



REGIONE  
LAZIO



COMUNE DI  
TUSCANIA



PROVINCIA DI  
VITERBO

## PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Tuscania" di potenza nominale pari a 33 MW e relative opere connesse da realizzarsi nel comune di Tuscania (VT)

Titolo elaborato

### Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

**F0602AR06A**

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

Ing. Giuseppe MANZI  
Dott. For. Luigi ZUCCARO  
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA  
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA  
Arch. Gaia TELESCA



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



**REXENIA S.p.a.**  
Viale Abruzzo 410, 66010 Chieti

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Gennaio 2024	Prima emissione	AIE	GZU	GDS

## Sommario

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Analisi idrologica</b>	<b>4</b>
2.1	Bacini idrografici	4
<b>3</b>	<b>Analisi idraulica</b>	<b>10</b>
3.1	Geometria del modello idrodinamico	10
3.2	Portate di piena	10
3.3	Condizioni al contorno	11
3.4	Parametri di scabrezza	11
<b>4</b>	<b>Analisi idraulica semplificata</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>15</b>

## Relazione idrologica e idraulica

# 1 Premessa

---

La presente relazione idrologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Tuscania", localizzato nel territorio comunale di Tuscania in provincia di Viterbo. L'impianto sarà composto da n. 5 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 33 MW. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel territorio comunale di Tuscania.

L'area oggetto di studio ricade nell'ambito di competenza dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale e, benché non interessata da pericolosità idraulica, risulta caratterizzata dalla presenza, nelle immediate vicinanze, di rami del reticolo idrografico.

Per tale ragione, nel presente studio è stato effettuato un primo studio idrologico-idraulico finalizzato a valutare la profondità di posa del cavidotto nei tratti di interferenza con le linee d'impluvio naturali in funzione della profondità massima di escavazione della corrente in piena.

Le analisi idrologiche, illustrate in dettaglio nel seguito, sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo Vapi Lazio al fine di stabilire le portate al colmo di piena con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

Inoltre in funzione dei risultati ottenuti, 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 è stata preceduta da una analisi 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.

## 2 Analisi idrologica

Nella presente analisi idrologica sono state determinate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo del metodo VAPI Lazio, come illustrato all'interno della Relazione di Piano del PAI, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (ex AdB Bacini Regionali Lazio).

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

### 2.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati i bacini idrografici sottesi alle rispettive sezioni di chiusura. La delimitazione dei bacini idrografici è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25.000 che il Modello Digitale del Terreno (*Digital Terrain Model, DTM*) messo a disposizione della sezione di Pisa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia con dimensione di cella 10x10m.

I bacini idrografici sono stati individuati nelle immediate vicinanze delle interferenze del cavidotto in progetto con gli impluvi naturali in modo da determinare le portate defluenti esattamente in quei punti.

