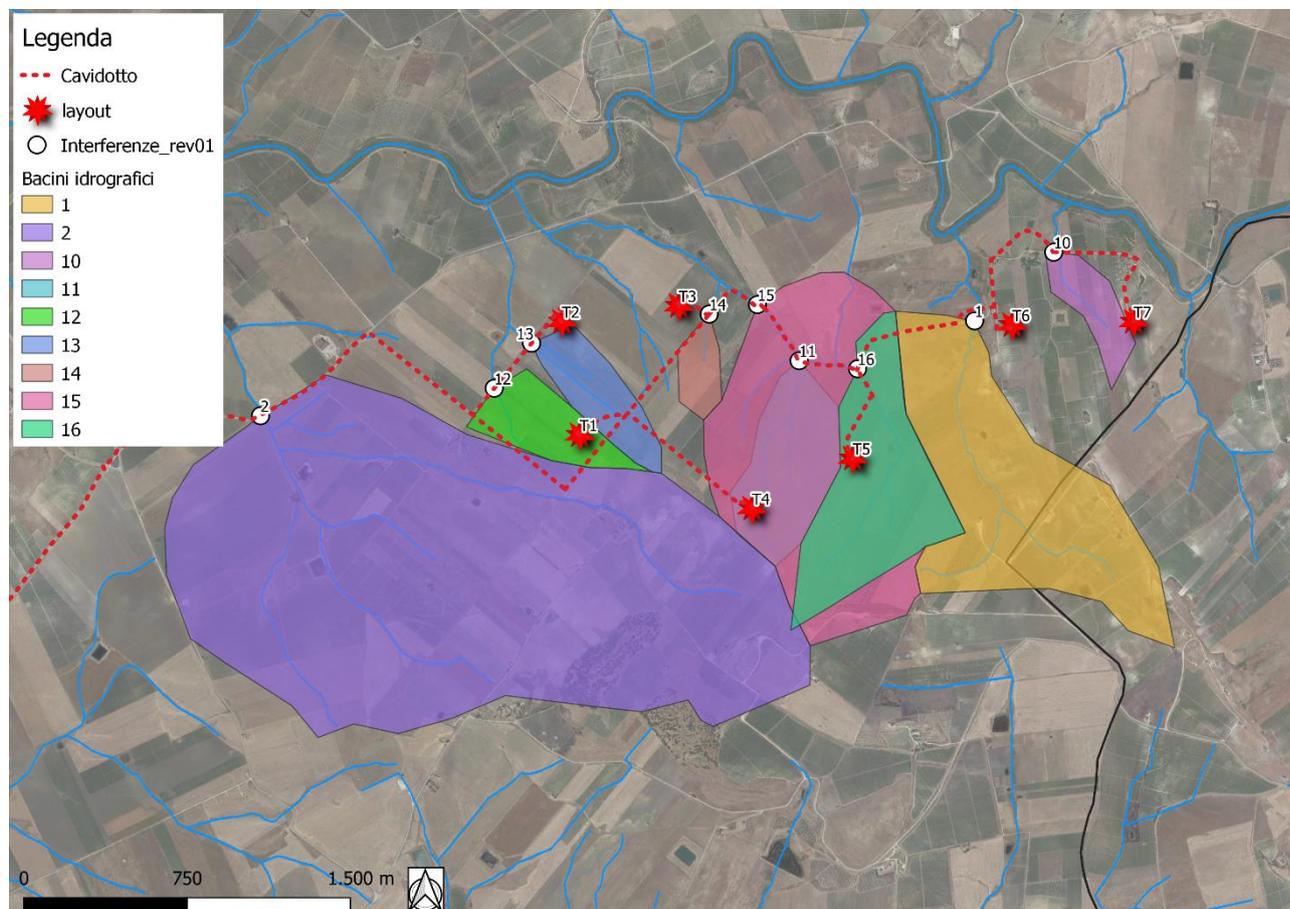


Figura 3: Corografia dell'area in esame con l'indicazione del bacino idrografico di interesse

Nella figura precedente è mostrato il ramo in esame con il bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura individuata più a valle dei tratti di intervento. La delimitazione è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25'000 che il DTM della Regione Sicilia.

