



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

Titolo elaborato

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

F0577BR04A

Scala

-

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

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)



Gruppo di lavoro

Dott. For. Luigi ZUCCARO
Dott. For. Francesco NIGRO
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA
Ing. Federica COLANGELO
Ing. Mariagrazia LOVALLO
Ing. Gerardo Giuseppe SCAVONE
Ing. jr. Flavio Gerardo TRIANI
Dott. Ing. Daniele GERARDI
Ing. Manuela NARDOZZA



Società certificata secondo le norme UNI-EN ISO 9001:2015 e UNI-EN ISO 14001:2015 per l'erogazione di servizi di ingegneria nei settori: civile, idraulica, acustica, energia, ambiente (settore IAF: 34).

Consulenze specialistiche

Committente

RH Sambuca Wind S.r.l.

Via dei Condotti 11
00187 – Roma (RM)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Ottobre 2023	Prima emissione	MNA	GMA	GDS

Sommario

1	Premessa	2
2	Analisi idrologica dello stato di fatto	4
2.1	Bacini idrografici	4
2.2	Portate al colmo di piena stato di fatto	5
2.3	Analisi idraulica dello stato di fatto	7
2.4	Geometria del modello idrodinamico	7
2.5	Portate di piena	8
2.6	Condizioni al contorno	8
2.7	Parametri di scabrezza	8
2.8	Risultati delle simulazioni nella configurazione pre intervento	9
3	Analisi idraulica semplificata	11
4	Conclusioni	20

1 Premessa

La presente relazione idrologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione di un impianto per la produzione di energia elettrica da fonte eolica, nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA).

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 1:25000 e dal WMS dei reticoli idrografici reperibili dal Geoportale Nazionale.

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

A tal fine sono state effettuate due analisi idrauliche:

- Una in moto permanente che grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*, è finalizzata alla valutazione delle modalità di deflusso degli eventi di piena al fine di stabilire i massimi valori del livello del pelo libero e, di conseguenza, di valutare le effettive estensioni delle aree a diversa pericolosità idraulica;
- Un'analisi idraulica semplificata per la valutazione delle profondità di escavazione del ramo in corrispondenza dell'interferenza con il cavidotto.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

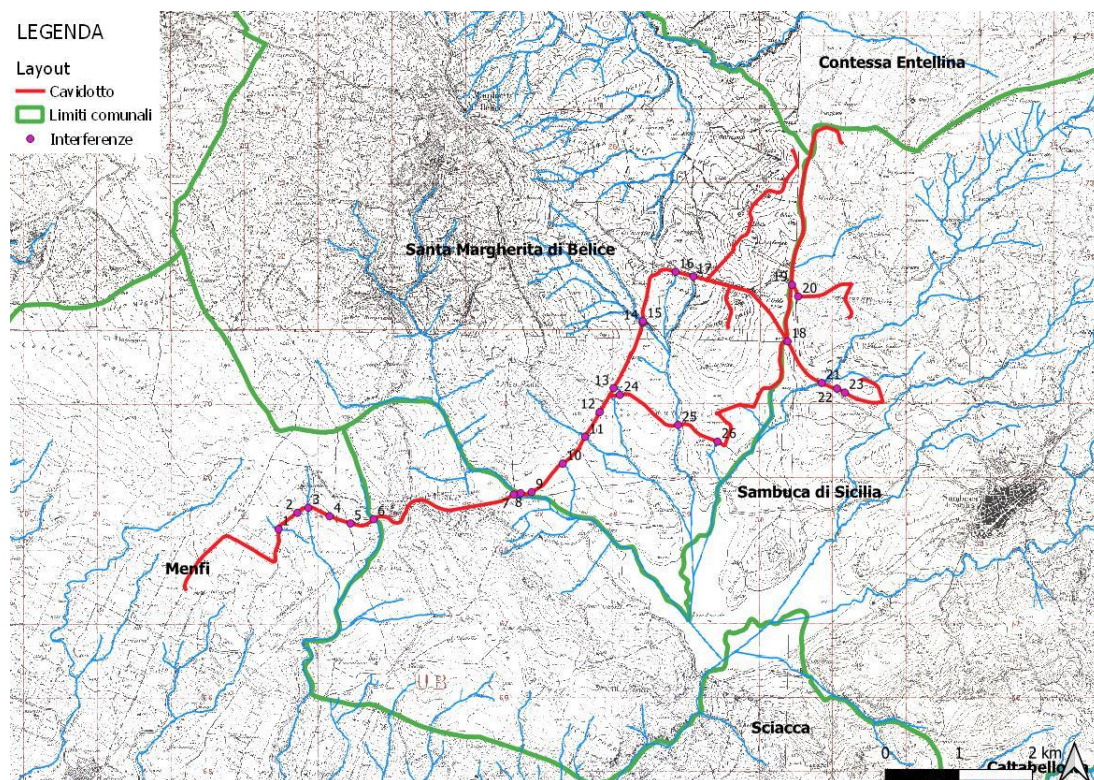


Figura 1: Planimetria di inquadramento dell'area di interesse

Come valore di riferimento del franco di sicurezza è stato considerato quello prescritto dalla "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero e dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- Il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40 cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- Il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

2 Analisi idrologica dello stato di fatto

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

Per tali scopi, sono state individuate le caratteristiche dei bacini idrografici, sottesi rispettivamente alle sezioni di chiusura, che sono state utilizzate successivamente per la definizione dei parametri per il calcolo delle portate al colmo di piena.

