



REGIONE
CAMPANIA



COMUNE DI
ARIANO



PROVINCIA DI
AVELLINO

PROGETTO DEFINITIVO

Lavori di realizzazione di un parco agrovoltaiico della potenza di 103 MW con annesso impianto di storage e delle relative opere connesse nel comune di Ariano Irpino (AV)

Titolo elaborato

PD_1_02_CA_Relazione idrologica e idraulica

Codice elaborato

F0500AR02A

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. Giorgio ZUCCARO)



Gruppo di lavoro

ing. Mauro MARELLA
ing. Marco LORUSSO
ing. Pierfrancesco ZIRPOLI
dott. for. Luigi ZUCCARO
ing. Luca FRESCURA
ing. Antonella NOLE'
ing. Denise TELESCA
arch. Gaia TELESCA
dott.ssa. Luciana TELESCA
ing. Cristina GUGLIELMI
ing. Manuela NARDOZZA
ing. Beniamino D'ERCOLE



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).



EPF srl - Via Cesare Battisti, 116 83053 S. Andrea di Conza (AV)
Tel e Fax+39 0827 35687

Consulenze specialistiche

Committente

WEB PV Ariano S.r.l.

Via Leonardo Da Vinci 15, 39100 Bolzano

Presidente Consiglio di Amministrazione
KAINZ REINHARD

Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato
Gennaio 2023	Prima emissione	MNA	CGU	GZU

Relazione idrologica e idraulica

Sommario

1	Premessa	4
2	Analisi idrologica	7
2.1	Bacini idrografici	7
2.2	Tempi di corrivazione	8
2.3	Portate al colmo di piena	9
3	Analisi idraulica	13
3.1	Geometria del modello idrodinamico	13
3.2	Portate di piena	15
3.3	Condizioni al contorno	15
3.4	Parametri di scabrezza	15
3.5	Risultati della simulazione	15
4	Analisi idraulica semplificata	24
5	Conclusioni	27

1 Premessa

La presente relazione idrologica e idraulica accompagna il progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico a carattere agrovoltaico e relative opere di connessione da situare nel comune di Ariano Irpino (AV).

Nello specifico, l'impianto sarà costituito da un totale di 182280 moduli fotovoltaici, per un numero totale di stringhe di 6067 ed una potenza complessiva di immissione pari a 103 MW.

La presente, in particolare, è stata redatta per la valutazione dell'estensione delle aree allagabili di rami del reticolo idrografico nelle immediate vicinanze dell'impianto in progetto.

Per la finalità del presente studio, si ricorda che il ramo di interesse risulta essere un affluente del Fiume Ofanto e pertanto ricade nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale della Regione Puglia (oggi Autorità Distrettuale di Bacino dell'Appennino Meridionale –Sede Puglia).

Per tali ragioni, pertanto, è stato realizzato il presente studio che ha analizzato compiutamente i regimi di deflusso a monte e a valle dell'area di interesse, nonché l'effettiva estensione delle aree allagabili con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, secondo le metodologie del VAPI Puglia. Tali portate sono state utilizzate nella successiva analisi idraulica che, grazie all'utilizzo del modello idrodinamico monodimensionale HEC-RAS dello *US Army Corps of Engineers*, è stata 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.

Nell'immagine di seguito è riportato un inquadramento dell'area di interesse.

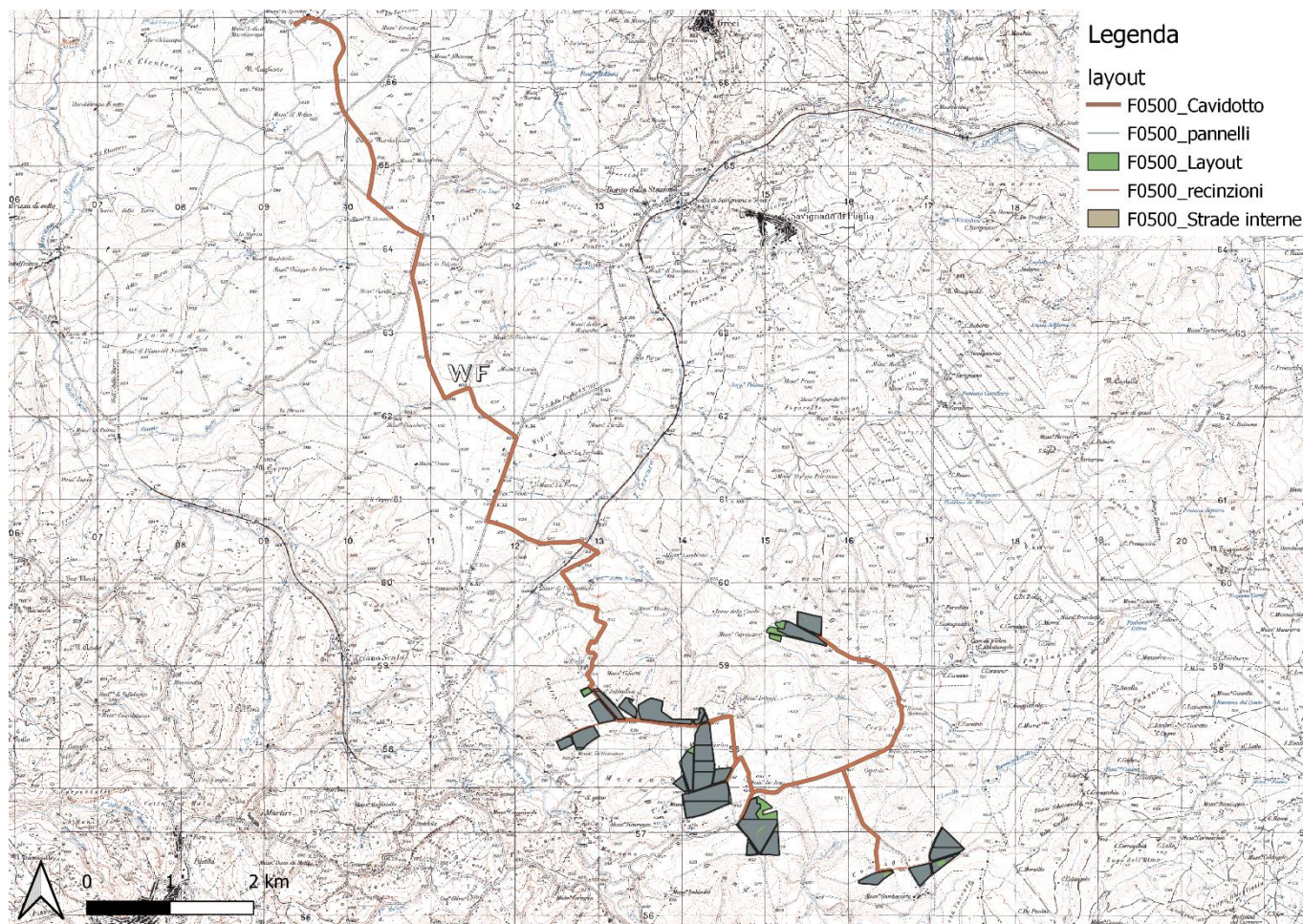


Figura 1: Inquadramento dell'impianto su base IGM in scala 1:25.000

Inoltre, per quanto riguarda il cavidotto, sono presenti delle interferenze con alcuni rami del reticolo idrografico, come riportato nell'immagine di seguito. Al fine di valutare la profondità di posa del cavo è necessario analizzare la profondità massima di escavazione della corrente tramite un'analisi idraulica semplificata.