3.2 Tempi di corrivazione

In funzione delle caratteristiche fisiografiche dei bacini individuati, sono stati riportati, nella tabella seguente, differenti valori per i tempi di corrivazione in base a diverse formulazioni.



Tempi di corrvazione								
Bacino idrografico	Giandotti (h)	Kerby (h)	Kirpich (h)	Ventura (h)	Pezzoli (h)	Pasini (h)	media 1 (h)	tc (h)
Bacino A	1.0	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3
Bacino 2	1.5	0.4	0.4	0.8	0.5	0.8	0.6	0.6
Bacino 10	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.18	0.2
Bacino 11	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
Bacino 12	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Bacino 13	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Bacino 14	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
Bacino 15	1.1	0.3	0.2	0.5	0.3	0.5	0.4	0.4
Bacino 16	0.8	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2

Tabella 2

Viste le caratteristiche dei bacini, tuttavia, come valore di riferimento per il tempo di corrvazione si è deciso di utilizzare la media delle sole espressioni di Kirpich, Ventura, Pezzoli e Pasini (escludendo la formula di Giandotti calibrata su bacini di estensione superiore).

3.3 Portate al colmo di piena

Ai fini del calcolo delle portate al colmo di piena è stato utilizzato il metodo VAPI Sicilia così come consigliato dalla Relazione di Piano del PAI (redatto dall'Autorità di Bacino della Sicilia).

In particolare la Sicilia risulta essere suddivisa in 3 sottozone omogenee, come riportato nella corografia di seguito, e l'area in esame ricade nella “zona pluviometrica omogenea A”.

Il metodo di calcolo scelto prevede la determinazione del fattore di crescita “ K_T ” che varia in funzione del tempo di ritorno, con la seguente espressione:

$$K_T = a + b \times \ln(T)$$

In particolare:

$$SZO A K_T = (0.5391 - 0.001635 * d) + (0.0002212 * d^2 + 0.00117 * d + 0.9966) * \ln(T)$$

Dove il valore di “d” è stato assunto pari a quello della durata critica del bacino.





Figura 4: Corografia della Sicilia con la delimitazione delle zone pluviometriche omogenee del VAPI

Nella seguente tabella, pertanto, sono stati calcolati sia i parametri delle curve di possibilità pluviometrica che le altezze di precipitazione critiche per i tempi di ritorno di riferimento di 50, 100 e 300 anni secondo la seguente espressione:

$$h_T = a_T \cdot t^n = K_T \cdot a' \cdot t^n$$

Curve di possibilità pluviometrica ed altezze di precipitazione (VAPI pluviometria)								
Bacino idrografico	K50 (-)	K100 (-)	K300 (-)	a' (-)	n (-)	h50 (mm)	h100 (mm)	h300 (mm)
Bacino 1	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	81.0	93.7	113.7
Bacino 2	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	93.7	108.3	131.4
Bacino 10	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	67.5	78.0	94.6
Bacino 11	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	73.6	85.1	103.3
Bacino 12	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	51.4	59.4	72.0
Bacino 13	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	57.5	66.4	80.6
Bacino 14	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	48.6	56.2	68.2
Bacino 15	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	83.0	95.9	116.4
Bacino 16	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	72.3	83.6	101.5

Tabella 3

Utilizzando il metodo razionale, infine, è possibile valutare le portate di piena da utilizzare come riferimento per l'analisi idraulica. Tale metodo calcola la portata al colmo di piena mediante la formula di Turazza:

$$Q_T = \frac{K \cdot S \cdot c \cdot i_T}{3.6} = \frac{K \cdot S \cdot c \cdot h_T}{3.6 \cdot t} = \frac{K \cdot S \cdot c \cdot a_T \cdot t^{n-1}}{3.6} = \frac{K \cdot S \cdot c \cdot K_T \cdot a' \cdot t^{n-1}}{3.6}$$

dove:

- "K" (-): fattore di riduzione areale;
- "S" (km²): superficie del bacino;
- "i" (mm/h): intensità di precipitazione;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.