2.1 Bacini idrografici

Poiché un aerogeneratore si trova ad una distanza di circa 50 metri, è stato opportuno effettuare su un impluvio la verifica dell'estensione delle aree allagabili. Nella seguente figura è mostrato il bacino idrografico per il quale è necessaria la verifica. Il suddetto bacino è stato delimitato utilizzando sia la cartografia IGM 1:25000 che il Modello Digitale del Terreno (Digital Terrain Model, DTM).

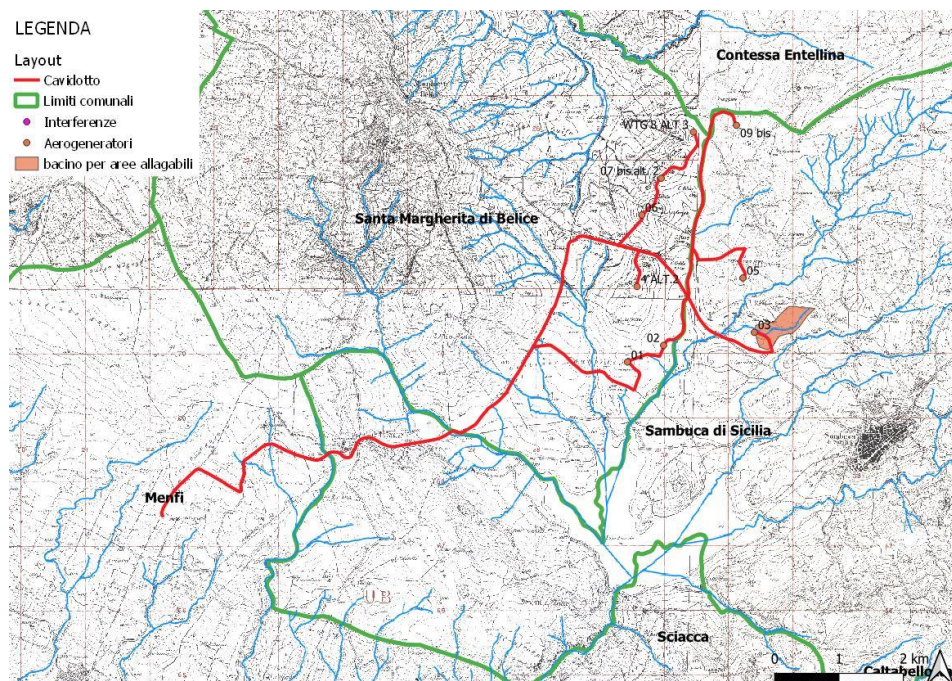


Figura 2: Corografia del bacino idrografico afferente all'impluvio in esame

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche dei bacini ricavate dal DTM della Regione Sicilia con dimensione della cella 10x10.

Caratteristiche fisiografiche							
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	c (-)
Bacino 1	0.266	289.08	259.64	235.03	1.01	5.34	0.40

Tabella: 1 Caratteristiche fisiografiche

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;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

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

2.2 Portate al colmo di piena stato di fatto

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:

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

In particolare:

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

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



Figura 3: 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 grandezze di precipitazione critiche per i tempi di ritorno di riferimento di 50, 100 e 300 anni secondo la seguente espressione:

$$T_h = a_t = K_T \cdot a' \cdot t^n$$

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	75.4	87.2	105.8

Tabella: 2 Curve di possibilità pluviometrica ed altezze di precipitazione

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:

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

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 per tempo di corrivazione del bacino "t"

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

Si è preferito trascurare per ragioni cautelative tale fattore, 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	8.6	9.9	12.0

Tabella: 3 Portate al colmo di piena

Le portate di riferimento per la successiva analisi idraulica sono quelle riportate nella tabella precedente. Nella tabella seguente sono riportati i 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	32.2	37.2	45.1

Tabella: 4 Coefficienti udometrici

2.3 Analisi idraulica dello stato di fatto

Nella presente analisi idraulica sono illustrate le condizioni di deflusso del corso d'acqua che interessa l'area di progetto.

L'analisi effettuata 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 Pericolosità Alta, Media e Bassa del PAI.

All'interno del modello di calcolo sono state inserite le seguenti informazioni:

- Geometria dei corsi d'acqua;
- Portate al colmo di piena;
- Condizioni al contorno;
- Scabrezza.

