



REGIONE  
BASILICATA



COMUNE DI  
FORENZA



COMUNE DI  
MASCHITO



COM. DI PALAZZO  
S. GERVASIO



PROVINCIA DI  
POTENZA

## PROGETTO DEFINITIVO

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

Titolo elaborato

### A.3 - Relazione Idrologico-idraulica

Codice elaborato

**F0626AR03A**

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. Angelo CORRADO  
Ing. Mariagrazia PIETRAFESA  
Geom. Nicola DEMA  
Ing. Federica COLANGELO  
Ing. Mariagrazia LOVALLO  
Arch. Gaia TELESCA  
Ing. Jr. Maria CARLEO  
Sig. Vito PIERRI



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

#### Forenza S.r.l.

Via Dante 7 20123 - Milano



Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Febbraio 2024	Prima emissione	GDS	PFZ	MMA

## Sommario

<b>1</b>	<b>Premessa</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Normativa di riferimento</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Cavidotto: Interferenze idrauliche</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Analisi idraulica semplificata</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Viabilità temporanea e definitiva: interferenze idrauliche</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>Portate al colmo di piena</b>	<b>11</b>

# 1 Premessa

L'impianto in progetto, denominato "Forenza Maschito" di potenza complessiva di 33 MW, composto da n. 5 aerogeneratori con annesse piste, piazzole di stoccaggio e cavidotto; interesserà diversi territori comunali della Provincia di Potenza.

In particolare, il comune di Forenza sarà interessato dall'installazione di 5 aerogeneratori (di potenza unitaria pari a 6.6 MW) mentre i comuni di Maschito e Palazzo San Gervasio verranno interessati dalle opere di connessione alla RTN.

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 135 m e da un'altezza complessiva al tip (punta) della pala di 220 m.

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 500 m dagli aerogeneratori previsti in progetto.

La scelta del **sito di impianto** in esame è ricaduta su un'area a destinazione agricola, classificate come: **zone agricole E** dai P.R.G. dei comuni interessati.

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

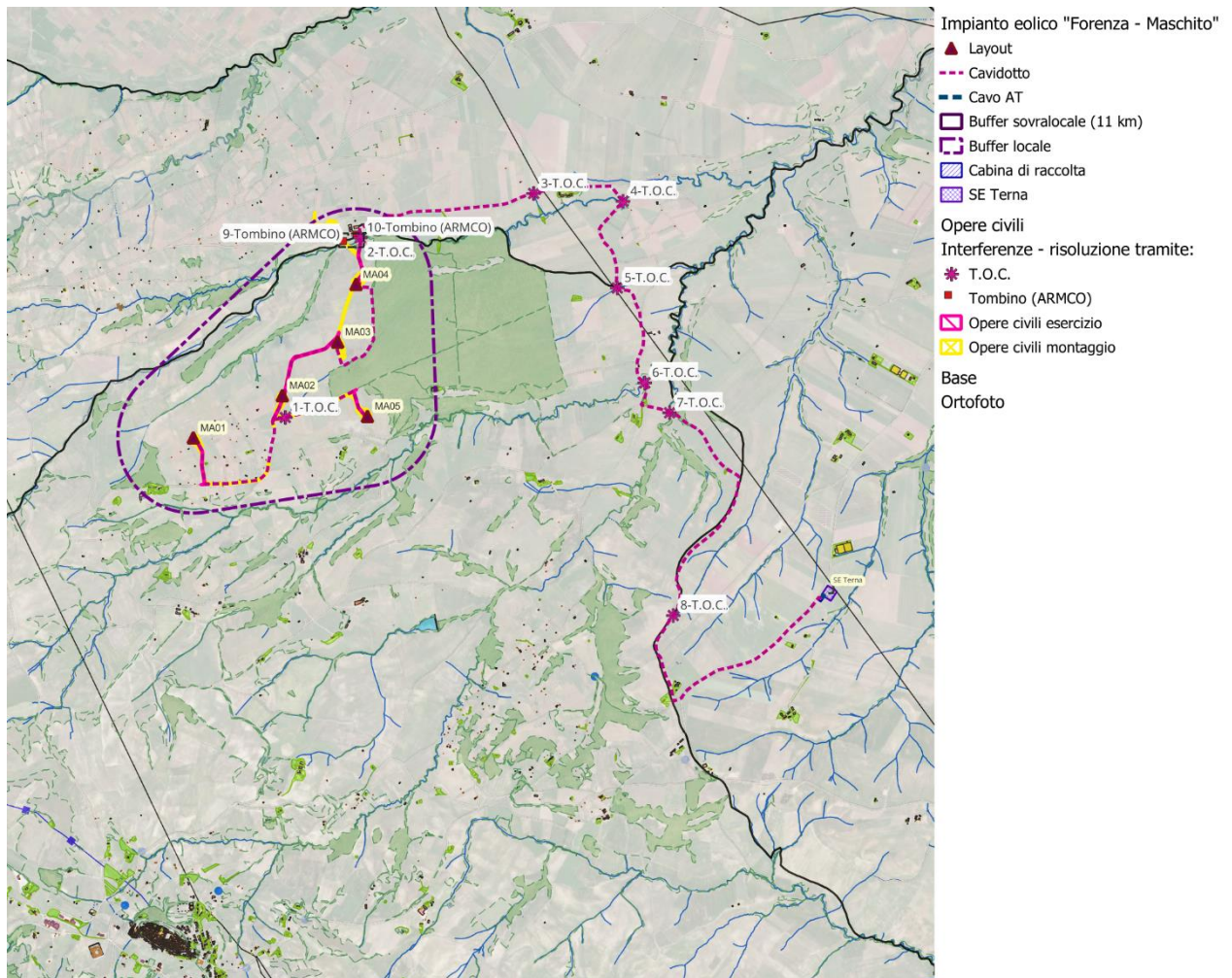
Nella figura seguente è mostrata la planimetria della posizione dell'area di interesse con l'indicazione del reticolo idrografico desunto dalla cartografia IGM in scala 1:25'000.