Per il calcolo del fattore di riduzione areale, come consigliato dalla Relazione di Piano del PAI, è stata utilizzata la formula dello *US Weather Bureau* che esprime tale fattore in funzione della superficie "S" e del tempo di corrivazione del bacino "t":

$$K = 1 - (1 - e^{-0.0021 \cdot S}) \cdot e^{-0.53 \cdot t^{0.25}}$$

Nel presente caso, tuttavia, si è preferito trascurare tale fattore per ragioni cautelative (quindi è stato considerato $K = 1$).

Nella tabella seguente sono presenti i valori delle portate al colmo di piena.

Portate al colmo di piena (VAPI pluviometria)			
Bacino idrografico	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q300 (m ³ /s)
Bacino 1	24.2	27.9	33.9
Bacino 2	62.6	72.3	87.7
Bacino 10	4.7	5.4	6.6
Bacino 11	10.1	11.7	14.2
Bacino 12	19.0	21.9	26.6
Bacino 13	10.8	12.5	15.2
Bacino 14	6.8	7.9	9.6
Bacino 15	38.3	44.3	53.7
Bacino 16	20.1	23.2	28.1

Tabella 4

Le portate di riferimento per la successiva analisi idraulica sono quelle riportate nella tabella precedente. Nella tabella seguente sono riportati i relativi coefficienti udometrici. I valori sono assolutamente in linea con i valori riportati in letteratura

Coefficienti udometrici			
Bacino idrografico	u50 (m ³ /s·km ²)	u100 (m ³ /s·km ²)	u300 (m ³ /s·km ²)
Bacino 1	26.9	31.1	37.7
Bacino 2	18.7	21.6	26.2
Bacino 10	42.7	49.4	59.9
Bacino 11	34.3	39.6	48.1
Bacino 12	85.1	98.4	119.4
Bacino 13	64.1	74.1	89.9
Bacino 14	97.8	113.0	137.1
Bacino 15	25.4	29.3	35.6
Bacino 16	35.8	41.4	50.3

Tabella 5





4 Analisi idraulica

Come descritto precedentemente, il tratto di cavidotto di interesse non si sviluppa su strada esistente o su un tracciato già asfaltato, pertanto è oggetto di analisi semplificata.

Al fine di ottenere i parametri idrodinamici necessari per tale analisi, è stata effettuata un'analisi idraulica in moto permanente mediante l'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*. Per ragioni cautelative le portate, immesse come condizioni al contorno di monte all'interno del modello, sono state considerate costanti nel tempo e le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente.

I tempi di ritorno utilizzati, pari a 50, 100 e 300 anni, corrispondono ai tempi di ritorno di riferimento per la delimitazione delle aree a "molto elevata", "elevata" e "media" pericolosità idraulica del PAI.

4.1 Geometria del modello idrodinamico

Nella figura seguente è presente la planimetria dell'area in esame con l'indicazione delle tracce delle sezioni trasversali utilizzate e con riferimento al bacino di appartenenza.

Le sezioni trasversali sono state riportate nella tabella seguente con l'indicazione del nome della sezione inserito nel modello ("station") delle distanze parziali e progressive, delle quote di fondo e delle pendenze parziali e totali.

