



**COMUNE DI ASCOLI SATRIANO**  
**Provincia di Foggia**

**COMMITTENTE: Solar Italy XVII S.r.l.**

**REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO TRA I COMUNI DI  
ASCOLI SATRIANO (FG) E CANDELA (FG)**

**Studio di compatibilità idraulica**

**Marzo 2020**

**Ing. Dario Tricoli**



## Indice generale

<b>1 – Premessa</b> .....	<b>4</b>
<b>2 – Ricostruzione quadro conoscitivo</b> .....	<b>6</b>
2.1 - Inquadramento generale.....	6
2.2 - Eventi alluvionali storici.....	12
2.3 – Modello digitale del terreno (DEM).....	13
2.4 - Uso del suolo.....	16
2.5 – Litologia e classi di permeabilità.....	18
2.6 – Curve Number.....	20
2.7 – Rilievo topografico.....	23
2.8 - Caratteristiche pluviometriche.....	25
<b>3 – Analisi del rischio idraulico</b> .....	<b>27</b>
3.1 – Modellistica utilizzata.....	27
3.1.1 – Modellistica Idrologica.....	27
3.1.2 – Modellistica Idraulica.....	30
3.2 – Studio idrologico.....	38
3.3 – Verifiche idrauliche stato attuale.....	41
3.3.1 – Condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale.....	41
3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale.....	45
3.4 – Descrizione interventi in progetto.....	48
3.5 – Valutazione effetto intervento in progetto.....	51
<b>4 – Conclusioni e raccomandazioni</b> .....	<b>54</b>
<b>ALLEGATI</b> .....	<b>57</b>
<b>ALLEGATO A – Modellazione idraulica bidimensionale – Dettagli delle carte dei battenti sui punti di intersezione tra il tracciato dell'elettrodotto in progetto ed il reticolo idrografico</b> .....	<b>58</b>
<b>ALLEGATO B – Documentazione fotografica</b> .....	<b>70</b>

## 1 – Premessa

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a sud-est del centro abitato di Ascoli Satriano (FG) e a est rispetto al Comune di Candela (FG) e ricadente negli stessi comuni dove il committente, la Solar Italy XVII S.r.l., ha predisposto il progetto per un intervento denominato “Campo Agrosolare Camerelle” consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di circa 67 MWp. I lotti in cui si vogliono realizzare gli impianti ricadono nelle immediate vicinanze di alcuni corsi d'acqua, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi fig.2), e sulla Carta Idrogeomorfologica predisposta dall'Autorità di Bacino della Puglia (vedi Fig. 5).

Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica, dal Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia, la zona oggetto d'intervento non risulta classificata come area a pericolosità idraulica come evidenziato nella planimetria riportata in Fig.1. L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale ha peraltro rilasciato parere di competenza rispetto al PAI, nota protocollo n° 2133 del 31-01-2020, in cui ha specificato che *“la stessa compatibilità potrà essere assentita solo a seguito della redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica con TR=200 anni (...omiss..) teso a dare riscontro agli aspetti di sicurezza idraulica delle opere di progetto, rispetto alla presenza del reticolo idrografico”*.

Considerata pertanto la vicinanza delle aree di intervento ai corsi d'acqua riportati nell'IGM e nella Carta Idrogeomorfologica si fa riferimento a quanto prescritto dall' art. 6 *“Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali”* delle NTA del PAI della Regione Puglia. In particolare, il comma 1 dell'Art. 6, definisce che: *“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.”*, al comma 7 definisce che *“ Per tutti gli interventi 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.”*

Al fine di valutare la compatibilità idraulica a corredo degli interventi per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, senza che si verifichi un aumento delle condizioni di rischio idraulico nel territorio circostante, in accordo con la normativa vigente, è stato redatto il presente studio secondo le procedure previste nel Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia.

Per le motivazioni sopra riportate, nell'ambito dell'incarico ricevuto, è stato effettuato dapprima uno studio idrologico basato su una modellazione afflussi – deflussi volta a determinare lo ietogramma di pioggia netto e gli idrogrammi di progetto da inserire come input nel modello idraulico,

quindi successivamente è stato implementato un modello idraulico bidimensionale di maggior dettaglio in grado di simulare al meglio la propagazione dei deflussi sul territorio utilizzando un modello digitale del terreno con cella di 8 m disponibile per la zona sul portale del Sistema Informativo Territoriale della Regione Puglia.

Di seguito sono dapprima descritte le varie fasi del lavoro di ricostruzione ed aggiornamento del quadro conoscitivo e quindi di individuazione delle aree allagabili con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni.

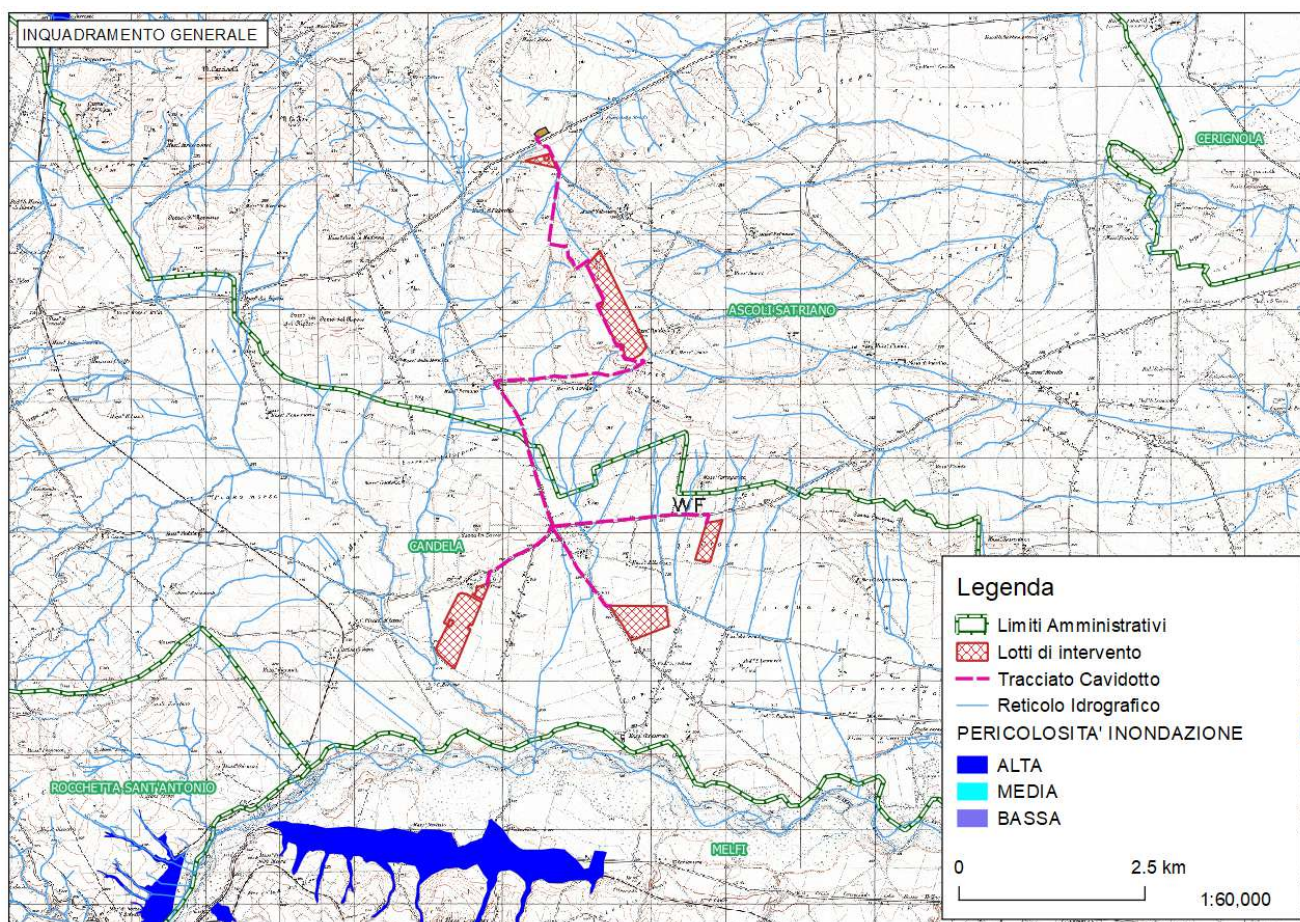


Fig. 1: Inquadramento area oggetto di studio su IGM con aree perimetrare PAI.

## **2 – Ricostruzione quadro conoscitivo**

### **2.1 - Inquadramento generale**

Nella figura 2 è riportata, su base cartografica IGM, l'individuazione delle aree oggetto di intervento (in rosso) e del tracciato del cavidotto di connessione in Alta e Media Tensione (linea in magenta tratteggiata), situate a sud-est del centro abitato di Ascoli Satriano; nelle figure 3 e 4 è invece riportato un dettaglio della zona di interesse rispettivamente su base Cartografia Tecnica Regionale e su ortofoto satellitare.

Dall'esame della cartografia risulta che l'area oggetto di interesse ricade principalmente in aree a prevalente componente ruditica e a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica, così come rappresentato nella Carta Idrogeomorfologica della Puglia, vedi fig.5.

Le zone di intervento sono state ricomprese in una più ampia area, che coincide con il dominio che sarà utilizzato per la modellazione idrodinamica bidimensionale e che presenta una superficie di circa 54 kmq e comprende oltre ai bacini idrografici che drenano nel reticolo idraulico sopramenzionato posto in prossimità dell'area d'intervento anche un piccolo intorno degli stessi bacini. Il dominio è stato esteso opportunamente anche a valle delle zone d'intervento al fine di investigare con maggiore dettaglio il percorso dei deflussi idrici come mostrato in Fig.6.