Si evidenziano interferenze idrauliche con il cavidotto e con un tratto di viabilità sia in fase di "cantiere" che di "esercizio" con il reticolo idrografico presente nell'area.

Per la risoluzione delle interferenze con il cavidotto 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*; per le interferenze con la viabilità (temporanea e definitiva) sono state condotte delle analisi idrologiche finalizzate a determinare la portata al colmo di piena per il dimensionamento e la verifica dell'attraversamento idraulico

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

**A.3 - Relazione Idrologico-idraulica**



**Figura 1 – Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche area parco e cavidotto**

## 2 Normativa di riferimento

L'area oggetto di intervento non risulta classificata come area ad "Alta, Media o Bassa Pericolosità idraulica" (AP) dal vigente Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale (AdBD, ex Autorità di Bacino della Regione Puglia).

Per il presente caso, le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del PAI prevedono, all'art. 6:

1. Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità.
2. Nelle aree di cui al comma 1 è consentita la realizzazione di opere di regimazione idraulica;
3. In tali aree può essere consentito lo svolgimento di attività che non comportino alterazioni morfologiche o funzionali ed un apprezzabile pericolo per l'ambiente e le persone. All'interno delle aree in oggetto non può comunque essere consentito:
  - l'impianto di colture agricole, ad esclusione del prato permanente;
  - il taglio o la piantagione di alberi o cespugli se non autorizzati dall'autorità idraulica competente, ai sensi della Legge 112/1998 e s.m.i.;
  - lo svolgimento delle attività di campeggio;
  - il transito e la sosta di veicoli se non per lo svolgimento delle attività di controllo e di manutenzione del reticolo idrografico o se non specificatamente autorizzate dall'autorità idraulica competente;
  - lo svolgimento di operazioni di smaltimento e recupero di cui agli allegati b) e c) del Dlgs 22/97 nonché il deposito temporaneo di rifiuti di cui all'art.6, comma 1, lett. m) del medesimo Dlgs 22/97.
4. All'interno delle aree e nelle porzioni di terreno di cui al precedente comma 1, possono essere consentiti l'ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino.
5. I manufatti e i fabbricati esistenti all'interno delle aree e nelle porzioni di terreno di cui al precedente comma 1, ad esclusione di quelli connessi alla gestione idraulica del corso d'acqua, sono da considerare in condizioni di rischio idraulico molto elevato e pertanto le Regioni, le Province e i Comuni promuovono e/o adottano provvedimenti per favorire, anche mediante incentivi, la loro rilocalizzazione.
6. Sui manufatti e fabbricati posti all'interno delle aree di cui al comma 1 sono consentiti soltanto:
  - interventi di demolizione senza ricostruzione;
  - interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R.

