

REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA DI AVELLINO

COMUNE DI FRIGENTO
COMUNE DI GUARDIA LOMBARDI
COMUNE DI ROCCA SAN FELICE
COMUNE DI STURNO
COMUNE DI BISACCIA



AUTORIZZAZIONE UNICA
ex d.lgs. 387/2003

Costruzione ed esercizio di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica denominato "Taverna del Principe" da realizzarsi nel comune di FRIGENTO (AV) e delle opere ed infrastrutture connesse da realizzarsi nei comuni di FRIGENTO (AV), GUARDIA LOMBARDI (AV), ROCCA SAN FELICE (AV), STURNO (AV) e BISACCIA (AV), avente potenza nominale pari a 39,6 MW

Titolo elaborato

Relazione idrogeologica e idraulica

Codice elaborato

COMMESSA	FASE	ELABORATO	REV.
F0474	A	R03	A

Riproduzione o consegna a terzi solo dietro specifica autorizzazione.

Scala

—

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

Proponente

Camelia Rinnovabili s.r.l.

Largo Augusto 3
20122 Milano



Progettazione



F4 Ingegneria srl

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

Il Direttore Tecnico
(ing. Giovanni DI SANTO)



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





Sommario

<u>1</u>	<u>Premessa</u>	<u>2</u>
<u>2</u>	<u>Analisi idrologica dello stato di fatto</u>	<u>4</u>
2.1	Bacini idrografici	5
2.2	Portate al colmo di piena nella configurazione di stato di fatto e di progetto	6
<u>3</u>	<u>Analisi idraulica</u>	<u>12</u>
3.1	Geometria del modello idraulico	12
3.2	Portate di piena	15
3.3	Condizioni al contorno	15
3.4	Parametri di scabrezza	15
3.5	Risultati delle simulazioni nella configurazione attuale	16
<u>4</u>	<u>Analisi idraulica semplificata</u>	<u>21</u>
<u>5</u>	<u>Conclusioni</u>	<u>33</u>



1 Premessa

La presente relazione idrogeologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione del parco eolico "Taverna del Principe" sito nel comune di Frigento (AV) e relative opere e infrastrutture connesse da situare nei comuni di Bisaccia (AV), Frigento (AV), Guardia Lombardi (AV) e Rocca San Felice (AV), Sturno (AV).

Nello specifico, l'impianto sarà costituito da n.6 aerogeneratori (F01, F02, F03, F04, F05 e F06) dalla potenza nominale di 6.6 MW, per un totale di 39.6 MW per l'intero impianto.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori del parco in oggetto verrà convogliata tramite un cavidotto interrato a 30 kV. A valle del cavidotto esterno in MT è prevista la realizzazione di una sottostazione elettrica di trasformazione situata nelle immediate vicinanze del punto di consegna. Tale sottostazione, pertanto rappresenta la stazione utenza di trasformazione 30/36 kV.

La presente, in particolare, è stata redatta per la valutazione dell'estensione delle aree allagabili per i rami del reticolo idrografico nelle immediate vicinanze delle macchine denominate di seguito come F02, F04, F05 ed F06 nonché della sottostazione e, inoltre, è stata valutata la profondità massima di escavazione della corrente in prossimità delle interferenze del cavidotto con i rami del reticolo idrografico delimitati su IGM in scala 1: 25.000.

Gli impluvi in esame ricadono nell'ambito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - UoM Volturno, ITN011, ITR155 (ex AdB Campania), pertanto si è proceduto all'analisi idrologica, illustrata in dettaglio nel seguito, tramite l'impiego del metodo VAPI Campania (come previsto all'interno del PSAI) al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

Nel caso di specie, inoltre, 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 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 della corrente in corrispondenza dell'interferenza con il cavidotto.

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 con la relativa perimetrazione desunta dal PAI.

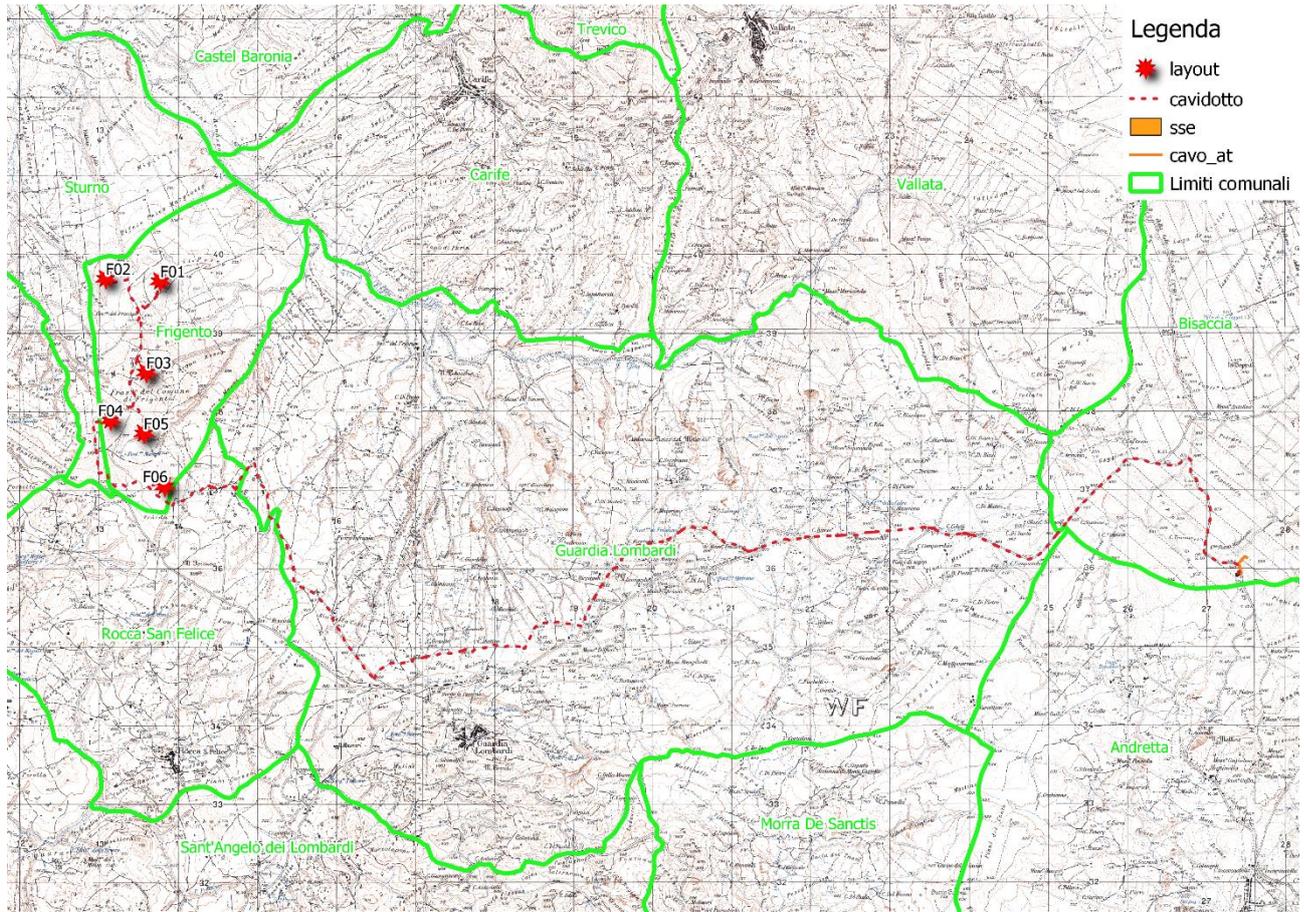


Figura 1: Planimetria dell'area di interesse su base IGM



2 Analisi idrologica dello stato di fatto

Nella presente analisi idrologica sono state determinate le portate al colmo di piena mediante l'utilizzo del metodo VAPI Campania che è stato realizzato nell'ambito del Progetto Speciale VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) dall'Unità Operativa del Gruppo Nazionale per la Previsione e Prevenzione delle Catastrofi Idrogeologiche (UO del CNR-GNDICI).

Come illustrato nel Rapporto di Sintesi, sono state prese in considerazione 14 stazioni idrometrografiche ed oltre 300 stazioni pluviometriche e pluviografiche del SIMN (Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale) ricadenti nell'intera regione Campania. È stata effettuata un'analisi idrologica dei valori estremi delle precipitazioni e delle piene (mediante la distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente TCEV, *Two-Component Extreme Value*) attraverso una metodologia di regionalizzazione gerarchica basata sull'individuazione di zone geografiche "omogenee" dal punto di vista dei parametri statistici.

L'analisi svolta a tale scala ha consentito di identificare:

- Una sola zona e sottozona pluviometrica che viene fatta coincidere con l'unica zona e sottozona idrometrica della regione Campania;
- Sette aree pluviometriche omogenee in cui la media dei massimi annuali delle altezze di pioggia di assegnata durata varia con la durata e la quota secondo l'utilizzo di un modello multi regressivo.

Indicando con Q il massimo annuale delle portate di piena al colmo e con QT la massima portata di piena corrispondente ad un prefissato periodo di ritorno T (espresso in anni) si può porre:

$$QT = KT * m[Q]$$

Dove KT è il fattore probabilistico di crescita, costante su ampie aree omogenee, mentre m(Q) è la media della distribuzione dei massimi annuali della portata di piena.

L'indagine regionale, utile per la determinazione dell'andamento di KT in funzione di T sull'intera regione Campania, è stata svolta nel Rapporto Campania del VAPI. I risultati sono mostrati nella tabella seguente.