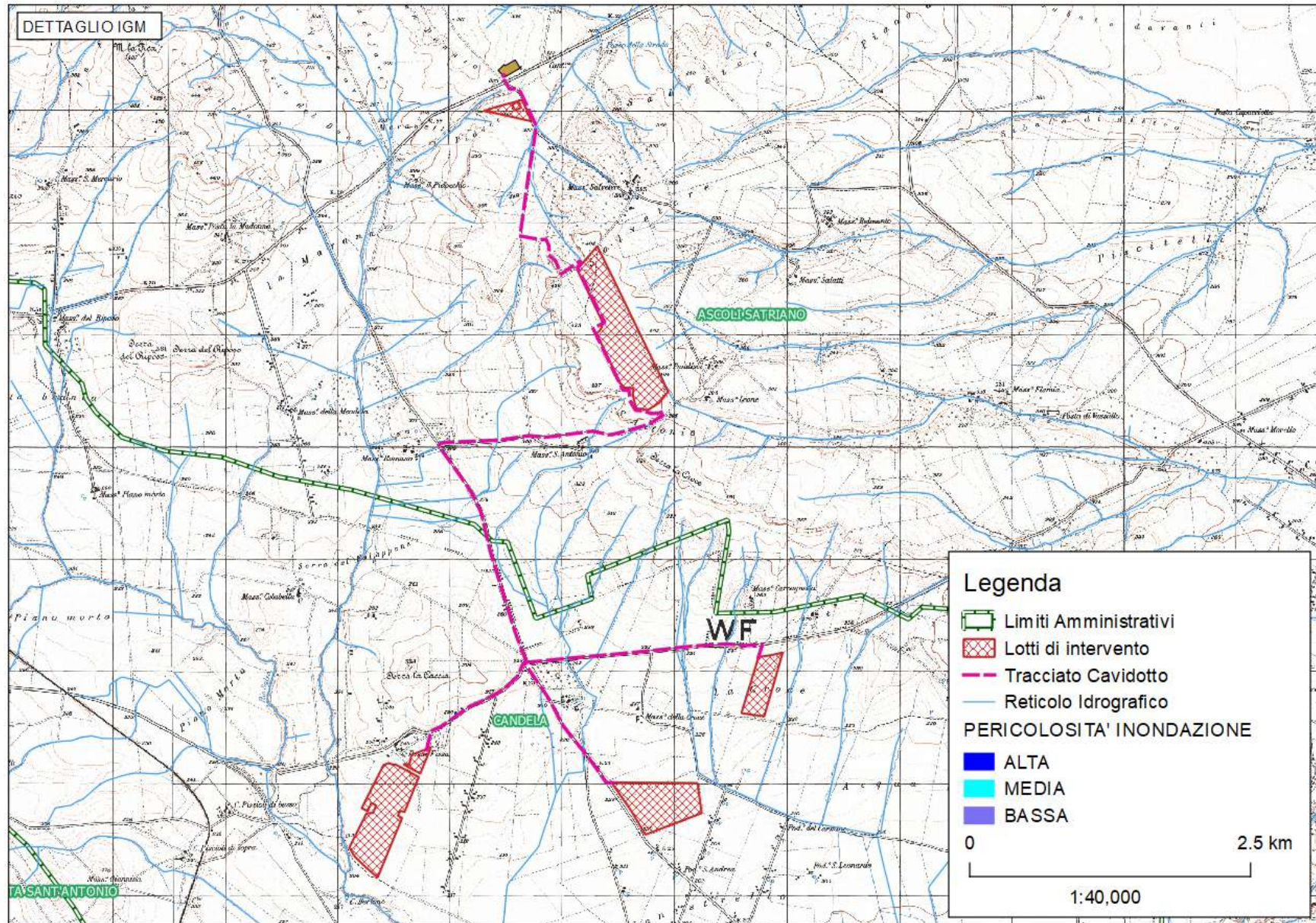


Fig. 2: Inquadramento area studio su cartografia IGM

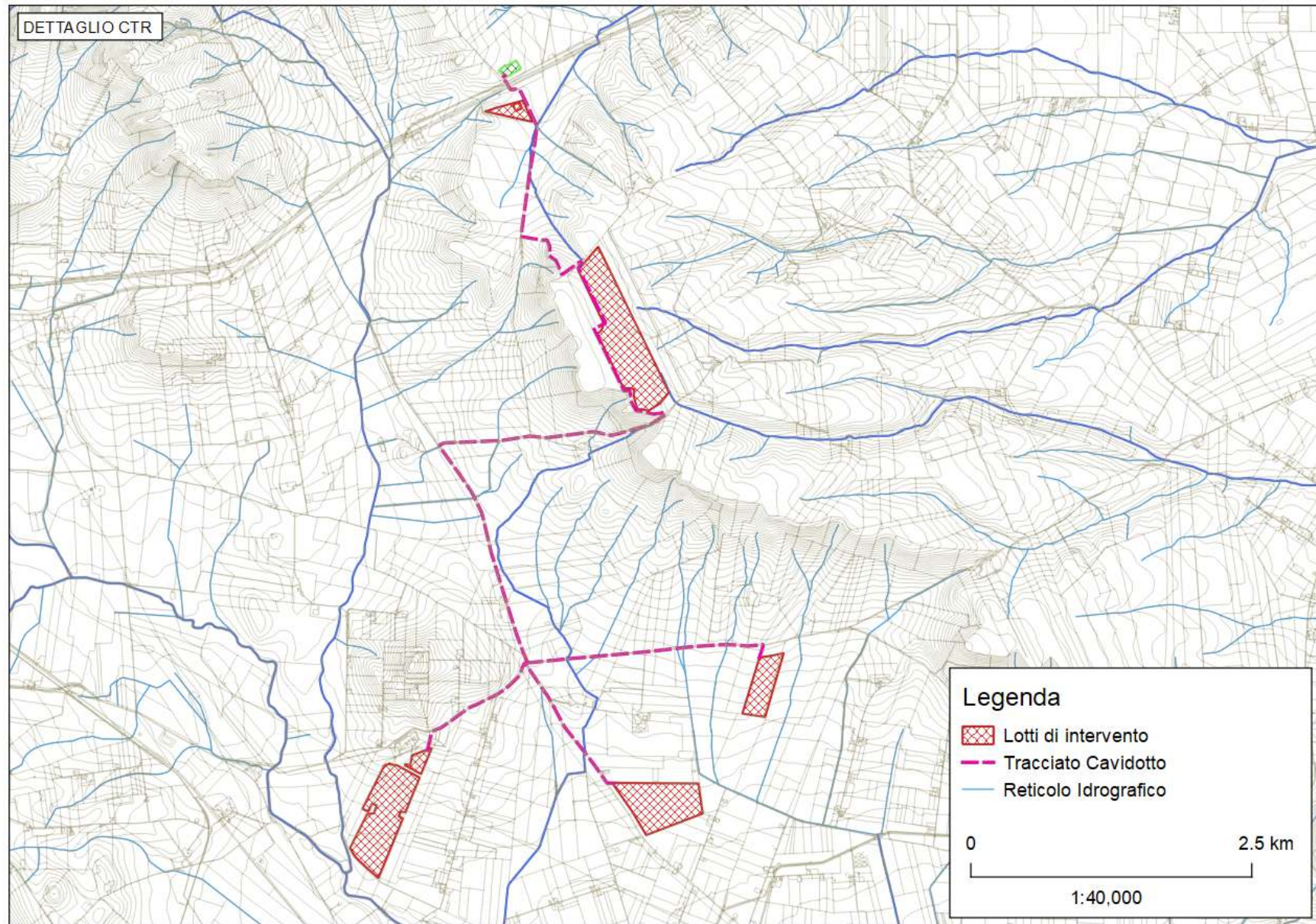


Fig. 3: Area di interesse - CTR



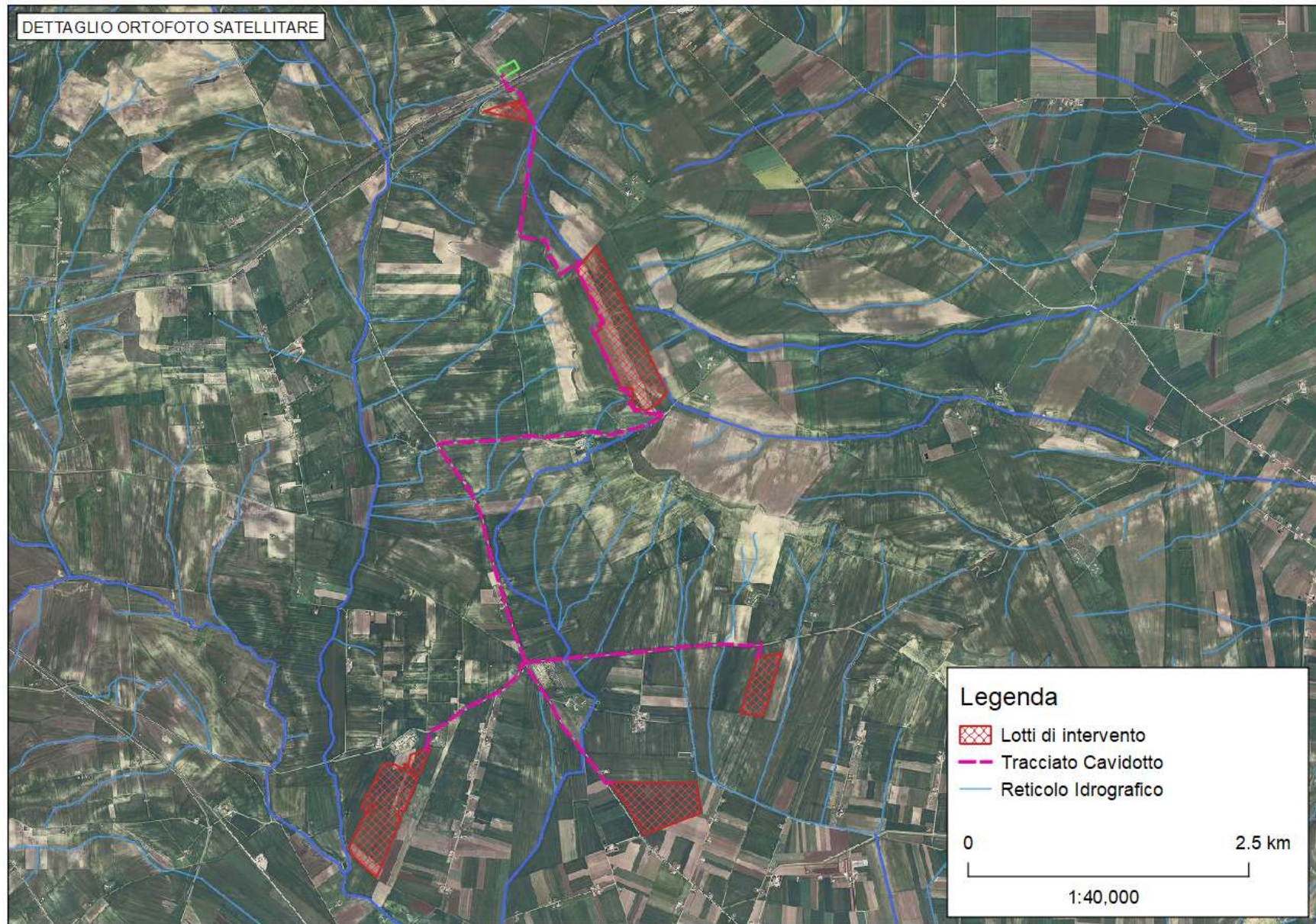


Fig. 4: Area interesse - Ortofoto

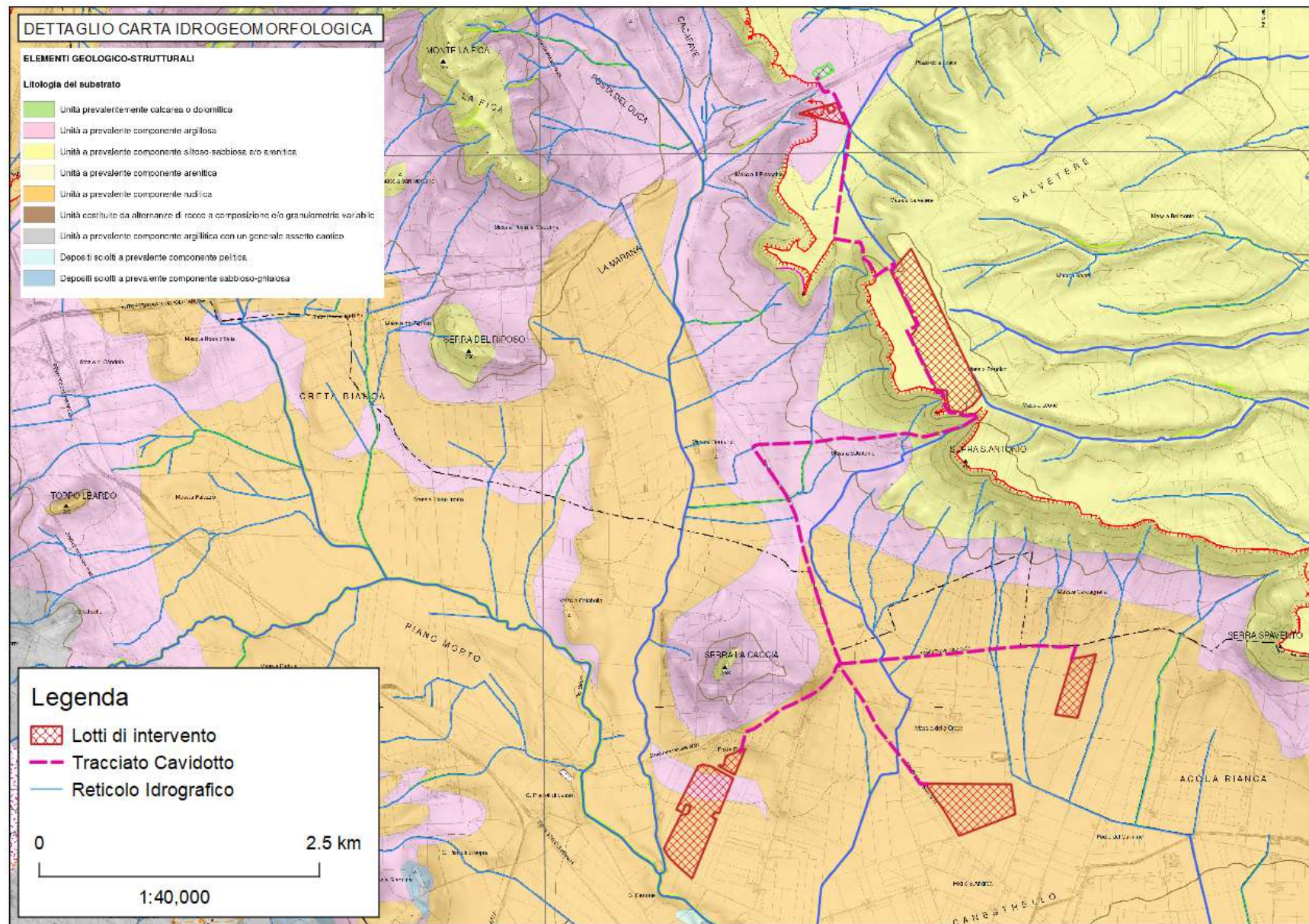


Fig. 5: Area intervento – Inquadramento Carta Idrogeomorfologica

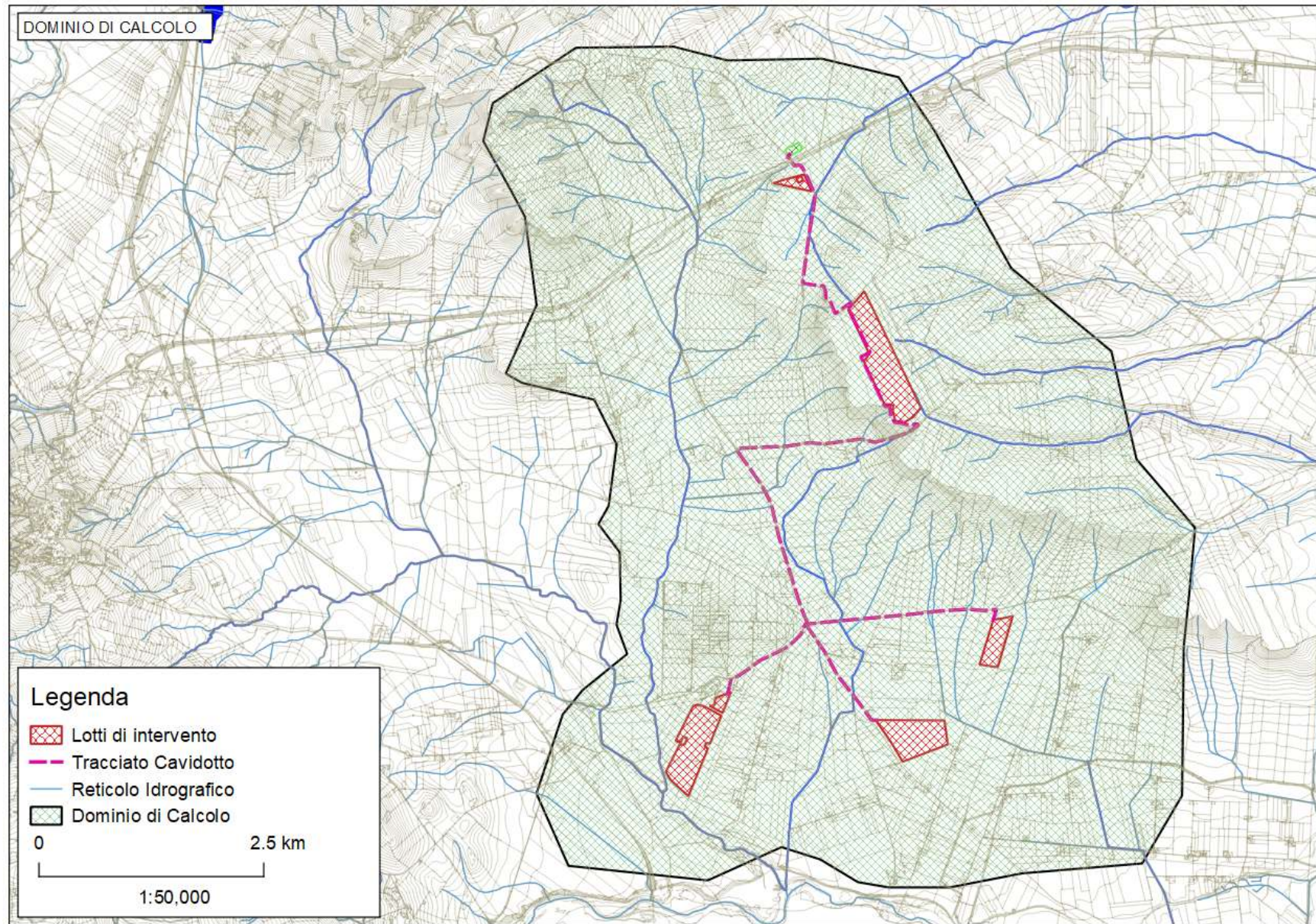


Fig. 6: Area intervento – Dominio di calcolo.

## 2.2 - Eventi alluvionali storici

Sulla base delle notizie storiche di allagamenti che in passato hanno interessato il territorio ricadente nell'area di intervento è stato possibile ricostruire la mappa delle aree allagate che coincide con quella contenuta nel Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, adottato e aggiornato alle nuove perimetrazioni del Febbraio 2017, riportato in figura 7, dal quale si evince che le aree oggetto di intervento (evidenziata in rosso) non sono state soggette nel tempo a rilevanti fenomeni alluvionali.

Si è consapevoli del fatto che tale individuazione delle aree storicamente allagate non può considerarsi esaustiva delle aree effettivamente allagate e/o allagabili sostanzialmente perché nel passato difficilmente venivano segnalati allagamenti di aree non abitate e non sfruttate da un'agricoltura intensiva.