- n.380/2001 e s.m.i. a condizione che non concorrano ad incrementare il carico urbanistico;
- interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio senza che essi diano origine ad aumento di superficie o volume.
7. Per tutti gli interventi consentiti nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai commi 2, 4 e 6.
8. Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m.
- Art. 10:
1. Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale.
  2. All'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.
  3. Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

### 3 Cavidotto: Interferenze idrauliche

Il cavidotto in progetto presenta alcune interferenze con il reticolo idrografico.

Nel dettaglio si evidenziano 8 interferenze:

Tabella 1 – Interferenze idrauliche

id	Tipologia di risoluzione	num. Terne
1	TOC	1
2	TOC	2
3	TOC	2
4	TOC	2
5	TOC	2
6	TOC	2
7	TOC	2
8	TOC	2

Riportate planimetricamente all'interno dell'elaborato F0626AT09A.

Per ciascun attraversamento risolto con la realizzazione di una TOC (Trivellazione Orizzontale Controllata) è stata predisposta un'analisi idraulica "semplificata" – in quanto le opere non ricadano in aree a pericolosità idraulica PAI (per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato F0626BT02A-A.17.10-Carta delle aree non idonee ai sensi del D.M. 10.09.2010) - 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.

#### 3.1 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.



Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

**A.3 - Relazione Idrologico-idraulica**

**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	Trivellazione Orizzontale	1
4	Trivellazione Orizzontale	1
5	Trivellazione Orizzontale	1
6	Trivellazione Orizzontale	1
7	Trivellazione Orizzontale	1
8	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.

## 4 Viabilità temporanea e definitiva: interferenze idrauliche

Il progetto presenta una doppia configurazione della viabilità tra la fase di cantiere, nella quale avvengono i trasporti ed i montaggi delle turbine, e la fase di esercizio, nella quale si effettuano esclusivamente operazioni di manutenzione ordinaria sugli aerogeneratori.

A livello territoriale le opere ricadono all'interno del bacino idrografico del fiume Bradano.

Sia per la viabilità "di cantiere" che per la viabilità "definitiva" si evidenzia un'interferenza idraulica con il "Vallone Macchiarotonda" affluente in sinistra idraulica del Torrente Basentello.

Al fine di risolvere detta interferenza si è provveduto a perimetrare il bacino idrografico "chiuso" nel punto di attraversamento e sono state condotte le analisi idrologiche finalizzate a determinare la portata al colmo di piena per il dimensionamento e la verifica dell'attraversamento idraulico.

Quest'ultimo è stato progettato con l'utilizzo di tubazioni metalliche "tipo armco". Le zone di imbocco e sbocco sono state "sistematiche" con l'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica (gabbioni e materassi reno) al fine di limitare l'azione erosiva della corrente nel punto di attraversamento nonché di realizzare un corretto inserimento ambientale e paesaggistico dell'opera all'interno dell'alveo del Vallone Macchiarotonda.

Lo scopo del presente capitolo consiste nella valutazione delle portate al colmo di piena dei bacini dei corsi d'acqua in esame al fine della determinazione delle modalità di deflusso in caso di eventi meteorici estremi.

Per la stima delle portate al colmo di piena si è fatto riferimento al rapporto VAPI Basilicata<sup>1</sup> come suggerito dalle Norme di Attuazione del "Piano di Bacino Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI)" redatto dalla ex AdB della Basilicata.

Il bacino idrografico misura complessivamente circa 12 Km<sup>2</sup> e di seguito viene riportato il dettaglio grafico.