Fattori di crescita	
T (anni)	KT (-)
2	0.87
5	1.29
10	1.63
20	2.03
25	2.17
30	2.35
40	2.47
50	2.61
100	3.07
200	3.53
300	3.75
500	4.15
1000	4.52

Tabella 1

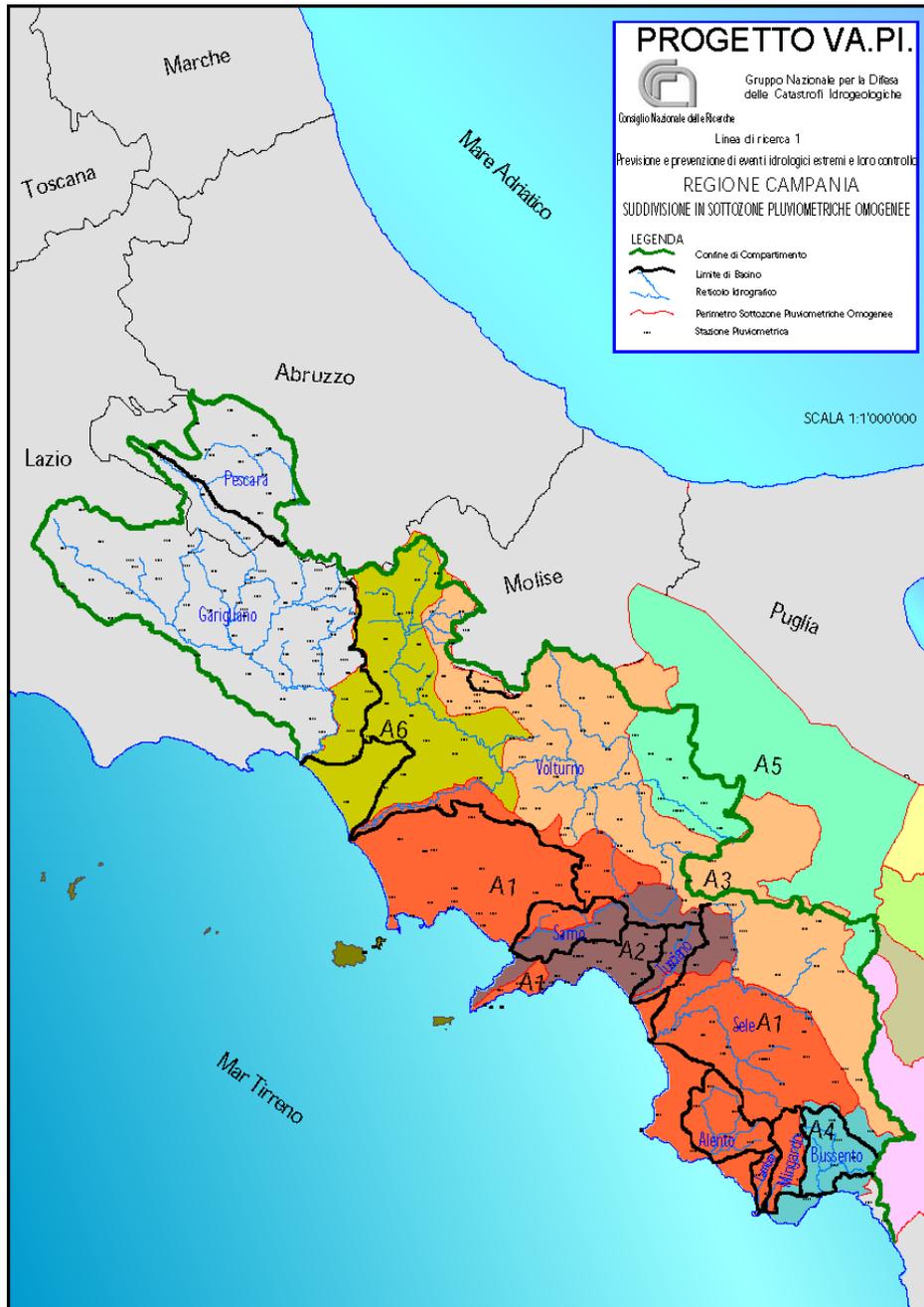


Figura 2: Aree pluviometriche omogenee secondo il VAPI Campania

2.1 Bacini idrografici

Come sezioni di chiusura di riferimento sono state scelte quelle situate a valle degli aerogeneratori di interesse e valle della sottostazione. La delimitazione è stata effettuata utilizzando considerando la cartografia IGM in scala 1:25'000.

Nella tabella seguente sono mostrate le aree a differente uso del suolo mediante il codice CORINE Land Cover (CLC).

I sei bacini presi come riferimento in questa analisi idrologica sono interamente contenuti nella zona pluviometrica A3.



Nella tabella seguente, inoltre, è mostrata la sintesi delle aree a differente uso del suolo con l'indicazione delle superfici complessive.

VAPI Campania - Modello geomorfoclimatico a tre complessi omogenei						
Bacino	Superficie totale A (km ²)	Superficie permeabile A1 (km ²)	Superficie impermeabile A2 (km ²)	Superficie boschi A3 (km ²)	Area omogenea (-)	Intensità di precip. minima m[i0] (mm/h)
Bacino F02	0.391	0.391	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino F04	0.198	0.198	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino F05	0.514	0.403	0.000	0.111	A3	116.70
Bacino F06	1.067	0.930	0.064	0.072	A3	116.70
Bacino S1	0.080	0.080	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino S2	0.077	0.077	0.000	0.000	A3	116.70

Tabella 2

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "A" (km²): superficie del bacino;
- "A1" (km²): superficie permeabile;
- "A2" (km²): superficie impermeabile;
- "A3" (km²): superficie caratterizzata da boschi;
- "m [i0]" (mm/h): intensità di precipitazione minima.

2.2 Portate al colmo di piena nella configurazione di stato di fatto e di progetto

Come anticipato in premessa, per la stima delle portate al colmo di piena in funzione di un fissato tempo di ritorno si è fatto riferimento al rapporto VAPI Campania.

Nella tabella successiva sono mostrati risultati dei calcoli necessari per la valutazione delle portate al colmo di piena secondo il suddetto metodo VAPI. Il particolare modello utilizzato, indicato come "modello geomorfoclimatico a tre complessi omogenei" prevede la separazione di tre tipologie di aree all'interno di ogni bacino idrografico:

- Superficie impermeabile (codici CORINE 1xx);
- Superficie permeabile (codici CORINE 2xx);
- Superficie coperta da boschi (codici CORINE 3xx).

Di seguito è riportata una mappa relativa all'attuale configurazione del bacino idrografico dell'asta.

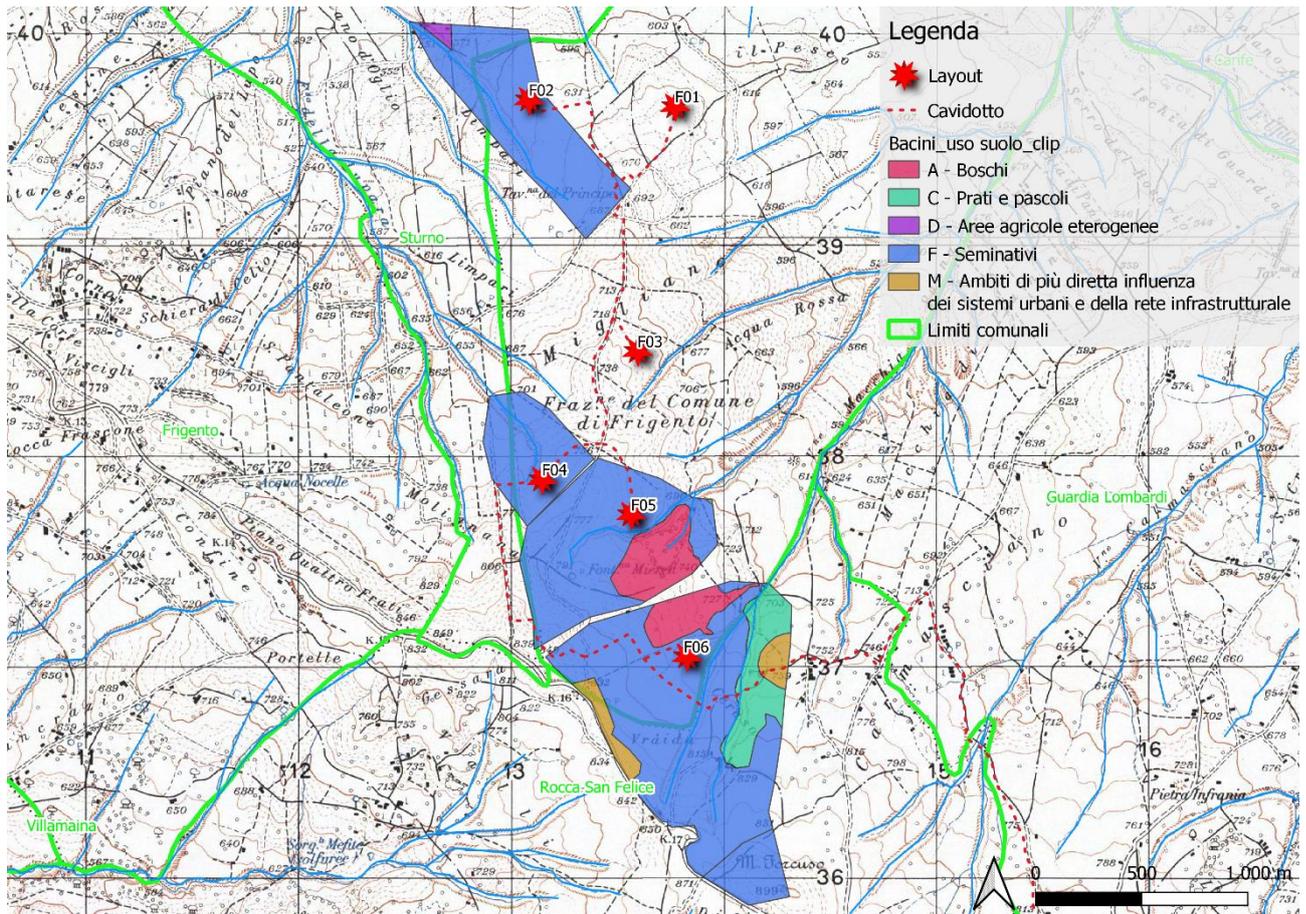


Figura 3: Corografia dei bacini idrografici con l'individuazione delle classi di uso del suolo in prossimità degli aerogeneratori

