



REGIONE  
LAZIO



COMUNE DI  
CELLENO



COMUNE DI  
MONTEFIASCONE



COMUNE DI  
VITERBO



PROVINCIA DI  
VITERBO

## PROGETTO DEFINITIVO

Impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Acquaforte" di potenza nominale pari a 47.6 MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Celleno, Montefiascone e Viterbo.

Titolo elaborato

### Relazione idrologico-idraulica

Codice elaborato

**F0532BR06B**

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  
Ing. Giuseppe MANZI  
Ing. Alessandro Carmine DE PAOLA  
Ing. Mariagrazia LOVALLO  
Ing. Gerardo SCAVONE  
Ing. jr- Flavio TRIANI  
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

#### APOLLO Wind srl

Via della Stazione 7 39100  
Bolzano (Bz)

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Maggio 2023	Prima emissione	GDS	GMA	GZU
Gennaio 2024	Integrazione volontaria	GDS	GMA	GZU

## Sommario

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Interferenze idrauliche del progetto</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Analisi idrologica</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>Bacini idrografici</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Portate al colmo di piena in base al metodo VAPI applicato all'idrometria</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Analisi idraulica</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Analisi idraulica semplificata</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>13</b>

# 1 Premessa

L'impianto in progetto, denominato "Acquaforte" di potenza complessiva di 47.6 MW, composto da n. 7 aerogeneratori con annesse piste, piazzole di stoccaggio e cavidotto; interesserà diversi territori comunali della Provincia di Viterbo (VT).

In particolare, i comuni di Celleno e Montefiascone e Viterbo saranno interessati dall'installazione dei sette aerogeneratori (di potenza unitaria pari a 6.x MW) e dal tracciato del cavidotto di collegamento alla Cabina di Raccolta, situata nella parte Nord-Est del comune di Viterbo, fino allo stallo di arrivo alla nuova Stazione Elettrica (SE).

Il modello di aerogeneratore attualmente previsto dalla proposta progettuale in esame è caratterizzato da un diametro massimo del rotore pari a 170 m, da un'altezza al mozzo di 115 m e da un'altezza complessiva al tip (punta) della pala di 200 m; quindi, si tratterà di macchine di grande taglia. In particolare, un modello commerciale che attualmente soddisfa questi requisiti tecnico-dimensionali è la **Siemens Gamesa SG 170 Hhub 115 – 6.X o similare**.

Il futuro parco eolico interesserà una fascia altimetrica compresa tra 200 e 400 m s.l.m., destinata principalmente a colture agrarie (seminativi in aree non irrigue e sistemi colturali e particellari complessi).

Il territorio interessato dall'intervento non presenta nuclei abitativi estesi ma è costituito da piccoli centri urbani, ed è inoltre caratterizzato da piccoli insediamenti formati da masserie (case coloniche con i relativi fabbricati rustici di servizio necessari alla coltivazione di prodotti agricoli locali ed all'allevamento zootecnico) ed edifici a destinazione produttiva (aziende agricole, impianti di trasformazione dei prodotti agricoli, agriturismi, bed and breakfast); poste comunque ad una distanza di almeno 200 m dagli aerogeneratori previsti in progetto, come può evincersi dalla cartografia tematica allegata, per cui, presumibilmente, non subiranno turbamenti dovuti alla presenza delle turbine eoliche.