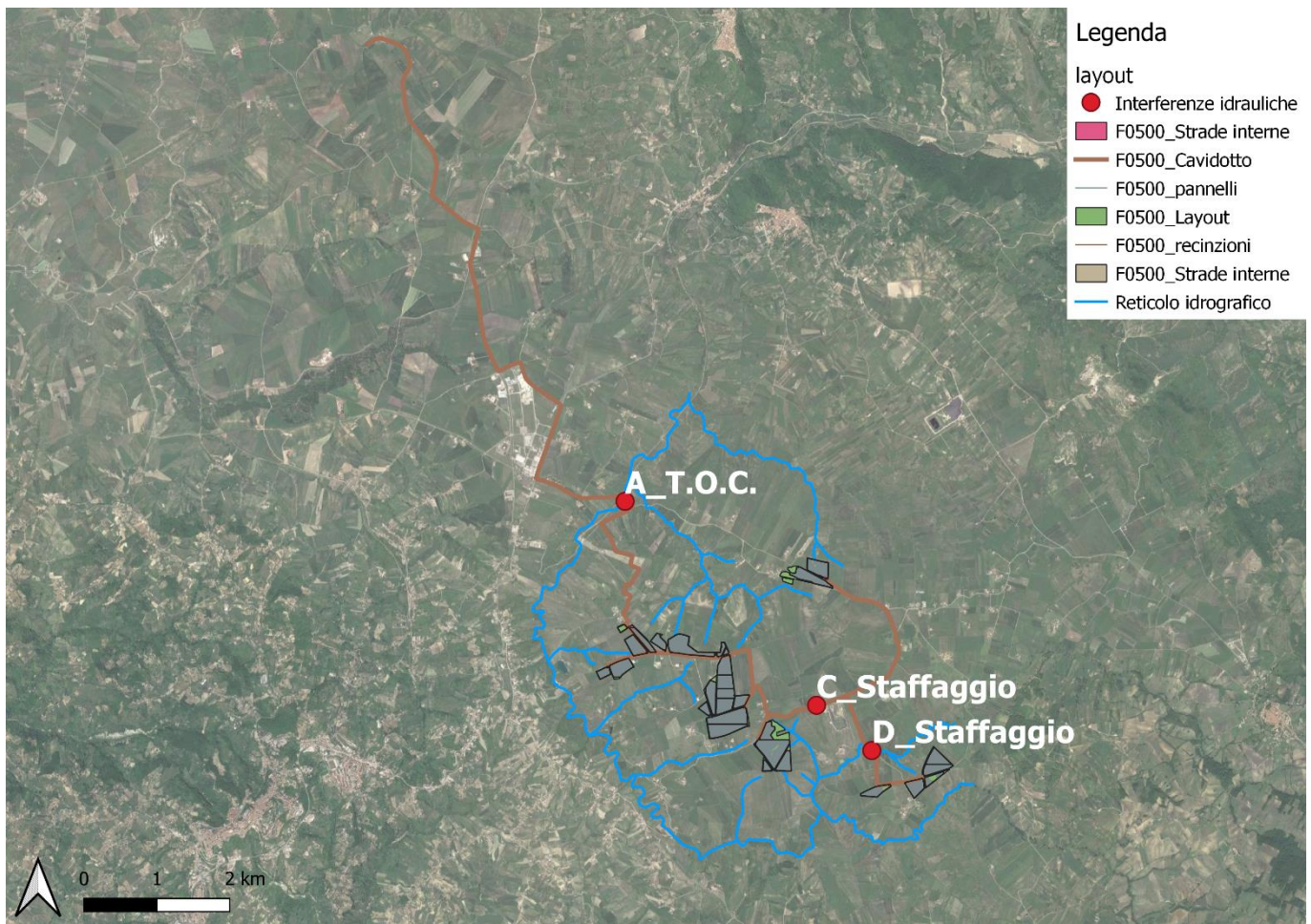


Figura 2: Individuazione delle interferenze tra cavidotto e rami del reticolo idrografico

2 Analisi idrologica

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

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

2.1 Bacini idrografici

Nella figura seguente sono mostrati gli impluvi in esame con i bacini idrografici sottesi alla sezione di chiusura. La delimitazione è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25'000 che il Modello Digitale del Terreno (*Digital Terrain Model, DTM*).

Nella tabella seguente sono indicate le caratteristiche fisiografiche del bacino idrografico.

Tabella 1

Caratteristiche fisiografiche								
Bacino idrografico	S (km ²)	Hmax (mslm)	Hmed (mslm)	Hmin (mslm)	L (km)	i (%)	y (%)	c (-)
Zona 4 (Bacino D)	18.550	929.00	727.66	623.00	6.59	4.64	10.42	0.30
Zona 4 (Bacino E)	0.711	687.00	653.23	566.00	1.26	9.64	9.77	0.30
Zona 4 (Bacino F)	1.298	701.00	671.54	581.00	1.70	7.07	9.95	0.30
Zona 4 (Bacino G)	1.261	701.00	659.16	566.00	2.04	6.62	12.43	0.30
Zona 4 (Bacino H)	0.804	679.00	634.85	574.00	1.03	10.23	7.60	0.30
Zona 4 (Bacino I)	5.762	712.00	664.68	573.00	5.53	2.51	9.08	0.30
Zona 4 (Bacino L)	0.577	693.00	674.17	648.00	1.03	4.38	6.50	0.30

Nella precedente tabella sono state indicate le seguenti grandezze:

- "S" (km²): superficie del bacino;
- "Hmax" (mslm): quota massima;
- "Hmed" (mslm): quota media;
- "Hmin" (mslm): quota minima;
- "L" (km): lunghezza dell'asta principale;
- "i" (%): pendenza dell'asta principale;
- "y" (%): pendenza media di versante;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Come valore per il coefficiente di deflusso, in particolare, è stato scelto 0.30 per via del tipo di uso del suolo dei bacini idrografici considerati che risulta, secondo la Carta CORINE, essenzialmente agricolo (ad esclusione della sola area di interesse) con prevalenza di "seminativi".

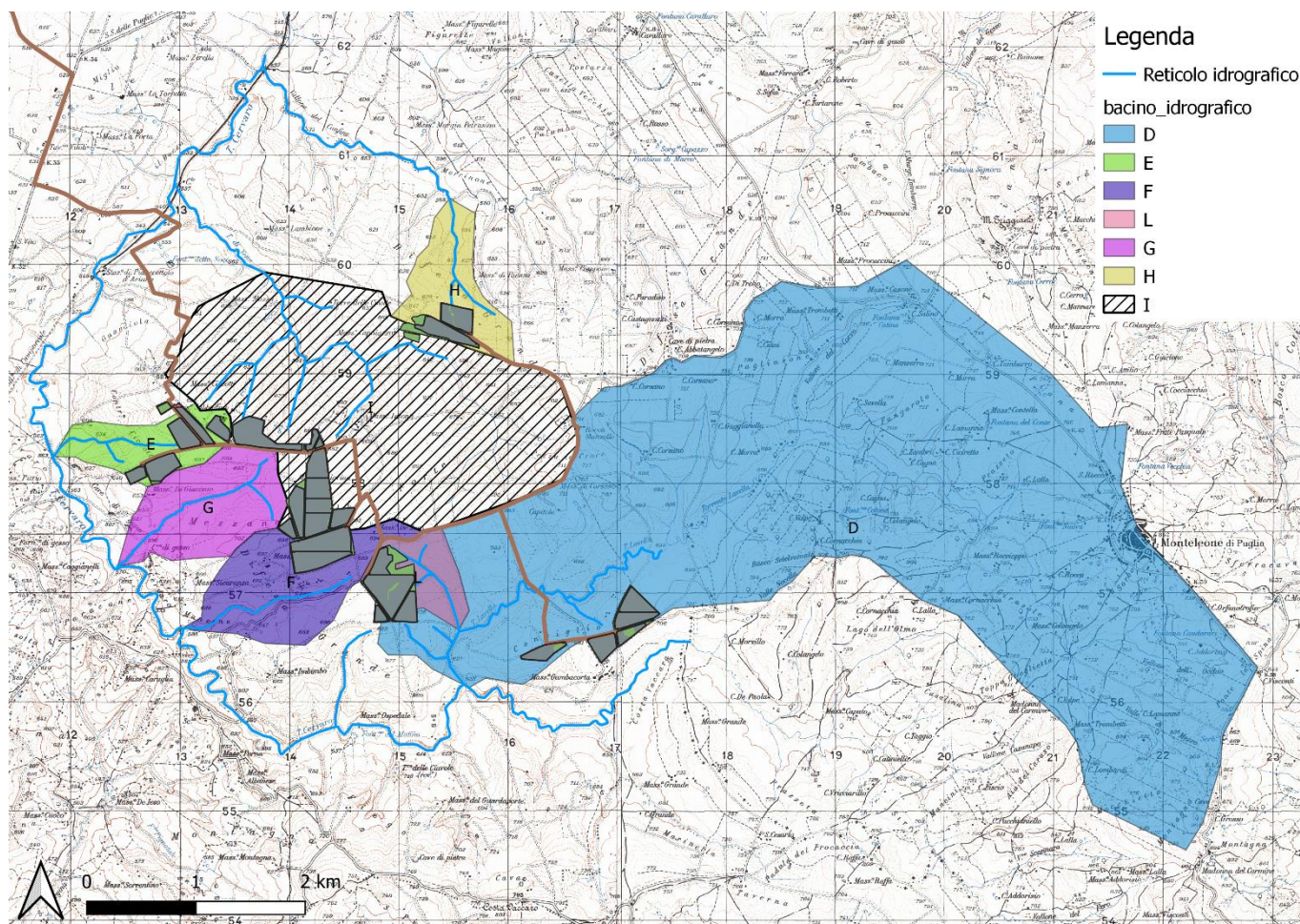


Figura 3: Corografia dell'area in esame con l'indicazione del bacino idrografico sotteso al ramo di interesse

Nella figura precedente sono mostrati i rami del reticolo idrografico in esame con i bacini idrografici sottesi dalle sezioni di chiusura individuata dall'area di interesse. La delimitazione è stata effettuata utilizzando sia la cartografia IGM in scala 1:25'000 della Regione Campania che il modello digitale del terreno.