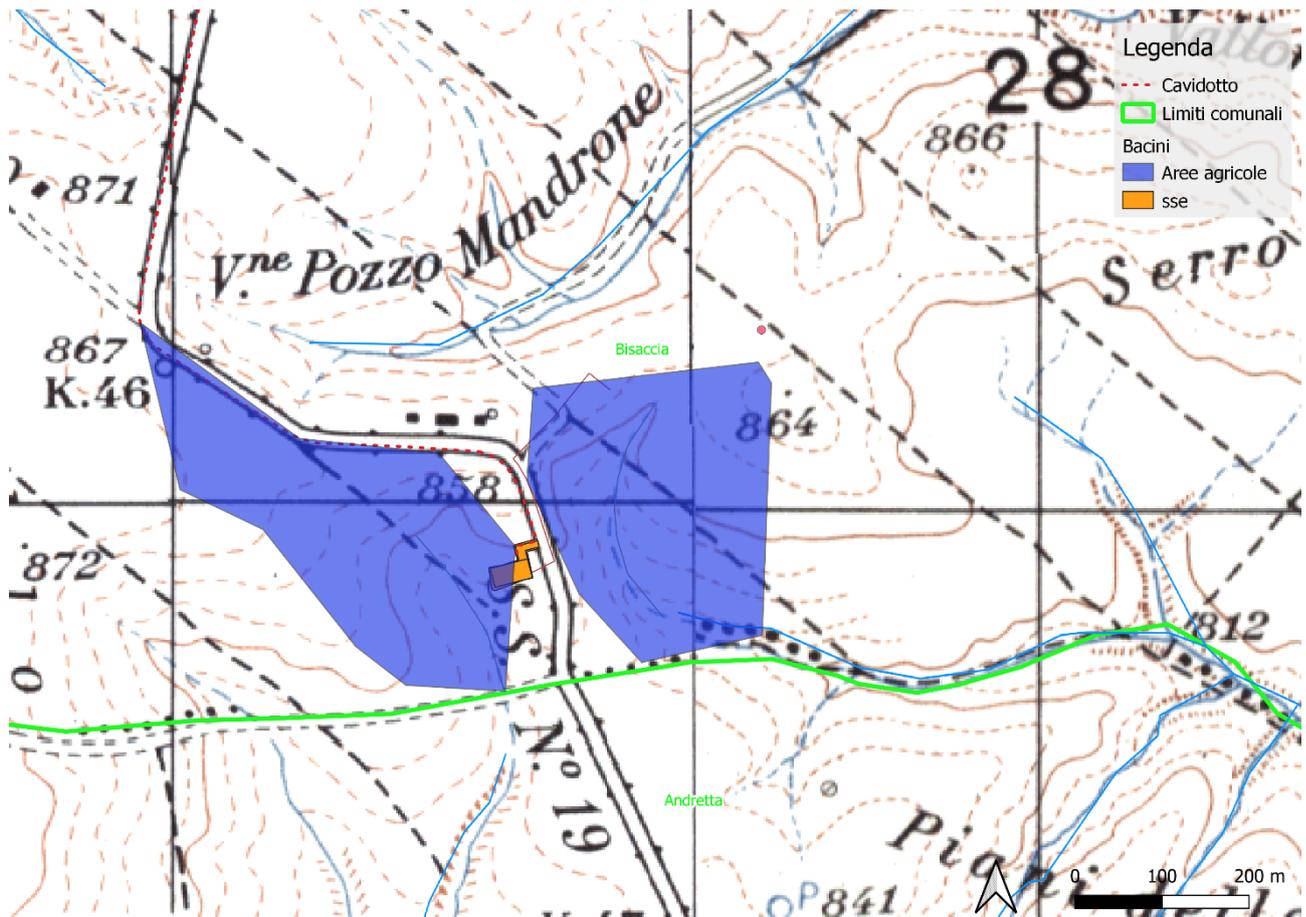


Figura 4: Corografia dei bacini idrografici con l'individuazione delle classi di uso del suolo in prossimità della SSE

La procedura seguita per la determinazione dei valori della piena indice e, quindi, delle portate al colmo di piena al variare del tempo di ritorno di riferimento è la seguente:

- 1) i bacini idrografici sono stati delimitati in base alla posizione degli interventi in progetto e, soprattutto, in funzione del modello digitale del terreno (*Digital Terrain Model, DTM*) del territorio nazionale con dimensione di cella di 10×10 m; attraverso l'utilizzo del GIS, inoltre, è stata determinata la superficie;
- 2) in base alla Carta dell'uso del suolo secondo il Geoportale Regionale RSDI, la superficie totale del bacino è stata separata, in linea con il modello geomorfoclimatico a tre complessi omogenei, in tre distinte superfici: permeabile (A1), impermeabile (A2) e boschi (A3);
- 3) per la zona pluviometrica omogenea A3, il PSAI individua i seguenti parametri:
 - $m[10] = 116.70 \text{ mm/h}$ (intensità di precipitazione minima);
 - $dc = 0.0976 \text{ h}$ (durata di precipitazione minima);
 - $C = 0.7360$;
 - $D = -8.7300 \times 10^{-5} \text{ m}^{-1}$;
- 4) attraverso l'utilizzo di tecniche GIS e grazie al DTM della Regione Campania, sono state determinate le quote altimetriche medie Z ; in base ad esse è stato possibile calcolare il parametro:

$$\beta = C - D \cdot Z$$



5) ad ogni superficie è stato applicato un coefficiente di riduzione areale:

$$KA(d) = 1 - \{[1 - \exp(-0.0021 \times A)] \times \exp(0.53 \times d^{0.25})\}$$

6) è stato calcolato il coefficiente n' :

$$n' = 1 + 1.44 \cdot 10^{-4} \cdot A \cdot \frac{\beta \cdot tr/dc}{1 + tr/dc}$$

7) è stato considerato il seguente coefficiente di attenuazione del colmo di piena:

- $q = 0.60$ (se $n' < 0.45$);
- $q = 0.65$ (se $n' > 0.45$);

8) come previsto dal PSAI, è stato calcolato il coefficiente di afflusso di ciascun bacino in base alla seguente espressione:

$$Cf = (Cf1 \cdot A1 + Cf2 \cdot A2 + Cf3 \cdot A3) / A$$

dove:

- $Cf1 = 0.13$ (coefficiente di afflusso delle aree permeabili);
- $Cf2 = 0.60$ (coefficiente di afflusso delle aree impermeabili);
- $Cf3 = 0.00$ (coefficiente di afflusso delle aree boscate);

9) è stato calcolato il tempo di ritardo in base alla seguente espressione:

$$tr = \frac{Cf1 \cdot A1}{Cf \cdot A} \cdot \frac{1.25}{3.6 \cdot c1} \cdot \sqrt{A1} + \frac{Cf2 \cdot A2}{Cf \cdot A} \cdot \frac{1.25}{3.6 \cdot c2} \cdot \sqrt{A2}$$

dove:

- $c1 = 0.23$ m/s (celerità media in aree permeabili);
- $c2 = 1.87$ m/s (celerità media in aree impermeabili);

10) in base ai parametri precedenti, è stato calcolato il seguente parametro del metodo VAPI Campania:

$$m[h(d)] = m[I0] \times tr / (1 + tr/dc)^\beta$$

11) successivamente è stata calcolata la media annuale dell'altezza di pioggia areale con la seguente espressione:

$$m[hA(d)] = KA(d) \times m[h(d)]$$

12) da essa è stato possibile ricavare la media annuale dell'intensità di pioggia areale con la seguente espressione:

$$m[IA(d)] = m[hA(d)] / tr$$

13) dalle espressioni precedenti è stato infine possibile determinare la piena indice:

$$m[Q] = Cf \times q \times m[IA(d)] \times A / 3.6$$

14) per il calcolo dei volumi di piena, inoltre, è stato necessario calcolare il fattore di riduzione dei colmi di piena:

$$r(d) = \left(1 + \frac{1 - n'/2}{2} \cdot \frac{d}{tr}\right)^{n'}$$





15) il valore medio del massimo annuale della portata media nella durata d è stato calcolato con la seguente espressione:

$$m[Q_d] = m[Q] \times r(d)$$

16) i volumi di piena per ciascun tempo di ritorno di riferimento, pertanto, sono stati calcolati con la seguente espressione:

$$VT = KT \times m[Q_d] \times d \times 3'600$$

Nelle tabelle seguenti sono riassunti i risultati dell'applicazione del metodo suddetto per la determinazione delle portate al colmo di piena Q_T , dei corrispondenti coefficienti udometrici u_T e dei volumi di piena VT per i tempi di ritorno T di riferimento.



Bacino	Durata di prec. d (h)	Durata minima dc (h)	C (-)	D (1/m)	A-Z (km ² -mslm)	Quota media Z (mslm)
Bacino F02	0.94	0.0976	0.7360	8.7300E-05	312.570	800.000
Bacino F04	0.67	0.0976	0.7360	8.7300E-05	158.172	800.000
Bacino F05	0.96	0.0976	0.7360	8.7300E-05	411.339	800.000
Bacino F06	1.12	0.0976	0.7360	8.7300E-05	853.413	800.000
Bacino S1	0.43	0.0976	0.7360	8.7300E-05	64.166	800.000
Bacino S2	0.42	0.0976	0.7360	8.7300E-05	61.589	800.000
Fonte	Form. 7.14	Tab. 7.7	Tab. 7.7	Tab. 7.7	GIS	GIS
Bacino	β (-)	n' (-)	q (-)	Fattore di riduz. areale KA (-)	Coeff. di defl. permeabile Cf1 (-)	Coeff. di defl. imperm. Cf2 (-)
Bacino F02	0.666	0.40	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino F04	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino F05	0.666	0.40	0.60	0.999	0.13	0.60
Bacino F06	0.666	0.39	0.60	0.999	0.13	0.60
Bacino S1	0.666	0.46	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino S2	0.666	0.46	0.65	1.000	0.13	0.60
Fonte	Form. 7.7	Form. 7.15	Form. 7.15	Form. 7.8	Form. 7.12b	Form. 7.12b
Bacino	Coeff. di defl. boschi Cf3 (-)	Coeff. di defl. Cf (-)	Celerità permeabili c1 (m/s)	Celerità imperm. c2 (m/s)	Tempo di ritardo tr (h)	m[l(d)] (mm/h)
Bacino F02	0.00	0.13	0.23	1.87	0.94	24.11
Bacino F04	0.00	0.13	0.23	1.87	0.67	29.51
Bacino F05	0.00	0.10	0.23	1.87	0.96	23.88
Bacino F06	0.00	0.15	0.23	1.87	1.12	21.77
Bacino S1	0.00	0.13	0.23	1.87	0.43	38.04
Bacino S2	0.00	0.13	0.23	1.87	0.42	38.46
Fonte	Form. 7.12b	Form. 7.16	Form. 7.12b	Form. 7.12b	Form. 7.12b	Form. 7.6
Bacino	Piena indice m[Q] (m ³ /s)	Fattore di riduzione dei colmi di piena r(d) (-)	Piena massima annuale m[Qd] (m ³ /s)			
Bacino F02	0.20	1.14	0.23			
Bacino F04	0.13	1.15	0.15			
Bacino F05	0.21	1.14	0.24			
Bacino F06	0.58	1.14	0.66			
Bacino S1	0.07	1.16	0.08			
Bacino S2	0.07	1.16	0.08			
Fonte	Formula 7.14	Formula 7.19	Formula 7.18			
Bacino	Portata al colmo Q5 (m ³ /s)	Portata al colmo Q30 (m ³ /s)	Portata al colmo Q50 (m ³ /s)	Portata al colmo Q100 (m ³ /s)	Portata al colmo Q200 (m ³ /s)	Portata al colmo Q500 (m ³ /s)
Bacino F02	0.26	0.48	0.53	0.63	0.72	0.85
Bacino F04	0.16	0.30	0.33	0.39	0.45	0.52
Bacino F05	0.27	0.49	0.54	0.64	0.74	0.87
Bacino F06	0.75	1.36	1.51	1.77	2.04	2.40
Bacino S1	0.09	0.17	0.19	0.22	0.25	0.30
Bacino S2	0.09	0.16	0.18	0.21	0.25	0.29
Bacino	Coefficiente udometrico u5 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u30 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u50 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u100 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u200 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u500 (m ³ /s×km ²)
Bacino F02	0.67	1.23	1.36	1.60	1.84	2.17
Bacino F04	0.82	1.50	1.67	1.96	2.26	2.65
Bacino F05	0.52	0.95	1.06	1.25	1.43	1.68
Bacino F06	0.70	1.27	1.41	1.66	1.91	2.25
Bacino S1	1.15	2.10	2.33	2.74	3.15	3.70
Bacino S2	1.16	2.12	2.36	2.77	3.19	3.75
Bacino	Volume di piena V5 (m ³)	Volume di piena V30 (m ³)	Volume di piena V50 (m ³)	Volume di piena V100 (m ³)	Volume di piena V200 (m ³)	Volume di piena V500 (m ³)
Bacino F02	1,022	1,864	2,067	2,432	2,796	3,287
Bacino F04	453	826	916	1,078	1,239	1,457
Bacino F05	1,061	1,936	2,147	2,525	2,904	3,414
Bacino F06	3,414	6,230	6,908	8,126	9,343	10,984
Bacino S1	165	301	334	393	452	531
Bacino S2	157	287	318	374	430	505