2.4 Geometria del modello idrodinamico

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1	-1	0.00	90.98	278.93	0.0921
A2	-2	90.98	69.04	270.55	0.0789
A3	-3	160.02	79.80	265.10	0.0363
A4	-4	239.82	201.51	262.20	0.0035
A5	-5	441.33	100.47	261.50	0.0727
A6	-6	541.80	96.56	254.20	0.0615
A7	-7	638.36	187.35	248.26	0.0001
A8	-8	825.71	84.21	248.25	0.1291
A9	-9	909.93	77.42	237.38	0.0167
A10	-10	987.34	27.62	236.09	0.0384
A11	-11	1,014.96	23.69	235.03	0.0084
A12	-12	1,038.65	0.00	234.83	0.0425

Tabella: 5 Stato di fatto sezioni

Nella seguente figura è presente la planimetria dell'area in esame con l'indicazione delle tracce delle sezioni trasversali utilizzate.

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

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

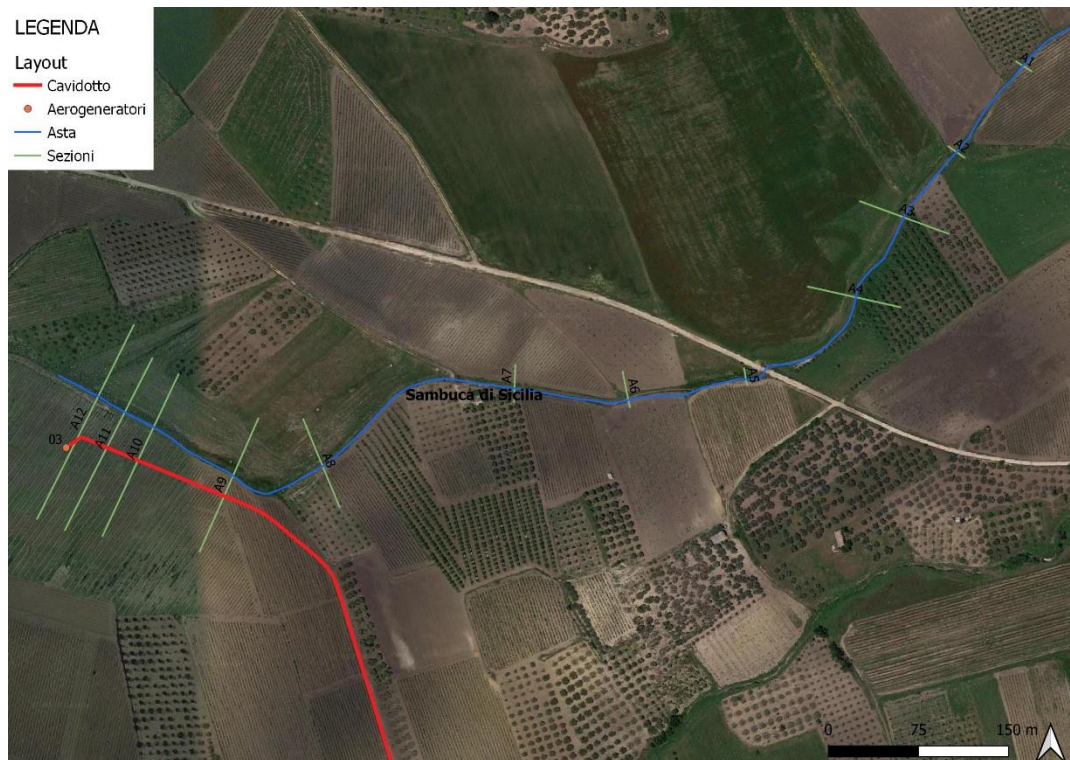


Tabella: 6 Ingrandimento della planimetria con individuazione delle sezioni trasversali

2.5 Portate di piena

Come portate al colmo di piena sono state considerate quelle ricavate nella precedente analisi idrologica.

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.

2.6 Condizioni al contorno

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

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

2.7 Parametri di scabrezza

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

Tale coefficiente è stato determinato in base a quanto stabilito nelle tabelle parametriche riportate all'interno del "Manuale dell'Ingegnere" (83a edizione, Nuovo Colombo, Hoepli, 2001) in corrispondenza di "piccoli corsi di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua".

2.8 Risultati delle simulazioni nella configurazione pre intervento

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 effettuate, per ragioni 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 figura seguente, in particolare, è stata mostrata la planimetria delle aree allagabili del tratto di impluvio analizzato, mentre nella tabella sono riportati i valori numerici dal modello nella configurazione pre – intervento.

Per la delimitazione delle aree allagabili per gli interventi con tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni, in particolare, è stato utilizzato il DTM della Regione Sicilia e in termini di tiranti massimi, velocità e aree allagabili elaborati dallo stesso modello di calcolo.