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1 -1	-1	0.00	29.04	155.81	0.0361
A2-1	-2	29.04	24.63	154.76	0.0756
A3-1	-3	53.67	0.00	152.90	0.0542
B1 -2	-1	0.00	32.31	96.25	0.0135
B2-2	-2	32.31	26.28	95.82	0.0046
B3-2	-3	58.59	0.00	95.69	0.0095
C1 -10	-1	0.00	10.00	156.33	0.0858
C2-10	-2	10.00	10.60	155.47	0.0250
C3-10	-3	20.60	0.00	155.21	0.0545
D1 -11	-1	0.00	30.84	165.39	0.0520
D2-10	-2	30.84	24.91	163.78	0.0674
D3-11	-3	55.75	0.00	162.11	0.0589
E1 -12	-1	0.00	16.77	144.85	0.3636
E2-12	-2	16.77	16.34	138.75	0.0654
E3-12	-3	33.11	0.00	137.68	0.2164
F1 -13	-1	0.00	44.61	140.79	0.1405
F2-13	-2	44.61	29.22	134.52	0.0890
F3-13	-3	73.83	0.00	131.92	0.1201
G1 -14	-1	0.00	22.23	154.97	0.054
G2-14	-2	22.23	16.67	153.78	0.102
G3-14	-3	38.90	0.00	152.08	0.0744
H1 -15	-1	0.00	12.12	146.03	0.074
H2-15	-2	12.12	20.84	145.13	0.047
H3-15	-3	32.96	0.00	144.16	0.0567

Tabella 6





4.2 Portate di piena

Come portate al colmo di piena sono state considerate quelle ricavate nella precedente analisi idrologica (cfr. la precedente **Tabella 4**).

Come precisato in precedenza, le portate sono state considerate, per ragioni cautelative, costanti nel tempo e le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente.

4.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno, necessarie per l'esecuzione di simulazioni idrodinamiche con il modello, sono le seguenti:

- condizione al contorno di monte: scala di deflusso in moto uniforme della corrente con una pendenza pari a quella media del ramo rilevato;
- condizione al contorno di valle: scala di deflusso in moto uniforme della corrente con una pendenza pari a quella media del ramo rilevato.

4.4 Parametri di scabrezza

Come parametro di scabrezza è stato utilizzato un coefficiente di Gauckler-Strickler pari a 20 $m^{1/3}/s$ (corrispondente ad un coefficiente secondo Manning pari a 0.05 $s/m^{1/3}$).

Tale coefficiente è stato determinato in base a quanto stabilito nelle tabelle parametriche riportate all'interno del "Manuale dell'Ingegnere" (83^a edizione, Nuovo Colombo, Hoepli, 2001) in corrispondenza di "piccoli corsi di pianura, puliti, sinuosi con stagni e secche".

4.5 Risultati del modello idrodinamico

Come già anticipato in precedenza, le simulazioni sono state effettuate utilizzando il modello di calcolo HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*. Tali simulazioni sono state condotte, per ragioni cautelative, in regime di moto permanente della corrente.

Si è anche verificato come tali condizioni risultino molto cautelative dato che, in caso di simulazioni non stazionarie, i livelli di pelo libero riscontrabili siano nettamente inferiori a causa del fenomeno della laminazione dei colmi di piena.

Nella tabella seguente sono presenti tutti i valori numerici ottenuti dalla configurazione appena definita.