2.2 Tempi di corrivazione

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

Tabella 2

c						
Bacino idrografico	Giandotti (h)	Kirpich (h)	Ventura (h)	Pezzoli (h)	Pasini (h)	tc (h)
Zona 4 (Bacino D)	3.31	0.92	2.54	1.68	2.49	1.91
Zona 4 (Bacino E)	0.70	0.19	0.35	0.22	0.33	0.27
Zona 4 (Bacino F)	0.93	0.28	0.54	0.35	0.53	0.43
Zona 4 (Bacino G)	0.98	0.33	0.56	0.44	0.58	0.47
Zona 4 (Bacino H)	0.82	0.16	0.36	0.18	0.32	0.25
Zona 4 (Bacino I)	2.34	1.02	1.93	1.92	2.16	1.76
Zona 4 (Bacino L)	1.12	0.23	0.46	0.27	0.43	0.35

2.3 Portate al colmo di piena

Ai fini del calcolo delle portate al colmo di piena è stato utilizzato il metodo VAPI Puglia così come consigliato dalla Relazione di Piano del PAI (redatto dall'Autorità di Bacino sede Puglia).

Nella figura seguente è mostrata una corografia della Puglia con l'individuazione delle zone pluviometriche omogenee del metodo VAPI. Il sito di interesse, in particolare, è situato nella "zona pluviometrica omogenea 4".

Il metodo scelto prevede il calcolo delle altezze di precipitazione critica utilizzando le seguenti espressioni:

$$zona\ 4: \quad x = 24.70 \cdot t^{0.256}$$

dove:

- "t" (h): tempo di corivazione del bacino;
- "z" (mslm): quota caratteristica del bacino.

A seconda del tempo di ritorno considerato, poi, l'altezza di pioggia deve essere moltiplicata per un coefficiente di crescita dato dalla seguente espressione:

$$zona\ 4: \quad K_T = 0.5648 + 0.415 \cdot \ln(T)$$



Figura 4: Corografia della Puglia con la delimitazione delle zone pluviometriche omogenee del VAPI

Nella seguente tabella, pertanto, sono stati calcolati sia i parametri delle curve di possibilità pluviometrica che le altezze di precipitazione critiche per i tempi di ritorno di riferimento di 30, 200 e 500 anni secondo la seguente espressione:

$$h_T = a_T \cdot t^n = K_T \cdot a' \cdot t^n$$

Tabella 3

Curve di possibilità pluviometrica ed altezze di precipitazione (VAPI, zona 4)								
Bacino idrografico	K30 (-)	K200 (-)	K500 (-)	a' (mm)	n (-)	h30 (mm)	h200 (mm)	h500 (mm)
Zona 4 (Bacino D)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	51.5	72.1	82.0
Zona 4 (Bacino E)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	31.9	44.6	50.8
Zona 4 (Bacino F)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	35.6	49.7	56.6
Zona 4 (Bacino G)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	36.5	51.1	58.1
Zona 4 (Bacino H)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	31.3	43.8	49.8
Zona 4 (Bacino I)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	50.5	70.6	80.3
Zona 4 (Bacino L)	2.0	2.8	3.1	22.2	0.247	33.8	47.3	53.8

Utilizzando il metodo razionale, infine, è possibile valutare le portate di piena da utilizzare come riferimento per l'analisi idraulica. Tale metodo calcola la portata al colmo di piena mediante la formula di Turazza:

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

dove:

- "K" (-): fattore di riduzione areale;
- "S" (km²): superficie del bacino;
- "i" (mm/h): intensità di precipitazione;
- "c" (-): coefficiente di deflusso.

Nella tabella seguente sono presenti i valori delle portate al colmo di piena.

Tabella 4

Portate al colmo di piena (VAPI, zona 4)				
Bacino idrografico	Q10 (m ³ /s)	Q30 (m ³ /s)	Q200 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
Zona 4 (Bacino D)	0.0	41.7	58.4	66.4
Zona 4 (Bacino E)	5.3	6.9	9.6	11.0
Zona 4 (Bacino F)	7.0	9.0	12.7	14.4
Zona 4 (Bacino G)	6.2	8.1	11.3	12.9
Zona 4 (Bacino H)	6.4	8.3	11.6	13.2
Zona 4 (Bacino I)	10.6	13.8	19.3	22.0
Zona 4 (Bacino L)	3.6	4.7	6.5	7.4

Le portate di riferimento per la successiva analisi idraulica sono quelle riportate nella tabella precedente. Nella tabella seguente sono riportati i volumi corrispondenti a tali eventi di piena e nella successiva i relativi coefficienti udometrici.

Tabella 5

Volumi di piena (VAPI, zona 4)			
Bacino idrografico	V30 (m ³)	V200 (m ³)	V500 (m ³)
Zona 4 (Bacino D)	286,823	401,086	456,274
Zona 4 (Bacino E)	6,808	9,520	10,830
Zona 4 (Bacino F)	13,850	19,368	22,033
Zona 4 (Bacino G)	13,817	19,321	21,979
Zona 4 (Bacino H)	7,547	10,554	12,006
Zona 4 (Bacino I)	87,281	122,052	138,846
Zona 4 (Bacino L)	5,858	8,192	9,319

Tabella 6

Coefficienti udometrici (VAPI, zona 4)			
Bacino idrografico	u30 (m ³ /s·km ²)	u200 (m ³ /s·km ²)	u500 (m ³ /s·km ²)
Zona 4 (Bacino D)	2.2	3.1	3.6
Zona 4 (Bacino E)	9.7	13.6	15.4
Zona 4 (Bacino F)	7.0	9.7	11.1
Zona 4 (Bacino G)	6.4	9.0	10.2
Zona 4 (Bacino H)	10.3	14.4	16.4
Zona 4 (Bacino I)	2.4	3.3	3.8
Zona 4 (Bacino L)	8.1	11.3	12.9

3 Analisi idraulica

Nella presente analisi idraulica sono illustrate le condizioni di deflusso del corso d'acqua che lambisce 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, 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.

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 idrodinamico

Per gli scopi della presente analisi è stato effettuato un rilievo topografico del tratto di impluvio in esame.

Lavori di realizzazione di un parco agrovoltaico della potenza di 103 MW con annesso impianto di storage e delle relative opere connesse nel comune di Ariano Irpino (AV)

PD_1_02_CA_Relazione idrologica e idraulica

Tabella 7

Stato di fatto - Sezioni					
Sezione	Sezione nel modello	Progr. (m)	Parz. (m)	Fondo (mslm)	Pendenza (m/m)
D1	-1	0.00	178.79	649.53	0.0077
D2	-2	178.79	211.27	648.14	0.0076
D3	-3	390.06	123.92	646.54	0.0116
D4	-4	513.98	180.61	645.11	0.0097
D5	-5	694.59	209.24	643.36	0.0089
D6	-6	0.00	163.23	673.89	0.0768
D7	-7	163.23	125.13	661.35	0.1009
D8	-8	288.36	133.32	648.72	0.0873
D9	-9	0.00	177.35	670.64	0.0673
D10	-10	177.35	186.27	658.71	0.0722
D11	-11	363.62	183.30	645.26	0.0698
E1	-1	0.00	174.33	670.29	0.0392
E2	-2	174.33	121.14	663.47	0.0623
E3	-3	295.47	135.72	655.92	0.0779
E4	-4	431.19	0.00	645.35	0.0579
F1	-1	0.00	153.65	671.21	0.0398
F2	-2	153.65	179.85	665.10	0.0373
F3	-3	333.50	0.00	658.39	0.0384
G1	-1	0.00	110.68	674.61	0.0272
G2	-2	110.68	66.73	671.60	0.0522
G3	-3	177.41	71.15	668.11	0.0564
G4	-4	248.56	49.51	664.10	0.0423
G5	-5	0.00	75.50	692.42	0.1133
G6	-6	75.50	90.46	683.86	0.1010
G7	-7	165.96	102.87	674.73	0.0635
G8	-8	268.83	103.01	668.20	0.0901
H1	-1	0.00	175.87	647.10	0.0715
H2	-2	175.87	111.78	634.53	0.0829
H3	-3	287.65	70.43	625.26	0.0547
H4	-4	358.08	52.73	621.40	0.0630
H5	-5	410.81	76.66	618.08	0.0706
H6	-6	0.00	137.40	647.96	0.0643
H7	-7	137.40	66.68	639.13	0.1083
H8	-8	204.07	84.53	631.91	0.0772
H9	-9	288.61	141.16	625.38	0.0782
I1	-1	0.00	101.41	639.55	0.0295
I2	-2	101.41	105.03	636.56	0.0255
I3	-3	206.43	106.61	633.88	0.0201
I4	-4	313.04	121.56	631.73	0.0234
I5	-5	434.60	109.42	628.89	0.0208
I6	-6	544.02	258.20	626.61	0.0238
I7	-7	0.00	174.30	676.21	0.0756
I8	-8	174.30	141.48	663.04	0.0893
I9	-9	315.79	459.76	650.40	0.0817
I10	-10	0.00	121.27	648.99	0.0848
I11	-11	121.27	124.33	638.71	0.0846
I12	-12	245.60	0.00	628.19	0.0847
I13	-13	0.00	100.00	651.17	0.0610
I14	-14	100.00	83.16	645.07	0.0000
I15	-15	183.16	284.00	645.07	0.0333
I16	-16	0.00	116.20	666.17	0.085
I17	-17	116.20	84.20	656.28	0.072
I18	-18	200.40	376.13	650.24	0.0795
L1	-1	0.00	122.22	675.89	0.053
L2	-2	122.22	97.80	669.36	0.079
L3	-3	220.02	0.00	661.68	0.0646
L4	-4	0.00	124.55	671.22	0.047
L5	-5	124.55	0.00	665.37	0.0470

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.