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	0.00	278.93	8.6	279.36	0.43	1.56	3.22	10.72	90.98	0.29
A2	-2	90.98	270.55	8.6	270.93	0.38	1.54	3.68	15.63	69.04	0.23
A3	-3	160.02	265.10	8.6	265.47	0.37	1.34	4.13	19.21	160.02	0.21
A4	-4	239.82	262.20	8.6	262.98	0.78	0.20	19.26	36.79	201.51	0.52
A5	-5	441.33	261.50	8.6	262.16	0.66	0.94	4.61	13.15	100.47	0.35
A6	-6	541.80	254.20	8.6	254.61	0.41	2.81	2.50	15.94	96.56	0.16
A7	-7	638.36	248.26	8.6	249.43	1.17	0.24	12.64	16.37	187.35	0.73
A8	-8	825.71	248.25	8.6	248.49	0.24	1.00	6.95	44.58	84.21	0.16
A9	-9	909.93	237.38	8.6	237.75	0.37	3.72	1.68	8.64	77.42	0.19
A10	-10	987.34	236.09	8.6	236.40	0.31	1.00	5.43	21.36	27.62	0.25
A11	-11	1,014.96	235.03	8.6	235.74	0.71	0.53	8.42	27.25	23.69	0.31
A12	-12	1,038.65	234.83	8.6	235.28	0.45	1.02	5.64	24.54	0.00	0.23

Tabella: 7 Stato di fatto al tempo T=50 anni

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	0.00	278.93	9.9	279.39	0.46	1.57	3.55	11.07	90.98	0.31
A2	-2	90.98	270.55	9.9	270.95	0.40	1.56	4.04	15.99	69.04	0.25
A3	-3	160.02	265.10	9.9	265.50	0.40	1.36	4.56	19.70	160.02	0.23
A4	-4	239.82	262.20	9.9	263.04	0.84	0.20	21.31	38.55	201.51	0.54
A5	-5	441.33	261.50	9.9	262.20	0.70	0.94	5.14	13.53	100.47	0.37
A6	-6	541.80	254.20	9.9	254.62	0.42	2.93	2.68	15.98	96.56	0.17
A7	-7	638.36	248.26	9.9	249.49	1.23	0.25	13.62	16.56	187.35	0.77
A8	-8	825.71	248.25	9.9	248.50	0.25	1.01	7.58	44.71	84.21	0.17
A9	-9	909.93	237.38	9.9	237.77	0.39	3.72	1.88	9.21	77.42	0.20
A10	-10	987.34	236.09	9.9	236.42	0.33	1.00	5.99	21.67	27.62	0.28
A11	-11	1,014.96	235.03	9.9	235.77	0.74	0.54	9.29	27.74	23.69	0.33
A12	-12	1,038.65	234.83	9.9	235.30	0.47	1.02	6.25	25.23	0.00	0.25

Tabella: 8 Stato di fatto al tempo T=100 anni

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

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	0.00	278.93	12.0	279.43	0.50	1.60	4.06	11.60	90.98	0.34
A2	-2	90.98	270.55	12.0	270.98	0.43	1.59	4.55	16.13	69.04	0.28
A3	-3	160.02	265.10	12.0	265.53	0.43	1.38	5.21	20.44	160.02	0.25
A4	-4	239.82	262.20	12.0	263.12	0.92	0.21	24.37	41.04	201.51	0.58
A5	-5	441.33	261.50	12.0	262.27	0.77	0.92	6.02	14.15	100.47	0.42
A6	-6	541.80	254.20	12.0	254.64	0.44	3.20	2.89	16.02	96.56	0.18
A7	-7	638.36	248.26	12.0	249.58	1.32	0.26	15.07	16.88	187.35	0.84
A8	-8	825.71	248.25	12.0	248.53	0.28	1.00	8.68	44.94	84.21	0.19
A9	-9	909.93	237.38	12.0	237.80	0.42	3.93	2.10	9.81	77.42	0.21
A10	-10	987.34	236.09	12.0	236.46	0.37	1.01	6.84	22.12	27.62	0.31
A11	-11	1,014.96	235.03	12.0	235.82	0.79	0.55	10.56	28.43	23.69	0.37
A12	-12	1,038.65	234.83	12.0	235.34	0.51	1.02	7.20	26.27	0.00	0.27