Tabella 3



3 Analisi idraulica

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

L'analisi è stata 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 30, 50, 100, 200 e 500 anni, corrispondono ai tempi di ritorno di riferimento per la delimitazione delle fasce fluviali A, B1, B2, B3 e C del PSAI.

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

- geometria dei corsi d'acqua;
- portate di piena;
- condizioni al contorno;
- coefficienti di scabrezza.

3.1 Geometria del modello idraulico

Per gli scopi della presente analisi è stato utilizzato il DTM della Regione Campania.

Nella figura seguente 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. In particolare, le sezioni A corrispondono al bacino idrografico F02, le B al bacino F04, le C all'F05, le D al bacino F06, le E al bacino S1 e le F al bacino S2.



Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
A1	-1	0.00	243.57	649.99	0.1199
A2	-2	243.57	183.20	620.79	0.0620
A3	-3	426.77	226.60	609.43	0.0764
A4	-4	653.37	-653.37	592.12	0.0886
B1	-1	0.00	50.49	748.22	0.1256
B2	-2	50.49	121.72	741.88	0.0730
B3	-3	172.21	-172.21	733.00	0.0884
C1	-1.0	0.00	106.95	746.76	0.1054
C2	-2	106.95	105.66	735.49	0.1162
C3	-3	212.61	0.00	723.22	0.1107
D1	-1	0.00	64.62	770.95	0.1083
D2	-2	64.62	92.93	763.96	0.0920
D3	-3	157.55	-157.55	755.41	0.0987
E1	-1	0.00	43.57	846.10	0.0432
E2	-2	43.57	50.47	844.21	0.0484
E3	-3	94.04	0.00	841.77	0.0460
F1	-1	0.00	77.59	846.07	0.0599
F2	-2	77.59	71.76	841.42	0.1079
F3	-3	149.35	0.00	833.68	0.0829

Tabella 4

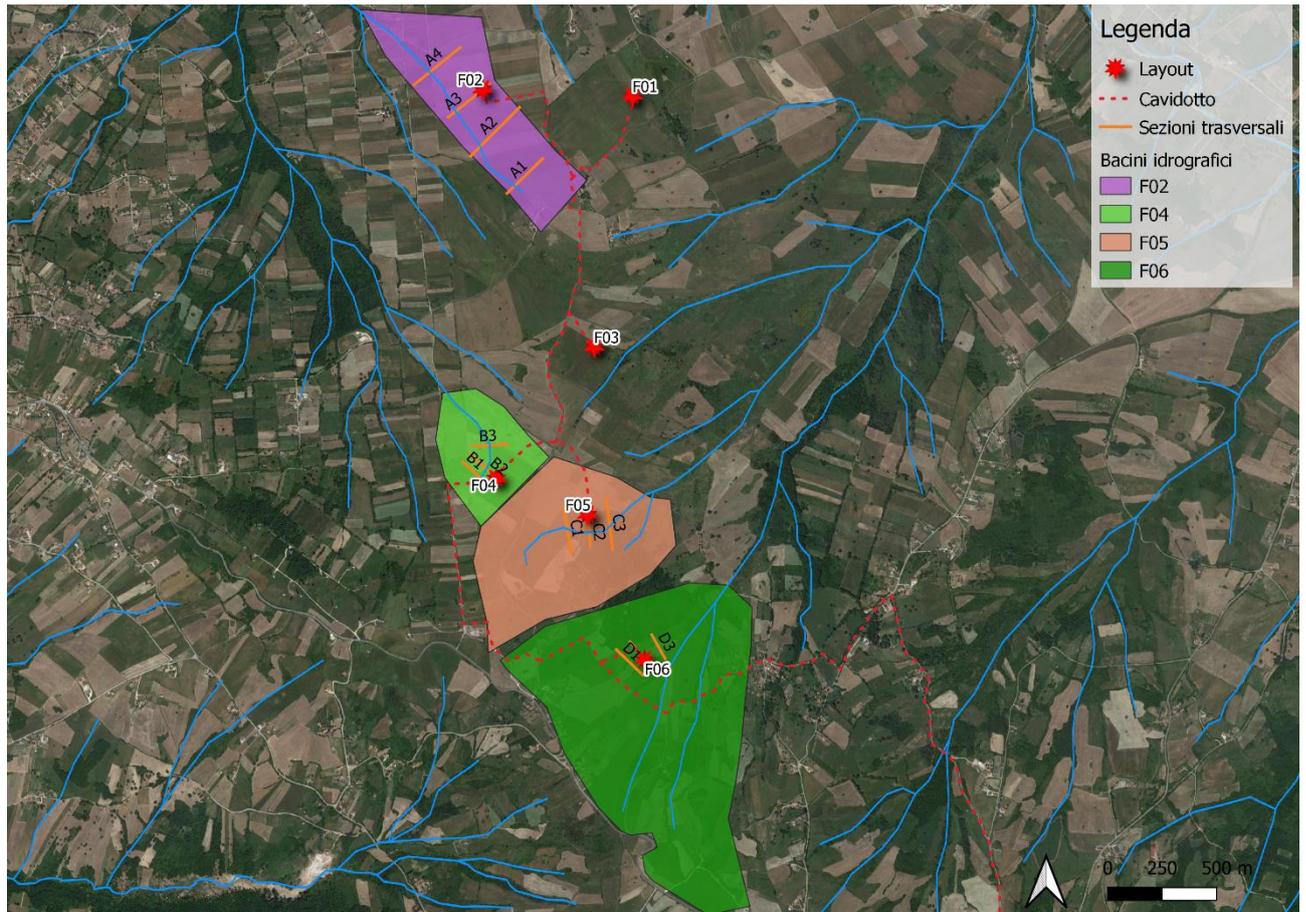


Figura 5: Planimetria con individuazione delle sezioni trasversali

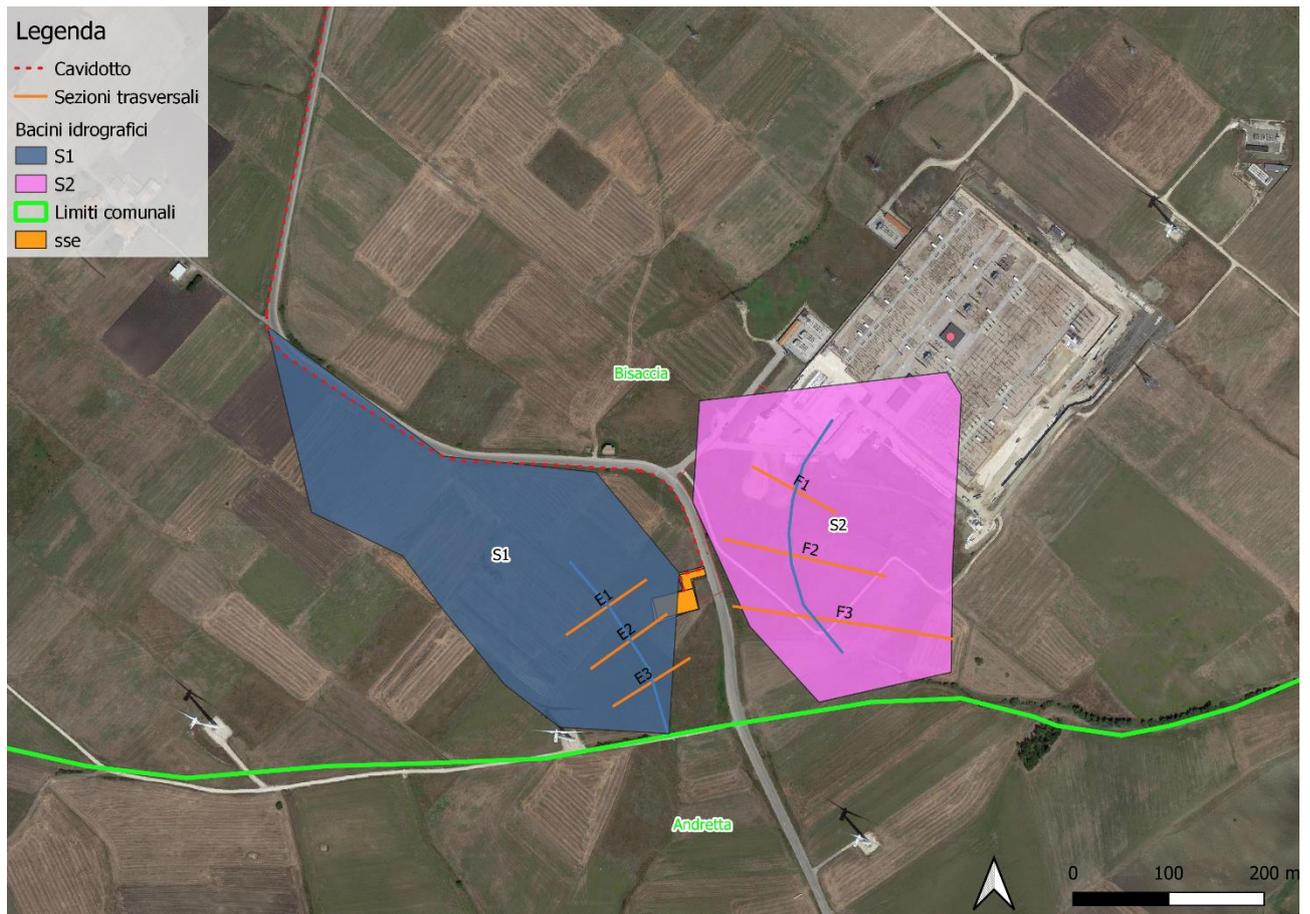


Figura 6: Planimetria con individuazione delle sezioni trasversali in prossimità della sse

3.2 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.