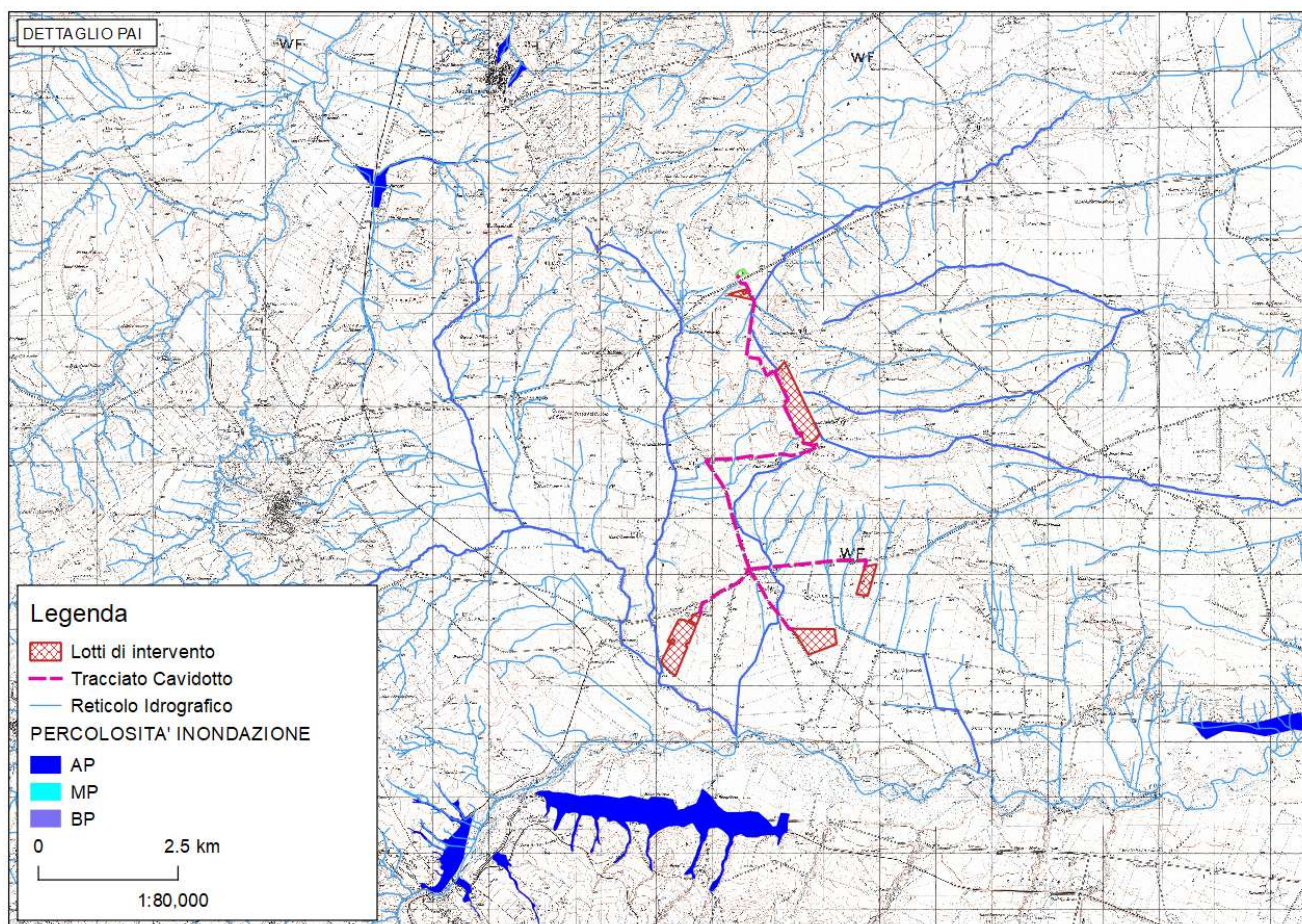


Fig. 7: Area intervento – Perimetrazione PAI.

### **2.3 – Modello digitale del terreno (DEM)**

Come anticipato in precedenza l'informazione cartografica relativa al modello digitale del terreno disponibile per la zona è risultato di particolare importanza per caratterizzare sia dal punto di vista idrologico il bacino idrografico contribuente che dal punto di vista idraulico per caratterizzare le aree di intervento che saranno oggetto delle verifiche idrauliche.

Tali informazioni sono rese disponibili sempre presso il SIT della Regione Puglia che mette a disposizione un modello digitale del terreno con cella spaziale di 8 m e sono riportate in Fig. 8.

Il modello digitale del terreno è stato utilizzato in ambiente GIS per caratterizzare alcuni parametri morfometrici del bacino utili ai fini della modellazione idrologica mentre successivamente è stato utilizzato per caratterizzare il modello idraulico bidimensionale al fine di valutare la propagazione dell'acqua nelle zone contermini alle aree d'intervento. Quest'ultimo, come si vedrà in seguito nelle verifiche idrauliche, è stato integrato con le informazioni del rilievo topografico di dettaglio eseguito con lo scopo di meglio definire ed implementare nel modello i manufatti idraulici che interferiscono e condizionano il libero deflusso delle acque.

Mediante l'utilizzo del GIS è stato possibile inoltre procedere all'estrazione dei bacini idrografici tramite una procedura automatica (tau-DEM) che a partire dal modello digitale del terreno consente l'estrazione dei bacini idrografici e del reticolo idrografico principale. In Fig. 9 si riportano i bacini ed il reticolo idrografico ricavati dalla procedura Tau-DEM che per completezza è stato confrontato con il reticolo della carta idrogeomorfologica su base cartografica IGM. Come si evince dalla figura i due reticoli presentano una sostanziale coerenza.

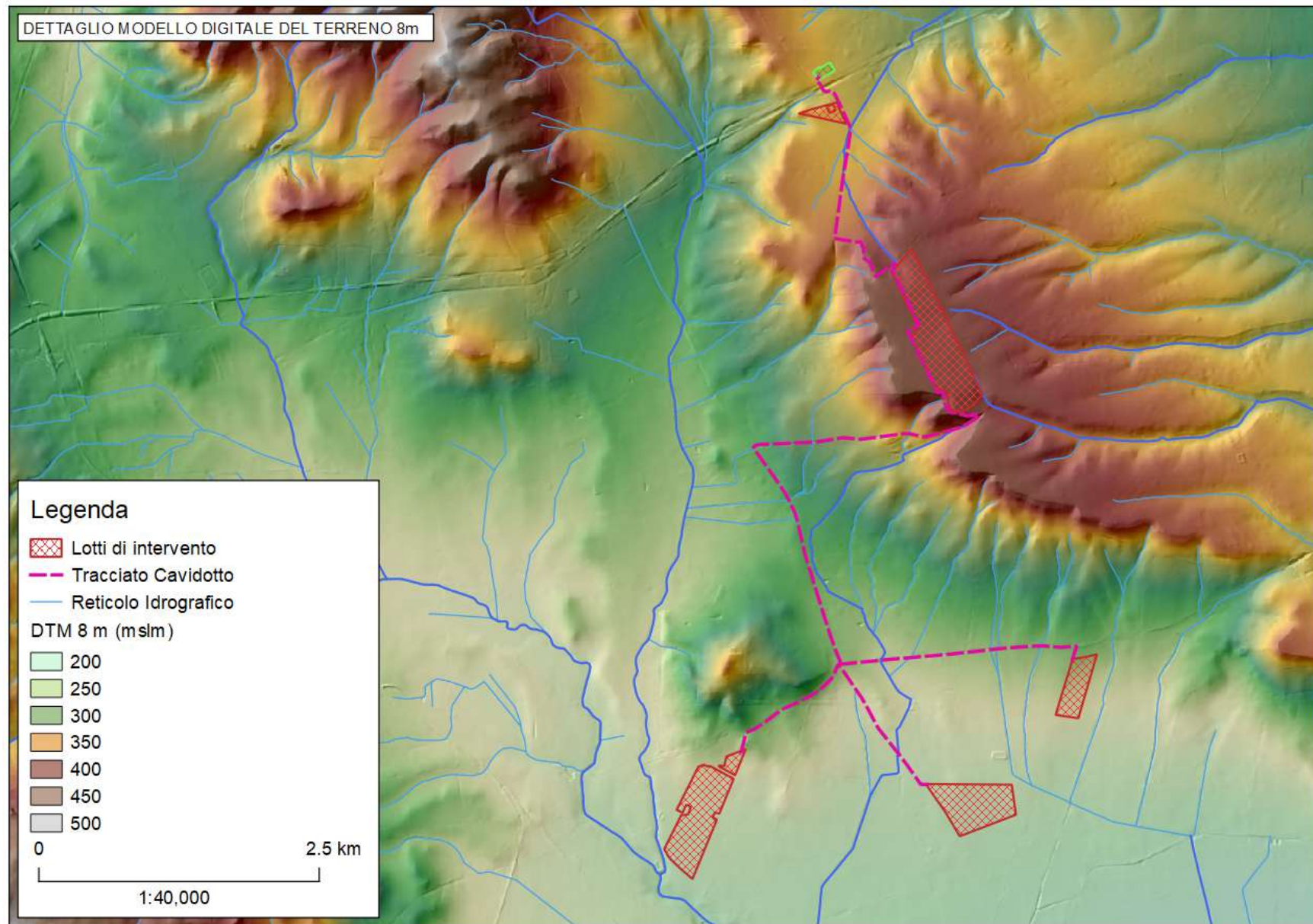


Fig. 8: Modello digitale del terreno con risoluzione cella pari a 8m.

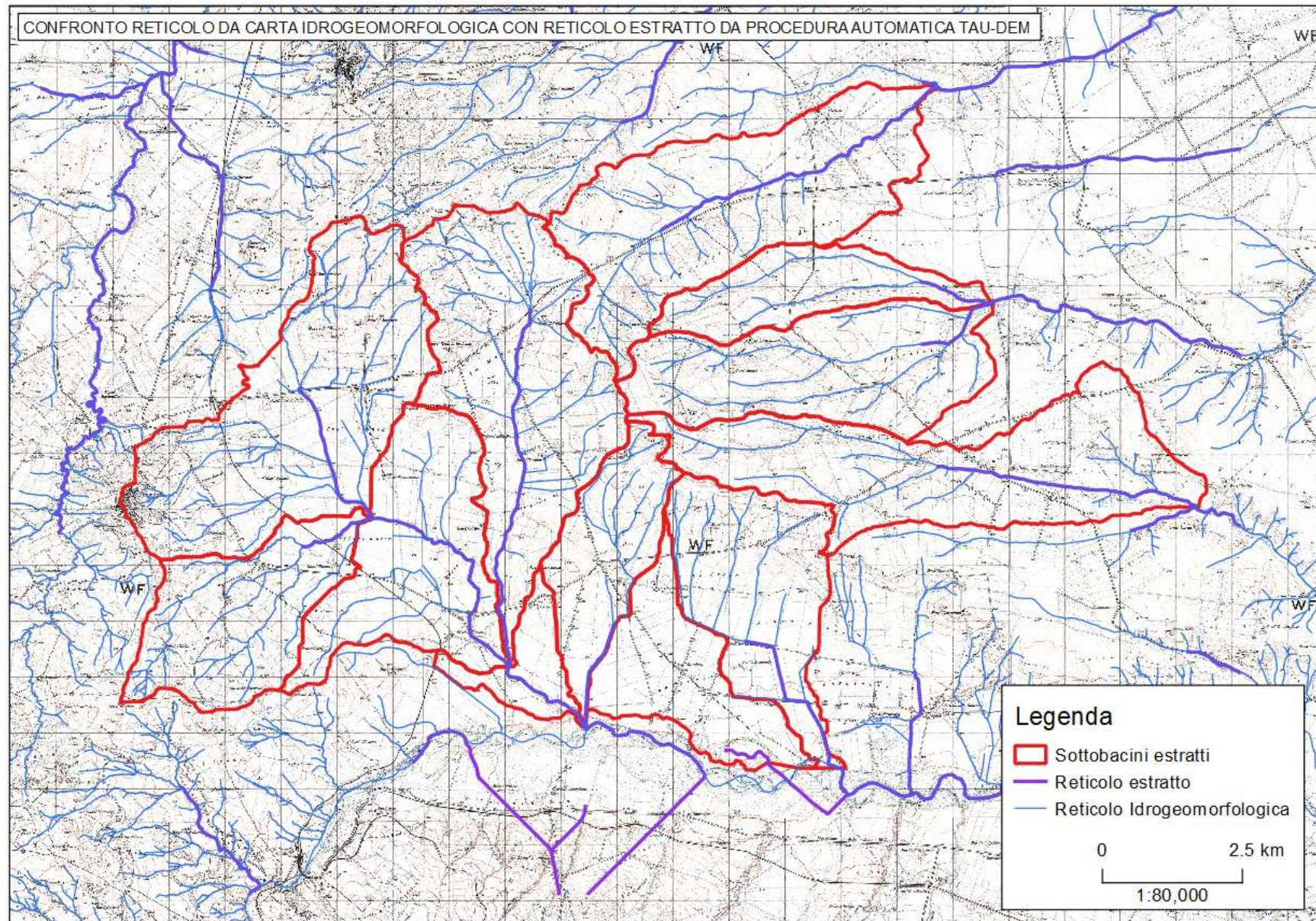


Fig. 9: Bacini e reticolo idrografico estratti dalla procedura automatica TauDEM su base IGM.

## 2.4 - Uso del suolo

Al fine di descrivere l'uso del suolo nel dominio di calcolo sono stati utilizzati i dati disponibili presso il SIT della Regione Puglia, vedi figura 10.

Si fa notare che, ai fini della modellazione, la classificazione utilizzata per l'uso del suolo si ferma al III livello della legenda del Corine Land Cover, non si è ritenuto opportuno infatti utilizzare un maggiore dettaglio a causa delle difficoltà di attribuzione dei parametri per il metodo di trasformazione afflussi–deflussi che si intende adottare. Si ritiene peraltro che tale semplificazione non altera in modo significativo i risultati del presente studio.

Dall'esame delle classi di uso del suolo si può notare come il territorio nel dominio di calcolo sia caratterizzato prevalentemente da seminativi semplici in aree non irrigue per circa il 85% del territorio, mentre la rimanente parte è costituita prevalentemente da seminativi semplici in aree irrigue, uliveti e aree a pascolo naturale.