3.2 Portate di piena

Come portate al colmo di piena sono state considerate quelle ricavate nella precedente analisi idrologica (cfr. la precedente tabella 5).

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 pari a $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (corrispondente ad un coefficiente secondo Manning pari a $0.050 \text{ s}/\text{m}^{1/3}$).

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

3.5 Risultati della simulazione

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 mostrate le planimetrie delle aree allagabili dei tratti di impluvio analizzati, mentre nella tabella seguente sono presenti tutti i valori numerici ottenuti dal modello.

Per la delimitazione delle aree allagabili per gli eventi con i tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, in particolare, è stato utilizzato un DTM con dimensione di cella di 10 metri.

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.

Lavori di realizzazione di un parco agrovoltaico della potenza di 103 MW con annesso impianto di storage e delle relative opere connesse nel comune di Ariano Irpino (AV)

PD_1_02_CA_Relazione idrologica e idraulica

Tabella 8

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 (-)
D1	-1	0.00	649.53	41.7	650.36	0.83	61.86	1.33	31.44	54.07	0.59
D2	-2	178.79	648.14	41.7	649.18	1.04	79.16	0.93	44.79	25.69	0.40
D3	-3	390.06	646.54	41.7	647.60	1.06	39.42	1.63	25.65	74.83	0.64
D4	-4	513.98	645.11	41.7	646.23	1.12	38.40	1.59	26.28	70.07	0.61
D5	-5	694.59	643.36	41.7	644.50	1.14	39.48	1.49	27.90	61.54	0.57
D6	-6	0.00	673.89	41.7	674.97	1.08	20.85	3.68	11.33	407.72	1.59
D7	-7	163.23	661.35	41.7	662.30	0.95	23.63	3.53	11.81	385.27	1.59
D8	-8	288.36	648.72	41.7	649.56	0.84	22.55	4.18	9.99	561.20	2.00
D9	-9	0.00	670.64	41.7	671.45	0.81	27.65	3.16	13.18	314.21	1.46
D10	-10	177.35	658.71	41.7	659.69	0.98	19.81	3.55	11.76	367.64	1.47
D11	-11	363.62	645.26	41.7	646.31	1.05	20.86	3.73	11.17	421.46	1.63
E1	-1	0.00	670.29	6.9	670.85	0.56	14.62	1.69	4.08	107.20	1.02
E2	-2	174.33	663.47	6.9	663.98	0.51	15.19	1.78	3.87	123.12	1.13
E3	-3	295.47	655.92	6.9	656.31	0.39	16.53	2.01	3.43	167.83	1.41
E4	-4	431.19	645.35	6.9	645.82	0.47	13.87	2.07	3.33	169.61	1.35
F1	-1	0.00	671.21	9.0	671.86	0.65	14.75	1.88	4.79	126.13	1.05
F2	-2	153.65	665.10	9.0	665.88	0.78	11.28	2.05	4.39	141.78	1.05
F3	-3	333.50	658.39	9.0	659.05	0.66	14.70	1.86	4.83	123.67	1.04
G1	-1	0.00	674.61	8.1	675.28	0.67	17.89	1.35	5.99	64.73	0.75
G2	-2	110.68	671.60	8.1	672.28	0.68	12.85	1.85	4.37	120.90	1.01
G3	-3	177.41	668.11	8.1	668.55	0.44	15.05	2.28	3.55	206.96	1.50
G4	-4	248.56	664.10	8.1	664.68	0.58	14.55	1.90	4.25	134.23	1.13
G5	-5	0.00	692.42	8.1	692.83	0.41	29.10	1.88	4.30	164.27	1.56
G6	-6	75.50	683.86	8.1	684.31	0.45	14.74	2.44	3.32	239.70	1.64
G7	-7	165.96	674.73	8.1	675.19	0.46	15.37	2.30	3.52	211.77	1.53
G8	-8	268.83	668.20	8.1	668.76	0.56	15.60	1.83	4.42	125.33	1.10
H1	-1	0.00	647.10	8.3	647.63	0.53	14.14	2.21	3.76	186.05	1.37
H2	-2	175.87	634.53	8.3	634.91	0.38	22.22	1.86	4.46	144.94	1.33
H3	-3	287.65	625.26	8.3	625.80	0.54	12.30	2.48	3.35	232.67	1.52
H4	-4	358.08	621.40	8.3	621.84	0.44	19.99	1.63	5.09	102.91	1.03
H5	-5	410.81	618.08	8.3	618.45	0.37	17.97	2.23	3.71	207.25	1.57
H6	-6	0.00	647.96	8.3	648.26	0.30	17.31	1.97	4.20	153.21	1.28
H7	-7	137.40	639.13	8.3	639.48	0.35	19.99	1.86	4.47	139.29	1.25
H8	-8	204.07	631.91	8.3	632.32	0.41	13.05	3.06	2.71	388.91	2.15
H9	-9	288.61	625.38	8.3	625.85	0.47	18.19	1.72	4.84	112.23	1.06
I1	-1	0.00	639.55	13.8	640.23	0.68	17.12	1.87	7.36	114.30	0.91
I2	-2	101.41	636.56	13.8	637.40	0.84	15.81	1.95	7.06	122.65	0.93
I3	-3	206.43	633.88	13.8	634.97	1.09	13.68	1.85	7.45	103.46	0.80
I4	-4	313.04	631.73	13.8	632.37	0.64	16.70	1.96	7.04	125.86	0.96
I5	-5	434.60	628.89	13.8	629.76	0.87	17.84	1.58	8.72	78.15	0.72
I6	-6	544.02	626.61	13.8	627.56	0.95	15.48	1.87	7.37	110.33	0.87
I7	-7	0.00	676.21	13.8	676.72	0.51	36.33	1.89	7.31	149.31	1.34
I8	-8	174.30	663.04	13.8	663.85	0.81	11.80	2.87	4.81	273.43	1.44
I9	-9	315.79	650.40	13.8	650.70	0.30	32.30	2.35	5.88	238.75	1.76
I10	-10	0.00	648.99	13.8	649.49	0.50	36.10	1.96	7.05	162.17	1.42
I11	-11	121.27	638.71	13.8	639.36	0.65	14.15	2.78	4.96	269.52	1.50
I12	-12	245.60	628.19	13.8	628.91	0.72	12.76	3.00	4.60	311.13	1.60
I13	-13	0.00	651.17	13.8	651.97	0.80	20.53	2.22	6.21	180.44	1.29
I14	-14	100.00	645.07	13.8	646.20	1.13	29.02	0.67	20.72	12.18	0.25
I15	-15	183.16	645.07	13.8	645.63	0.56	18.66	1.93	7.17	125.10	0.99
I16	-16	0.00	666.17	13.8	666.56	0.39	16.55	2.68	5.16	259.23	1.53
I17	-17	116.20	656.28	13.8	656.80	0.52	16.61	2.65	5.21	253.91	1.51
I18	-18	200.40	650.24	13.8	650.76	0.52	16.72	2.44	5.66	209.54	1.34
L1	-1	0.00	675.89	4.7	676.33	0.44	12.88	1.67	2.81	113.95	1.14
L2	-2	122.22	669.36	4.7	669.63	0.27	17.26	1.51	3.10	99.67	1.14
L3	-3	220.02	661.68	4.7	661.86	0.18	26.86	1.59	2.96	128.73	1.53
L4	-4	0.00	671.22	4.7	671.45	0.23	24.08	1.25	3.75	71.67	1.01
L5	-5	124.55	665.37	4.7	665.66	0.29	22.32	1.28	3.66	73.72	1.01

Lavori di realizzazione di un parco agrovoltaico della potenza di 103 MW con annesso impianto di storage e delle relative opere connesse nel comune di Ariano Irpino (AV)