3.3 Condizioni al contorno

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

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

3.4 Parametri di scabrezza



Come parametro di scabrezza è stato utilizzato un coefficiente di Gauckler-Strickler per un valore di $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (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" (83^a edizione, Nuovo Colombo, Hoepli, 2001) in corrispondenza di "piccoli corsi di pianura, puliti, diritti e senza ristagni d'acqua".

3.5 Risultati delle simulazioni nella configurazione attuale

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, in regime di moto permanente della corrente.

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

Nelle figure seguenti, in particolare, sono mostrati il profilo longitudinale e le planimetrie delle aree allagabili del tratto di impluvio analizzato, mentre nella tabella seguente sono presenti tutti i valori numerici ottenuti dal modello nella configurazione pre intervento.

Per la delimitazione delle aree allagabili per gli eventi con i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni, in particolare, è stato utilizzato il DTM del territorio nazionale.

La metodologia seguita, ripetuta per ciascun evento di piena, è la seguente:

- in base ai risultati forniti dal modello idrodinamico monodimensionale sono stati assegnati i valori dei livelli di pelo libero a ciascuna sezione trasversale;
- è stato realizzato un TIN ("*triangulated irregular network*", rete irregolare di triangoli) in grado di rappresentare la superficie del pelo libero;
- il TIN precedente è stato convertito in GRID delle stesse dimensioni del DTM;
- è stata effettuata una sottrazione, cella per cella, tra il GRID della superficie del pelo libero e il DTM in modo da ottenere il GRID delle altezze d'acqua.



Stato di fatto - T = 30 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	649.99	0.5	650.18	0.19	3.52	1.41	0.33	108.25	1.48
A2	-2	243.57	620.79	0.5	620.95	0.16	4.31	1.30	0.35	95.95	1.45
A3	-3	426.77	609.43	0.5	613.03	3.60	11.14	0.75	0.62	35.98	1.02
A4	-4	653.37	592.12	0.5	592.24	0.12	7.24	1.04	0.44	68.03	1.35
B1	-1	0.00	748.22	0.3	748.42	0.20	9.56	0.66	0.44	30.19	0.99
B2	-2	50.49	741.88	0.3	743.14	1.26	4.78	1.17	0.25	90.73	1.65
B3	-3	172.21	733.00	0.3	733.13	0.13	5.10	0.82	0.35	40.13	0.99
C1	-1	0.00	746.76	0.5	746.85	0.09	12.76	0.83	0.59	47.57	1.24
C2	-2	106.95	735.49	0.5	735.67	0.18	4.41	1.27	0.39	88.36	1.36
C3	-3	212.61	723.22	0.5	723.28	0.06	12.25	0.81	0.61	43.24	1.15
D1	-1	0.00	770.95	1.4	771.12	0.17	12.57	1.27	1.07	90.25	1.39
D2	-2	64.62	763.96	1.4	764.17	0.21	8.36	1.52	0.89	119.64	1.49
D3	-3	157.55	755.41	1.4	755.73	0.32	7.37	1.44	0.95	93.18	1.24
E1	-1	0.00	846.10	0.2	846.20	0.10	4.91	0.69	0.24	32.15	0.99
E2	-2	43.57	844.21	0.2	844.35	0.14	5.32	0.45	0.38	11.87	0.54
E3	-3	94.04	841.77	0.2	841.87	0.10	5.61	0.59	0.29	23.09	0.83
F1	-1	0.00	846.07	0.2	846.21	0.14	2.63	0.83	0.19	40.09	0.97
F2	-2	77.59	841.42	0.2	841.52	0.10	4.52	0.70	0.23	32.56	1.00
F3	-3	149.35	833.68	0.2	833.74	0.06	5.34	0.93	0.17	66.28	1.65

Tabella 5

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	649.99	0.5	650.19	0.20	3.66	1.45	0.35	112.52	1.49
A2	-2	243.57	620.79	0.5	620.95	0.16	4.31	1.45	0.35	118.17	1.61
A3	-3	426.77	609.43	0.5	613.04	3.61	11.70	0.75	0.68	35.72	1.00
A4	-4	653.37	592.12	0.5	592.24	0.12	6.96	1.25	0.41	99.27	1.66
B1	-1	0.00	748.22	0.3	748.41	0.19	8.93	0.87	0.38	52.53	1.34
B2	-2	50.49	741.88	0.3	743.16	1.28	5.73	0.93	0.36	53.18	1.19
B3	-3	172.21	733.00	0.3	733.13	0.13	5.09	0.94	0.35	52.57	1.14
C1	-1	0.00	746.76	0.5	746.86	0.10	13.18	0.86	0.63	49.45	1.25
C2	-2	106.95	735.49	0.5	735.68	0.19	4.57	1.30	0.42	91.58	1.37
C3	-3	212.61	723.22	0.5	723.28	0.06	12.36	0.83	0.65	44.62	1.15
D1	-1	0.00	770.95	1.5	771.13	0.18	13.08	1.31	1.16	93.93	1.40
D2	-2	64.62	763.96	1.5	764.18	0.22	8.82	1.52	1.00	116.80	1.44
D3	-3	157.55	755.41	1.5	755.73	0.32	7.62	1.51	1.01	101.62	1.29
E1	-1	0.00	846.10	0.2	846.20	0.10	5.02	0.74	0.26	36.48	1.05
E2	-2	43.57	844.21	0.2	844.36	0.15	5.54	0.46	0.41	12.42	0.54
E3	-3	94.04	841.77	0.2	841.87	0.10	5.85	0.61	0.31	24.05	0.84
F1	-1	0.00	846.07	0.2	846.22	0.15	2.76	0.85	0.21	41.57	0.98
F2	-2	77.59	841.42	0.2	841.52	0.10	4.72	0.72	0.25	34.37	1.01
F3	-3	149.35	833.68	0.2	833.75	0.07	5.60	0.95	0.19	68.03	1.64

Tabella 6



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	649.99	0.6	650.20	0.21	3.89	1.51	0.40	119.66	1.51
A2	-2	243.57	620.79	0.6	620.97	0.18	4.77	1.39	0.43	105.99	1.48
A3	-3	426.77	609.43	0.6	613.05	3.62	12.49	0.78	0.77	37.32	1.00
A4	-4	653.37	592.12	0.6	592.25	0.13	7.59	1.24	0.48	94.10	1.57
B1	-1	0.00	748.22	0.4	748.42	0.20	9.41	0.90	0.42	55.46	1.35
B2	-2	50.49	741.88	0.4	743.17	1.29	6.05	0.96	0.40	56.02	1.20
B3	-3	172.21	733.00	0.4	733.14	0.14	5.36	0.97	0.39	55.43	1.15
C1	-1	0.00	746.76	0.6	746.86	0.10	13.36	0.90	0.70	53.75	1.27
C2	-2	106.95	735.49	0.6	735.69	0.20	4.85	1.35	0.47	96.98	1.38
C3	-3	212.61	723.22	0.6	723.28	0.06	12.28	1.01	0.62	67.69	1.43
D1	-1	0.00	770.95	1.8	771.14	0.19	13.88	1.36	1.30	99.68	1.42
D2	-2	64.62	763.96	1.8	764.20	0.24	9.36	1.58	1.12	123.85	1.46
D3	-3	157.55	755.41	1.8	755.75	0.34	8.18	1.57	1.14	106.95	1.30
E1	-1	0.00	846.10	0.2	846.21	0.11	5.65	0.68	0.32	29.28	0.90
E2	-2	43.57	844.21	0.2	844.37	0.16	5.86	0.48	0.46	13.12	0.55
E3	-3	94.04	841.77	0.2	841.88	0.11	6.18	0.63	0.35	25.42	0.85
F1	-1	0.00	846.07	0.2	846.23	0.16	2.88	0.91	0.23	46.95	1.02
F2	-2	77.59	841.42	0.2	841.53	0.11	5.05	0.74	0.28	34.90	0.99
F3	-3	149.35	833.68	0.2	833.75	0.07	5.56	1.12	0.19	95.74	1.95