LIVELLO 3	DESCRIZIONE	Area (kmq)	Area (%)
111	tessuto residenziale continuo antico e denso	0.09	0.07
	tessuto residenziale continuo, denso più recente e basso	0.09	0.07
112	tessuto residenziale discontinuo	0.01	0.01
	tessuto residenziale sparso	0.20	0.16
121	insediamenti produttivi agricoli	0.97	0.76
	insediamento commerciale	0.08	0.06
	insediamento degli impianti tecnologici	0.01	0.01
	insediamento in disuso	0.02	0.02
	insediamento industriale o artigianale con spazi annessi	0.10	0.08
122	reti ed aree per la distribuzione, la produzione e il trasporto dell'energia	0.12	0.09
	reti ferroviarie comprese le superfici annesse	0.03	0.03
	reti stradali e spazi accessori	0.94	0.74
133	cantieri e spazi in costruzione e scavi	0.04	0.03
	suoli rimaneggiati e artefatti	0.01	0.01
211	seminativi semplici in aree non irrigue	108.81	85.67
212	colture orticole in pieno campo in serra e sotto plastica in aree irrigue	0.02	0.01
	seminativi semplici in aree irrigue	9.22	7.26
221	vigneti	0.24	0.19
222	frutteti e frutti minori	0.13	0.10
223	uliveti	2.40	1.89
241	colture temporanee associate a colture permanenti	0.01	0.01
311	boschi di latifoglie	0.43	0.34
314	prati alberati, pascoli alberati	0.01	0.01
321	aree a pascolo naturale, praterie, incolti	2.08	1.63
322	cespuglieti e arbusteti	0.77	0.60
511	canali e idrovie	0.11	0.08
	fiumi, torrenti e fossi	0.03	0.02
512	bacini con prevalente utilizzazione per scopi irrigui	0.04	0.03
<b>TOTALE</b>		<b>127.01</b>	<b>100.00</b>

Tab. 1: Classi di uso del suolo per il sottobacino considerato



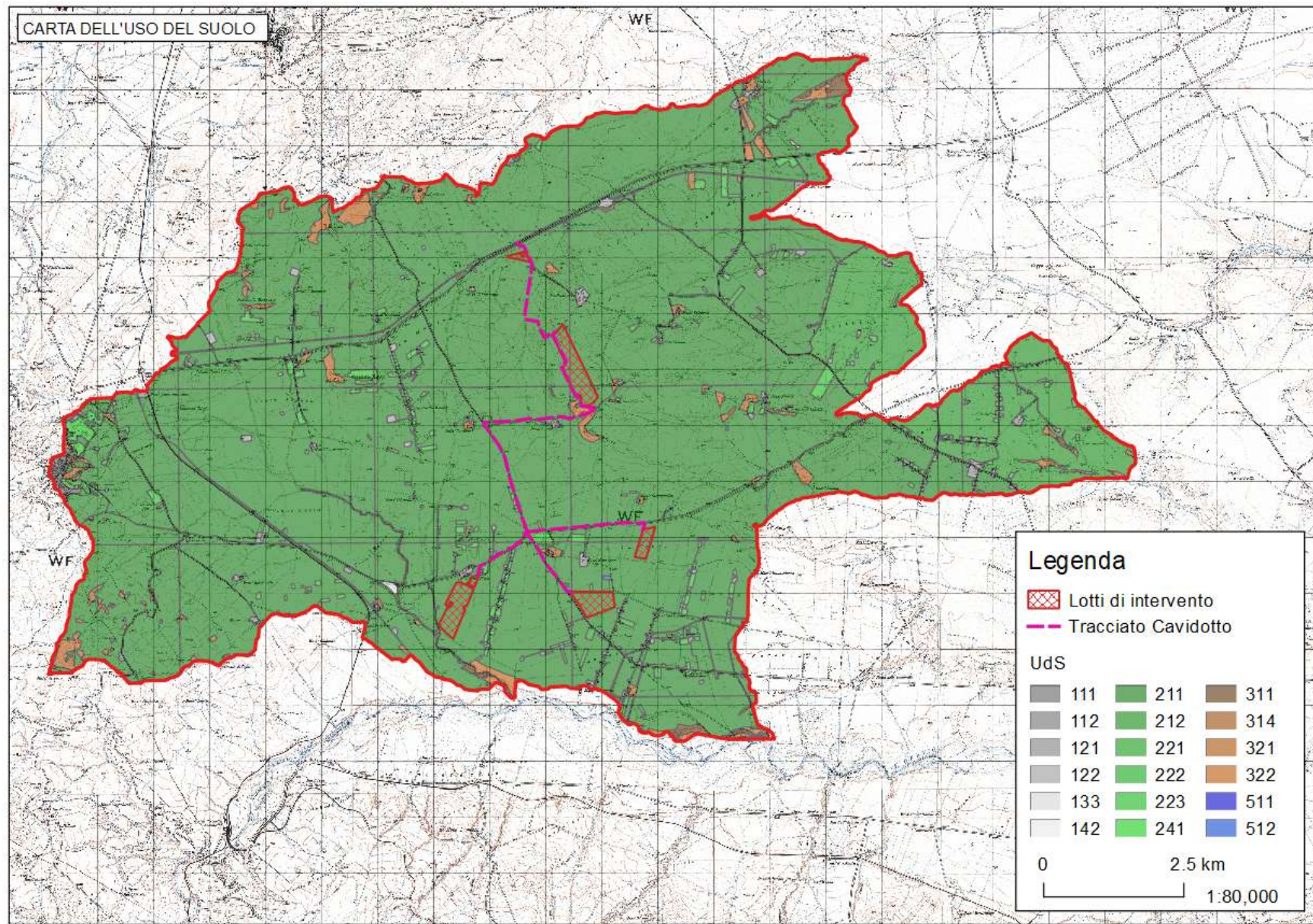


Fig. 10: Uso del suolo

## 2.5 – Litologia e classi di permeabilità

Per l'individuazione della permeabilità dei suoli è stata utilizzata la litologia presente nella carta idrogeomorfologica, vedi fig 11.

Dall'esame della carta litologica si evince che la maggior parte dell'area di interesse è costituita da unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica per circa il 40% del territorio, per circa il 32% è costituita da unità prevalenza ruditica mentre il 20% è costituito da unità a prevalente componente argillosa. Ad ognuna delle classi litologiche riportate in tab 3 è stato associato un valore di permeabilità coerentemente a quanto riportato nella tab 2 .

CLASSI DI SUOLI PERMEABILITA'
<p><b>GRUPPO A</b> - Suoli aventi scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde, con scarsissimo limo ed argilla e ghiaie profonde, molto permeabili. Capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.</p>
<p><b>GRUPPO B</b> - Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.</p>
<p><b>GRUPPO C</b> - Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta. Suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi. Scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.</p>
<p><b>GRUPPO D</b> - Potenzialità di deflusso molto elevata. Argille con elevata capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie. Scarsissima capacità di infiltrazione a saturazione.</p>

Tab. 2:Classi di permeabilità dei suoli

CLASSE PERMEABILITA'	DESCRIZIONE	Area (kmq)	Area (%)
<b>A</b>	Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa	0.10	0.09
<b>B</b>	Depositi sciolti a prevalente componente pelitica	1.17	0.92
<b>C</b>	Unità a prevalente componente arenitica	0.52	0.41
	Unità a prevalente componente ruditica	41.83	32.93
	Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica	51.34	40.42
<b>D</b>	Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico	5.92	4.66
	Unità a prevalente componente argillosa	26.13	20.57
<b>TOTALE</b>		<b>127.01</b>	<b>100.00</b>

Tab. 3: Distribuzione delle classi litologiche e di permeabilità nei bacini di interesse

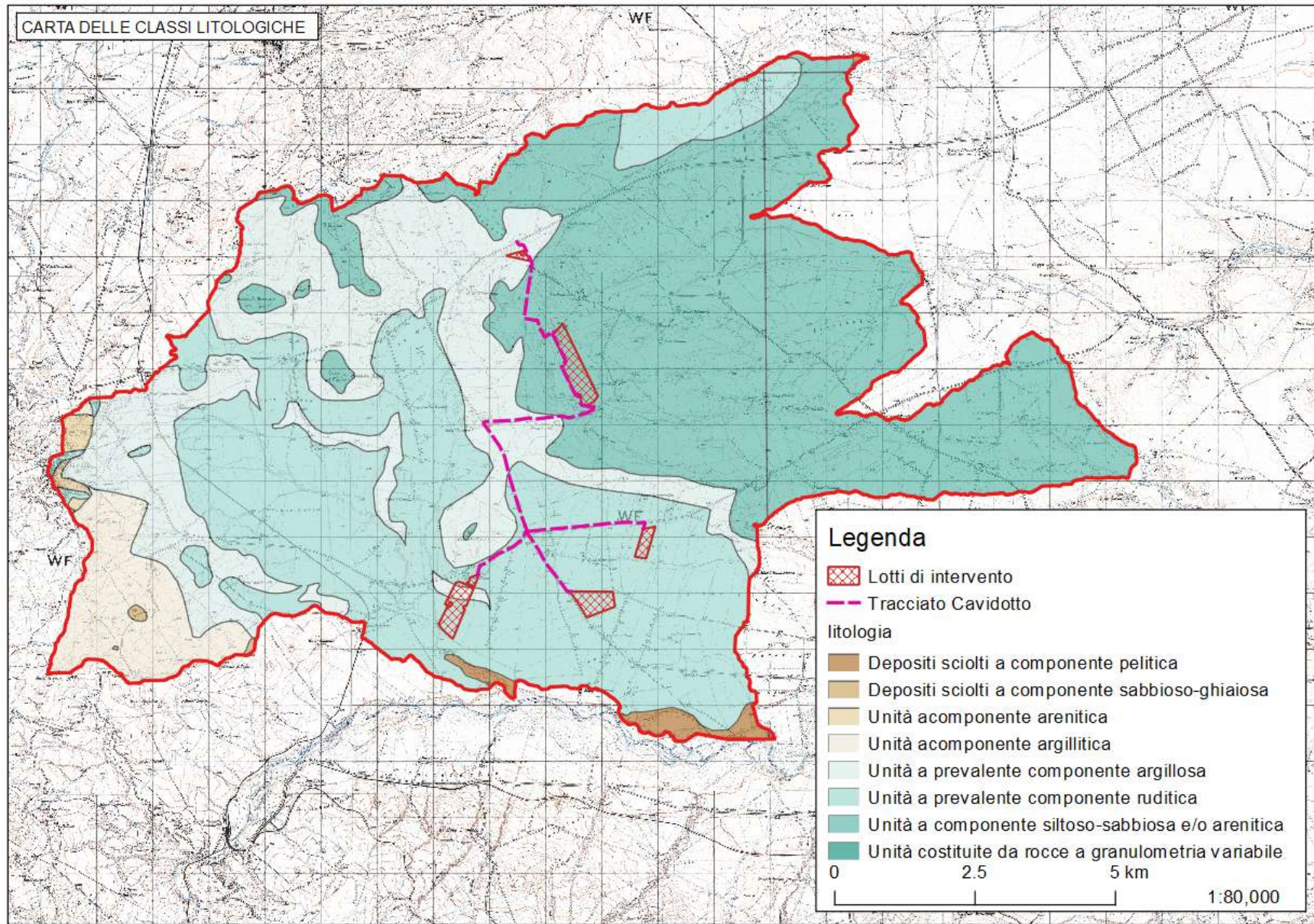


Fig. 11: Classi litologiche

## **2.6 – Curve Number**

Per l'individuazione del valore del Curve Number per l'intero dominio sono stati utilizzati i dati sull'uso del suolo, con riferimento al III livello della legenda del Corine Land Cover, e i dati riguardanti la permeabilità del terreno ricavati come accennato precedentemente dalla litologia. Secondo la teoria sviluppata dal Soil Conservation Service il Curve Number, che caratterizza ogni suolo dal punto di vista della sua risposta idrologica, è funzione infatti dell'uso del suolo e della classe di permeabilità del terreno. Nel caso oggetto di studio la tabella di equivalenza utilizzata per ricavare il valore del Curve Number dai sopra citati parametri è riportata in tab. 4; tale tabella è stata ricavata dalle analoghe tabelle reperite in letteratura adattandola al contesto territoriale pugliese ed alla classificazione dell'uso del suolo del Corine Land Cover.

Una volta generata la carta del Curve Number è stato possibile attribuire un unico valore per tutto il dominio di calcolo considerato che in questo caso specifico risulta essere pari ad 80.

N	CODICE CORINE (III LIV.)	DESCRIZIONE CORINE (III LIV.)	classe CN (MAIONE)	valori CN
1	111	Tessuto urbano continuo	H0	77,85,90,92
2	112	Tessuto urbano discontinuo	H1	61,75,83,87
3	121	Aree industriali o commerciali	F	89,92,94,95
4	122	Reti stradali e ferroviarie		89,92,94,95
5	131	Aree estrattive	F	89,92,94,95
6	132	Discariche		89,92,94,95
7	133	Cantieri		89,92,94,95
8	142	Aree sportive e ricreative		77,85,90,92
9	143	Cimiteri		77,85,90,92
10	211	Seminativi in aree non irrigue	A1	72,78,82,91
11	212	Seminativi in aree irrigue		72,81,88,91
12	221	Vigneti	A2	62,71,78,81
13	222	Frutteti e frutti minori	A2	62,71,78,81
14	223	Oliveti	A2	62,71,78,81
15	241	Colture annuali associate a colture permanenti	A2	62,71,78,81
16	242	Sistemi colturali e particellari complessi	A2	62,71,78,81
17	321	Aree a pascolo naturale e praterie di alta quota	B1	68,79,86,89
18	322	Brughiere e cespuglieti		62,71,78,81
19	333	Aree con vegetazione rada		62,71,78,81
20	511	Corsi d' acqua, canali e idrovie		100,100,100,100

Tab. 4: Valori del CN per classi di uso del suolo

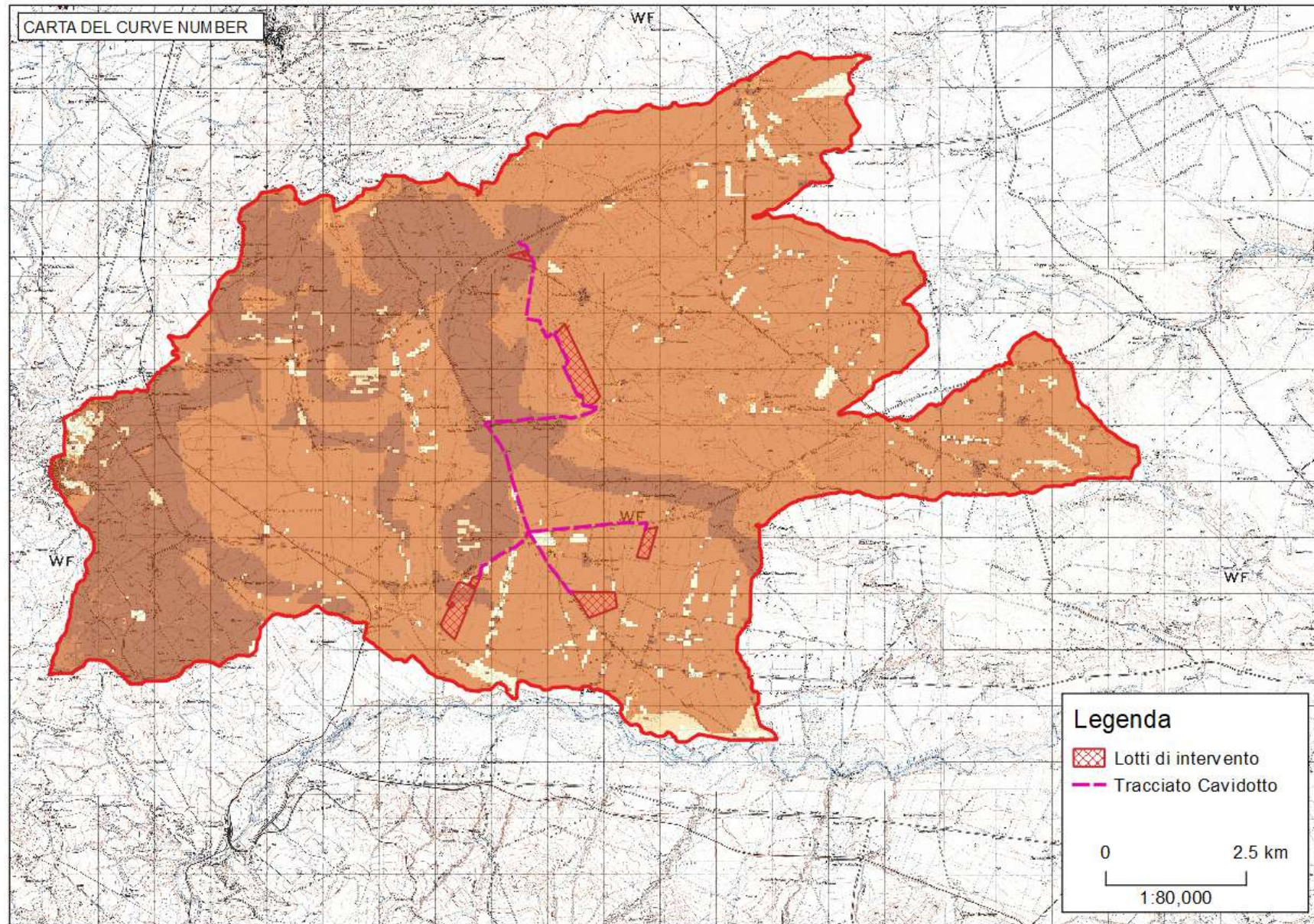


Fig. 12: Curve Number

## 2.7 – Rilievo topografico

L'analisi idraulica condotta nel presente studio è stata corredata da specifici e dettagliati rilievi topografici allo scopo di ricostruire in maniera corretta lo stato dei luoghi e i manufatti idraulici presenti sul reticolo idrografico.