Stato di fatto - T = 50 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
A1 -1	-1	0.00	155.81	24.2	157.07	1.26	13.96	2.76	8.77	219.23	1.11
A2-1	-2	29.04	154.76	24.2	155.90	1.14	14.57	2.85	8.50	239.19	1.19
A3-1	-3	53.67	152.90	24.2	153.39	0.49	13.22	4.47	5.42	661.03	2.23
B1 -2	-1	0.00	96.25	62.6	97.32	1.07	56.44	2.32	27.61	124.87	0.95
B2-2	-2	32.31	95.82	62.6	97.09	1.27	64.00	1.52	46.80	38.43	0.47
B3-2	-3	58.59	95.69	62.6	96.84	1.15	52.44	1.85	36.94	65.60	0.61
C1 -10	-1	0.00	156.33	4.7	156.68	0.35	28.41	0.20	5.70	167.18	0.14
C2-10	-2	10.00	155.47	4.7	156.22	0.75	33.44	0.28	17.15	213.71	0.12
C3-10	-3	20.60	155.21	4.7	155.61	0.40	34.21	0.16	6.38	98.82	0.11
D1 -11	-1	0.00	165.39	10.1	165.99	0.60	16.27	2.05	4.92	153.89	1.19
D2-10	-2	30.84	163.78	10.1	164.12	0.34	19.26	2.10	4.80	172.51	1.35
D3-11	-3	55.75	162.11	10.1	162.49	0.38	23.22	1.91	5.29	139.37	1.25
E1 -12	-1	0.00	144.85	19.0	146.93	2.08	39.63	3.32	5.72	515.46	2.79
E2-12	-2	16.77	138.75	19.0	138.93	0.18	32.36	4.16	4.57	813.75	3.53
E3-12	-3	33.11	137.68	19.0	138.37	0.69	42.27	1.68	11.58	100.70	1.01
F1 -13	-1	0.00	140.79	10.8	141.34	0.55	12.32	3.17	3.40	379.47	1.93
F2-13	-2	44.61	134.52	10.8	135.43	0.91	6.45	0.00	2.93	453.72	0.00
F3-13	-3	73.83	131.92	10.8	132.58	0.66	13.67	0.00	5.41	135.39	0.00
G1 -14	-1	0.00	154.97	6.8	155.68	0.71	15.79	1.29	3.68	117.80	1.08
G2-14	-2	22.23	153.78	6.8	154.57	0.79	14.49	1.17	3.70	109.52	0.99
G3-14	-3	38.90	152.08	6.8	152.44	0.36	10.38	3.61	1.88	564.74	2.71
H1 -15	-1	0.00	146.03	38.3	147.10	1.07	19.95	3.58	10.70	387.35	1.56
H2-15	-2	12.12	145.13	38.3	146.08	0.95	20.56	3.70	10.34	423.65	1.67
H3-15	-3	32.96	144.16	38.3	145.16	1.00	28.36	2.58	14.86	202.22	1.14

Tabella 7





Stato di fatto - T = 100 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
A1 -1	-1	0.00	155.81	27.9	157.13	1.32	14.72	2.86	9.76	231.24	1.12
A2-1	-2	29.04	154.76	27.9	155.96	1.20	15.04	2.98	9.38	255.38	1.20
A3-1	-3	53.67	152.90	27.9	153.44	0.54	13.59	4.62	6.03	689.54	2.22
B1 -2	-1	0.00	96.25	72.3	97.39	1.14	58.86	2.38	31.50	128.84	0.93
B2-2	-2	32.31	95.82	72.3	97.17	1.35	66.55	1.60	52.11	40.85	0.48
B3-2	-3	58.59	95.69	72.3	96.92	1.23	54.65	1.95	40.91	69.68	0.62
C1 -10	-1	0.00	156.33	5.4	156.70	0.37	28.74	0.21	6.19	179.38	0.15
C2-10	-2	10.00	155.47	5.4	156.26	0.79	33.95	0.30	18.41	239.21	0.12
C3-10	-3	20.60	155.21	5.4	155.63	0.42	36.02	0.17	7.07	102.32	0.11
D1 -11	-1	0.00	165.39	11.7	166.02	0.63	16.97	2.14	5.47	163.84	1.20
D2-10	-2	30.84	163.78	11.7	164.14	0.36	20.03	2.20	5.32	184.58	1.36
D3-11	-3	55.75	162.11	11.7	162.52	0.41	24.27	2.02	5.83	147.21	1.27
E1 -12	-1	0.00	144.85	21.9	146.94	2.09	40.82	3.47	6.30	551.50	2.82
E2-12	-2	16.77	138.75	21.9	138.95	0.20	32.84	4.36	5.02	871.33	3.56
E3-12	-3	33.11	137.68	21.9	138.40	0.72	46.81	1.70	13.14	103.41	1.01
F1 -13	-1	0.00	140.79	12.5	141.37	0.58	13.02	3.29	3.80	400.78	1.95
F2-13	-2	44.61	134.52	12.5	135.48	0.96	6.83	0.00	3.28	475.37	0.00
F3-13	-3	73.83	131.92	12.5	132.63	0.71	13.97	0.00	6.01	142.62	0.00
G1 -14	-1	0.00	154.97	7.9	155.71	0.74	17.01	1.37	4.17	124.08	1.09
G2-14	-2	22.23	153.78	7.9	154.60	0.82	15.72	1.26	4.21	114.69	1.01
G3-14	-3	38.90	152.08	7.9	152.47	0.39	11.05	3.70	2.13	581.68	2.69
H1 -15	-1	0.00	146.03	44.3	147.16	1.13	21.05	3.71	11.93	409.33	1.58
H2-15	-2	12.12	145.13	44.3	146.14	1.01	21.37	3.85	11.49	448.73	1.68
H3-15	-3	32.96	144.16	44.3	145.21	1.05	29.45	2.72	16.31	220.60	1.17