PD_1_02_CA_Relazione idrologica e idraulica

Tabella 9

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 (-)
D1	-1	0.00	649.53	58.4	650.48	0.95	64.64	1.49	39.14	64.53	0.61
D2	-2	178.79	648.14	58.4	649.34	1.20	89.42	1.00	58.14	28.55	0.40
D3	-3	390.06	646.54	58.4	647.77	1.23	43.29	1.79	32.66	86.15	0.66
D4	-4	513.98	645.11	58.4	646.41	1.30	42.23	1.74	33.49	80.62	0.63
D5	-5	694.59	643.36	58.4	644.69	1.33	44.11	1.64	35.69	70.50	0.58
D6	-6	0.00	673.89	58.4	675.14	1.25	26.11	3.85	15.17	435.93	1.61
D7	-7	163.23	661.35	58.4	662.42	1.07	25.42	3.92	14.91	449.88	1.63
D8	-8	288.36	648.72	58.4	649.68	0.96	24.81	4.60	12.71	647.92	2.05
D9	-9	0.00	670.64	58.4	671.57	0.93	30.86	3.46	16.86	360.01	1.50
D10	-10	177.35	658.71	58.4	659.85	1.14	21.61	3.90	14.96	423.60	1.50
D11	-11	363.62	645.26	58.4	646.45	1.19	23.29	4.10	14.23	487.35	1.68
E1	-1	0.00	670.29	9.6	670.93	0.64	16.55	1.83	5.23	121.20	1.04
E2	-2	174.33	663.47	9.6	664.06	0.59	16.90	1.82	5.26	120.47	1.04
E3	-3	295.47	655.92	9.6	656.34	0.42	17.11	2.49	3.86	249.18	1.67
E4	-4	431.19	645.35	9.6	645.91	0.56	15.40	2.10	4.56	162.97	1.23
F1	-1	0.00	671.21	12.7	671.95	0.74	16.79	2.05	6.20	143.47	1.08
F2	-2	153.65	665.10	12.7	665.98	0.88	12.85	2.23	5.70	160.36	1.07
F3	-3	333.50	658.39	12.7	659.13	0.74	15.87	2.08	6.10	146.62	1.07
G1	-1	0.00	674.61	11.3	675.36	0.75	20.16	1.49	7.60	75.04	0.77
G2	-2	110.68	671.60	11.3	672.38	0.78	14.69	1.98	5.71	131.66	1.01
G3	-3	177.41	668.11	11.3	668.60	0.49	15.65	2.62	4.32	258.26	1.59
G4	-4	248.56	664.10	11.3	664.79	0.69	16.64	1.90	5.95	124.79	1.01
G5	-5	0.00	692.42	11.3	692.86	0.44	30.26	2.12	5.34	195.94	1.61
G6	-6	75.50	683.86	11.3	684.38	0.52	16.73	2.64	4.28	269.76	1.67
G7	-7	165.96	674.73	11.3	675.25	0.52	17.39	2.51	4.51	241.47	1.57
G8	-8	268.83	668.20	11.3	668.84	0.64	17.69	1.99	5.69	141.31	1.12
H1	-1	0.00	647.10	11.6	647.70	0.60	15.68	2.42	4.79	213.68	1.40
H2	-2	175.87	634.53	11.6	634.96	0.43	23.64	2.08	5.58	171.19	1.36
H3	-3	287.65	625.26	11.6	625.87	0.61	13.98	2.68	4.33	261.02	1.54
H4	-4	358.08	621.40	11.6	621.90	0.50	21.11	1.83	6.32	123.45	1.07
H5	-5	410.81	618.08	11.6	618.50	0.42	18.78	2.48	4.68	239.17	1.58
H6	-6	0.00	647.96	11.6	648.32	0.36	18.59	2.19	5.29	179.20	1.31
H7	-7	137.40	639.13	11.6	639.54	0.41	21.80	2.05	5.65	162.12	1.29
H8	-8	204.07	631.91	11.6	632.38	0.47	14.87	3.30	3.51	432.59	2.17
H9	-9	288.61	625.38	11.6	625.91	0.53	19.89	1.90	6.10	131.47	1.10
I1	-1	0.00	639.55	19.3	640.33	0.78	18.20	2.11	9.15	137.32	0.95
I2	-2	101.41	636.56	19.3	637.52	0.96	17.03	2.15	8.99	140.11	0.94
I3	-3	206.43	633.88	19.3	635.11	1.23	15.48	2.02	9.54	118.53	0.82
I4	-4	313.04	631.73	19.3	632.47	0.74	18.02	2.18	8.86	147.58	0.99
I5	-5	434.60	628.89	19.3	629.88	0.99	19.49	1.74	11.08	90.01	0.74
I6	-6	544.02	626.61	19.3	627.69	1.08	17.55	2.04	9.48	125.13	0.88
I7	-7	0.00	676.21	19.3	676.77	0.56	40.35	2.07	9.32	171.43	1.38
I8	-8	174.30	663.04	19.3	663.96	0.92	13.42	3.10	6.22	306.37	1.46
I9	-9	315.79	650.40	19.3	650.74	0.34	35.78	2.60	7.41	281.16	1.83
I10	-10	0.00	648.99	19.3	649.54	0.55	39.68	2.16	8.94	187.64	1.45
I11	-11	121.27	638.71	19.3	639.46	0.75	15.33	3.06	6.30	309.95	1.53
I12	-12	245.60	628.19	19.3	629.01	0.82	14.42	3.29	5.87	358.02	1.64
I13	-13	0.00	651.17	19.3	652.06	0.89	25.40	2.33	8.28	194.05	1.30
I14	-14	100.00	645.07	19.3	646.36	1.29	31.99	0.75	25.63	15.00	0.27
I15	-15	183.16	645.07	19.3	645.73	0.66	20.49	2.11	9.15	143.04	1.01
I16	-16	0.00	666.17	19.3	666.64	0.47	17.61	2.98	6.47	305.35	1.57
I17	-17	116.20	656.28	19.3	656.88	0.60	17.65	2.96	6.52	299.41	1.55
I18	-18	200.40	650.24	19.3	650.85	0.61	17.85	2.72	7.10	246.48	1.38
L1	-1	0.00	675.89	6.5	676.38	0.49	14.55	1.81	3.58	128.70	1.17
L2	-2	122.22	669.36	6.5	669.67	0.31	18.31	1.69	3.86	117.12	1.17
L3	-3	220.02	661.68	6.5	661.89	0.21	27.56	1.79	3.64	153.70	1.57
L4	-4	0.00	671.22	6.5	671.49	0.27	26.21	1.38	4.71	82.76	1.04
L5	-5	124.55	665.37	6.5	665.71	0.34	24.60	1.40	4.63	84.45	1.03

Lavori di realizzazione di un parco agrovoltaico della potenza di 103 MW con annesso impianto di storage e delle relative opere connesse nel comune di Ariano Irpino (AV)