Pertanto, per la corretta definizione della geometria del modello idraulico utilizzato per le verifiche idrauliche, è stato eseguito, in corrispondenza dell'area oggetto di studio, un rilievo topografico di dettaglio finalizzato a caratterizzare l'orografia del terreno e tutte le opere che vanno ad interferire con il libero deflusso delle acque. Nello specifico sono stati individuati i tratti tombati che attraversano le strade in corrispondenza del tracciato dell'elettrodotto interrato a 30KV di collegamento tra i campi fotovoltaici e la Cabina Primaria denominata "Camerelle".

In figura 13 è riportato un esempio di tombino rilevato mentre la figura 14 mostra una planimetria dell'area sovrapposta alla carta tecnica regionale in cui sono indicati i punti di intersezione tra il reticolo idrografico ed il tracciato dell'elettrodotto di collegamento tra gli impianti fotovoltaici e la Cabina Primaria "Camerelle").



Fig. 13: Esempio di rilievo per l'attraversamento n° 01.

Dal rilievo topografico è emerso che dei tredici punti di intersezione tra il reticolo idrografico e l'elettrodotto solo nove di essi sono costituiti da manufatti realizzati in pietra o in calcestruzzo armato e dotati di tombature generalmente di forma circolare o rettangolare.

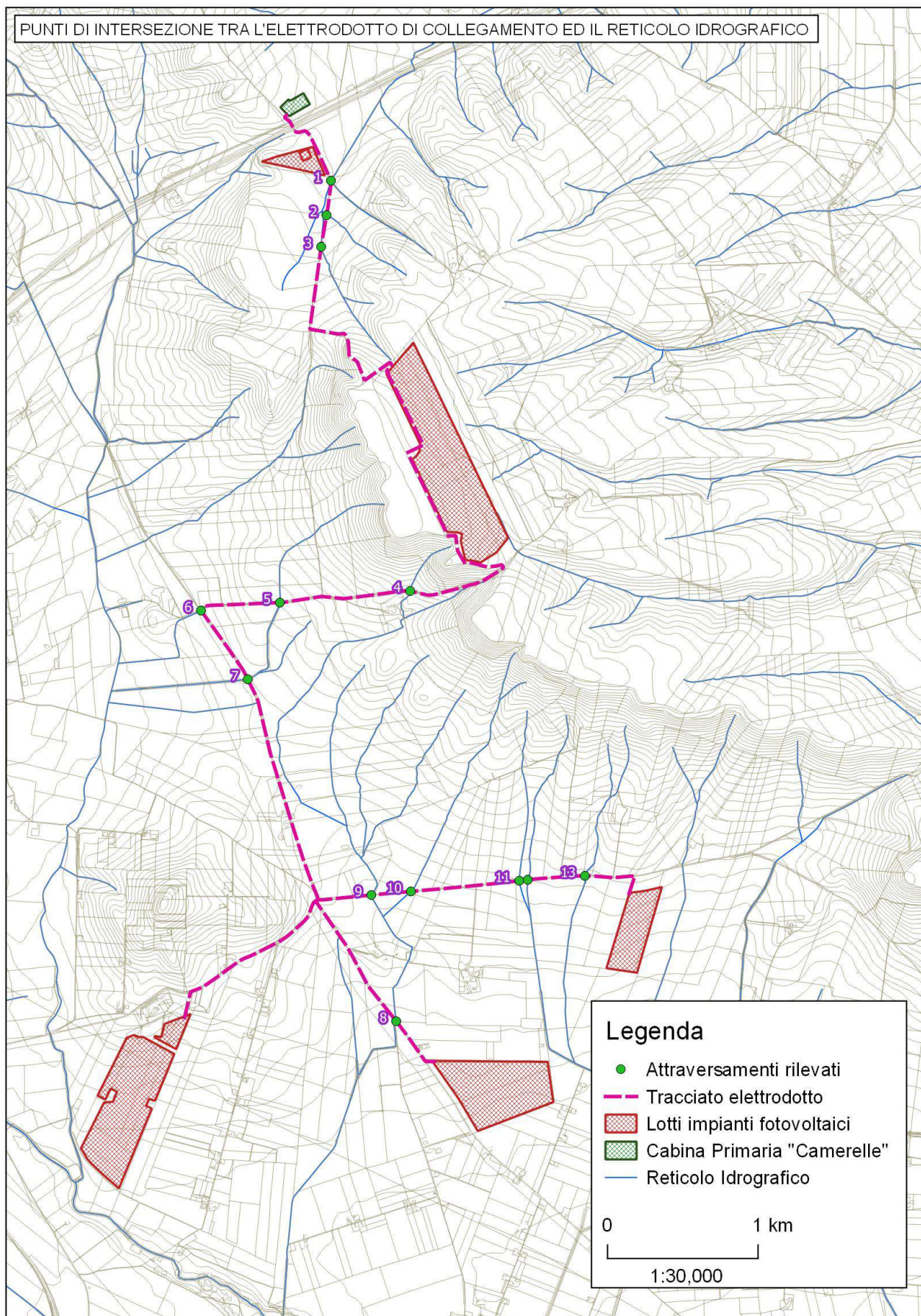


Fig. 14: Planimetria su ortofoto con posizionamento tombini rilevati.



## 2.8 - Caratteristiche pluviometriche

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare per lo studio di compatibilità idraulica è stata fatta sulla base dello studio di regionalizzazione delle piogge redatto nell'ambito del progetto Vapi Puglia del GNDCI. Le aree oggetto di studio ricadono all'interno della sottozona n°4.

Di seguito si riportano le formulazioni per il calcolo delle CPP per la sottozona 4 come riportato nell'ambito del progetto Vapi Puglia del GNDCI mentre in Fig. 15 è riportata una planimetria dell'area di intervento con sovrapposta la zonizzazione proposta nel progetto Vapi Puglia.

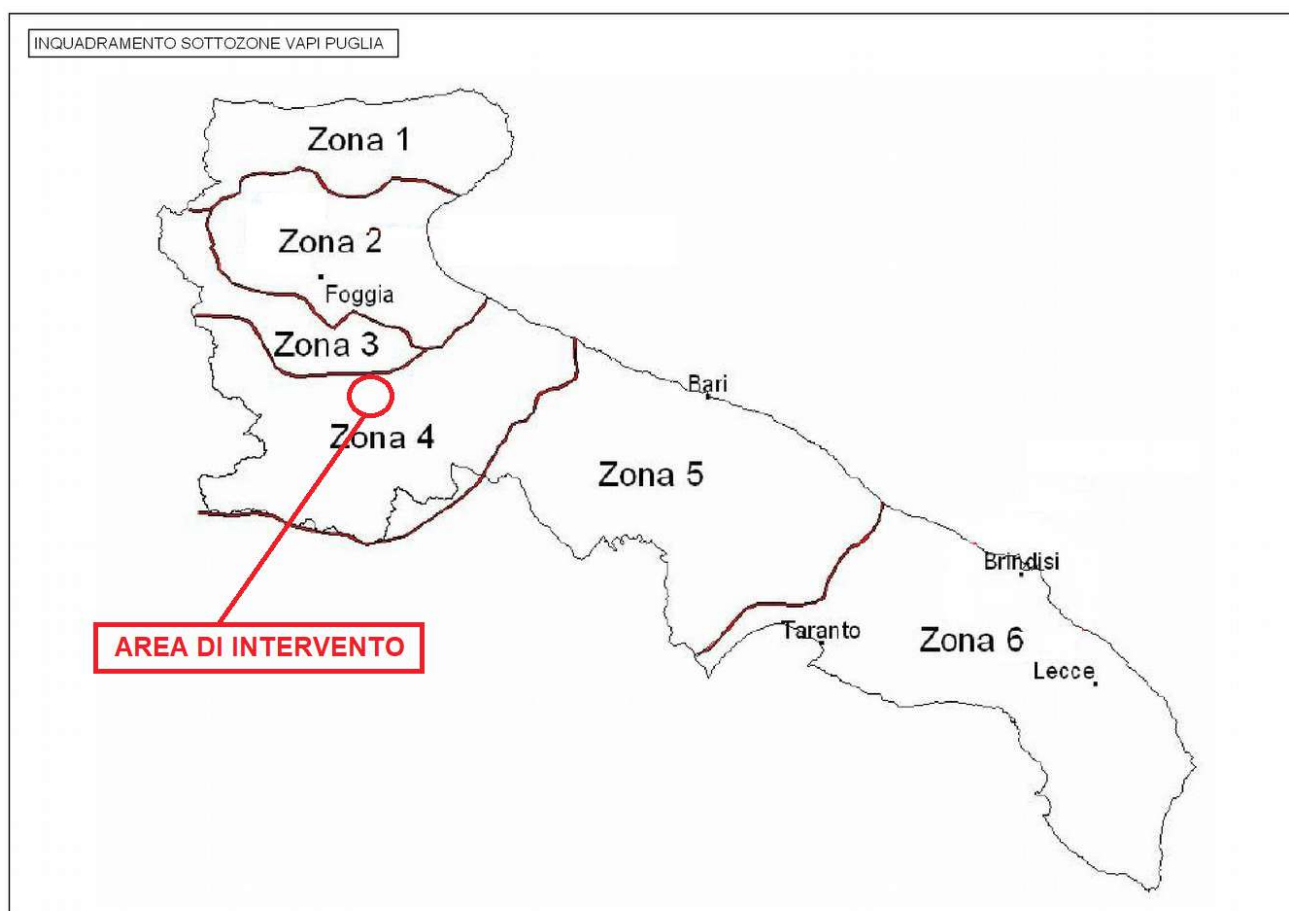


Fig. 15: Sottozone omogenee riportate nel progetto Vapi Puglia.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica sono stati quindi ricavati i valori dei parametri "a" e "n" delle Curva di Possibilità Pluviometrica per i tre differenti tempi di ritorno (30, 200, 500 anni) facendo riferimento alla formulazione relativa alle sottozona 4. Di seguito in Tab. 5 si riportano i valori delle curve di possibilità pluviometrica ottenute con la formulazione relativa alla sottozona 4 mentre in Fig. 16 è riportato il grafico delle CPP ottenute.

	Tr=30 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
a	48.7	68.4	77.8
n	0.26	0.26	0.26
t (h)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
0.25	20.0	35.0	48.0
1	48.7	68.4	77.8
2	58.1	81.7	92.9
3	64.5	90.6	103.1
4	69.4	97.6	111.0
5	73.5	103.3	117.5
6	77.0	108.2	123.1
7	80.1	112.6	128.0
8	82.9	116.5	132.5
9	85.4	120.1	136.6
10	87.7	123.4	140.3
11	89.9	126.4	143.7
12	91.9	129.3	147.0

Tab. 5: Valori delle curve di possibilità pluviometrica relativi alla sottozona 4

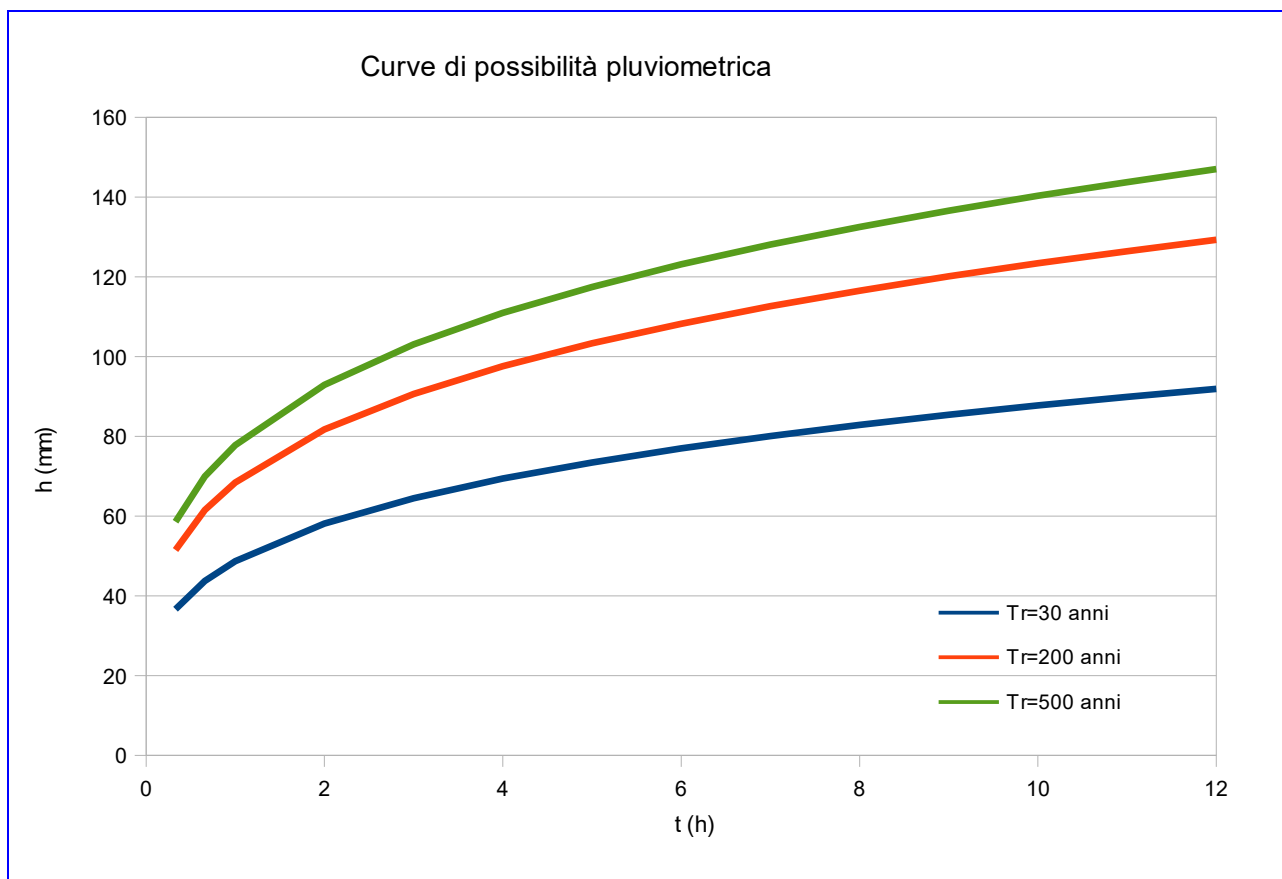


Fig. 16: Curve di possibilità pluviometrica per Tr = 30, 200, 500 anni relative alla sottozona 4.

## **3 – Analisi del rischio idraulico**

In considerazione del fatto che la zona oggetto di studio non è attraversata da alcun corso d'acqua principale ma solo da reticoli idraulici minori come precedentemente evidenziato si ritiene che eventuali problemi di allagamenti nell'area oggetto d'intervento possano essere dovuti unicamente alle acque di pioggia che ricadono nella zona oggetto di studio che comprende il bacino idrografico del sopra citato reticolo. Le acque di pioggia infatti qualora non assorbite dalla copertura vegetale e dalle depressioni del terreno tendono a ruscellare seguendo i percorsi preferenziali fino ad accumularsi nelle zone più depresse e raggiungere il reticolo idraulico.