Tabella 7

Stato di fatto - T = 200 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	649.994	0.69	650.21	0.21647	4.1	1.56	0.44	126.04	1.52
A2	-2	243.57	620.79	0.69	620.98	0.19008	5.02	1.44	0.48	111.74	1.49
A3	-3	426.766	609.432	0.69	613.05	3.6175	13.19	0.8	0.86	38.95	1
A4	-4	653.366	592.12	0.69	592.25	0.12988	7.97	1.29	0.53	100.68	1.59
B1	-1	0	748.217	0.44	748.43	0.21302	11.25	0.73	0.61	34.25	1
B2	-2	50.49	741.876	0.44	743.15	1.27408	5.53	1.33	0.33	110.79	1.73
B3	-3	172.21	732.996	0.44	733.16	0.16391	5.98	0.91	0.49	46.4	1.01
C1	-1	0	746.761	0.73	746.87	0.10932	13.55	0.96	0.76	58.32	1.28
C2	-2	106.95	735.493	0.73	735.69	0.19702	5.05	1.44	0.51	109.3	1.45
C3	-3	212.61	723.22	0.73	723.29	0.07021	12.74	0.91	0.81	50.39	1.15
D1	-1	0	770.953	2.04	771.15	0.19749	14.64	1.41	1.45	105.11	1.43
D2	-2	64.62	763.956	2.04	764.21	0.25437	9.88	1.63	1.25	130.47	1.47
D3	-3	157.55	755.409	2.04	755.76	0.35058	8.71	1.63	1.27	112.02	1.32
E1	-1	0	846.096	0.25	846.23	0.13442	6.55	0.58	0.43	20.05	0.71
E2	-2	43.57	844.212	0.25	844.34	0.12778	4.8	0.81	0.31	40.15	1.02
E3	-3	94.035	841.768	0.25	841.89	0.1223	6.48	0.65	0.38	26.7	0.86
F1	-1	0	846.067	0.25	846.24	0.17323	3.07	0.95	0.26	50.12	1.03
F2	-2	77.59	841.419	0.25	841.52	0.10069	4.37	1.17	0.21	92.3	1.7
F3	-3	149.35	833.679	0.25	833.77	0.09129	7.81	0.68	0.37	31.1	0.99

Tabella 8



Stato di fatto - T = 500 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	649.994	0.82	650.22	0.22647	4.38	1.63	0.5	134.36	1.54
A2	-2	243.57	620.79	0.82	620.99	0.20008	5.26	1.57	0.52	129.72	1.58
A3	-3	426.766	609.432	0.82	613.06	3.6275	14.14	0.83	0.99	40.65	1
A4	-4	653.366	592.12	0.82	592.27	0.14988	8.7	1.29	0.64	97.26	1.52
B1	-1	0	748.217	0.52	748.43	0.21302	10.58	0.97	0.54	62.39	1.38
B2	-2	50.49	741.876	0.52	743.18	1.30408	6.81	1.04	0.5	62.83	1.22
B3	-3	172.21	732.996	0.52	733.16	0.16391	6.03	1.05	0.49	62.55	1.17
C1	-1	0	746.761	0.86	746.87	0.10932	13.77	1.01	0.85	63.74	1.3
C2	-2	106.95	735.493	0.86	735.71	0.21702	5.55	1.4	0.61	100.69	1.35
C3	-3	212.61	723.22	0.86	723.28	0.06021	12.31	1.36	0.63	121.6	1.91
D1	-1	0	770.953	2.4	771.16	0.20749	15.56	1.47	1.64	111.74	1.44
D2	-2	64.62	763.956	2.4	764.22	0.26437	10.5	1.7	1.41	138.43	1.48
D3	-3	157.55	755.409	2.4	755.78	0.37058	9.34	1.69	1.45	118.45	1.33
E1	-1	0	846.096	0.3	846.22	0.12442	6.13	0.79	0.38	38.34	1.01
E2	-2	43.57	844.212	0.3	844.39	0.17778	6.58	0.52	0.58	14.74	0.56
E3	-3	94.035	841.768	0.3	841.89	0.1223	6.94	0.68	0.44	28.56	0.86
F1	-1	0	846.067	0.29	846.25	0.18323	3.25	0.98	0.29	52.99	1.04
F2	-2	77.59	841.419	0.29	841.53	0.11069	4.91	1.08	0.27	74.96	1.47
F3	-3	149.35	833.679	0.29	833.77	0.09129	7.27	0.91	0.32	57.34	1.38

Tabella 9

Nella figura successiva è riportata la perimetrazione delle aree allagabili per i cinque tempi di ritorno considerati. Tali tempi di ritorno, in linea con il PSAI Campania, corrispondono rispettivamente alle fasce fluviali A (T = 30 anni), B1 (T = 50 anni), B2 (T = 100 anni), B3 (T = 200 anni) e C (T = 500 anni).



Figura 7: Planimetria con individuazione delle aree allagabili

Come si evince dalla planimetria sopra riportata, le 4 macchine di interesse e la sottostazione non sono interessate dalla perimetrazione e pertanto si trovano in condizioni di sicurezza idraulica.

4 Analisi idraulica semplificata

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

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

AS1) analisi idrologica in base al metodo VAPI Campania;

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 1.00 m.

Per le ulteriori interferenze con il reticolo idrografico in prossimità di attraversamenti fluviali, invece, verranno predisposte tecniche di ancoraggio agli attraversamenti stessi, pertanto non necessitano di analisi idrauliche. Si riporta di seguito una mappa con le interferenze individuate.

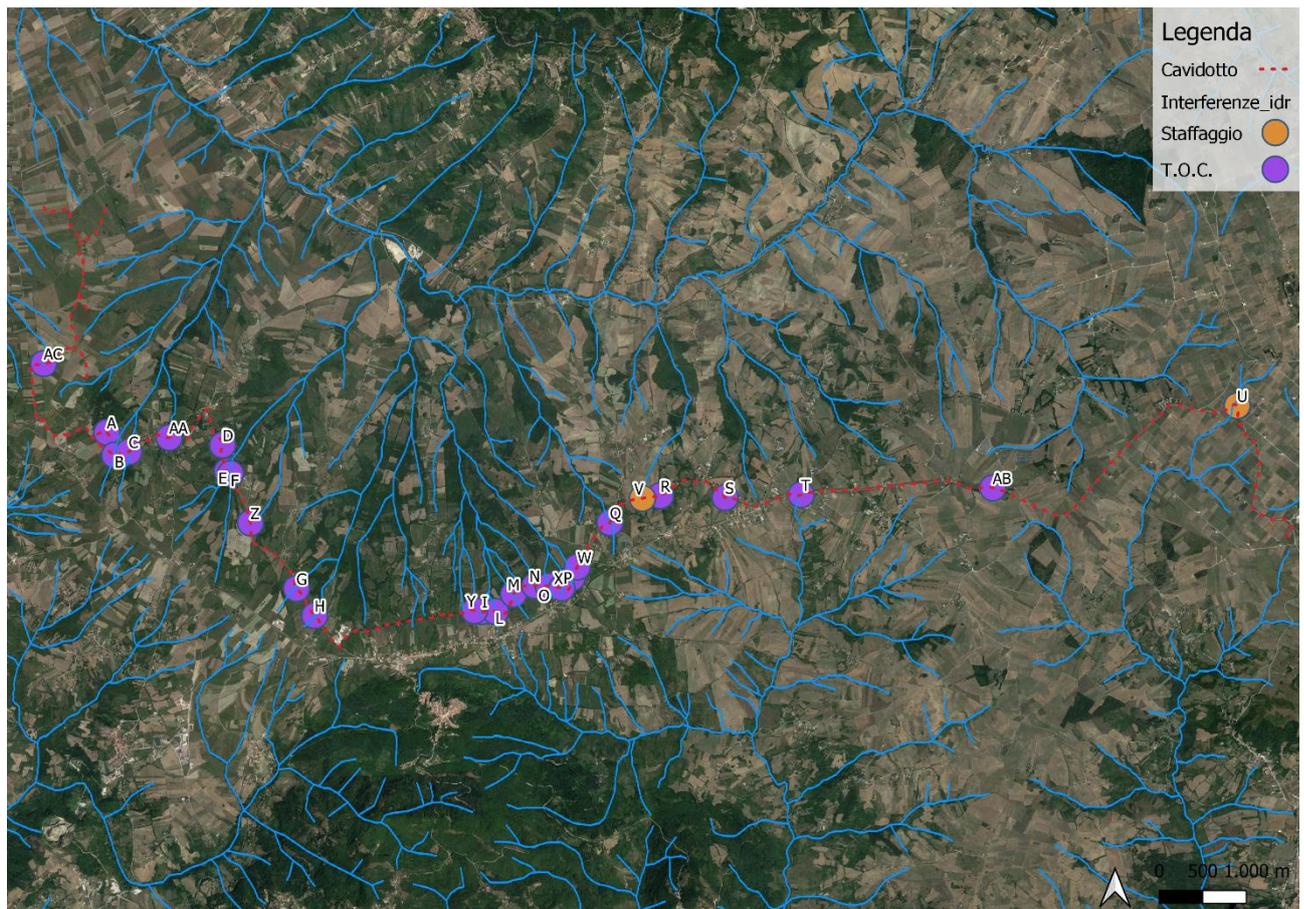


Figura 8: Planimetria con individuazione delle interferenze tra il cavidotto e il reticolo idrografico



Come anticipato precedentemente, l'analisi idrologica condotta è analoga a quella mostrata nei paragrafi precedenti, pertanto si riportano le tabelle di sintesi dei calcoli effettuati, precisando che il valore di portata adottato per l'analisi di escavazione coincide con quello della portata per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

VAPI Campania - Modello geomorfoclimatico a tre complessi omogenei						
Bacino	Superficie totale A (km ²)	Superficie permeabile A1 (km ²)	Superficie impermeabile A2 (km ²)	Superficie boschi A3 (km ²)	Area omogenea (-)	Intensità di precip. minima m[10] (mm/h)
Bacino A	0.185	0.160	0.012	0.013	A3	116.70
Bacino B	0.195	0.170	0.000	0.025	A3	116.70
Bacino I	0.223	0.207	0.016	0.000	A3	116.70
Bacino L	0.049	0.030	0.019	0.000	A3	116.70
Bacino M	0.087	0.083	0.004	0.000	A3	116.70
Bacino N	0.046	0.035	0.010	0.000	A3	116.70
Bacino O	0.037	0.024	0.013	0.000	A3	116.70
Bacino T	0.216	0.216	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino X	0.210	0.210	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino Y	0.185	0.185	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino W	0.220	0.220	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino AC	0.198	0.198	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino C	0.251	0.222	0.000	0.035	A3	116.70
Bacino AA	0.224	0.102	0.007	0.114	A3	116.70
Bacino D	0.347	0.235	0.000	0.112	A3	116.70
Bacino E	0.393	0.244	0.000	0.150	A3	116.70
Bacino F	0.516	0.357	0.000	0.158	A3	116.70
Bacino Z	0.276	0.164	0.000	0.111	A3	116.70
Bacino G	0.148	0.148	0.000	0.000	A3	116.70
Bacino H	0.094	0.085	0.000	0.009	A3	116.70
Bacino P	0.046	0.032	0.014	0.000	A3	116.70
Bacino Q	0.106	0.091	0.020	0.000	A3	116.70
Bacino R	0.134	0.105	0.030	0.000	A3	116.70
Bacino S	0.100	0.060	0.041	0.000	A3	116.70
Bacino AB	0.195	0.195	0.000	0.000	A3	116.70