Tabella: 9 Stato di fatto al tempo T=300 anni

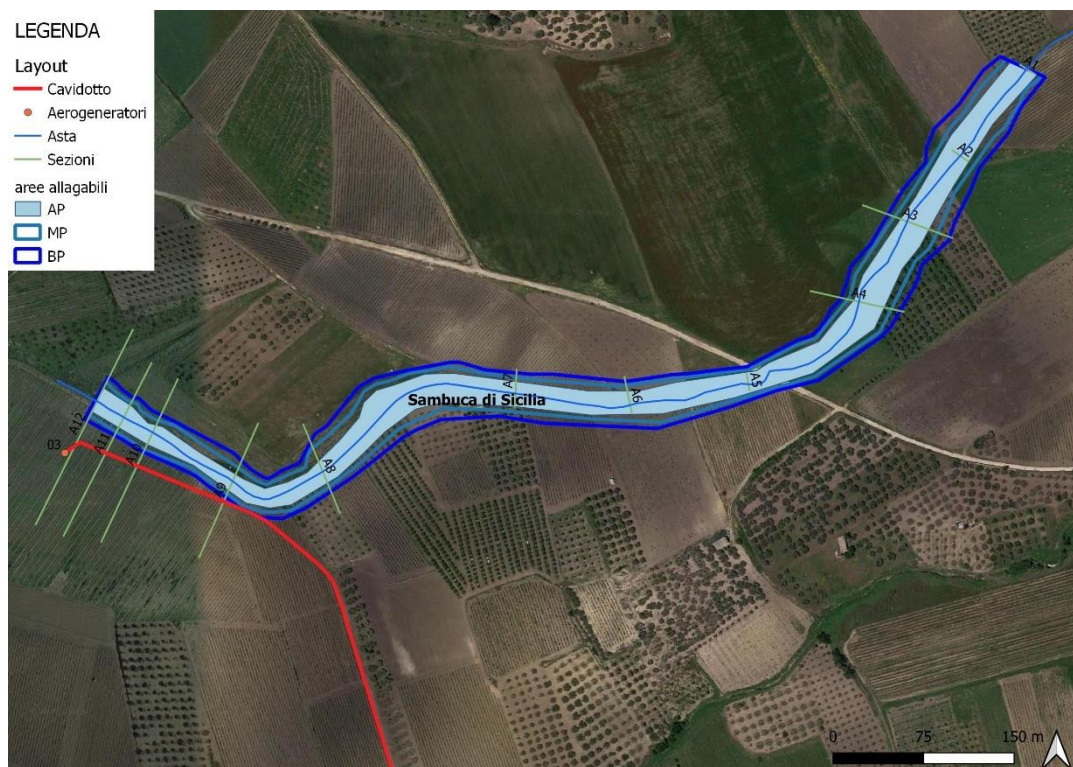


Figura 4 Delimitazione delle aree allagabili impluvio A

Nella figura precedente si nota che la realizzazione dell'impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica si trova in sicurezza idraulica ai sensi delle NTA del PAI.

3 Analisi idraulica semplificata

Il cavidotto in progetto presenta interferenze con il reticolo idrografico. Per la risoluzione delle interferenze 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 cavidotti in caso di assenza di un attraversamento esistente o di un attraversamento non asfaltato ed è caratterizzata dalle seguenti fasi:

AS1) analisi idrologica di 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 posizionato ad una profondità pari a quella massima di escavazione più un franco di sicurezza pari a 1.00 m.

Si riporta di seguito una mappa delle interferenze individuate con i relativi bacini, che verranno risolte tramite T.O.C.