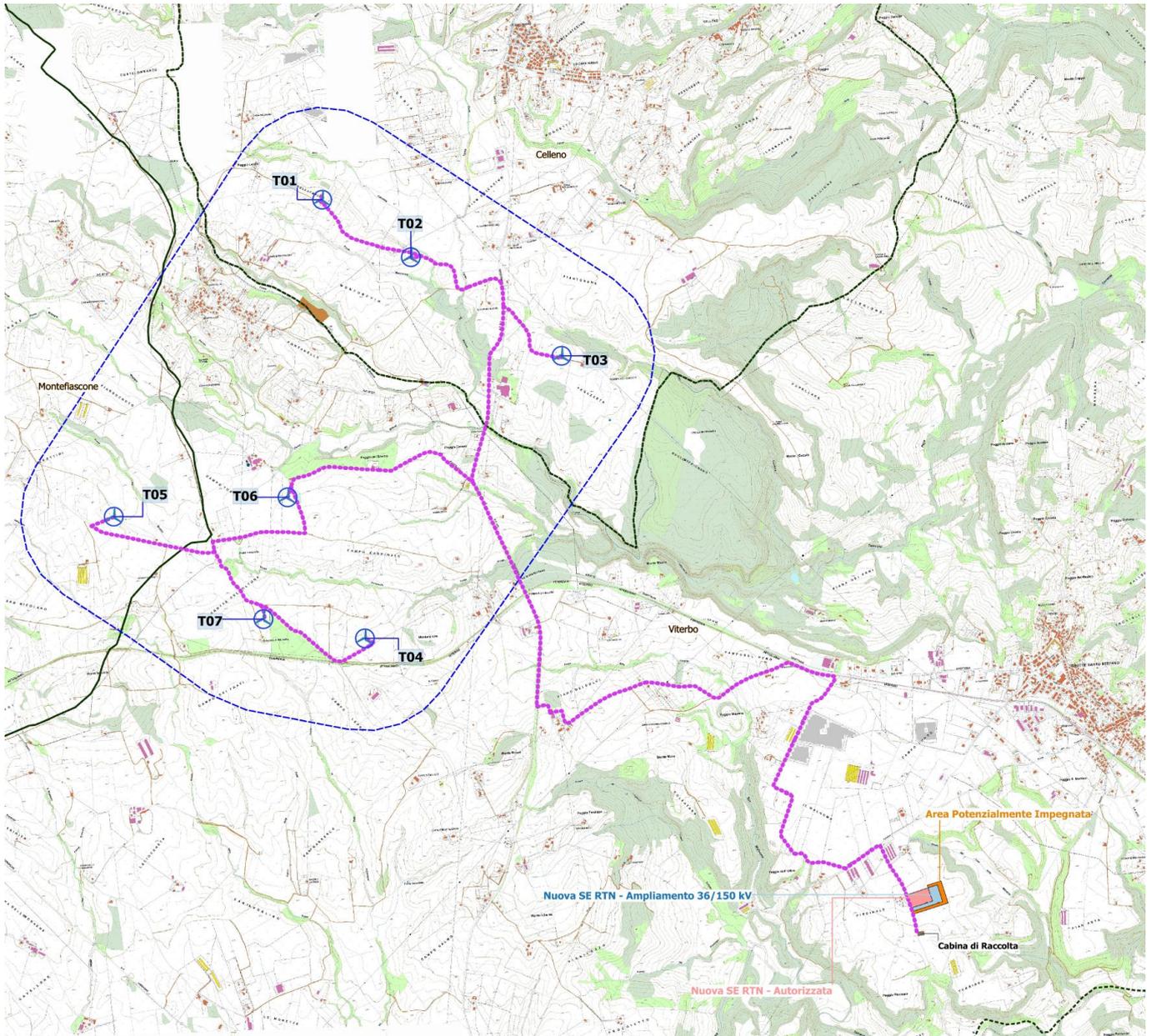
La scelta del **sito di impianto** in esame è ricaduta su un'area a destinazione agricola, classificate come: **zone agricole Ec** dal Piano Urbanistico Comunale di Celleno, **zone agricola E4** dal Piano Urbanistico Comunale di Viterbo ed infine come **zone agricole E1- Zone agricola di primaria importanza** dal Piano Urbanistico Comunale di Montefiascone.

Di seguito si riporta l'inquadramento territoriale dell'area di progetto su carta IGM (Copertura regioni zona WGS84-UTM33).

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.

Le analisi idrologiche, illustrate in dettaglio nel seguito, sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo VAPI Lazio (come previsto all'interno del citato PAI) al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 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 – Inquadramento opere su C.T.R.**

## 2 Interferenze idrauliche del progetto

Il cavidotto in progetto presenta alcune interferenze con il reticolo idrografico.  
Nel dettaglio si evidenziano 6 interferenze:

id	Tipologia di risoluzione	num. Terne
1	TOC	1
2	TOC	1
3	STAFFAGGIO A STRUTTURA ESISTENTE	3
4	TOC	3
5	TOC	1
6	TOC	2

Riportate planimetricamente all'interno dell'elaborato F0532BT12B.

Per ciascuna di esse, con eccezione della n.3, 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 ed è caratterizzata dalle seguenti fasi:

- AS1) analisi idrologica in base al metodo VAPI Lazio;
- 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.

### 3 Analisi idrologica

Nella presente analisi idrogeologica 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.

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.

#### 3.1 Bacini idrografici

Per ciascun impluvio è stato identificato il corrispondente bacino idrografico sotteso alle sezioni di chiusura.

Le delimitazioni dei bacini idrografici sono state effettuate utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25'000 che il Modello Digitale del Terreno (*Digital Terrain Model, DTM*).

#### 3.2 Portate al colmo di piena in base al metodo VAPI applicato all'idrometria

L'analisi dei parametri relativi alla precipitazione è stata effettuata applicando al caso in esame la metodologia e la procedura proposta dallo studio 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 di progetto e successivamente per 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 Vultsini e i monti Cimini 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:

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

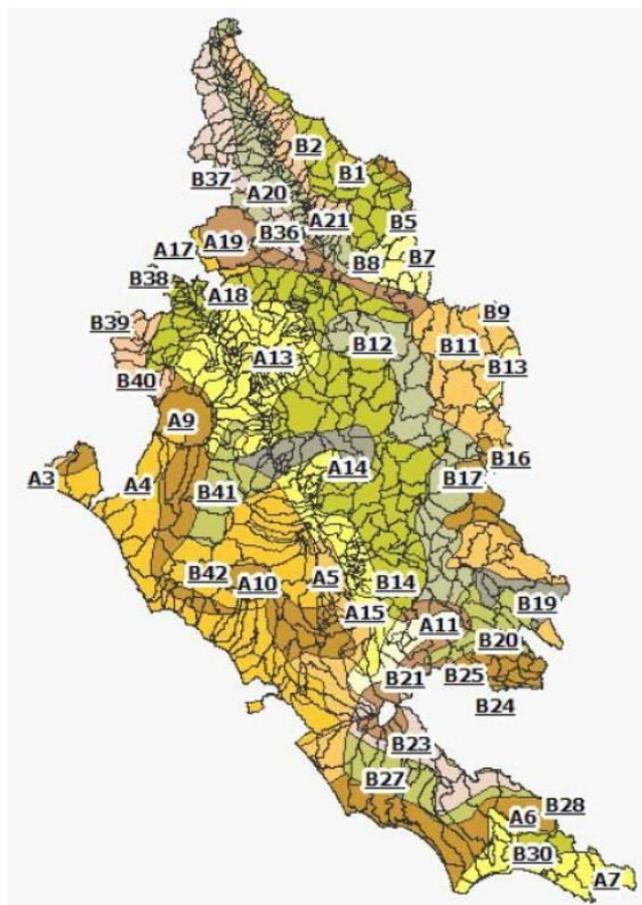
Per quanto concerne il terzo livello di regionalizzazione, i bacini oggetto dello studio sono posti in parte all'interno della zona omogenea A4 ed in parte all'interno della zona omogenea A9 caratterizzate dai valori riportati nella tabella seguente.

**Tabella 1**

Parametri al terzo livello di regionalizzazione						
Sezione di chiusura	N	c (mm/m)	d (mm)	b (h)	m	$\mu_{io}/\mu_{i24}$
Zona A4	13.000	0.034	67.67	0.1705	0.7881	4.962
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, sia dal tempo di ritorno;
- "m" è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno;
- " $\mu_{io}$ " è la media dell'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:

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

Dove " $\delta$ " è assunto costante su tutto il territorio e vale 1.15.

Dai passaggi successivi del VAPI si ottiene l'intensità istantanea media in relazione alla quota:

$$\mu_{io}(Z) = \mu_{i24}(Z) \cdot \left(\frac{b + 24}{b}\right)^m$$

Si riportano nella tabella seguente i valori ottenuti per l'intensità istantanea media.  
Quindi, in funzione del tempo di corrivazione  $t$ , si calcola la media dell'intensità di pioggia:

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

Si riportano nella seguente tabella i risultati ottenuti per i bacini in esame.

Il tempo di corrivazione dei bacini è stato 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:

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

- 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).

Per l'elaborazione delle precipitazioni intense di breve durata è necessario utilizzare la seguente legge intensità-durata-frequenza:

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

Nella tabella seguente sono state determinate tutte le intensità di precipitazione mediante l'utilizzo della formula precedente per il tempo di ritorno pari a 200 anni.

Per concludere, le portate sono state calcolate con il metodo razionale moltiplicando l'intensità di pioggia per la superficie dei bacini e per un coefficiente d'afflusso che nel caso specifico è stato posto pari a 0.30 in quanto i bacini in esame ricadono in terreni puramente agricoli:

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

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.

## 4 Analisi idraulica

---

Al fine di ottenere i parametri idrodinamici necessari 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 30, 200 e 500 anni, corrispondono ai tempi di ritorno di riferimento per la delimitazione delle aree ad "alta" (AP), "media" (MP) e "bassa" (BP) pericolosità idraulica del PAI.

## 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 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.

**Tabella 2 – interferenze idrauliche cavidotto**

<b>id</b>	<b>soluzione</b>	<b>Escavazione massima prevista (m)</b>
1	Trivellazione Orizzontale	1
2	Trivellazione Orizzontale	1
3	Staffaggio a struttura esistente	n.a.
4	Trivellazione Orizzontale	1
5	Trivellazione Orizzontale	1
6	Trivellazione Orizzontale	1

In corrispondenza di ciascuna interferenza, dato che la profondità massima di escavazione è stimata pari a 1.0m si prevede di realizzare delle Trivellazioni Orizzontali Controllate (T.O.C.) di profondità minima pari a 2m.

Per quel che riguarda l'interferenza identificata con id 3, trattandosi di uno staffaggio a struttura esistente, la valutazione della escavazione massima non è stata eseguita.

## 6 Conclusioni

---

Il cavidotto di collegamento tra il parco eolico "Acquaforte" e la cabina di consegna posta nelle immediate vicinanze della futura SE prevista nel comune di Viterbo intercetta il reticolo idrografico in diversi punti.

Per ciascuna interferenza è stata effettuata una analisi dei regimi di deflusso dei corsi d'acqua con l'obiettivo di determinare la massima profondità di escavazione riferita ad ogni impluvio e finalizzata a progettare una adeguata profondità di posa del cavidotto.

Le analisi idrologiche sono state condotte mediante l'utilizzo del metodo VAPI Lazio al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 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 rispetto al fenomeno di escavazione massima possibile.**