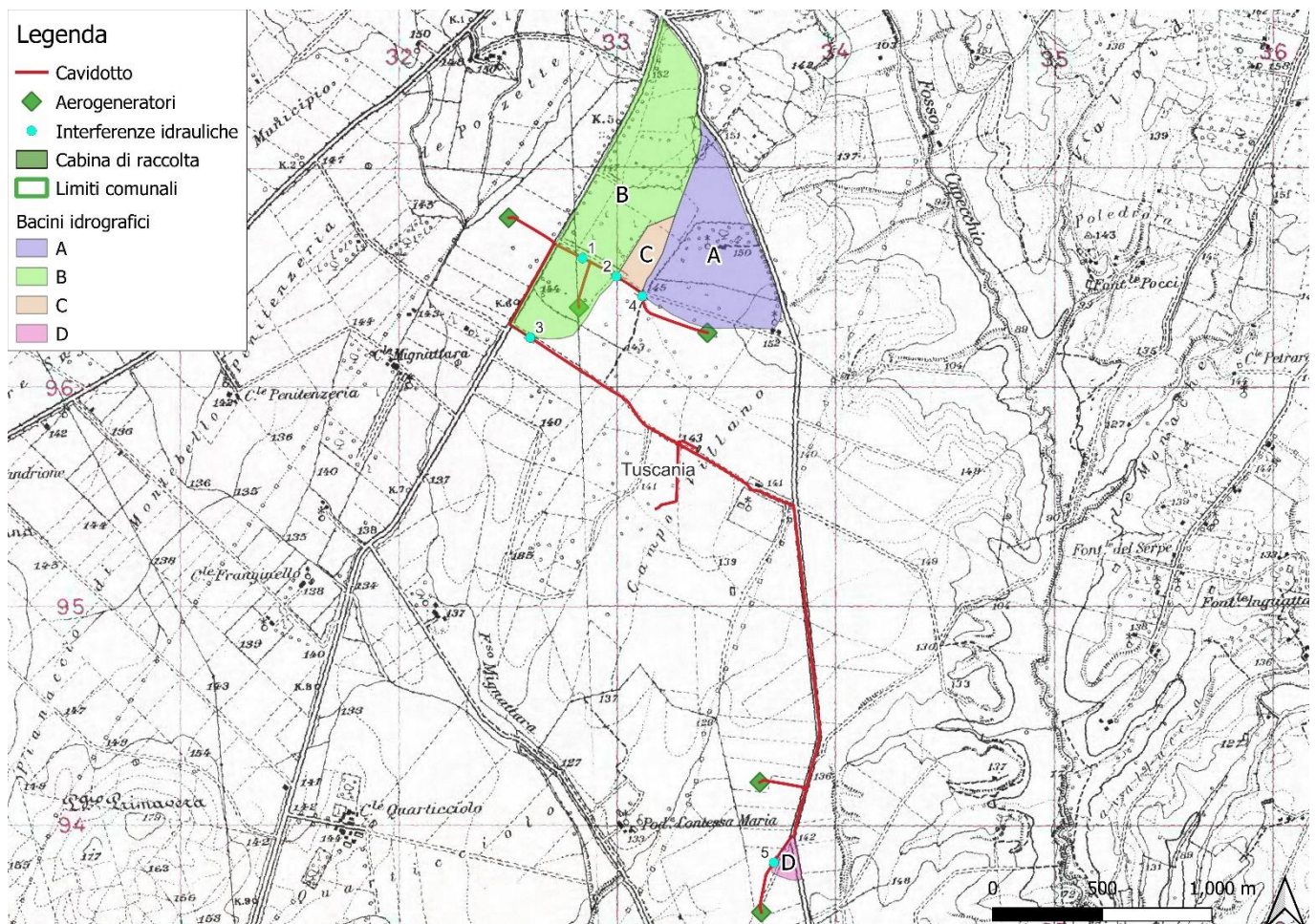


Figura 1: Planimetria dei bacini idrografici

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche fisiografiche del bacino ricavate dal DTM avente dimensione di cella pari a 10x10 m.

**Tabella 1: Superficie e piena indice**

Superficie e piena indice			
Sezione di chiusura	S (km <sup>2</sup> )	H med (mslm)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Bacino A	0.320	147.59	125.5
Bacino B	0.480	146.70	125.5
Bacino C	0.039	145.89	125.5
Bacino D	0.016	142.59	125.5

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "S" (km<sup>2</sup>): superficie del bacino;
- "H" (m s.l.m.): quota media del bacino;
- "Q" (m<sup>3</sup>/s): portata funzione dell'area.

## 2.2 Portate al colmo di piena

Come già anticipato, l'analisi dei parametri relativi alla precipitazione è stata effettuata applicando al caso in esame la metodologia e la procedura proposta dal programma VAPI.

Tale approccio prevede la stima delle portate attraverso la regionalizzazione delle piogge intense. Si riportano di seguito i parametri regionali utilizzati per la determinazione dell'intensità di pioggia e successivamente le portate.

Al primo e secondo livello di regionalizzazione sono state identificate tre zone omogenee:

- Zona A (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- Zona B (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propaggini dei colli Albani e dei monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi dell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- Zona C (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

Il sito di interesse, in particolare, è situato nella "zona omogenea A (Tirrenica)", dove il coefficiente di crescita assume la seguente espressione:

$$K_T = -0.609 + 0.799 \cdot \ln(T)$$

Per quanto concerne il terzo livello di regionalizzazione, i bacini oggetto dello studio sono posti all'interno della zona omogenea A9, caratterizzata dai valori riportati nella tabella seguente:

Tabella 2: Parametri terzo livello di regionalizzazione

Parametri al terzo livello di regionalizzazione						
Sezione di chiusura	N	c (mm/m)	d (mm)	b (h)	m	$\mu_{io}/\mu_{i24}$
Zona A9	7.000	0.027	61.61	0.1502	0.7555	4.645

Dove:

- "b" è un parametro di trasformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata che dal tempo di ritorno;
- "m" è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata che dal tempo di ritorno;
- " $\mu_{io}$ " è l'intensità di pioggia istantanea;
- " $\mu_{i24}$ " è l'intensità di pioggia media nelle 24 ore

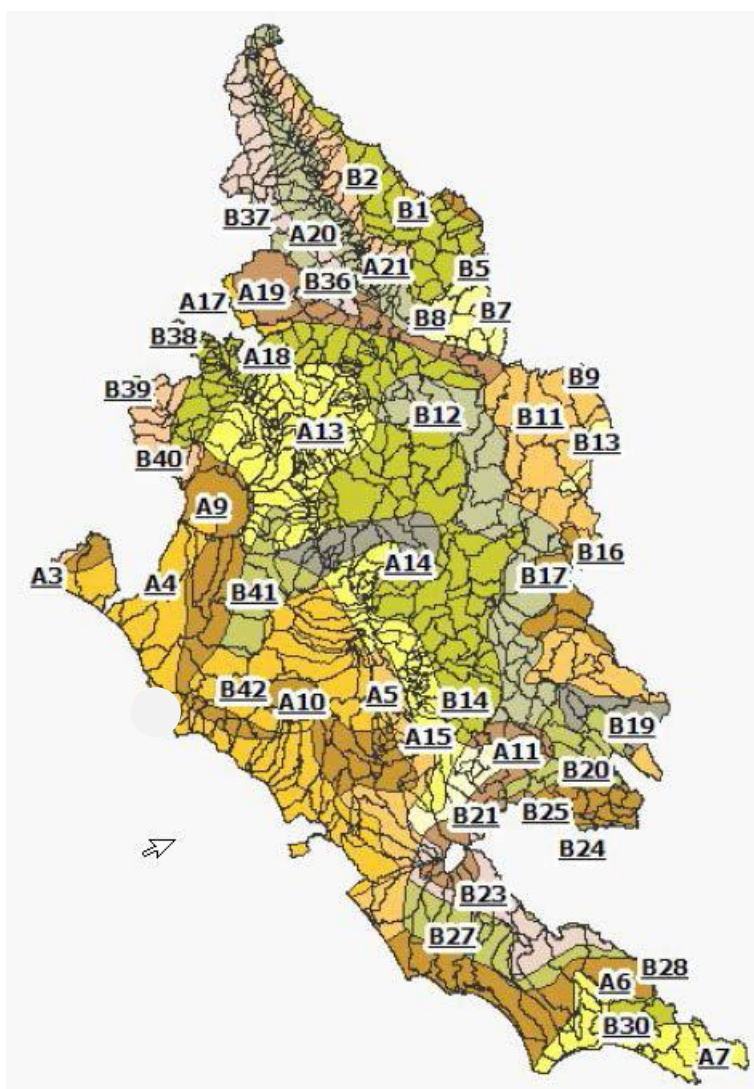


Figura 2: Sottozone omogenee del rapporto VAPI Roma - Pescara

Su tutto il territorio considerato, l'intensità media di 24 ore è proporzionale all'intensità media giornaliera calcolata con la formula seguente:

$$\mu_{i24} = \delta \cdot \frac{(c \cdot Z + d)}{24}$$

Dove  $\delta$  è assunto costante su tutto il territorio e vale 1.15. Per i bacini in esame, quindi, il valore di  $\mu_{i24}$  è indicato nella tabella seguente.

**Tabella 3**

$\mu_{i24}$	
Bacino A	3.14103951
Bacino B	3.13990044
Bacino C	3.13886376
Bacino D	3.13464024

Dai passaggi successivi dettati dal metodo VAPI si ottiene la pioggia indice considerata come valore costante secondo la formula seguente:

$$\mu_{io} = \mu_{i24} \cdot \left(\frac{\mu_{io}}{\mu_{i24}}\right)$$

**Tabella 4**

$\mu_{io}$	
Bacino A	14.5901285
Bacino B	14.5848375
Bacino C	14.5800222
Bacino D	14.5604039

Mentre con la formula seguente è possibile calcolare la media dell'intensità di pioggia:

$$\mu_{it} = \mu_{io}(Z) \cdot \left(\frac{b}{b+t}\right)^m$$

**Tabella 5**

$\mu_{it}$	
Bacino A	9.70374901
Bacino B	11.4622866
Bacino C	8.94486063
Bacino D	10.8429446

Dove "t" è il tempo di corrvazione dei bacini calcolato tramite l'adozione di due formule Giandotti e Kirpich, per le quali si definiscono anche i relativi campi di applicazione di seguito riportati.