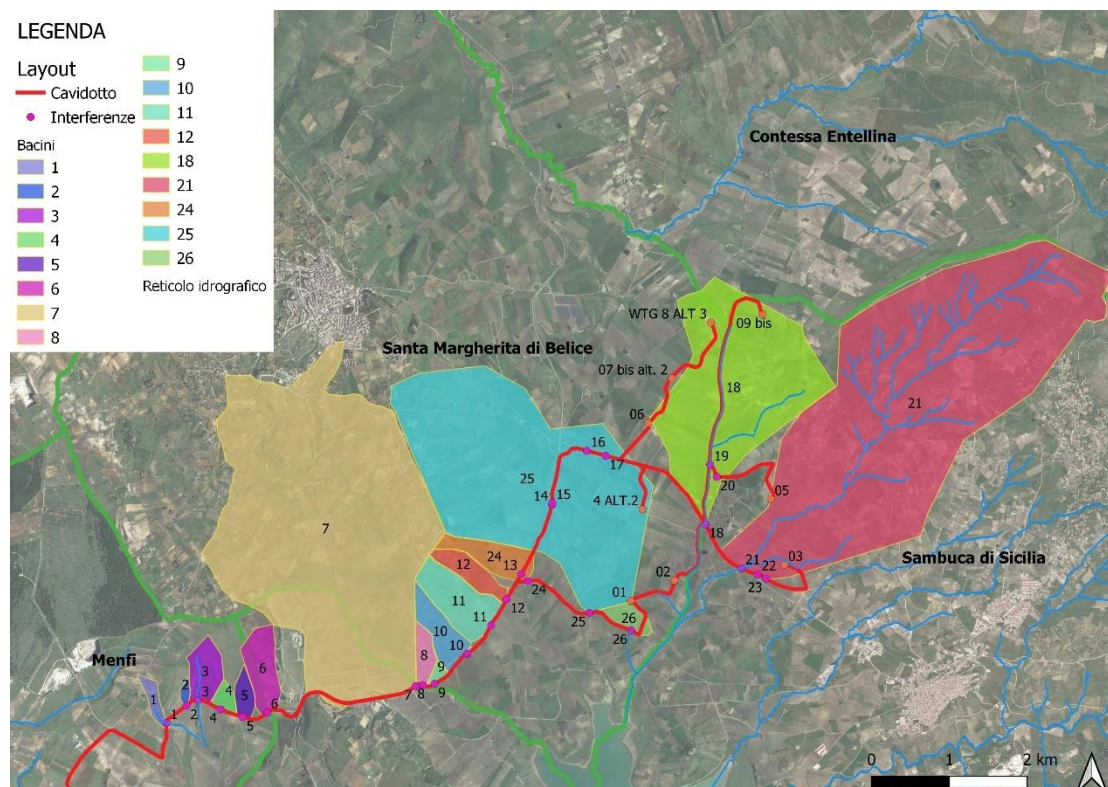


Figura 5: Corografia dell'area in esame con bacini idrografici di interesse

Nella seguente tabella sono riportate le caratteristiche dei bacini ricavate dal DTM della Regione Sicilia con dimensioni della cella 10x10 m.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Caratteristiche fisiografiche							
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	c (-)
Bacino 1	0.099	356.89	344.11	309.69	0.24	20.09	0.40
Bacino 2	0.031	347.55	328.84	303.35	0.11	40.18	0.40
Bacino 3	0.289	376.54	343.99	296.85	0.58	13.69	0.40
Bacino 4	0.082	353.83	325.26	304.05	0.14	35.81	0.40
Bacino 5	0.123	358.30	338.62	304.08	0.32	17.10	0.40
Bacino 6	0.387	366.33	354.44	302.01	0.65	9.93	0.40
Bacino 7	9.019	429.42	326.14	202.88	5.16	4.39	0.40
Bacino 8	0.158	289.60	235.33	202.77	0.27	32.28	0.40
Bacino 9	0.044	219.99	209.29	200.91	0.25	7.79	0.40
Bacino 10	0.337	379.76	262.45	208.39	0.42	41.19	0.40
Bacino 11	0.580	392.79	275.18	214.97	1.04	17.10	0.40
Bacino 12	0.263	392.91	291.14	216.42	0.86	20.52	0.40
Bacino 18	3.732	401.55	278.45	224.14	2.57	6.92	0.40
Bacino 21	9.928	622.80	375.56	221.50	6.61	6.07	0.40
Bacino 24	0.374	402.95	279.56	213.36	0.54	35.24	0.40
Bacino 25	6.077	446.13	270.36	195.80	3.89	6.44	0.40
Bacino 26	0.163	252.21	226.12	200.94	0.18	28.02	0.40

Tabella: 10 Caratteristiche fisiografiche

Nella precedente tabella sono 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;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Come valore del coefficiente di deflusso, 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.

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

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Bacino idrografico	Tempi di corrivazione								
	Giandotti (h)	Kerby (h)	Kirpich (h)	Ventura (h)	Pezzoli (h)	Pasini (h)	media 1 (h)	media 2 (h)	tc (h)
Bacino 1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1
Bacino 2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0
Bacino 3	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.21		0.2
Bacino 4	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1		0.1
Bacino 5	0.4	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1
Bacino 6	0.6	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2		0.2
Bacino 7	2.2	0.6	0.8	1.8	1.4	1.9	1.3		1.3
Bacino 8	0.4	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1
Bacino 9	0.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1
Bacino 10	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1
Bacino 11	0.7	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2		0.2
Bacino 12	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1
Bacino 18	2.0	0.4	0.4	0.9	0.5	0.9	0.6		0.6
Bacino 21	2.3	0.6	0.8	1.6	1.5	1.8	1.3		1.3
Bacino 24	0.5	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1
Bacino 25	2.3	0.5	0.5	1.2	0.8	1.2	0.9		0.9
Bacino 26	0.5	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1		0.1

Tabella: 11 Tempi di corrivazione

Viste le caratteristiche dei bacini, come valore di riferimento per i tempi di corrivazione si è deciso di utilizzare la media delle sole espressioni di Kirpich, Ventura, Pezzoli e Pasini, escludendo la formula di Giandotti, calibrata su bacini con estensione superiore a 100 km².

Ai fini del calcolo delle portate al colmo di piena, si rimanda al paragrafo 2.2. Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati ottenuti per i bacini esaminati.

Bacino idrografico	Curve di possibilità pluviometrica ed altezze di precipitazione (VAPI pluviometria)							
	K50 (-)	K100 (-)	K300 (-)	a' (-)	n (-)	h50 (mm)	h100 (mm)	h300 (mm)
Bacino 1	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	51.0	58.9	71.5
Bacino 2	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	40.6	47.0	57.0
Bacino 3	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	70.7	81.7	99.2
Bacino 4	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	56.7	65.5	79.5
Bacino 5	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	54.4	62.9	76.3
Bacino 6	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	67.6	78.1	94.8
Bacino 7	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	118.6	137.1	166.3
Bacino 8	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	50.4	58.2	70.7
Bacino 9	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	54.6	63.1	76.6
Bacino 10	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	53.8	62.2	75.5
Bacino 11	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	68.7	79.4	96.3
Bacino 12	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	62.9	72.6	88.1
Bacino 18	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	96.6	111.7	135.5
Bacino 21	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	118.2	136.6	165.7
Bacino 24	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	56.8	65.6	79.6
Bacino 25	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	106.1	122.6	148.7
Bacino 26	4.4	5.1	6.2	24.9	0.3	49.3	57.0	69.1