<sup>1</sup> Claps P., Fiorentino M.: "Valutazione delle Piene in Italia, Rapporto di sintesi per la regione Basilicata (bacini del versante ionico)", GNDICI-CNR, Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente, Università della Basilicata, Potenza, 2005.

Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)

### A.3 - Relazione Idrologico-idraulica

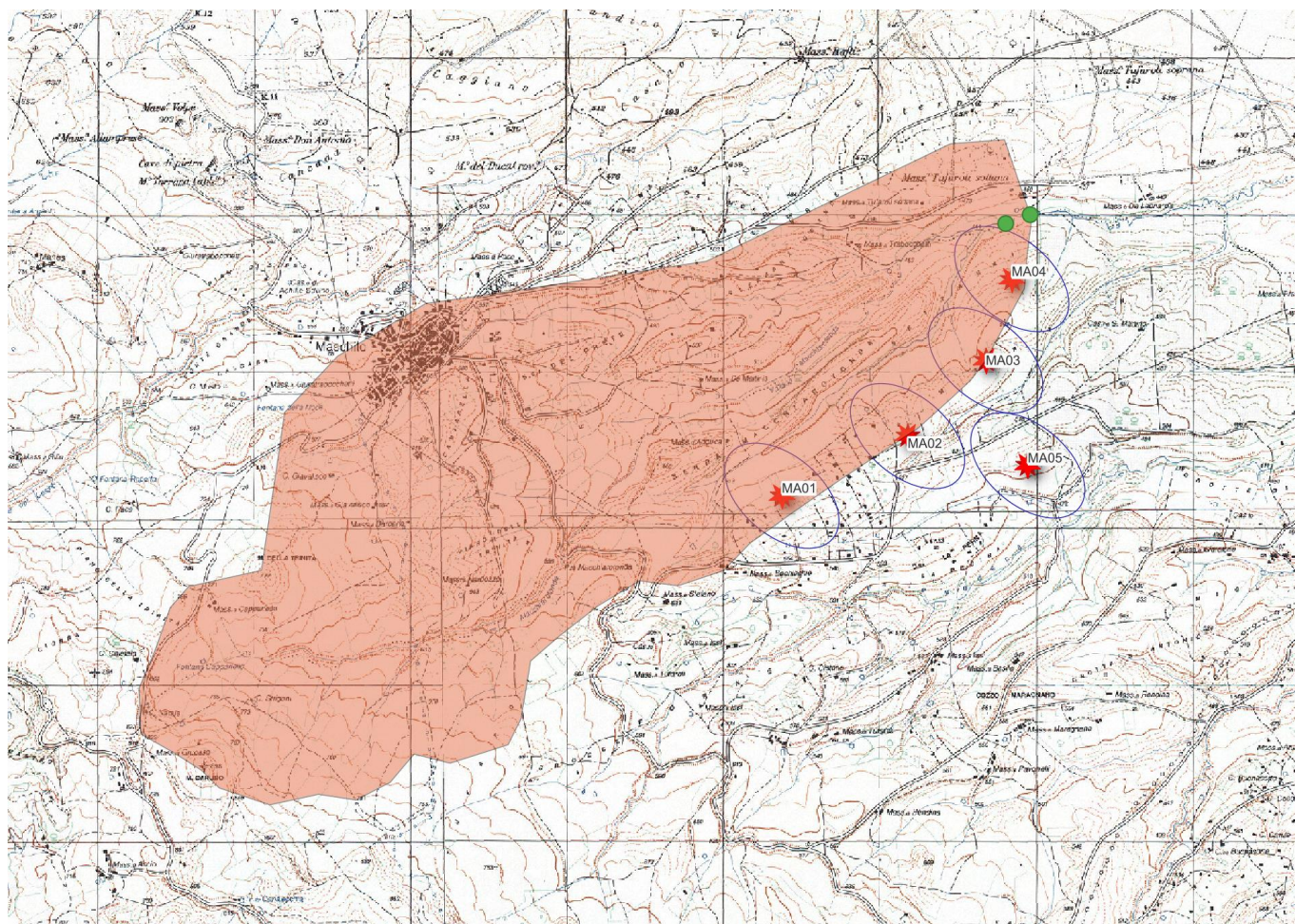


Figura 2 – bacino idrografico del Vallone Macchiarotonda chiuso in corrispondenza dell’interferenza con la viabilità “definitiva”

Come è possibile osservare dalla figura sopra riportata i punti contraddistinti con un punto in colore verde rappresentano, muovendosi da est verso ovest, le sezioni di chiusura del bacino considerando rispettivamente la viabilità “definitiva” e “temporanea”.