- Giandotti:

$$tc(G) = 5 \times \sqrt{A} + 1.75 \times L / \sqrt{H_{med}} \text{ (ore) per bacini di superficie } A > 75 \text{ km}^2$$

- Relazione interpolare:

$$tc(M) = tc(G) \times \frac{(A-1)}{74} + tc(K) \times \frac{(75-A)}{74} \text{ (ore) bacini di superficie } 1 < A < 75 \text{ km}^2$$

- Kirpich:



$$tc(K) = 0.93 \times \left( \frac{L}{\sqrt{\frac{Y_{max}}{L}}} \right)^{0.77} \text{ (ore) per bacini di superficie } A < 1 \text{ km}^2$$

Dove:

- "A" è l'area del bacino (km<sup>2</sup>);
- "L" è la lunghezza dell'asta principale (km);
- "Hm" è l'altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m);
- "Ymax" è l'altitudine massima del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m).

Nella tabella seguente sono riportati i valori corrispondenti alle tre formule indicate in precedenza.

**Tabella 6: Tempo di corrivazione**

Tempo di corrivazione del bacino				
	L (km)	tc (h)	tc (h)	tc (h)
Bacino A	0.560	0.026278387	0.06959102	0.070
Bacino B	1.325	0.04054858	0.18861086	0.190
Bacino C	0.340	0.011137987	0.03928179	0.040
Bacino D	0.120	0.006013434	0.01190181	0.012

Per l'elaborazione delle precipitazioni intense di breve durata, quindi, è stata considerata la seguente legge intensità-durata-frequenza:

$$it(T) = \mu_{it} \cdot K_T$$

**Tabella 7: Intensità**

i (mm/h) (Tr30)		i (mm/h) (Tr200)		i (mm/h) (Tr500)	
Bacino A	23.0743791	Bacino A	39.662085	Bacino A	47.67378715
Bacino B	16.6332938	Bacino B	28.590633	Bacino B	34.36591311
Bacino C	25.7938027	Bacino C	44.336447	Bacino C	53.29236599
Bacino D	28.9826513	Bacino D	49.817694	Bacino D	59.88082022

Nella tabella precedente sono state determinate tutte le intensità di precipitazione mediante l'utilizzo della formula precedente per i tempi di ritorno considerati.

Per concludere, le portate sono state calcolate con il metodo razionale moltiplicando l'intensità di pioggia nella tabella precedente per la superficie dei bacini e per un coefficiente di deflusso che, nel caso specifico, è stato posto pari, a 0.30 in quanto trattasi di terreno puramente agricolo, in accordo con i valori riportati in letteratura.

$$Q_T = \frac{S \cdot c \cdot i_T}{3.6} = \frac{S \cdot c \cdot h_T}{3.6 \cdot t}$$

dove:

- "S" (km<sup>2</sup>): superficie del bacino;
- "i" (mm/h): intensità di precipitazione;
- "c" (-): coefficiente di deflusso che, considerate le caratteristiche dei bacini in esame, è stato posto pari a 0.3.

**Tabella 8: Portate al colmo di piena**

Portata al colmo di piena con il metodo razionale				
	$\phi$	Q30	Q200	Q500
Bacino A	0.3	0.615	1.058	1.271
Bacino B	0.3	0.665	1.144	1.375
Bacino C	0.3	0.084	0.144	0.173
Bacino D	0.3	0.039	0.066	0.080

### 3 Analisi idraulica

Il tratto di cavidotto di interesse, in riferimento ai punti di intersezione con il reticolo idrografico per i quali non è previsto l'ancoraggio all'attraversamento stradale esiste mediante staffe, 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.

#### 3.1 Geometria del modello idrodinamico

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

Tabella 9: Sezioni modello

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1	-1	0.00	8.54	145.04	0.0043
A2	-2	8.54	8.40	145.00	0.0064
A3	-3	16.94	0.00	144.94	0.0053
B1	-1	0.00	8.70	142.46	0.0153
B2	-2	8.70	8.40	142.32	0.0120
B3	-3	17.10	0.00	142.22	0.0137
C1	-1	0.00	11.73	145.08	0.0048
C2	-2	11.73	7.41	145.02	0.0217
C3	-3	19.14	0.00	144.86	0.0113
D1	-1	0.00	12.88	140.09	0.0565
D2	-2	12.88	10.13	139.37	0.0313
D3	-3	23.01	0.00	139.05	0.0454

#### 3.2 Portate di piena

Come portata al colmo di piena ai fini della verifica di escavazione è stata considerata quella con un tempo di ritorno pari a 200 anni ricavata nella precedente analisi idrologica. La portata, come già anticipato, è stata considerata costante nel tempo e la simulazione è stata condotta in condizioni di moto permanente.