Tabella: 12 Curve di possibilità pluviometrica

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Portate al colmo di piena (VAPI pluviometria)			
Bacino idrografico	Q50 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q300 (m ³ /s)
Bacino 1	8.6	9.9	12.0
Bacino 2	4.8	5.5	6.7
Bacino 3	11.0	12.7	15.4
Bacino 4	5.4	6.3	7.6
Bacino 5	9.0	10.4	12.7
Bacino 6	16.4	19.0	23.0
Bacino 7	92.6	107.0	129.9
Bacino 8	14.1	16.3	19.8
Bacino 9	3.2	3.7	4.5
Bacino 10	25.5	29.4	35.7
Bacino 11	23.7	27.3	33.2
Bacino 12	13.4	15.5	18.8
Bacino 18	64.3	74.3	90.2
Bacino 21	102.9	119.0	144.3
Bacino 24	24.7	28.5	34.6
Bacino 25	82.8	95.6	116.1
Bacino 26	15.4	17.7	21.5

Tabella: 13 Portate al colmo di piena

Coefficienti udometrici			
Bacino idrografico	u50 (m ³ /s·km ²)	u100 (m ³ /s·km ²)	u300 (m ³ /s·km ²)
Bacino 1	86.6	100.1	121.5
Bacino 2	153.4	177.3	215.1
Bacino 3	37.9	43.8	53.2
Bacino 4	66.2	76.5	92.8
Bacino 5	73.4	84.9	103.0
Bacino 6	42.5	49.1	59.5
Bacino 7	10.3	11.9	14.4
Bacino 8	89.2	103.1	125.1
Bacino 9	72.9	84.2	102.2
Bacino 10	75.5	87.3	105.9
Bacino 11	40.8	47.1	57.2
Bacino 12	51.0	59.0	71.6
Bacino 18	17.2	19.9	24.2
Bacino 21	10.4	12.0	14.5
Bacino 24	66.0	76.3	92.6
Bacino 25	13.6	15.7	19.1
Bacino 26	94.2	108.9	132.1

Tabella: 14 Coefficienti udometrici

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto, pertanto, è stata calcolata la profondità massima di escavazione da parte della corrente e, per scopi, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi idraulica per l'evento 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):

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

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 " (m²/s): portata solida (volumetrica) per unità di larghezza;
- " g " (m/s²): accelerazione di gravità;
- " d " (m): diametro caratteristico del sedimento;
- " γ_s " (N/m³): peso specifico del sedimento;
- " γ " (N/m³): 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, larghezza del pelo libero e la cadente piezometrica che sono stati calcolati nella precedente analisi idraulica;
- Alcuni parametri caratteristici del sedimento come 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 25000 N/m³, 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 Müller per i tratti dell'impianto in esame.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Sezione Modello	Bacino
A	1
B	2
C	3
D	4
E	5
F	6
H	7
I	8
L	9
M	10
N	11
O	12
P	24
Q	25
R	18
S	21
T	26

Tabella: 15 Sezioni modello - Bacini

Analisi del trasporto solido - Tr100						
Sezione modello	γ (N/m ³)	γ_s (N/m ³)	d (m)	j (-)	R (m)	θ (-)
A2	9810	25000	0.00002	0.32693	0.260	2744.8
B2	9810	25000	0.00002	0.14504	0.180	843.0
C2	9810	25000	0.00002	0.05129	0.290	480.3
D2	9810	25000	0.00002	0.13831	0.130	580.6
E2	9810	25000	0.00002	0.16162	0.200	1043.8
F2	9810	25000	0.00002	0.05528	0.580	1035.4
H2	9810	25000	0.00002	0.00738	1.220	290.6
I2	9810	25000	0.00002	0.00944	0.440	134.2
L2	9810	25000	0.00002	0.02369	0.160	122.4
M2	9810	25000	0.00002	0.03053	0.370	364.8
N2	9810	25000	0.00002	0.12312	0.340	1351.7
O2	9810	25000	0.00002	0.09912	0.220	704.1
P2	9810	25000	0.00002	0.00442	0.770	109.8
Q2	9810	25000	0.00002	0.01388	0.670	300.2
R2	9810	25000	0.00002	0.01217	0.600	235.8
S2	9810	25000	0.00002	0.01081	1.750	611.0
T2	9810	25000	0.00002	0.02591	0.360	301.2