Tabella 10



Bacino	Durata di prec. d (h)	Durata minima dc (h)	C (-)	D (1/m)	A-Z (km ² ·mslm)	Quota media Z (mslm)
Bacino A	0.45	0.0976	0.7360	8.7300E-05	148.298	800.000
Bacino B	0.62	0.0976	0.7360	8.7300E-05	156.134	800.000
Bacino I	0.52	0.0976	0.7360	8.7300E-05	178.191	800.000
Bacino L	0.08	0.0976	0.7360	8.7300E-05	39.210	800.000
Bacino M	0.36	0.0976	0.7360	8.7300E-05	69.917	800.000
Bacino N	0.13	0.0976	0.7360	8.7300E-05	36.523	800.000
Bacino O	0.08	0.0976	0.7360	8.7300E-05	29.304	800.000
Bacino T	0.70	0.0976	0.7360	8.7300E-05	172.618	800.000
Bacino X	0.69	0.0976	0.7360	8.7300E-05	168.000	800.000
Bacino Y	0.65	0.0976	0.7360	8.7300E-05	148.000	800.000
Bacino W	0.71	0.0976	0.7360	8.7300E-05	176.000	800.000
Bacino AC	0.67	0.0976	0.7360	8.7300E-05	158.400	800.000
Bacino C	0.71	0.0976	0.7360	8.7300E-05	200.800	800.000
Bacino AA	0.37	0.0976	0.7360	8.7300E-05	179.200	800.000
Bacino D	0.73	0.0976	0.7360	8.7300E-05	277.600	800.000
Bacino E	0.75	0.0976	0.7360	8.7300E-05	314.400	800.000
Bacino F	0.90	0.0976	0.7360	8.7300E-05	412.800	800.000
Bacino Z	0.61	0.0976	0.7360	8.7300E-05	220.800	800.000
Bacino G	0.58	0.0976	0.7360	8.7300E-05	118.400	800.000
Bacino H	0.44	0.0976	0.7360	8.7300E-05	75.200	800.000
Bacino P	0.10	0.0976	0.7360	8.7300E-05	36.800	800.000
Bacino Q	0.24	0.0976	0.7360	8.7300E-05	84.800	800.000
Bacino R	0.23	0.0976	0.7360	8.7300E-05	107.200	800.000
Bacino S	0.12	0.0976	0.7360	8.7300E-05	80.000	800.000
Bacino AB	0.67	0.0976	0.7360	8.7300E-05	156.000	800.000

Tabella 11



Bacino	β (-)	n' (-)	q (-)	Fattore di riduz. areale KA (-)	Coeff. di defl. permeabile Cf1 (-)	Coeff. di defl. impermeabile Cf2 (-)
Bacino A	0.666	0.45	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino B	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino I	0.666	0.44	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino L	0.666	0.69	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino M	0.666	0.48	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino N	0.666	0.62	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino O	0.666	0.69	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino T	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino X	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino Y	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino W	0.666	0.41	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino AC	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino C	0.666	0.41	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino AA	0.666	0.47	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino D	0.666	0.41	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino E	0.666	0.41	0.60	0.999	0.13	0.60
Bacino F	0.666	0.40	0.60	0.999	0.13	0.60
Bacino Z	0.666	0.43	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino G	0.666	0.43	0.60	1.000	0.13	0.60
Bacino H	0.666	0.45	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino P	0.666	0.66	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino Q	0.666	0.53	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino R	0.666	0.53	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino S	0.666	0.64	0.65	1.000	0.13	0.60
Bacino AB	0.666	0.42	0.60	1.000	0.13	0.60

Tabella 12



Bacino	Coeff. di defl. boschi Cf3 (-)	Coeff. di defl. Cf (-)	Celerità permeabili c1 (m/s)	Celerità impermeabili c2 (m/s)	Tempo di ritardo tr (h)	m[I(d)] (mm/h)
Bacino A	0.00	0.15	0.23	1.87	0.45	36.98
Bacino B	0.00	0.11	0.23	1.87	0.62	30.83
Bacino I	0.00	0.16	0.23	1.87	0.52	34.29
Bacino L	0.00	0.32	0.23	1.87	0.08	77.18
Bacino M	0.00	0.15	0.23	1.87	0.36	41.71
Bacino N	0.00	0.24	0.23	1.87	0.13	66.12
Bacino O	0.00	0.29	0.23	1.87	0.08	77.50
Bacino T	0.00	0.13	0.23	1.87	0.70	28.76
Bacino X	0.00	0.13	0.23	1.87	0.69	28.99
Bacino Y	0.00	0.13	0.23	1.87	0.65	30.08
Bacino W	0.00	0.13	0.23	1.87	0.71	28.60
Bacino AC	0.00	0.13	0.23	1.87	0.67	29.49
Bacino C	0.00	0.11	0.23	1.87	0.71	28.53
Bacino AA	0.00	0.08	0.23	1.87	0.37	41.10
Bacino D	0.00	0.09	0.23	1.87	0.73	28.05
Bacino E	0.00	0.08	0.23	1.87	0.75	27.74
Bacino F	0.00	0.09	0.23	1.87	0.90	24.77
Bacino Z	0.00	0.08	0.23	1.87	0.61	31.15
Bacino G	0.00	0.13	0.23	1.87	0.58	32.07
Bacino H	0.00	0.12	0.23	1.87	0.44	37.44
Bacino P	0.00	0.27	0.23	1.87	0.10	71.95
Bacino Q	0.00	0.22	0.23	1.87	0.24	51.13
Bacino R	0.00	0.24	0.23	1.87	0.23	52.17
Bacino S	0.00	0.32	0.23	1.87	0.12	68.92
Bacino AB	0.00	0.13	0.23	1.87	0.67	29.63

Tabella 13



Bacino	Piena indice $m[Q]$ (m^3/s)	Fattore di riduzione dei colmi di piena $r(d)$ (-)	Piena massima annuale $m[Qd]$ (m^3/s)
Bacino A	0.19	1.16	0.22
Bacino B	0.11	1.15	0.13
Bacino I	0.21	1.16	0.24
Bacino L	0.22	1.22	0.26
Bacino M	0.10	1.17	0.12
Bacino N	0.13	1.20	0.15
Bacino O	0.15	1.22	0.18
Bacino T	0.13	1.15	0.15
Bacino X	0.13	1.15	0.15
Bacino Y	0.12	1.15	0.14
Bacino W	0.14	1.15	0.16
Bacino AC	0.13	1.15	0.15
Bacino C	0.14	1.15	0.16
Bacino AA	0.13	1.17	0.15
Bacino D	0.14	1.15	0.16
Bacino E	0.15	1.15	0.17
Bacino F	0.19	1.14	0.22
Bacino Z	0.11	1.15	0.13
Bacino G	0.10	1.15	0.12
Bacino H	0.07	1.16	0.09
Bacino P	0.16	1.21	0.20
Bacino Q	0.22	1.18	0.26
Bacino R	0.30	1.18	0.35
Bacino S	0.40	1.21	0.49
Bacino AB	0.13	1.15	0.14

Tabella 14



Bacino	Portata al colmo Q5 (m ³ /s)	Portata al colmo Q30 (m ³ /s)	Portata al colmo Q50 (m ³ /s)	Portata al colmo Q100 (m ³ /s)	Portata al colmo Q200 (m ³ /s)	Portata al colmo Q500 (m ³ /s)
Bacino A	0.24	0.44	0.49	0.58	0.67	0.78
Bacino B	0.15	0.27	0.30	0.35	0.40	0.47
Bacino I	0.27	0.49	0.54	0.64	0.73	0.86
Bacino L	0.28	0.51	0.56	0.66	0.76	0.90
Bacino M	0.13	0.23	0.26	0.31	0.35	0.41
Bacino N	0.17	0.30	0.34	0.40	0.46	0.54
Bacino O	0.19	0.35	0.39	0.46	0.53	0.62
Bacino T	0.17	0.32	0.35	0.41	0.47	0.56
Bacino X	0.17	0.31	0.34	0.40	0.47	0.55
Bacino Y	0.16	0.28	0.31	0.37	0.43	0.50
Bacino W	0.18	0.32	0.36	0.42	0.48	0.57
Bacino AC	0.16	0.30	0.33	0.39	0.45	0.52
Bacino C	0.18	0.32	0.36	0.42	0.48	0.57
Bacino AA	0.17	0.30	0.34	0.40	0.46	0.54
Bacino D	0.18	0.34	0.37	0.44	0.50	0.59
Bacino E	0.19	0.35	0.38	0.45	0.52	0.61
Bacino F	0.25	0.45	0.50	0.59	0.68	0.79
Bacino Z	0.14	0.26	0.29	0.34	0.39	0.46
Bacino G	0.13	0.24	0.27	0.32	0.36	0.43
Bacino H	0.10	0.18	0.19	0.23	0.26	0.31
Bacino P	0.21	0.38	0.43	0.50	0.58	0.68
Bacino Q	0.28	0.52	0.57	0.68	0.78	0.91
Bacino R	0.38	0.70	0.78	0.92	1.05	1.24
Bacino S	0.52	0.95	1.05	1.24	1.42	1.67
Bacino AB	0.16	0.29	0.33	0.38	0.44	0.52

Tabella 15



Bacino	Coefficiente udometrico u5 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u30 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u50 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u100 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u200 (m ³ /s×km ²)	Coefficiente udometrico u500 (m ³ /s×km ²)
Bacino A	1.32	2.40	2.66	3.13	3.60	4.23
Bacino B	0.75	1.37	1.52	1.79	2.05	2.41
Bacino I	1.20	2.19	2.43	2.86	3.28	3.86
Bacino L	5.68	10.37	11.50	13.52	15.55	18.28
Bacino M	1.47	2.68	2.97	3.50	4.02	4.73
Bacino N	3.64	6.65	7.37	8.67	9.97	11.72
Bacino O	5.28	9.63	10.68	12.56	14.44	16.98
Bacino T	0.80	1.47	1.63	1.91	2.20	2.59
Bacino X	0.81	1.48	1.64	1.93	2.22	2.61
Bacino Y	0.84	1.53	1.70	2.00	2.30	2.70
Bacino W	0.80	1.46	1.62	1.90	2.19	2.57
Bacino AC	0.82	1.50	1.67	1.96	2.26	2.65
Bacino C	0.70	1.29	1.43	1.68	1.93	2.27
Bacino AA	0.75	1.36	1.51	1.78	2.04	2.40
Bacino D	0.53	0.97	1.07	1.26	1.45	1.71
Bacino E	0.48	0.88	0.97	1.15	1.32	1.55
Bacino F	0.48	0.87	0.97	1.14	1.31	1.54
Bacino Z	0.52	0.94	1.05	1.23	1.41	1.66
Bacino G	0.90	1.64	1.81	2.13	2.45	2.88
Bacino H	1.03	1.87	2.07	2.44	2.80	3.30
Bacino P	4.58	8.35	9.26	10.89	12.52	14.72
Bacino Q	2.68	4.88	5.42	6.37	7.32	8.61
Bacino R	2.87	5.24	5.81	6.83	7.85	9.23
Bacino S	5.20	9.49	10.52	12.38	14.23	16.73
Bacino AB	0.83	1.51	1.67	1.97	2.27	2.66