### 3.3 Condizioni al contorno

---

Le condizioni al contorno, necessarie per l'esecuzione della simulazione idrodinamica 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.

### 3.4 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  $0.050 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$ ).

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).

## 4 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 200 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:

- " $\Psi$ " (-): parametro di trasporto;
- " $\Theta$ " (-): 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;
- " $\gamma_s$ " ( $N/m^3$ ): peso specifico del sedimento;
- " $\gamma$ " ( $N/m^3$ ): 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'impianto in esame.

**Tabella 10: Parametri trasporto solido**

Analisi del trasporto solido - Tr200						
Sezione	$\gamma$	$\gamma_s$	d	j	R	$\theta$
	(N/m <sup>3</sup> )	(N/m <sup>3</sup> )	(m)	(-)	(m)	(-)
A2	9810	25000	0.00002	0.006	0.070	12.5
B2	9810	25000	0.00002	0.007	0.110	26.2
C2	9810	25000	0.00002	0.021	0.020	13.3
D2	9810	25000	0.00002	0.024	0.030	23.0

**Tabella 11: Parametri trasporto solido**

Sezione	$\Psi$	$q_s$	b	Q	C	C
	(-)	(m <sup>2</sup> /s)	(m)	(m <sup>3</sup> /s)	(-)	(ppm)
A2	352	0.0001	66.340	1.060	0.008	7678
B2	1071	0.0004	25.960	1.140	0.009	8502
C2	387	0.0001	37.080	0.140	0.036	35717
D2	879	0.0003	7.530	0.070	0.033	32948

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".

**Tabella 12: Risultati escavazione**

Massima profondità di erosione - Tr200			
Sezione	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	0.07	20.87	0.00085
B2	0.07	22.76	0.00085
C2	0.01	16.29	0.00113
D2	0.01	11.06	0.00128

Come è possibile osservare dalla tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di escavazione variabile a 0.01 e 0.07 m per i tratti di interferenza analizzati.

Al fine di tenere conto del franco minimo di sicurezza pari a 1.00 m, previsto dalle norme dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale, si prevede di porre in opera il cavidotto in progetto ad una profondità di 1.07 m circa per il tratto di interesse relativo alle intersezioni con i fossi di interesse.

Tenuto conto che la profondità di posa del cavidotto è pari ad 1.07 m la strategia risolutiva di tali interferenze è la Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC).

**Tabella 13: Profondità di posa**

<b>Interferenze</b>	<b>Regime depth (m)</b>	<b>Profondità di posa (m)</b>
1	0.07	1.07
2	0.01	1.01
3	0.07	1.07
4	0.07	1.07
5	0.01	1.01

## 5 Conclusioni

---

La presente relazione idrologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione di un nuovo parco eolico, denominato "Tuscania", localizzato nel territorio comunale di Tuscania in provincia di Viterbo. L'impianto sarà composto da n. 5 aerogeneratori della potenza nominale di 6.6 MW ciascuno, con la potenza complessiva in immissione di 33 MW. Le relative opere di connessione saranno ubicate nel territorio comunale di Tuscania. L'area oggetto di studio ricade nell'ambito di competenza dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale e, benché non interessata da pericolosità idraulica, risulta caratterizzata dalla presenza, nelle immediate vicinanze, di rami del reticolo idrografico. Le analisi idrologiche, sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo Vapi Lazio al fine di stabilire le portate al colmo di piena con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni.

L'analisi idraulica semplificata ha permesso di dimostrare i valori della profondità massima di escavazione della corrente in concomitanza di una portata con tempo di ritorno pari a 200 anni. La profondità di scavo massima per garantire una corretta posa del cavidotto, comprensiva del franco di sicurezza idraulico, non supera 1.07 m, come già precisato in precedenza, la tecnica migliore per la risoluzione delle presenti interferenze risulta essere la T.O.C.