A vantaggio di sicurezza, essendo il bacino riferito alla viabilità “definitiva” di dimensioni leggermente maggiori, le verifiche su entrambe le opere sono state effettuate considerando l’area del bacino più grande.

## 4.1 Portate al colmo di piena

Per la stima delle portate al colmo di piena in funzione di un fissato tempo di ritorno si è fatto riferimento al rapporto VAPI Basilicata che valuta le portate al colmo di piena in base a tre livelli di regionalizzazione. Nell’immagine seguente vengono riportati i risultati del calcolo delle portate al colmo di piena, per i vari tempi di ritorno considerati, riferiti alla sezione di chiusura in corrispondenza dell’interferenza con la viabilità “definitiva”.

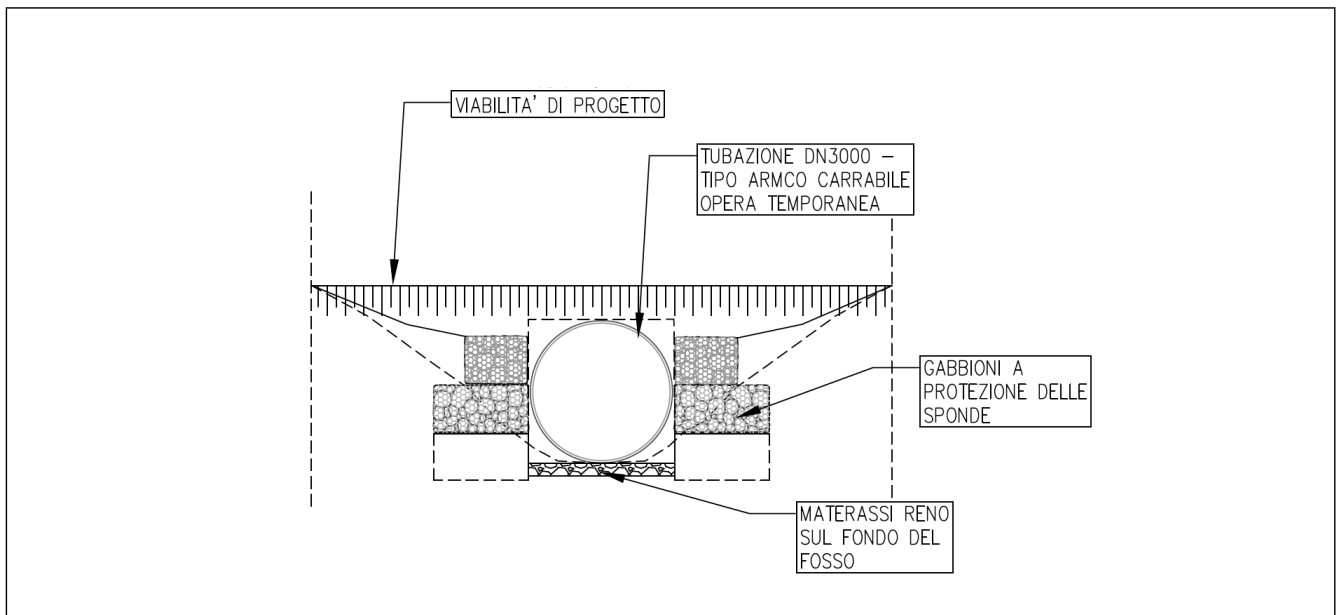
Costruzione ed esercizio di impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica "Forenza-Maschito" di potenza in massima immissione pari a 33MW e relative opere connesse da realizzarsi nei comuni di Forenza, Maschito e Palazzo San Gervasio (Pz)  
**A.3 - Relazione Idrologico-idraulica**