Si è ritenuto pertanto opportuno condurre lo studio basandosi su una modellazione bidimensionale dell'area oggetto di studio che abbia la possibilità di utilizzare come input una precipitazione uniformemente distribuita nell'area di interesse unitamente all'idrogramma di piena corrispondente ai deflussi relativi ai sottobacini SB\_05, SB\_06 ed SB\_07.

Per la modellazione delle fasi di separazione delle piogge del fenomeno delle trasformazioni afflussi-deflussi, si è ritenuto opportuno utilizzare il metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service in quanto nella zona sono disponibili i dati di dettaglio dell'uso del suolo e della permeabilità che permettono di ricavare in modo corretto i valori del CN per le varie zone del dominio di calcolo.

L'applicazione del metodo del CN per la valutazione della pioggia netta ha permesso di ricavare gli idrogrammi di pioggia netta utilizzati in seguito come input nella modellazione bidimensionale.

### **3.1 – Modellistica utilizzata**

Nel corso del presente paragrafo verranno descritte le modellistiche utilizzate al fine di caratterizzare lo studio di compatibilità idraulica per la realizzazione degli impianti fotovoltaici nei Comuni di Ascoli Satriano (FG) e Candela (FG). In particolare saranno riportati alcuni cenni teorici relativi alle modellistiche idrologiche ed idrauliche con particolare riferimento ai software utilizzati. Nella fattispecie si è utilizzato il software HEC-HMS relativamente alla modellazione idrologica, mentre per le verifiche idrauliche è stato utilizzato il software HEC-RAS.

#### **3.1.1 – Modellistica Idrologica**

Nell'ambito del presente studio non è stato condotto uno studio idrologico specifico volto a caratterizzare gli idrogrammi di piena utilizzati come condizione al contorno di input all'interno del dominio di calcolo ma è stata simulata solo la prima delle quattro fasi in cui può essere scomposto il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi ed in particolare la fase della separazione delle piogge.

Come già in precedenza specificato si è ritenuto opportuno utilizzare il metodo del CN del Soil

Conservation Service per la modellazione della separazione delle piogge all'interno del dominio di calcolo; di seguito dopo un breve richiamo della teoria utilizzata sono riportati i principali risultati ottenuti unitamente ai dati inseriti.

### Separazione delle piogge

Il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione o capacità di ritenzione del suolo (S) deriva dalla seguente relazione:

$$S = 254 \times (100/CN - 1)$$

Dall'analisi del risultato di molte osservazioni sperimentali ne deriva che la perdita iniziale (Ia) è legata alla capacità di ritenzione del suolo (S) dalla relazione

$$Ia = 0.2 \times S$$

che è quindi il valore da utilizzare in mancanza di altri dati disponibili.

Il valore del Curve Number (CN) va, invece, rilevato in funzione dei dati contenuti nella tabella sotto riportata in funzione del tipo di copertura e uso del suolo e del tipo di suolo.

TIPO DI COPERTURA E USO DEL SUOLO	TIPO DI SUOLO			
	A	B	C	D
TERRENO COLTIVATO				
senza trattamento di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
TERRENO DA PASCOLO				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
PRATERIE				
buone condizioni	30	58	71	78
TERRENI BOSCOSSI O FORESTATI				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
SPAZI APERTI, PRATI RASATI, PARCHI				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
.AREE COMMERCIALI (Impermeabilità 85%)	89	92	94	95
DISTRETTI INDUSTRIALI (Imp. 72%)	81	88	91	93
AREE RESIDENZIALI				
Impermeabilità media				
%	77	85	90	92
65	61	75	83	87
38	57	72	81	86
30	54	70	80	85
25	51	68	79	84
PARCHEGGI IMPERMEABILIZZATI, TETTI	98	98	98	98
STRADE				
Pavimentate con cordoli e fognature	98	98	98	
Inghiaiate o selciate con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tab. 6: Tipo di copertura e uso del suolo

Le classi di suolo sono riportate nella tabella successiva. In generale il valore del CN del bacino risulterà da una media pesata dei CN delle singole unità fisiografiche omogenee in cui il bacino può essere scomposto.

Ogni metodo di separazione delle piogge è influenzato dal grado di saturazione del suolo al momento del verificarsi dell'evento di pioggia. Il valore del CN del Soil Conservation Service come sopra descritto è associabile a condizioni medie di saturazione che corrispondono al valore 2 di Antecedent Moisture Condition (AMC) che come indicato nella tabella seguente è ricavabile in funzione dell'altezza di pioggia registrata nei cinque giorni che precedono l'evento e dello stato vegetativo.

Classe AMC	Precipitazione nei 5 giorni precedenti [mm]	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	<13	<36
II	13-28	36-54
III	>28	>54

Tab. 7: Classe Antecedent Moisture Condition (AMC)

Per ottenere il valore di CN relativo alle altre due condizioni di saturazione si usano le relazioni seguenti:

$$\text{CN(I)} = \frac{4,2 \text{ CN(II)}}{10 - 0,058 \text{ CN(II)}}$$
$$\text{CN(III)} = \frac{23 \text{ CN(II)}}{10 + 0,13 \text{ CN(II)}}$$

Tab. 8: Formula relativa al passaggio dalla classe AMC1 alla classe AMC3

Nell'applicazione del metodo del CN al caso oggetto di studio considerando la non uniformità in termini di valore del Curve Number all'interno del dominio di calcolo, si è ritenuto necessario assumere un unico valore del CN rappresentativo di tutta l'area. Gli scenari di pioggia utilizzati per il tempo di ritorno di 200 anni hanno una durata di due ore, si ritiene infatti che tale durata, superiore al tempo di corrivazione dell'intero bacino, sia però in grado di massimizzare i volumi di deflusso in gioco e considerate le caratteristiche di deflusso nella zona anche i battenti nell'area oggetto di intervento. Il deflusso che si verifica solo in minima parte lungo il reticolo idraulico si manifesta perlopiù come un deflusso generalizzato sul piano campagna lungo i percorsi preferenziali e provoca l'allagamento delle depressioni del terreno per cui si ritiene che una pioggia con durata più lunga rispetto al tempo di corrivazione dei bacini interessati sia in grado di massimizzare lo scenario degli allagamenti che si verificano nella zona d'intervento. Per lo ietogramma di pioggia è stata utilizzata una forma a campana ottenuta con il metodo Alternate Blocking Method implementato nel software HEC-HMS con il quale è stata condotta questa fase di analisi.

### 3.1.2 – Modellistica Idraulica

La modellazione della propagazione delle acque piovane sull'area oggetto di studio è stata eseguita utilizzando il software HEC-RAS basato su un modello idrodinamico bidimensionale largamente utilizzato su base mondiale il cui utilizzo è largamente consolidato anche in Italia.

Di seguito viene riportata una rapida descrizione della teoria di base utilizzata dal software HEC-RAS e quindi viene data una breve descrizione della modellistica implementata nel caso oggetto di studio. Come input al modello bidimensionale viene utilizzata la pioggia netta valutata come precedentemente specificato e l'idrogramma di piena relativo ai contributi dei sottobacini SB\_05, SB\_06 ed SB\_07.

Il problema della propagazione della onda di piena in un corso d'acqua naturale si risolve utilizzando la descrizione idraulica del fenomeno basata sulle equazioni differenziali del moto e di continuità. La teoria di De Saint Venant in particolare ipotizza che si tratti di un moto monodimensionale, in pratica le grandezze che definiscono la corrente idrica (portate e livelli) sono funzione esclusivamente del tempo e della coordinata x, posta lungo l'asse longitudinale del corso d'acqua. Queste ipotesi conducono al fatto che le sezioni trasversali possano considerarsi piane e verticali con una pressione distribuita su di esse con legge idrostatica e quindi la corrente può considerarsi gradualmente variata.

Con questa schematizzazione si ottengono le classiche equazioni di De Saint Venant, dalle quali esplicitando tutti i termini si ottengono le seguenti:

–equazione del moto:

$$\frac{\partial H}{\partial X} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + J = 0$$

–equazione di continuità:

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Applicando queste equazioni al corso d'acqua si ottiene un sistema di equazioni differenziali del primo ordine non lineari nelle incognite rappresentate dai livelli e le portate nei vari nodi in funzione del tempo. Per la risoluzione di questo sistema esistono sostanzialmente tre metodi:

- delle linee caratteristiche
- alle differenze finite
- agli elementi finiti.

Il metodo di soluzione adottato è un metodo di tipo semi-implicito in cui in pratica la portata ed il livello in ogni nodo, in un determinato istante di tempo, sono espressi in funzione di portata e livello

nelle sezioni adiacenti nello stesso istante di tempo oltre che della portata e del livello della stessa sezione nell'intervallo di tempo precedente. In pratica, considerando un corso d'acqua schematizzato da N sezioni, si hanno 2N incognite (portata e livello in ogni sezione), si applicano le due equazioni (di moto e di continuità) per ogni tronco, si ottengono quindi  $2(N-1)$  equazioni. Aggiungendo poi le due condizioni al contorno (a valle e a monte), si ottiene un sistema di 2N equazioni che può essere risolto uno dopo l'altro per tutti gli intervalli di tempo.

Nel caso in cui, per la presenza di arginature o di particolari situazioni morfologiche, durante il deflusso si abbiano fuoriuscite d'acqua per tracimazione dai contenimenti arginali in zone limitrofe al corso ma comunque ad esso idraulicamente connesse nelle quali l'acqua stessa tende ad avere una diffusione in più direzioni allora la schematizzazione monodimensionale non è più sufficiente a simulare tale fenomeno di propagazione. In questi casi occorre ricorrere ad una schematizzazione bidimensionale che però è molto complessa ed onerosa sia dal punto di vista del modello di calcolo che dei dati da utilizzare. Occorre infatti disporre di un modello digitale del terreno molto dettagliato ed accurato che va in genere realizzato ad hoc con l'impiego di consistenti risorse. In alcuni casi un buon compromesso tra complessità di calcolo e grado di precisione dei risultati si può ottenere utilizzando uno schema di moto cosiddetto quasi-bidimensionale che è caratterizzato da uno schema monodimensionale lungo il reticolo idrografico e da celle d'accumulo, connesse idraulicamente con il reticolo e tra di loro, che rappresentano le zone limitrofe ai corsi d'acqua dove la propagazione dell'acqua non avviene attraverso uno schema monodimensionale. Questo schema è valido nel caso in cui le aree che sono interessate dall'esonazione delle acque del corso principale siano comunque confinate morfologicamente e quindi possano essere rappresentate da celle d'accumulo. Queste celle d'accumulo sono connesse con il corso d'acqua e possono essere connesse tra di loro. In alcune circostanze si può verificare che le acque che fuoriescono dal corso d'acqua principale si propagano al di fuori di esso seguendo un impluvio naturale o artificiale, nel quale comunque si può ritenere che esista una direzione prevalente di deflusso. In questo caso la simulazione può essere fatta inserendo un ramo fittizio per rappresentare proprio la propagazione di questi deflussi estraendo le sezioni dal modello digitale del terreno. Questo ramo fittizio potrebbe essere connesso a valle con quello principale oppure andare a confluire in una cella di accumulo a secondo di come si presenta la situazione reale.

Le nuove funzionalità di simulazione della propagazione dei deflussi in HEC - RAS sono state sviluppate per permettere all'utente di eseguire la modellazione solo 2D e 1D/2D combinata. L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche:

1. modellazione combinata 1D e 2D: La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi;
2. equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda che quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità all'utente. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda 2D. Dal momento che l'utente può facilmente cambiare il set di equazioni, ognuna di esse può essere provata per un dato problema per verificare il metodo più adatto;
3. algoritmo implicito di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo implicito di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti. Il processo di allagamento di aree secche e di completo svuotamento di aree allagate viene simulato in maniera molto robusta con l'algoritmo di soluzione ai volumi finiti in HEC-RAS. Le aree a deflusso 2D possono iniziare completamente asciutte e gestire un improvviso afflusso di acqua nella zona. Inoltre, l'algoritmo può gestire regimi di corrente lenti, veloci e misti (la corrente passa attraverso l'altezza critica critica, come per esempio in un risalto idraulico);
4. algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo con un'opzione per iterare i trasferimenti di massa 1D e 2D in un passo temporale. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è



utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia. In ogni passo temporale l'equazione di moto utilizza i risultati 1D e 2D per calcolare il flusso consentendo il calcolo preciso della sommersione delle aperture, in ogni passo temporale considerando la variazione di livelli che si ha nei due elementi. Inoltre il deflusso si può invertire (dall'area 2D al tronco 1D) una volta che la piena è passata e i tiranti nel fiume si riducono.

5. maglie computazionali strutturate o non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare maglie computazionali non strutturate, ma può anche gestire maglie strutturate. Una maglia strutturata è trattata allo stesso modo di una maglia non strutturata, con la differenza che il software sfrutta le celle che sono ortogonali tra di loro (questo semplifica alcuni dei calcoli richiesti). Ciò significa che le celle calcolate possono essere triangoli, quadrati, rettangoli, o addirittura elementi a cinque e a sei facce (il modello è limitato agli elementi con più di otto lati). La maglia può essere un misto di celle di diverse forme e dimensioni. Il contorno esterno della maglia di calcolo è definito con un poligono. Le celle di calcolo che formano il limite esterno la maglia possono avere linee multi-point molto dettagliate che rappresentano le facce esterne di ciascuna cella. La maglia di calcolo non deve essere ortogonale ma se la maglia è ortogonale la discretizzazione numerica è semplificata e più efficiente;
6. tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: Ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pre-elaborata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione, vedi figura 17

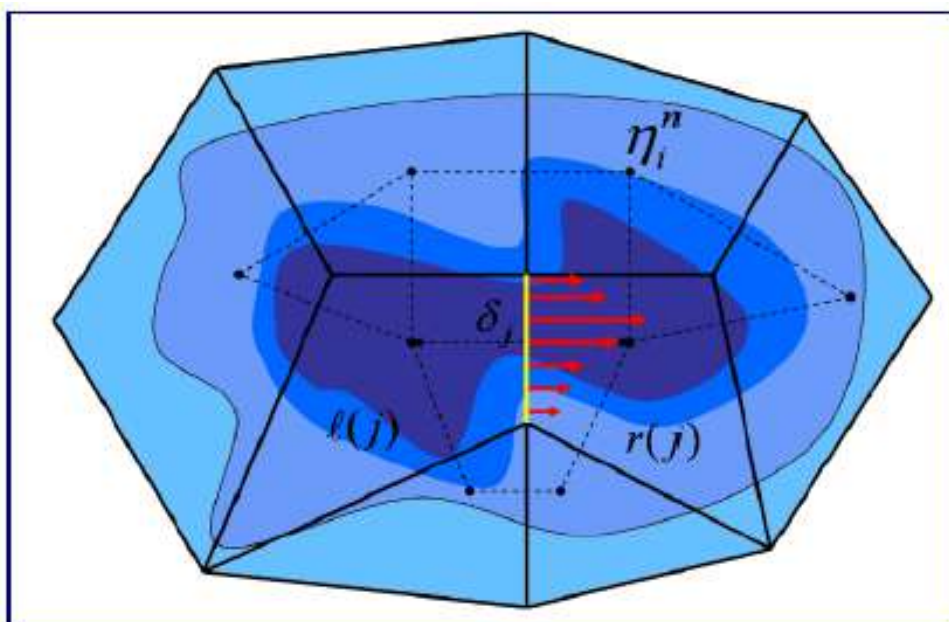


Fig. 17: Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno

In fig. 17 è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo delle celle sono rappresentati dai nodi neri e sono i punti in cui viene calcolata per ogni cella il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante. Pertanto un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale. L'esempio illustrato in fig. 18 presenta canali che sono più piccoli della dimensione media della cella utilizzata per modellare la zona. Tuttavia il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.