Tabella 16



Bacino	Volume di piena V5 (m ³)	Volume di piena V30 (m ³)	Volume di piena V50 (m ³)	Volume di piena V100 (m ³)	Volume di piena V200 (m ³)	Volume di piena V500 (m ³)
Bacino A	458	836	927	1,091	1,254	1,474
Bacino B	378	689	764	899	1,033	1,215
Bacino I	574	1,048	1,162	1,366	1,571	1,847
Bacino L	102	187	207	244	280	329
Bacino M	194	354	393	462	531	624
Bacino N	95	172	191	225	259	304
Bacino O	70	128	142	167	192	226
Bacino T	503	918	1,017	1,197	1,376	1,618
Bacino X	487	888	985	1,159	1,332	1,566
Bacino Y	418	763	846	995	1,144	1,345
Bacino W	515	939	1,041	1,225	1,409	1,656
Bacino AC	454	828	918	1,080	1,241	1,459
Bacino C	520	949	1,053	1,238	1,424	1,674
Bacino AA	259	473	525	617	710	834
Bacino D	557	1,016	1,127	1,325	1,524	1,792
Bacino E	583	1,063	1,179	1,386	1,594	1,874
Bacino F	918	1,674	1,856	2,184	2,511	2,952
Bacino Z	362	660	732	861	990	1,164
Bacino G	320	583	647	761	875	1,029
Bacino H	177	323	358	422	485	570
Bacino P	95	174	193	227	261	307
Bacino Q	288	526	583	686	789	928
Bacino R	375	684	758	892	1,026	1,206
Bacino S	265	484	537	631	726	853
Bacino AB	445	813	901	1,060	1,219	1,433

Tabella 17

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto in corrispondenza dei punti di intersezione con i rami del reticolo idrografico, 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:

- " 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, 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/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 e Müller per i tratti dell'impianto in esame.



Analisi del trasporto solido - Tr200						
Sezione	γ (N/m ³)	γ_s (N/m ³)	d (m)	j (-)	R (m)	θ (-)
A2	9810	25000	0.00002	0.096	0.090	277.7
B2	9810	25000	0.00002	0.134	0.060	259.7
I2	9810	25000	0.00002	0.132	0.060	255.5
L2	9810	25000	0.00002	0.130	0.160	674.2
M2	9810	25000	0.00002	0.164	0.100	530.1
N2	9810	25000	0.00002	0.135	0.070	304.1
O2	9810	25000	0.00002	0.147	0.080	379.4
T2	9810	25000	0.00002	0.139	0.070	314.4
X2	9810	25000	0.00002	0.14	0.072	325.5
Y2	9810	25000	0.00002	0.128	0.075	310.0
W2	9810	25000	0.00002	0.136	0.068	298.6
AC2	9810	25000	0.00002	0.109	0.057	200.3
C2	9810	25000	0.00002	0.124	0.062	248.4
AA2	9810	25000	0.00002	0.138	0.069	307.4
D2	9810	25000	0.00002	0.131	0.065	276.7
E2	9810	25000	0.00002	0.153	0.077	379.0
F2	9810	25000	0.00002	0.125	0.057	229.8
Z2	9810	25000	0.00002	0.099	0.044	142.3
G2	9810	25000	0.00002	0.161	0.072	373.3
H2	9810	25000	0.00002	0.124	0.056	223.8
P2	9810	25000	0.00002	0.092	0.050	148.6
Q2	9810	25000	0.00002	0.088	0.108	305.7
R2	9810	25000	0.00002	0.078	0.095	238.5
S2	9810	25000	0.00002	0.085	0.104	282.9
AB2	9810	25000	0.00002	0.068	0.034	75.1
Sezione	Ψ (-)	q_s (m ² /s)	b (m)	Q (m ³ /s)	C (-)	C (ppm)
A2	37021	0.0129	6.35	67.00	0.001	1223
B2	33481	0.0117	5.49	0.40	0.160	160192
I2	32671	0.0114	5.00	0.73	0.078	78006
L2	140032	0.0488	2.31	0.76	0.148	148371
M2	97619	0.0340	2.14	0.35	0.208	208068
N2	42418	0.0148	5.04	0.46	0.162	162014
O2	59100	0.0206	4.61	0.53	0.179	179199
T2	44596	0.0155	5.51	0.47	0.182	182254
X2	46969	0.0164	4.34	0.47	0.151	151190
Y2	43654	0.0152	4.12	0.43	0.146	145805
W2	41274	0.0144	4.25	0.48	0.127	127395
AC2	22674	0.0079	5.10	0.45	0.090	89581
C2	31318	0.0109	4.27	0.48	0.097	97120
AA2	43104	0.0150	4.90	0.46	0.160	160059
D2	36808	0.0128	4.00	0.50	0.103	102648
E2	59011	0.0206	3.87	0.52	0.153	153096
F2	27858	0.0097	4.66	0.68	0.067	66515
Z2	13578	0.0047	5.35	0.39	0.065	64963
G2	57684	0.0201	4.94	0.36	0.276	275991
H2	26774	0.0093	3.57	0.26	0.128	128101
P2	14478	0.0050	5.04	0.58	0.044	43898
Q2	42754	0.0149	2.37	0.78	0.045	45300
R2	29460	0.0103	3.19	1.05	0.031	31215
S2	38055	0.0133	4.32	1.42	0.040	40321
AB2	5205	0.0018	4.69	0.44	0.019	19329

Tabella 18



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

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

Massima profondità di erosione - Tr200			
Sezione	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	0.01	65.89	0.00074
B2	0.01	58.26	0.00077
I2	0.01	54.92	0.00078
L2	0.01	77.28	0.00070
M2	0.01	62.100	0.00076
N2	0.01	62.830	0.00075
O2	0.01	70.92	0.00072
T2	0.01	67.35	0.00074
X2	0.01	59.86	0.00076
Y2	0.01	58.63	0.00077
W2	0.01	59.86	0.00076
AC2	0.01	46.22	0.000825
C2	0.01	49.7	0.000806
AA2	0.01	62.45	0.000754
D2	0.01	52.14	0.000795
E2	0.01	64.93	0.000744
F2	0.01	48.96	0.000802
Z2	0.01	36.64	0.000883
G2	0.0007	72.53	0.000721
H2	0.01	42.00	0.000858
P2	0.02	36.75	0.000868
Q2	0.02	43.29	0.000823
R2	0.03	41.71	0.000816
S2	0.03	55.11	0.000755
AB2	0.03	21.26	0.000981

Tabella 19

Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di escavazione massima della corrente di 0.01 m.

Si precisa inoltre che per l'interferenza ID 20 sottesa al bacino V, si procederà in maniera analoga all'interferenza relativa al bacino R in quanto assimilabili per estensione e area omogenea, con una T.O.C. al fine di superare l'interferenza con un buffer di 150 m delle acque pubbliche (art.142 d.lgs. 42/2004 lett.c)



5 Conclusioni

La presente relazione idrogeologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione del parco eolico "Taverna del Principe" sito nel comune di Frigento (AV) e relative opere e infrastrutture connesse da situare nei comuni di Bisaccia (AV), Frigento (AV), Guardia Lombardi (AV) e Rocca San Felice (AV), Sturno (AV).

Nello specifico, l'impianto sarà costituito da n.6 aerogeneratori (F01, F02, F03, F04, F05 e F06) dalla potenza nominale di 6.6 MW, per un totale di 39.6 MW per l'intero impianto.

L'energia prodotta dagli aerogeneratori del parco in oggetto verrà convogliata tramite un cavidotto interrato a 30 kV. A valle del cavidotto esterno in MT è prevista la realizzazione di una sottostazione elettrica di trasformazione situata nelle immediate vicinanze del punto di consegna. Tale sottostazione, pertanto rappresenta la stazione utenza di trasformazione 30/36 kV.

La presente, in particolare, è stata redatta per la valutazione dell'estensione delle aree allagabili per i rami del reticolo idrografico nelle immediate vicinanze delle macchine denominate di seguito come F02, F04, F05 ed F06 nonché della sottostazione e, inoltre, è stata valutata la profondità massima di escavazione della corrente in prossimità delle interferenze del cavidotto con i rami del reticolo idrografico delimitati su IGM in scala 1: 25.000.

Gli impluvi in esame ricadono nell'ambito dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale - UoM Volturno, ITN011, ITR155 (ex AdB Campania), pertanto si è proceduto all'analisi idrologica, illustrata in dettaglio nel seguito, tramite l'impiego del metodo VAPI Campania (come previsto all'interno del PSAI) al fine di stabilire le portate al colmo di piena per eventi con tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

Nel caso di specie, inoltre, 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 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 della corrente in corrispondenza dell'interferenza con il cavidotto.

L'analisi idraulica in moto permanente ha permesso di dimostrare che gli aerogeneratori F02, F04, F05 ed F06 nonché la sottostazione non sono interessati dalla perimetrazione delle aree allagabili e, pertanto, si trovano in condizioni di sicurezza idraulica.

L'analisi idraulica semplificata ha permesso di dimostrare i valori della profondità massima di escavazione della corrente nei tratti di interferenza individuati. Affinché il cavidotto risulti in condizioni di sicurezza idraulica è necessario avere almeno ad un 1.00 m di profondità rispetto al valore calcolato con l'analisi suddetta.

Ad ogni modo, note le sezioni di progetto per la posa in opera dei cavidotti, in fase esecutiva sarà necessario porre il cavidotto ad una profondità non inferiore a 2.00 m.