Tabella 8





Stato di fatto - T = 300 anni											
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Fondo (mslm)	Portata (m ³ /s)	Livello di pelo lib. (mslm)	Altezza d'acqua (m)	Largh. di pelo lib. (m)	Velocità media (m/s)	Area della sezione (m ²)	Tensione di parete (N/m ²)	Numero di Froude (-)
A1 -1	-1	0.00	155.81	33.9	157.24	1.43	15.84	3.00	11.30	248.48	1.13
A2-1	-2	29.04	154.76	33.9	156.05	1.29	15.73	3.15	10.75	278.38	1.22
A3-1	-3	53.67	152.90	33.9	153.51	0.61	14.15	4.85	6.99	731.22	2.20
B1 -2	-1	0.00	96.25	87.7	97.48	1.23	63.54	2.52	36.67	132.58	0.93
B2-2	-2	32.31	95.82	87.7	97.29	1.47	70.26	1.69	60.19	44.27	0.48
B3-2	-3	58.59	95.69	87.7	97.02	1.33	57.86	2.09	46.95	75.55	0.63
C1 -10	-1	0.00	156.33	6.6	156.73	0.40	29.26	0.23	6.99	198.66	0.15
C2-10	-2	10.00	155.47	6.6	156.32	0.85	34.77	0.33	20.46	279.59	0.13
C3-10	-3	20.60	155.21	6.6	155.66	0.45	38.68	0.17	8.14	109.54	0.12
D1 -11	-1	0.00	165.39	14.2	166.07	0.68	17.98	2.26	6.29	177.79	1.22
D2-10	-2	30.84	163.78	14.2	164.18	0.40	21.13	2.33	6.09	201.62	1.39
D3-11	-3	55.75	162.11	14.2	162.55	0.44	25.79	2.16	6.66	157.76	1.29
E1 -12	-1	0.00	144.85	26.6	146.97	2.12	42.60	3.69	7.21	603.84	2.87
E2-12	-2	16.77	138.75	26.6	138.97	0.22	33.57	4.65	5.72	955.16	3.59
E3-12	-3	33.11	137.68	26.6	138.46	0.78	53.82	1.70	15.87	103.35	0.99
F1 -13	-1	0.00	140.79	15.2	141.41	0.62	14.01	3.46	4.40	431.22	1.97
F2-13	-2	44.61	134.52	15.2	135.56	1.04	7.37	0.00	3.82	505.54	0.00
F3-13	-3	73.83	131.92	15.2	132.53	0.61	13.35	0.00	4.77	356.15	0.00
G1 -14	-1	0.00	154.97	9.6	155.75	0.78	18.66	1.49	4.89	132.90	1.11
G2-14	-2	22.23	153.78	9.6	154.65	0.87	17.39	1.38	4.97	122.08	1.03
G3-14	-3	38.90	152.08	9.6	152.50	0.42	11.99	3.82	2.51	602.85	2.66
H1 -15	-1	0.00	146.03	53.7	147.25	1.22	22.60	3.90	13.78	440.30	1.59
H2-15	-2	12.12	145.13	53.7	146.22	1.09	22.55	4.06	13.23	483.02	1.69
H3-15	-3	32.96	144.16	53.7	145.28	1.12	30.81	2.93	18.35	249.72	1.21

Tabella 9



5 Analisi idraulica semplificata

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto, pertanto, è stata calcolata la profondità massima di escavazione da parte della corrente e, per tali scopi, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi idraulica per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni sopra descritti.