PD_1_02_CA_Relazione idrologica e idraulica

Tabella 10

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 (-)
D1	-1	0.00	649.53	66.4	650.53	1.00	65.83	1.56	42.54	69.11	0.62
D2	-2	178.79	648.14	66.4	649.40	1.26	93.37	1.03	64.18	29.74	0.40
D3	-3	390.06	646.54	66.4	647.84	1.30	45.00	1.85	35.87	90.66	0.66
D4	-4	513.98	645.11	66.4	646.49	1.38	43.83	1.81	36.71	85.19	0.63
D5	-5	694.59	643.36	66.4	644.77	1.41	46.05	1.69	39.20	74.27	0.59
D6	-6	0.00	673.89	66.4	675.20	1.31	28.60	3.91	16.99	446.03	1.62
D7	-7	163.23	661.35	66.4	662.48	1.13	26.20	4.07	16.33	475.32	1.64
D8	-8	288.36	648.72	66.4	649.73	1.01	25.76	4.77	13.92	686.14	2.07
D9	-9	0.00	670.64	66.4	671.63	0.99	32.23	3.58	18.53	378.85	1.51
D10	-10	177.35	658.71	66.4	659.91	1.20	22.38	4.05	16.41	446.28	1.51
D11	-11	363.62	645.26	66.4	646.51	1.25	24.31	4.25	15.61	515.11	1.70
E1	-1	0.00	670.29	11.0	670.96	0.67	17.41	1.90	5.80	127.56	1.05
E2	-2	174.33	663.47	11.0	664.09	0.62	17.38	1.90	5.78	128.52	1.06
E3	-3	295.47	655.92	11.0	656.36	0.44	17.61	2.60	4.24	265.52	1.69
E4	-4	431.19	645.35	11.0	645.94	0.59	15.87	2.20	5.01	173.81	1.25
F1	-1	0.00	671.21	14.4	671.98	0.77	17.41	2.12	6.78	151.47	1.09
F2	-2	153.65	665.10	14.4	666.03	0.93	13.48	2.30	6.27	167.49	1.08
F3	-3	333.50	658.39	14.4	659.16	0.77	16.19	2.18	6.61	157.04	1.09
G1	-1	0.00	674.61	12.9	675.40	0.79	21.11	1.55	8.33	80.12	0.79
G2	-2	110.68	671.60	12.9	672.42	0.82	15.53	2.02	6.39	134.78	1.01
G3	-3	177.41	668.11	12.9	668.62	0.51	15.89	2.78	4.64	285.79	1.64
G4	-4	248.56	664.10	12.9	664.82	0.72	17.04	2.03	6.36	140.33	1.06
G5	-5	0.00	692.42	12.9	692.88	0.46	30.63	2.22	5.81	210.46	1.63
G6	-6	75.50	683.86	12.9	684.40	0.54	17.59	2.73	4.73	283.13	1.68
G7	-7	165.96	674.73	12.9	675.28	0.55	18.27	2.59	4.98	254.04	1.59
G8	-8	268.83	668.20	12.9	668.87	0.67	18.60	2.05	6.29	148.37	1.13
H1	-1	0.00	647.10	13.2	647.73	0.63	16.20	2.52	5.24	226.41	1.41
H2	-2	175.87	634.53	13.2	634.98	0.45	24.26	2.17	6.09	182.49	1.38
H3	-3	287.65	625.26	13.2	625.91	0.65	14.69	2.76	4.78	272.61	1.55
H4	-4	358.08	621.40	13.2	621.92	0.52	21.59	1.92	6.88	132.38	1.09
H5	-5	410.81	618.08	13.2	618.52	0.44	19.13	2.58	5.12	252.57	1.59
H6	-6	0.00	647.96	13.2	648.35	0.39	19.15	2.28	5.79	190.16	1.32
H7	-7	137.40	639.13	13.2	639.56	0.43	22.57	2.13	6.19	171.77	1.30
H8	-8	204.07	631.91	13.2	632.40	0.49	15.63	3.40	3.89	450.35	2.18
H9	-9	288.61	625.38	13.2	625.94	0.56	20.61	1.98	6.67	139.74	1.11
I1	-1	0.00	639.55	22.0	640.37	0.82	18.67	2.21	9.96	147.68	0.97
I2	-2	101.41	636.56	22.0	637.57	1.01	17.57	2.22	9.90	146.93	0.95
I3	-3	206.43	633.88	22.0	635.17	1.29	16.23	2.10	10.49	125.37	0.83
I4	-4	313.04	631.73	22.0	632.52	0.79	18.60	2.26	9.72	156.28	1.00
I5	-5	434.60	628.89	22.0	629.94	1.05	20.20	1.81	12.16	95.29	0.74
I6	-6	544.02	626.61	22.0	627.74	1.13	18.43	2.11	10.45	131.60	0.89
I7	-7	0.00	676.21	22.0	676.79	0.58	41.27	2.16	10.17	182.93	1.39
I8	-8	174.30	663.04	22.0	664.01	0.97	14.11	3.20	6.87	320.25	1.46
I9	-9	315.79	650.40	22.0	650.76	0.36	37.27	2.71	8.11	299.67	1.86
I10	-10	0.00	648.99	22.0	649.57	0.58	41.24	2.24	9.83	198.15	1.46
I11	-11	121.27	638.71	22.0	639.50	0.79	15.85	3.18	6.92	327.09	1.54
I12	-12	245.60	628.19	22.0	629.05	0.86	15.13	3.40	6.46	377.86	1.66
I13	-13	0.00	651.17	22.0	652.13	0.96	40.09	2.05	10.74	159.73	1.26
I14	-14	100.00	645.07	22.0	646.43	1.36	33.72	0.79	28.00	16.12	0.28
I15	-15	183.16	645.07	22.0	645.77	0.70	21.33	2.18	10.11	149.01	1.01
I16	-16	0.00	666.17	22.0	666.67	0.50	18.08	3.11	7.07	325.09	1.59
I17	-17	116.20	656.28	22.0	656.91	0.63	18.11	3.09	7.13	319.02	1.57
I18	-18	200.40	650.24	22.0	650.88	0.64	18.35	2.83	7.77	262.19	1.39
L1	-1	0.00	675.89	7.4	676.41	0.52	15.27	1.87	3.95	135.11	1.18
L2	-2	122.22	669.36	7.4	669.69	0.33	18.79	1.76	4.21	124.77	1.19
L3	-3	220.02	661.68	7.4	661.90	0.22	27.88	1.87	3.95	164.89	1.59
L4	-4	0.00	671.22	7.4	671.50	0.28	27.16	1.43	5.16	87.61	1.05
L5	-5	124.55	665.37	7.4	665.72	0.35	25.61	1.46	5.08	89.02	1.04

Nelle figure successive sono mostrate le mappe dei tiranti idrici ricavati secondo la metodologia suddetta per i tre tempi di ritorno considerati. Tali tempi di ritorno, in linea con il PAI Puglia, corrispondono rispettivamente alle aree ad alta (AP: T = 30 anni), media (MP: T = 200 anni) e bassa (BP: T = 500 anni) pericolosità idraulica.