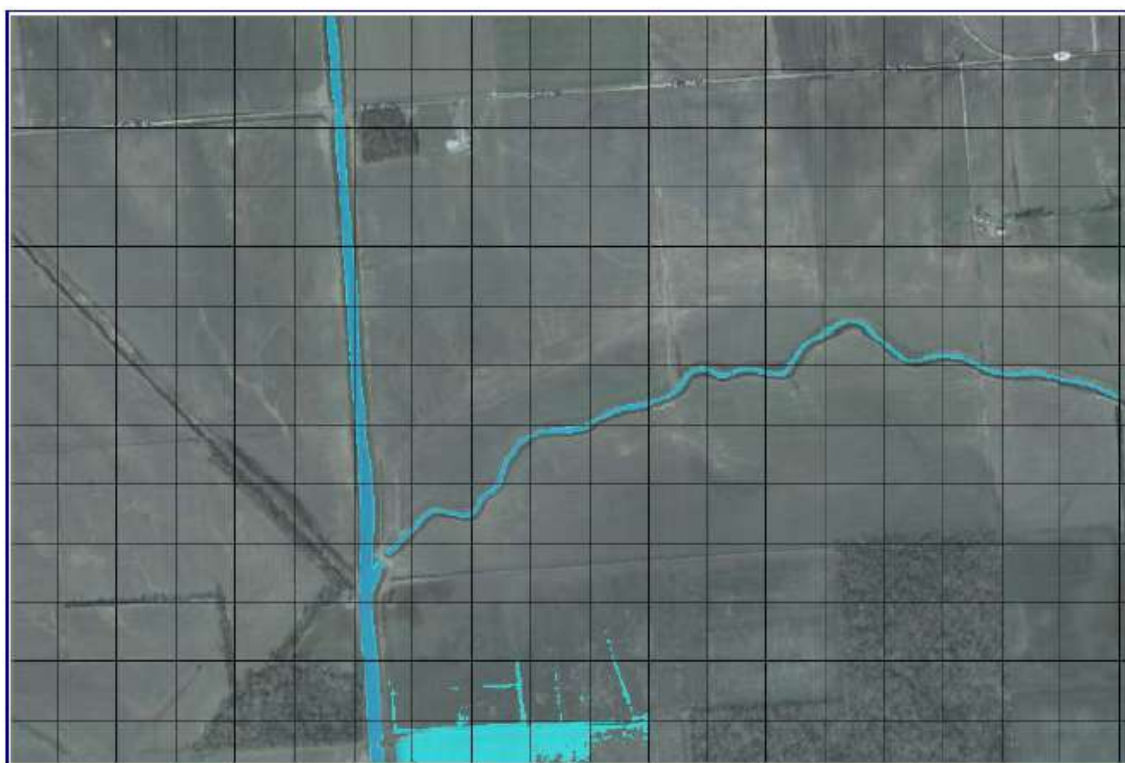


Fig. 18: Esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

7. Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS - Mapper. La mappatura delle aree 2D allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla

dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte. La mappatura rifletterà questi dettagli, piuttosto che essere limitata a mostrare una cella di calcolo come tutta bagnata o tutta asciutta;

8. Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore dei nuovi computer (architettura parallela), consentendo di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
9. Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit. Il motore di calcolo a 64 bit funziona più velocemente rispetto ad uno a 32 bit e può gestire set di dati molto più grandi.

### **Sviluppo del 2D Computational Mesh**

La modellazione 2D in HEC-RAS utilizza uno schema di soluzione ai volumi finiti. Questo algoritmo è stato sviluppato per consentire l'uso di una maglia di calcolo sia strutturata che non strutturata. Ciò significa che la maglia di calcolo può essere una miscela di celle con 3, 4, 5 e 6 lati. L'utente può comunque selezionare una risoluzione da utilizzare per scomporre il dominio di calcolo in celle utilizzando gli strumenti automatici presenti all'interno. La maglia di calcolo 2D è sviluppata in HEC-RAS effettuando le seguenti operazioni:

1. tracciare il poligono di contorno dell'area 2D (fig.19);
2. creazione della maglia di calcolo 2D (fig.20);
3. modifica/rettifica della maglia di calcolo 2D;
4. caricamento del DTM;
5. associazione del DTM con la geometria;
6. esecuzione del pre-processore geometrico 2D.

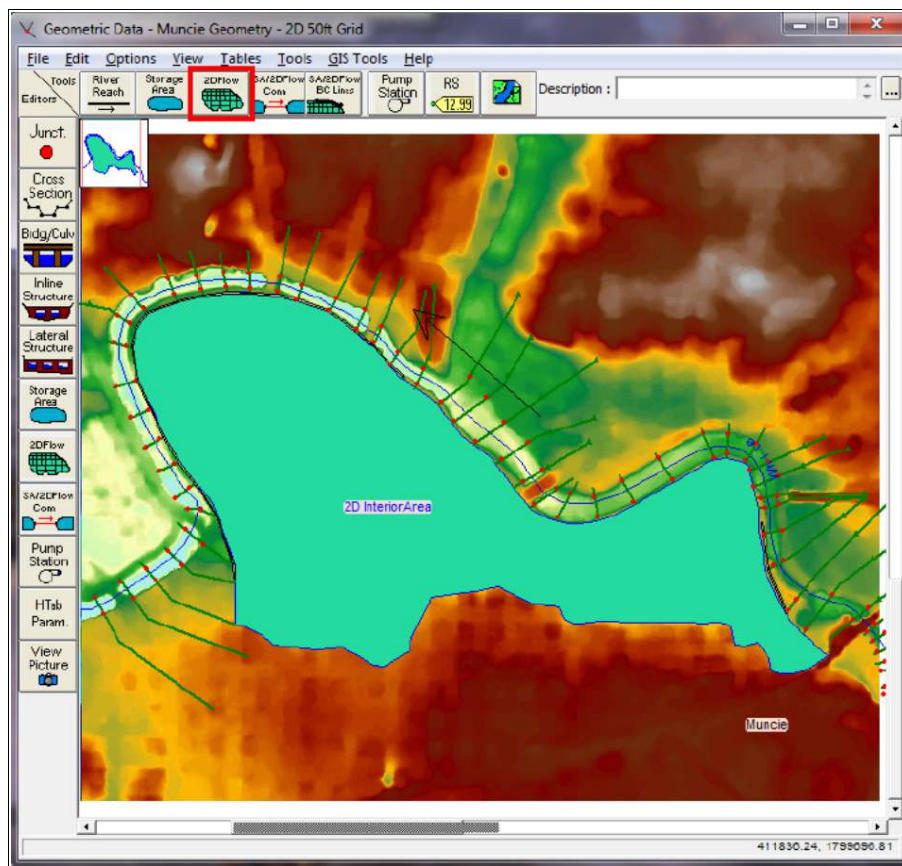


Fig. 19: Tracciamento del poligono di contorno dell'area 2D

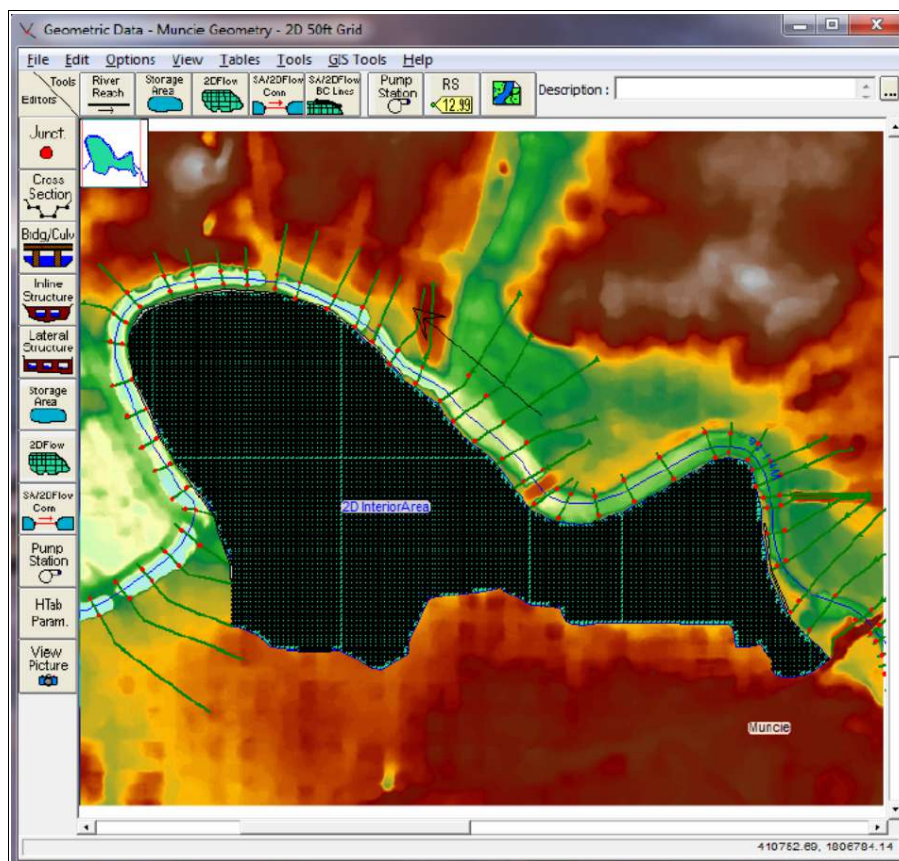


Fig. 20: Esecuzione del pre-processore geometrico 2D e composizione griglia di calcolo

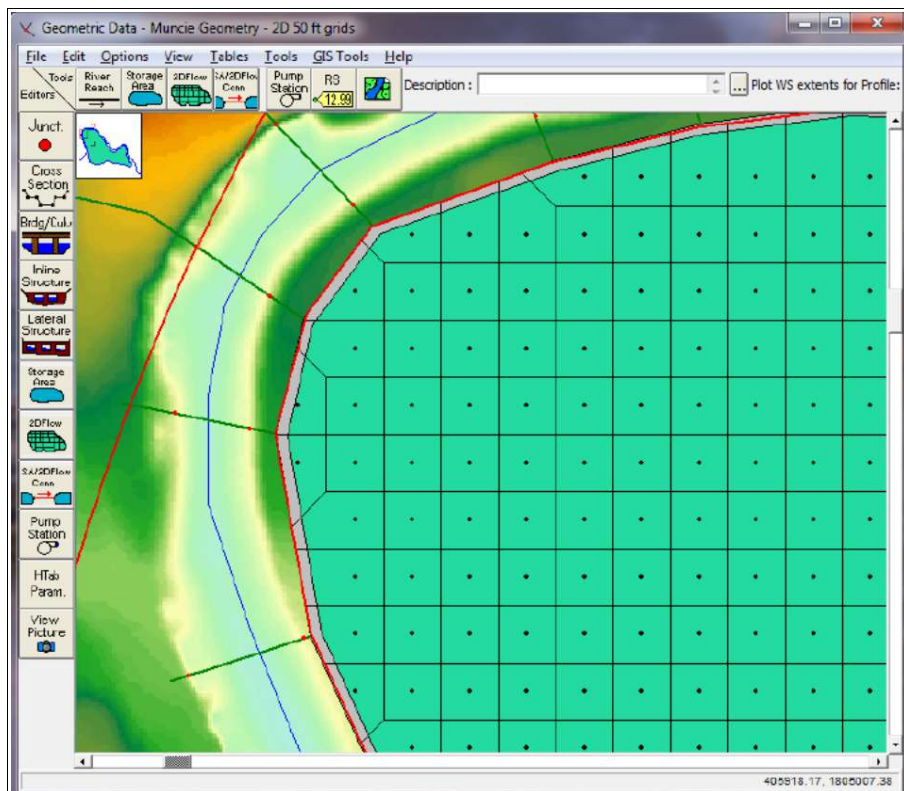


Fig. 21: *Dettaglio della griglia di calcolo*

### 3.2 – Studio idrologico

Considerando come input nella modellazione afflussi–deflussi il valore del CN pari a 80, si riportano di seguito i principali risultati ottenuti, vedi tab. 9, in termini di altezza totale di pioggia netta e quindi il coefficiente di deflusso relativamente alla modellazione idrologica effettuata con riferimento al tempo di ritorno 200 anni. Nella figure 22 è riportato lo schema relativo al modello idrologico implementato mediante l'utilizzo del software HEC-HMS, mentre nella Fig. 23 è riportato il confronto in forma grafica tra lo ietogramma di pioggia totale (di colore blu) e gli ietogrammi di pioggia netta (in verde) e persa (in rosso) ottenuti come risultato per il tempo di ritorno di 200 anni.