Il calcolo della massima profondità di erosione viene effettuato mediante l'utilizzo della seguente formula di Meyer-Peter e Müller espressa nell'ipotesi di "alveo largo" ed esplicitata da Chien (Montuori, "Complementi di Idraulica", Liguori, 1997):

$$\Psi = 8 \cdot (\Theta - 0.047)^{\frac{3}{2}}$$

dove:

- " Ψ " (-): parametro di trasporto;
- " Θ " (-): parametro di stabilità.

Tali parametri sono definiti dalle espressioni seguenti:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Psi = \frac{q_s}{\sqrt{g \cdot d^3 \cdot \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}}} \\ \Theta = \frac{\gamma \cdot R \cdot j}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} \end{array} \right.$$

dove:

- " q_s " (m^2/s): portata solida (volumetrica) per unità di larghezza;
- " g " (m/s^2): accelerazione di gravità;
- " d " (m): diametro caratteristico del sedimento;
- " γ_s " (N/m^3): peso specifico del sedimento;
- " γ " (N/m^3): peso specifico dell'acqua;
- " R " (m): raggio idraulico;
- " j " (-): cadente piezometrica.

Grazie a tale formula è possibile calcolare la portata solida trasportabile dalla corrente una volta noti:

- alcuni parametri caratteristici del deflusso come la portata liquida, il raggio idraulico, la larghezza del pelo libero e la cadente piezometrica che sono stati calcolati nella precedente analisi idraulica;
- alcuni parametri caratteristici del sedimento come il diametro e il peso specifico.

Dopo aver determinato il valore della portata solida, infine, è possibile calcolare la concentrazione volumetrica del sedimento dividendo la portata solida per quella liquida.

Per i parametri caratteristici del sedimento si è scelto di considerare il diametro di separazione tra "limo a grana grossa" e "limo a grana media", pari a 0.02 mm, ed un peso specifico di 25'000 N/m^3 , date le caratteristiche del terreno.

Nella tabella seguente sono presenti i calcoli effettuati per il calcolo della concentrazione del sedimento utilizzando la formula di Meyer-Peter e Müller per i tratti dell'impiuvio in esame.



Analisi del trasporto solido - Tr100						
Sezione	γ (N/m ³)	γ_s (N/m ³)	d (m)	j (-)	R (m)	θ (-)
A2	9810	25000	0.00002	0.042	0.610	834.8
B2	9810	25000	0.00002	0.005	0.780	134.1
C2	9810	25000	0.00002	0.046	0.530	782.2
D2	9810	25000	0.00002	0.071	0.270	618.7
E2	9810	25000	0.00002	0.581	0.150	2814.3
F2	9810	25000	0.00002	0.116	0.420	1573.3
G2	9810	25000	0.00002	0.046	0.250	372.6
H2	9810	25000	0.00002	0.086	0.530	1464.2

Sezione	Ψ (-)	q_s (m ² /s)	b (m)	Q (m ³ /s)	C (-)	C (ppm)
A2	192935	0.0673	15.04	27.9	0.036	36256
B2	12423	0.0043	66.55	72.30	0.004	3986
C2	175009	0.0610	33.95	5.40	0.384	383558
D2	123102	0.0429	20.03	11.70	0.073	73466
E2	1194349	0.4163	32.84	21.90	0.624	624330
F2	499227	0.1740	13.97	12.50	0.194	194495
G2	57534	0.0201	15.72	7.90	0.040	39909
H2	448201	0.1562	21.37	44.30	0.075	75370

Tabella 10

Come mostrato nella tabella precedente, pertanto, la concentrazione volumetrica "C" è strettamente legata al tempo di ritorno considerato. Tali valori sono stati utilizzati come parametri di ingresso per il modulo "Hydraulic design - Stable Channel Design" del modello HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers* (modello già utilizzato all'interno per il calcolo delle caratteristiche idrodinamiche).