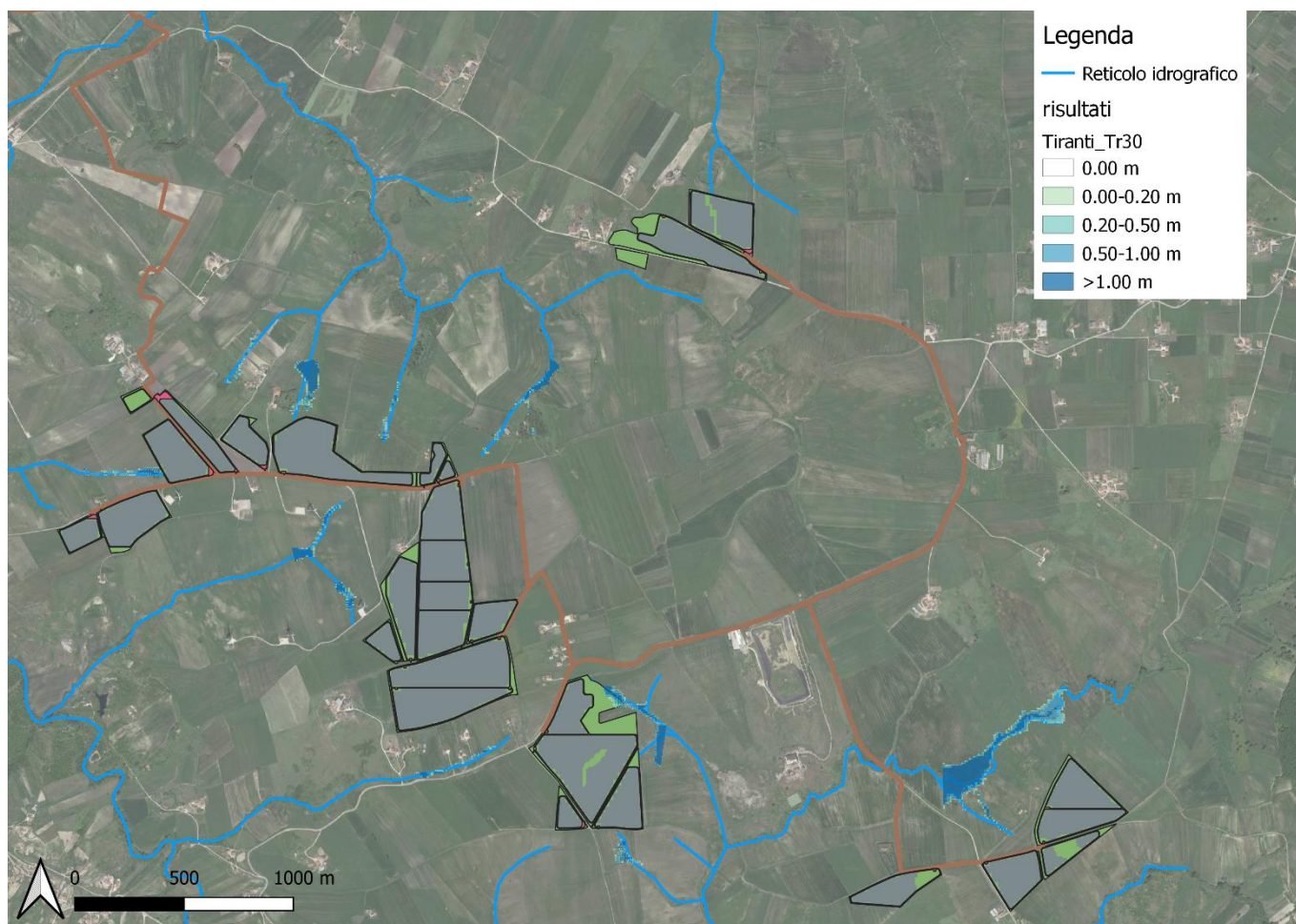


Figura 5: Planimetria dei tiranti idrici con un tempo di ritorno di 30 anni

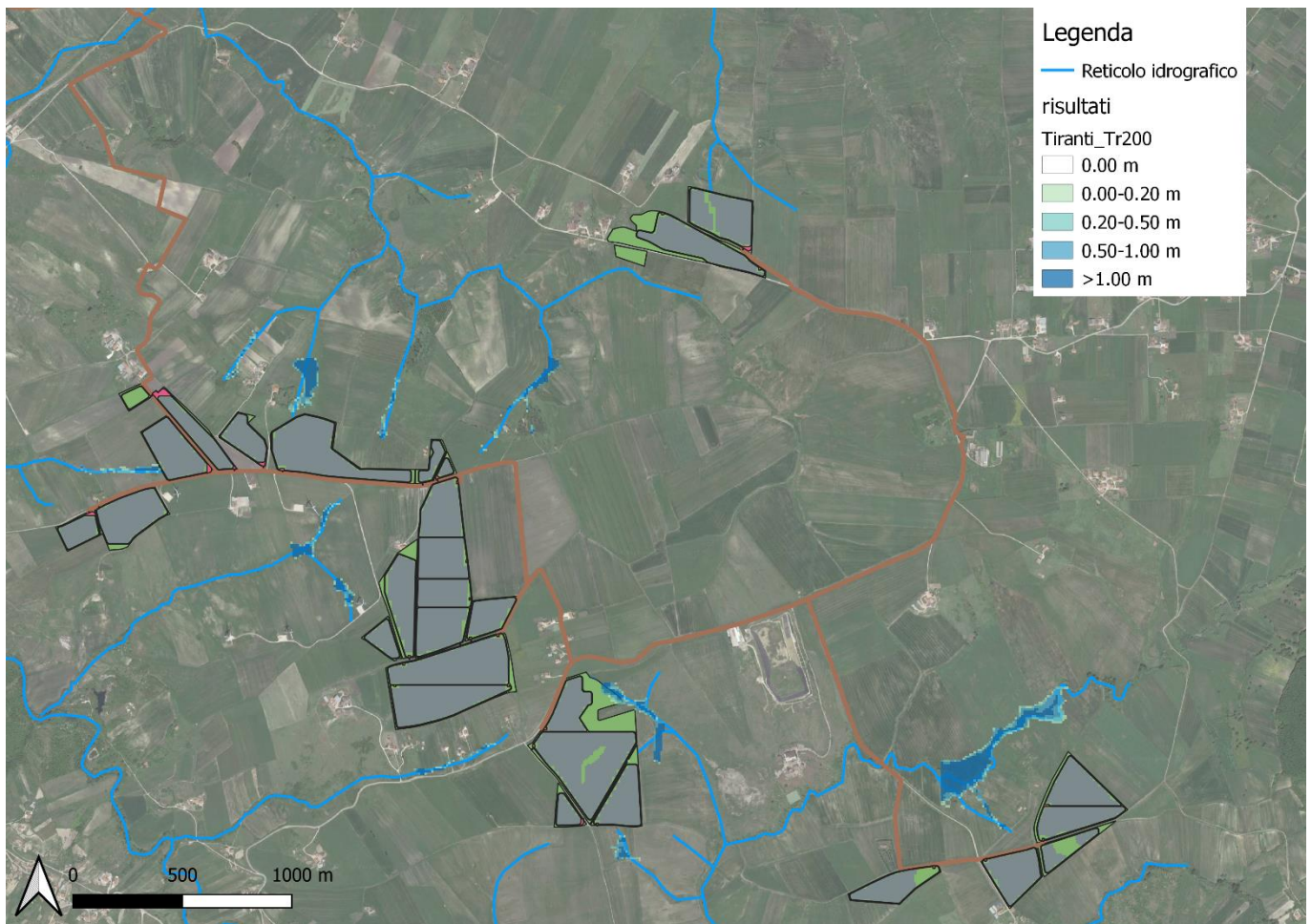


Figura 6: Planimetria dei tiranti idrici con un tempo di ritorno di 200 anni

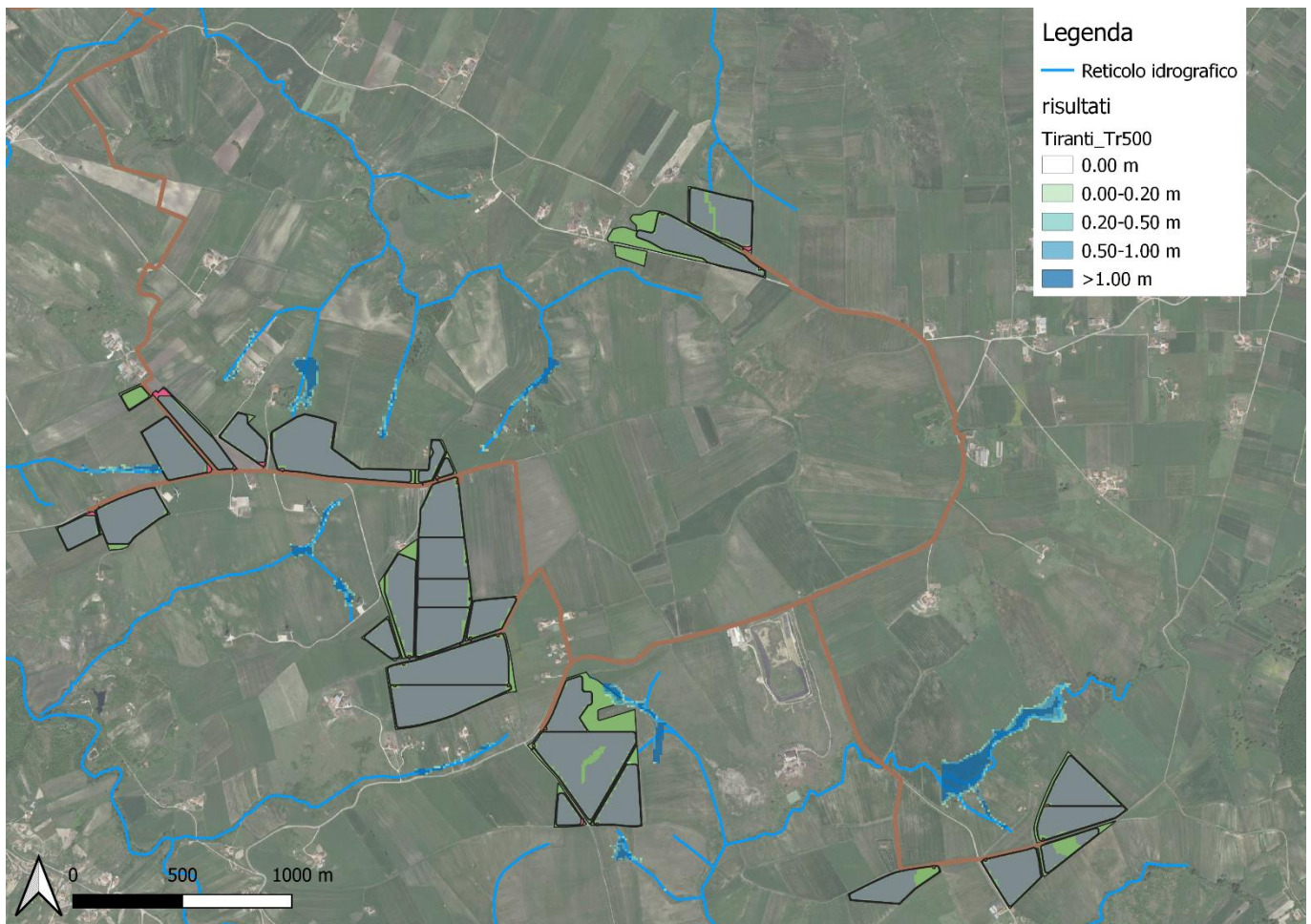


Figura 7: Planimetria dei tiranti idrici con un tempo di ritorno di 500 anni

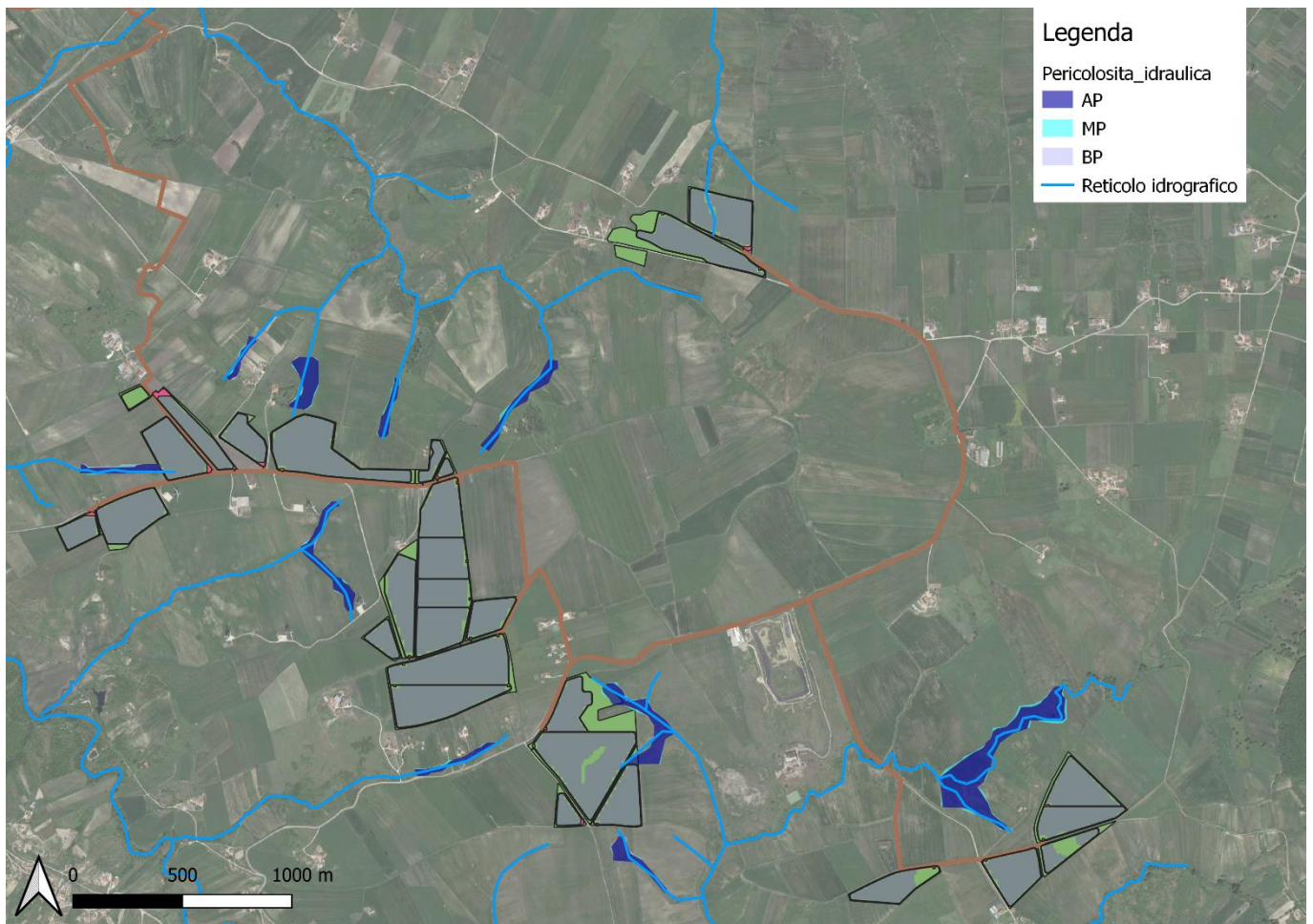


Figura 8: Planimetria delle aree allagabili

4 Analisi idraulica semplificata

Per dimensionare adeguatamente la quota di posa del cavidotto, pertanto, è stata calcolata la profondità massima di escavazione da parte della corrente e, per tali scopi, sono stati utilizzati i risultati dell'analisi idrologica per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni. I bacini considerati per il calcolo delle portate sono i seguenti.

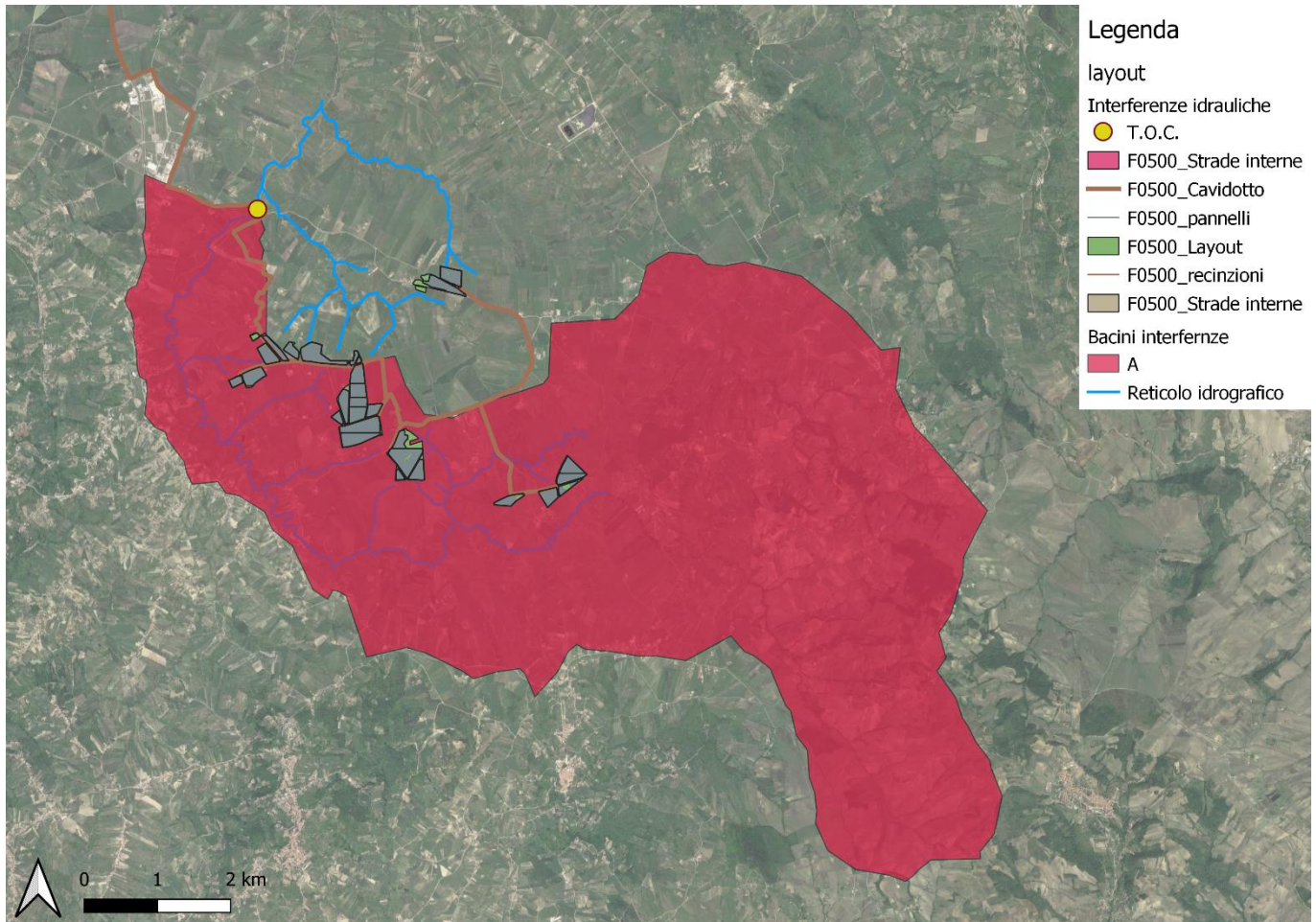


Figura 9: Bacini idrografici afferenti ai punti di interferenza

Le portate, calcolate con il metodo VAPI illustrato precedentemente, sono riportate nella tabella di seguito.

Tabella 11

Portate al colmo di piena (VAPI, zona 4)				
Bacino idrografico	Q10 (m ³ /s)	Q30 (m ³ /s)	Q200 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
Zona 4 (Bacino A)	51.4	67.8	94.8	107.8

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 " (m^2/s): portata solida (volumetrica) per unità di larghezza;
- " g " (m/s^2): accelerazione di gravità;
- " d " (m): diametro caratteristico del sedimento;
- " γ_s " (N/m^3): peso specifico del sedimento;
- " γ " (N/m^3): peso specifico dell'acqua;
- " R " (m): raggio idraulico;
- " j " (-): cadente piezometrica.

Grazie a tale formula è possibile calcolare la portata solida trasportabile dalla corrente una volta noti:

- alcuni parametri caratteristici del deflusso come la portata liquida, il raggio idraulico, la larghezza del pelo libero e la cadente piezometrica che sono stati calcolati nella precedente analisi idraulica;
- alcuni parametri caratteristici del sedimento come il diametro e il peso specifico.