Caratteristiche Bacino										
Definire la sottozona omogenea di riferimento (2° livello di regionalizzazione)					Basilicata (Zona A - Bradano)			ESEGUI		
Definire l'area di studio (3° livello di regionalizzazione)					Bacini del Bradano, Basento, Cavone e Agri			APRI IMMAGINE SZO		
Definire l'area, la quota e la lunghezza dell'asta principale del bacino idrografico					Note					
A (Kmq) =		12		kmq						
Z (m s.l.m.) =		640		m s.l.m.						
L <sub>ap</sub> (Km) =		5.7		Km						
Calcolo del tempo di corrivazione										
$T_c[1] = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L_{ap}}{0.8\sqrt{Z}}$ Formula di Giandotti					$T_c[2] = 0.35\sqrt{A}$					
T <sub>c</sub> [1] (ore) =		1								
Calcolo del fattore di crescita										
APRI PARAMETRI DISTRIBUZIONE			$T = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\frac{1}{K_T}} - \Lambda_2 \Lambda_1^{1/6} e^{-\frac{1}{K_T}/6})}$ Valida per tutti i compartimenti			$T = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K_T - \epsilon)\right]^{-1/k}\right\}}$ Valida solo per Italia Nord Occidentale				
T (anni)		100								
K <sub>T</sub>		4.12								
T (anni)		5	10	30	50	100	200	300	500	1000
K <sub>T</sub>		1.44	1.96	2.93	3.43	4.12	4.83	5.24	5.76	6.47
Piena media annua										
Definire il metodo di calcolo della piena indice					Metodo della regressione empirica					
Calcolo del coefficiente di piena/afflusso/deflusso										
$C_{(f)}^{(*)}[1] = C_{(f)1}^{(*)} \frac{A_1}{A} + C_{(f)2}^{(*)} \frac{A_2}{A}$			$C^*[2] = 0.09 + 0.47(1 - p.p.)$			$\psi = \frac{9.25}{p \cdot p}$				
Parametri										
Parametri										
Parametri										
Calcolo del tempo di ritardo										
$T_r[1] = \frac{C_{(f)1}^{(*)} \cdot A_1}{C_{(f)}^{(*)} \cdot A} \cdot \frac{1.25\sqrt{A_1}}{3.6 \cdot c_1} + \frac{C_{(f)2}^{(*)} \cdot A_2}{C_{(f)}^{(*)} \cdot A} \cdot \frac{1.25\sqrt{A_2}}{3.6 \cdot c_2}$					$T_r[2] = 0.26 \cdot L_{ap}^{0.82} \cdot i_{media}^{-0.20} \cdot (1 + S)^{0.13}$			$T_r[3] = 0.344\sqrt{A}$		
Parametri										
Parametri										
Parametri										
Calcolo della piena indice										
Parametri		α	β	γ						
		2.130	0.766	0.000						
m(Q) = α · A <sup>β</sup> + γ =		14.29	mc/s							
Portate al Colmo di Piena										
T (anni)		100								
Q (mc/s)		58.93								
T (anni)		5	10	30	50	100	200	300	500	1000
Q (mc/s)		20.55	27.95	41.85	48.97	58.93	69.01	74.92	82.37	92.49

Nel caso in esame il progetto/verifica dell'opera idraulica viene effettuata considerando una portata con periodo di ritorno pari a 200 anni e dunque equivalente a 69 mc/s.

Considerando 2 km a monte ad a valle dell'interferenza idraulica in esame è stata stimata la pendenza media del Vallone Macchiarotonda la quale è risultata pari a 0.02 m/m, ipotizzando che il tombino di progetto abbia la medesima pendenza longitudinale ed utilizzando la semplificazione dell'ipotesi di condizioni di moto permanente ed applicando la formula di Chezy con coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler (Coefficiente 40), l'opera dovrà avere una sezione circolare con diametro minimo pari a 3 metri (accettando un grado di riempimento della sezione idraulica utile pari al 60%).

I due attraversamenti idraulici avranno, quindi, sezione circolare con diametro pari a 3 metri.



**Figura 3 – tipologico attraversamento idraulico previsto in progetto**