Tabella: 16 Analisi del trasporto solido – Tr=100 anni

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Sezione modello	Ψ (-)	q_s (m ² /s)	b (m)	Q (m ³ /s)	C (-)	C (ppm)
A2	1150368	0.4010	1.93	9.9	0.07818	78178
B2	195791	0.0683	2.28	5.5	0.02829	28294
C2	84206	0.0294	6.31	12.7	0.01458	14585
D2	111904	0.0390	3.07	6.3	0.01901	19009
E2	269753	0.0940	3.77	10.4	0.03409	34088
F2	266502	0.0929	5.69	19.0	0.02782	27822
H2	39625	0.0138	54.68	107.0	0.00706	7059
I2	12424	0.0043	14.28	16.3	0.00379	3794
L2	10827	0.0038	3.81	3.7	0.00389	3886
M2	55724	0.0194	15.93	29.4	0.01053	10525
N2	397568	0.1386	7.15	27.3	0.03630	36298
O2	149458	0.0521	6.62	15.5	0.02225	22252
P2	9195	0.0032	24.71	28.5	0.00278	2779
Q2	41598	0.0145	48.76	95.6	0.00740	7396
R2	28956	0.0101	45.63	74.3	0.00620	6199
S2	120820	0.0421	39.11	119.0	0.01384	13842
T2	41804	0.0146	9.35	17.7	0.00770	7698

Tabella: 17 Analisi del trasporto solido – Tr=100 anni

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 riportati i risultati del calcolo della massima profondità di erosione effettuato con tale modulo e, in particolare, utilizzando il metodo “Regime”.

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

Massima profondità di erosione - Tr100			
Sezione modello	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	0.03	202.52	0.00050
B2	0.05	90.89	0.00063
C2	0.1	99.3	0.000568
D2	0.07	79.79	0.00063
E2	0.06	137.16	0.000552
F2	0.08	167.53	0.000509
H2	0.34	201.13	0.000394
I2	0.28	57.84	0.000497
L2	0.17	27.88	0.000639
M2	0.17	128.49	0.000496
N2	0.07	229.29	0.000467
O2	0.08	135.37	0.000537
P2	0.41	65.71	0.000421
Q2	0.32	194.55	0.000403
R2	0.33	157.19	0.000414
S2	0.23	296.17	0.00420
T2	0.18	85.39	0.00054

Tabella: 18 Massima profondità di erosione

Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di escavazione compresa tra un minimo di 3 cm ad un massimo di 41 cm per le sezioni in esame.

Al fine di tener conto del franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, si prevede di porre in opera il cavidotto a una profondità compresa tra 1.03 m e 1.41 m.

Per concludere, le profondità di posa del cavidotto relative alle interferenze considerate sono le seguenti:

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Del Giudice" di potenza in immissione pari a 50.4 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA)

RS06REL0003A0 – Relazione idrologica e idraulica

interferenze	regime depth (m)	profondità di posa (m)
1	0.03	1.03
2	0.05	1.05
3	0.1	1.1
4	0.07	1.07
5	0.06	1.06
6	0.08	1.08
7	0.34	1.34
8	0.28	1.28
9	0.17	1.17
10	0.17	1.17
11	0.07	1.07
12	0.08	1.08
13	0.41	1.41
14	0.32	1.32
15	0.32	1.32
16	0.32	1.32
17	0.32	1.32
18	0.33	1.33
19	0.33	1.33
20	0.33	1.33
21	0.23	1.23
22	0.23	1.23
23	0.23	1.23
24	0.41	1.41
25	0.32	1.32
26	0.18	1.18

Tabella: 19 Profondità di posa del cavidotto in corrispondenza delle interferenze

4 Conclusioni

La presente relazione accompagna il progetto di realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, con potenza nominale pari a 50.4 MW, da realizzare nei comuni di Santa Margherita di Belice, Sambuca di Sicilia, Menfi (AG) e Contessa Entellina (PA).

Nel presente studio è stata effettuata sia un'analisi idrologica volta alla determinazione delle portate al colmo di piena mediante il metodo VAPI Sicilia per tempi di ritorno pari a 50, 100 e 300 anni e due analisi idrauliche.

- Una in moto permanente che grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC – RAS dello US Army Corps of Engineers, è finalizzata alla valutazione delle modalità di deflusso degli eventi di piena al fine di stabilire i massimi valori del livello di pelo libero e, di conseguenza, di valutare le effettive estensioni delle aree a diversa pericolosità idraulica;
- Un'analisi idraulica semplificata per la valutazione della profondità di escavazione del ramo in corrispondenza dell'interferenza con il cavidotto.

Dallo studio idraulico è emerso che l'impianto non risulta interessato da aree a pericolosità idraulica generato dai vari impluvi.

Per tali scopi, pertanto, si è considerato un valore di riferimento per il franco di sicurezza corrispondente a quello prescritto dalla "Guida alla progettazione dei sistemi di collettamento e depurazione delle acque reflue urbane" del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) del 2001 che prevede:

- Il 50% dell'altezza utile se questa non supera i 40 cm;
- 20 cm se l'altezza utile è compresa tra i 40 e i 100 cm;
- Il 20% dell'altezza utile se questa è superiore a 100 cm.

Come si può notare il cavidotto risulta interferente con alcuni rami del reticolo idrografico, ma la profondità di scavo massima per garantire una corretta posa de cavidotto, comprensiva del franco di sicurezza idraulico, non supera 1.41 m, come già precisato in precedenza, la tecnica migliore per la risoluzione delle presenti interferenze risulta essere la T.O.C.