Dopo aver determinato il valore della portata solida, infine, è possibile calcolare la concentrazione volumetrica del sedimento dividendo la portata solida per quella liquida.

Per i parametri caratteristici del sedimento si è scelto di considerare il diametro di separazione tra "limo a grana grossa" e "limo a grana media", pari a 0.02 mm, ed un peso specifico di 25'000 N/m^3 , date le caratteristiche del terreno.

Nella tabella seguente sono presenti i calcoli effettuati per il calcolo della concentrazione del sedimento utilizzando la formula di Meyer-Peter e Müller per i tratti dell'impiuvio in esame.

Tabella 12

Analisi del trasporto solido - Tr200						
Sezione	γ	γ_s	d	j	R	θ
	(N/m^3)	(N/m^3)	(m)	(-)	(m)	(-)
A2	9810	25000	0.00002	0.010	0.980	316.5
Sezione	Ψ	q_s	b	Q	C	C
	(-)	(m^2/s)	(m)	(m^3/s)	(-)	(ppm)
A2	45025	0.0157	85.20	94.8	0.014	14106

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

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

Tabella 13

Massima profondità di erosione - Tr200			
Sezione	Regime depth (m)	Regime width (m)	Regime slope (-)
A2	0.21	266.84	0.00050

Come è possibile osservare nella tabella precedente, i risultati dell'applicazione di tale metodologia indicano una profondità di scavo massima di 21 cm per la sezione in esame, ad ogni modo la profondità di posa del cavidotto dipenderà dalla tecnica di posa e pertanto sarà molto maggiore rispetto a quanto sopra indicato.

5 Conclusioni

A valle delle simulazioni condotte si evince che l'impianto non è interessato dall'estensione delle aree allagabili e pertanto si trova in condizioni di sicurezza idraulica ai sensi delle NTA del PAI.

L'analisi idraulica semplificata ha permesso di dimostrare i valori della profondità massima di escavazione della corrente nel tratto di interferenza individuata. Affinché il cavidotto risulti in condizioni di sicurezza idraulica è necessario avere almeno 1.00 m di profondità rispetto al valore calcolato dall'analisi suddetta.

Ad ogni modo, la profondità di posa del cavidotto dipenderà dalla tecnica di posa e pertanto potrà essere anche molto maggiore rispetto ai valori sopra indicati.