Nella tabella seguente sono presenti i risultati del calcolo della massima profondità di erosione effettuato con tale modulo e, in particolare, utilizzando il metodo "Regime".

Massima profondità di erosione - Tr100			
Sezione	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	0.07	231.67	0.00047
B2	0.44	124.80	0.00039
C2	0.01	331.15	0.00044
D2	0.03	213.43	0.00049
E2	0.01	850.80	0.00032
F2	0.02	358.20	0.00042
G2	0.05	129.32	0.00057
H2	0.05	420.64	0.00039

Tabella 11



Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di escavazione comprese tra un minimo di 1 cm e un massimo di 44 cm per le sezioni in esame.

Al fine di tenere conto del franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, si prevede di porre in opera il cavidotto in progetto ad una profondità di 1.10 m per i bacini con profondità di escavazione minore e di 1.45 m per l'interferenza con la profondità di escavazione maggiore.

Tenuto conto che la profondità di posa del cavidotto è pari ad 1.20 m, non sarà necessario nessun approfondimento dello scavo per i bacini 1-10-11-12-13-14-15, mentre sarà necessario un approfondimento dello scavo per il bacino 2.





6 Conclusioni

La presente relazione idrologica accompagna il progetto di realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato “Guarine Fardella”, da realizzarsi nel territorio comunale di Trapani, da parte della società **Wind Guarine Fardella srl**, con sede legale in Via Durini 9, Milano, in qualità di proponente. La società proponente appartiene al gruppo **GR Value Development (Green Resources Value) Srl** che rappresenta una giovane e dinamica realtà focalizzata nell’aggregazione di impianti fotovoltaici di piccole/medie dimensioni in esercizio, con l’obiettivo di migliorare i rapporti di performance e di sviluppare opportunità di investimento nel settore delle energie rinnovabili, principalmente eolico e fotovoltaico. GR Value copre, con un team altamente qualificato, tutta la catena del valore nelle rinnovabili, dallo sviluppo alla costruzione, fino alla completa gestione patrimoniale (incluso O&M e Energy Trading).

Il parco in oggetto sarà costituito da 7 aerogeneratori di potenza unitaria pari a 6 MW, per una potenza complessiva di 42 MW.

L’area individuata per la realizzazione del suddetto impianto ricade nel territorio di Trapani.

Per le finalità di questa analisi, infatti, appare opportuno ricordare che il sito di interesse è caratterizzato da alcuni rami del reticolo idrografico.

Dal punto di vista amministrativo, pertanto, il presente intervento ricade all'interno dell'area di competenza dell'Autorità di Bacino della Regione Sicilia.

Dato che, in questo caso, una porzione del cavidotto intercetta il reticolo idrografico, si è proceduto nella presente all’analisi dei regimi di deflusso dei corsi d’acqua, determinando la profondità di escavazione per la posa del suddetto.

Le analisi idrologiche sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo VAPI Sicilia al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Al fine di ottenere i parametri idrodinamici necessari per tale analisi, è stata effettuata un’analisi idraulica in moto permanente mediante l'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*. Per ragioni cautelative le portate, immesse come condizioni al contorno di monte all'interno del modello, sono state considerate costanti nel tempo e le simulazioni sono state condotte in condizioni di moto permanente.

Nel caso di specie, trattandosi di intersezioni a guado, in assenza di attraversamento esistente o di attraversamento non asfaltato, è stata effettuata un’analisi idraulica semplificata basata su una verifica di erosione che ha determinato la profondità massima di escavazione della corrente in piena.

L’analisi idraulica semplificata ha dimostrato che, la profondità di posa dei cavidotti in progetto è pari a quella massima di escavazione più un franco di sicurezza di 1.00 m.

In conclusione è possibile affermare che il cavidotto in progetto risulta in sicurezza idraulica in funzione del franco di sicurezza scelto che lo tutela dal fenomeno di escavazione massima per le interferenze 1-10-11-12-13-14-15 (cfr. Figura 3), mentre per l’interferenza 2 sarà necessaria una profondità di posa almeno pari a 1.45 m.