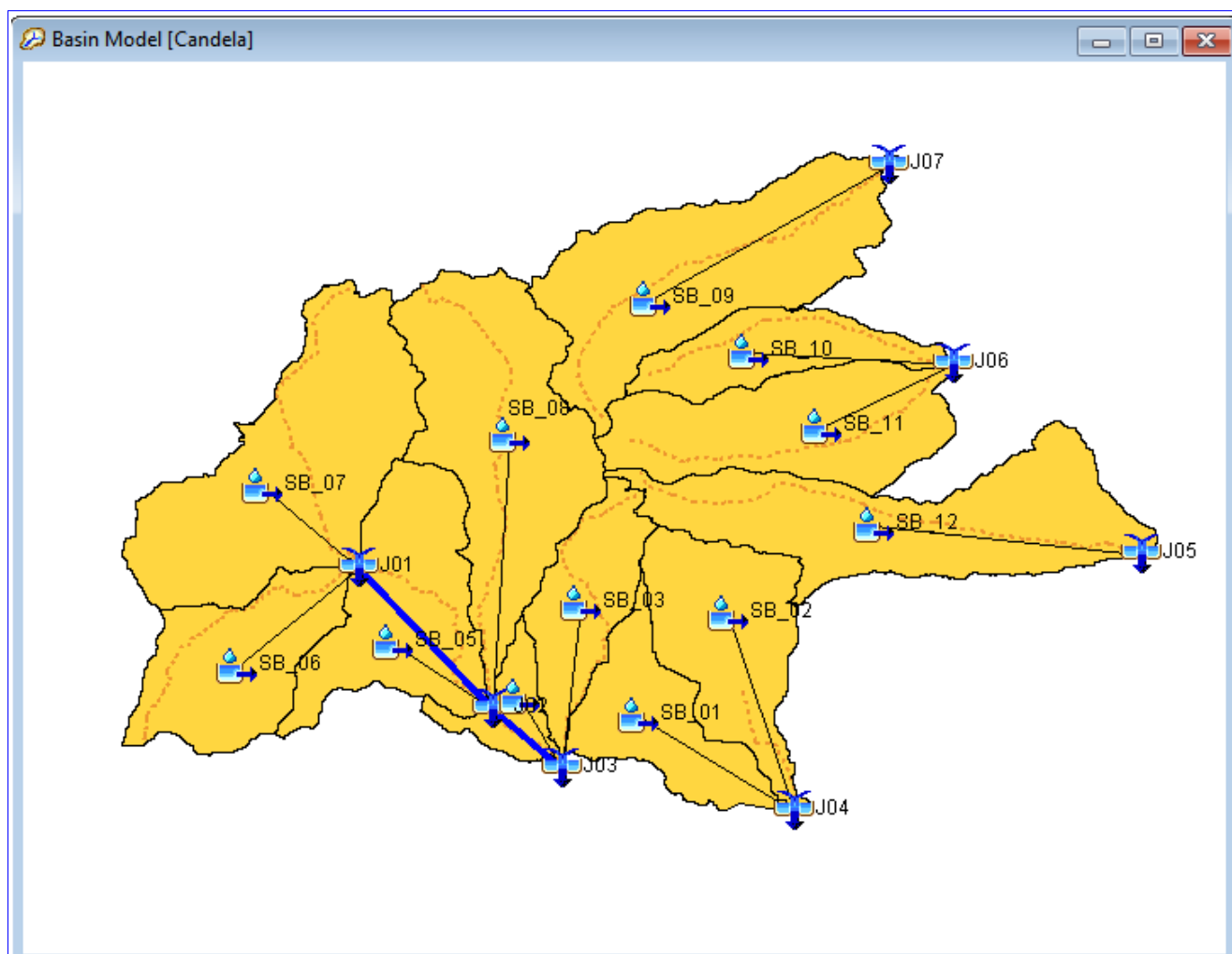


Fig. 22: Schema di implementazione del modello idrologico in HEC-HMS

TEMPO DI RITORNO (anni)	PIOGGIA TOTALE (mm)	PIOGGIA PERSA (mm)	PIOGGIA NETTA (mm)	COEFF. DEFUSSO
200	81.7	37.34	44.36	0.54

Tab. 9: Confronto tabellare dei valori di pioggia totale, netta e persa per il tempo di ritorno 200 anni

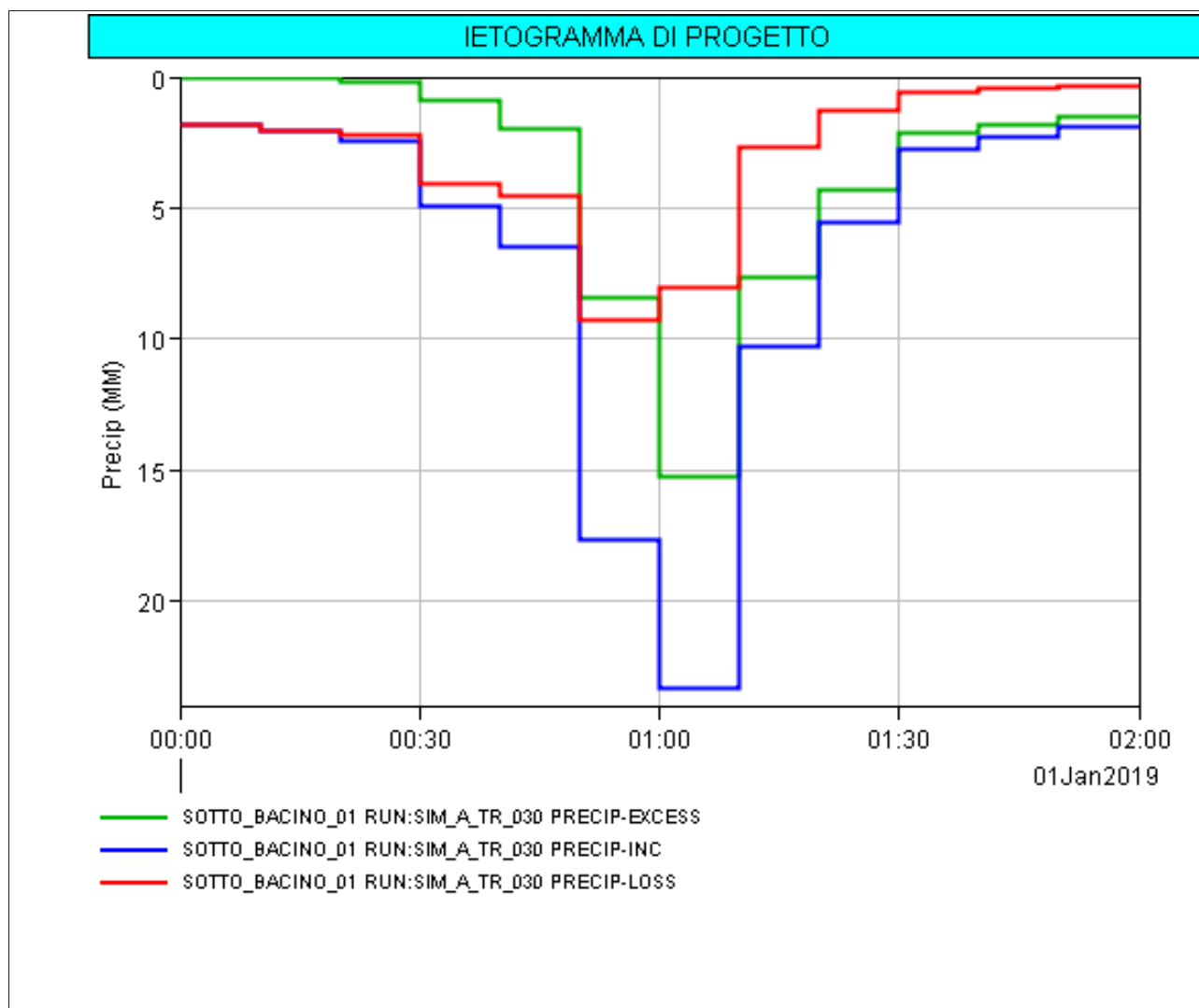


Fig. 23: Modellazione idrologica: letogrammi di pioggia totale, persa e netta per TR 200 anni

Al termine della modellazione idrologica si è ritenuto inoltre necessario individuare l'idrogramma relativo ai deflussi provenienti dai sottobacini SB\_05, SB\_06 ed SB\_07 per ridurre gli sforzi computazionali durante la modellazione idraulica, come verrà discusso nei paragrafi successivi. A tale scopo sono stati sommati i contributi provenienti rispettivamente dal tronco\_SB05 (il quale racchiude i deflussi provenienti dai sottobacini SB\_06 e SB\_07) e dal sottobacino SB\_05. Nella Fig. 24 è riportato il risultato grafico della somma tra i due idrogrammi. L'idrogramma risultante costituirà una delle condizioni al contorno da assegnare al modello idraulico come verrà ampiamente discusso nel seguito.

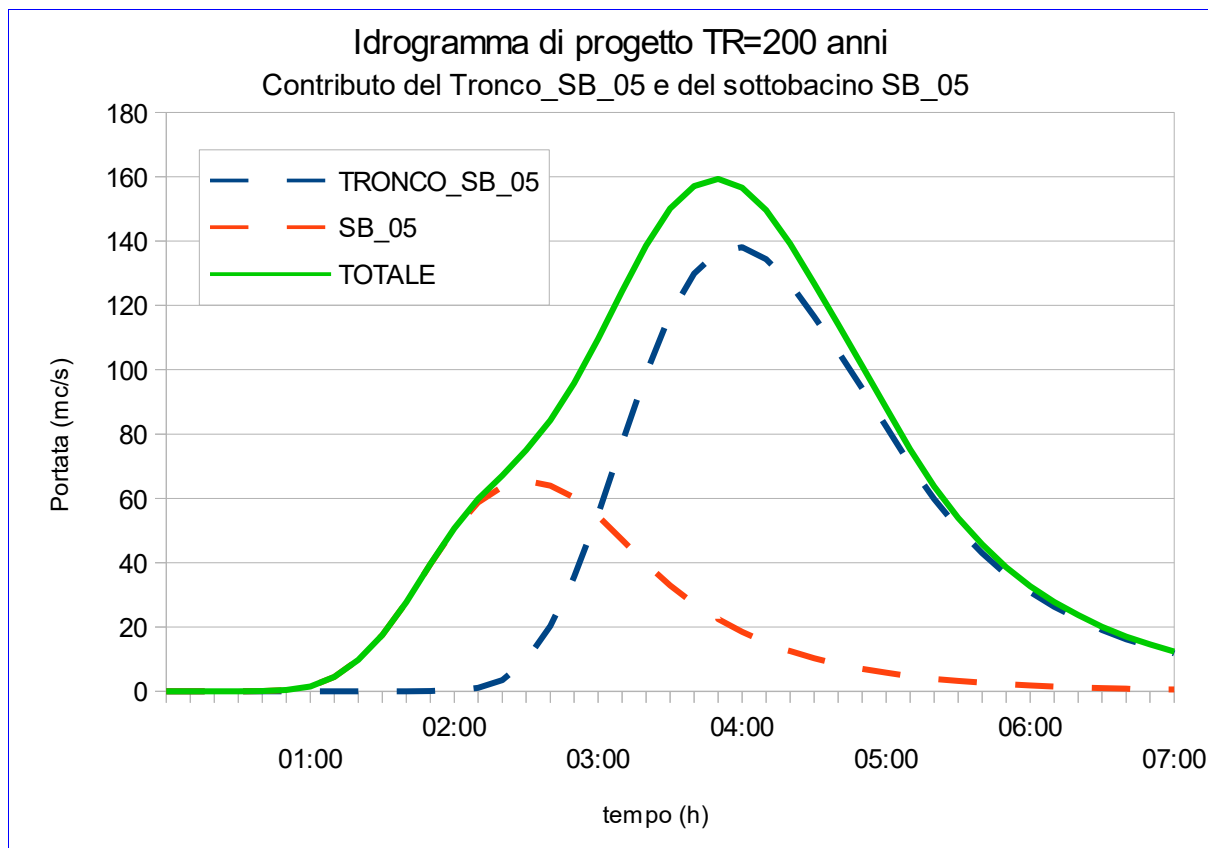


Fig. 24: Modellazione idrologica: somma degli idrogrammi relativi al Tronco\_SB\_05 e al sottobacino SB\_05



### 3.3 – Verifiche idrauliche stato attuale

#### 3.3.1 – Condizioni al contorno nel modello idraulico bidimensionale

All'interno del dominio di calcolo il modello digitale del terreno è stato definito con una maglia di 8 x 8 mq utilizzando gli elementi con cella di 8 m forniti dal SIT Puglia.

Nell'implementazione di un modello di calcolo bidimensionale è essenziale definire nel modo più corretto le condizioni al contorno, proprio per questo motivo per sopperire a una non corretta conoscenza delle condizioni al contorno in genere si provvede ad estendere il dominio di calcolo in modo opportuno in modo da svincolare il funzionamento del modello nell'area di maggiore interesse rispetto a quello che avviene in corrispondenza dei contorni del dominio dove vengono imposte le condizioni al contorno. Per questo motivo, nel caso oggetto di studio si è prestata particolare attenzione nella definizione del dominio di calcolo in modo che fosse sufficientemente esteso, sia a monte che a valle della zona oggetto di studio. In particolare a monte il dominio di calcolo è stato esteso in modo opportuno al di là del limite del bacino idrografico del reticolo idraulico che attraversa la zona di interesse. Considerata tuttavia l'importante estensione dei bacini idrografici oggetto di indagine, superiori ai 100 kmq, al fine di ridurre gli sforzi computazionali legati alla risoluzione delle equazioni su tutta l'area di interesse, si è ritenuto opportuno ridurre il dominio di calcolo escludendo i sottobacini SB\_05, SB\_06 ed SB\_07 introducendo il corrispondente idrogramma di piena da essi proveniente. Come condizioni al contorno in ingresso al modello è stata utilizzata la pioggia netta calcolata attraverso una modellazione idrologica con il metodo del CN del SCS come precedentemente specificato, a tal proposito nella tabella 10 si riportano i valori degli ietogrammi con particolare riferimento alla colonna "Excess" che rappresenta l'input di precipitazione netta utilizzato nella modellazione idraulica.

Inoltre, come precedentemente accennato, è stato inserito anche l'idrogramma di piena proveniente dai sottobacini SB\_05, SB\_06 ed SB\_07.

Data	Time	Precip (mm)	Loss (mm)	Excess (mm)
01gen2019	00:00	-	-	-
01gen2019	00:10	1.80	1.80	0.00
01gen2019	00:20	2.08	2.02	0.05
01gen2019	00:30	2.48	2.25	0.23
01gen2019	00:40	4.96	4.05	0.91
01gen2019	00:50	6.48	4.53	1.96
01gen2019	01:00	17.71	9.28	8.43
01gen2019	01:10	23.33	8.06	15.27
01gen2019	01:20	10.33	2.65	7.68
01gen2019	01:30	5.59	1.27	4.32
01gen2019	01:40	2.76	0.59	2.17
01gen2019	01:50	2.26	0.46	1.79
01gen2019	02:00	1.93	0.38	1.54

Tab. 10: Valori degli ietogrammi di pioggia totale, persa e netta utilizzati come input per la modellazione idraulica bidimensionale – TR 200 anni

data	ora	TRONCO_SB_05	SB_05	TOTALE
01gen2019	00:00	0.00	0.00	0.00
01gen2019	00:10	0.00	0.00	0.00
01gen2019	00:20	0.00	0.00	0.00
01gen2019	00:30	0.00	0.00	0.00
01gen2019	00:40	0.00	0.10	0.10
01gen2019	00:50	0.00	0.40	0.40
01gen2019	01:00	0.00	1.50	1.50
01gen2019	01:10	0.00	4.50	4.50
01gen2019	01:20	0.00	9.80	9.80
01gen2019	01:30	0.00	17.50	17.50
01gen2019	01:40	0.00	27.70	27.70
01gen2019	01:50	0.10	39.50	39.60
01gen2019	02:00	0.30	50.40	50.70
01gen2019	02:10	1.10	58.70	59.80
01gen2019	02:20	3.50	63.60	67.10
01gen2019	02:30	9.60	65.40	75.00
01gen2019	02:40	20.30	64.00	84.30
01gen2019	02:50	35.60	60.20	95.80
01gen2019	03:00	55.20	54.40	109.60
01gen2019	03:10	77.30	47.10	124.40
01gen2019	03:20	99.00	39.60	138.60
01gen2019	03:30	117.20	32.90	150.10
01gen2019	03:40	129.90	27.20	157.10
01gen2019	03:50	136.80	22.50	159.30
01gen2019	04:00	138.10	18.50	156.60
01gen2019	04:10	134.40	15.20	149.60
01gen2019	04:20	126.70	12.50	139.20
01gen2019	04:30	116.50	10.30	126.80
01gen2019	04:40	105.60	8.50	114.10
01gen2019	04:50	94.20	7.00	101.20
01gen2019	05:00	82.40	5.80	88.20
01gen2019	05:10	70.50	4.70	75.20
01gen2019	05:20	59.80	3.90	63.70
01gen2019	05:30	50.70	3.20	53.90
01gen2019	05:40	43.00	2.70	45.70
01gen2019	05:50	36.40	2.20	38.60
01gen2019	06:00	30.90	1.80	32.70
01gen2019	06:10	26.30	1.50	27.80
01gen2019	06:20	22.50	1.20	23.70
01gen2019	06:30	19.10	1.00	20.10
01gen2019	06:40	16.20	0.80	17.00
01gen2019	06:50	13.90	0.70	14.60
01gen2019	07:00	11.80	0.60	12.40

Tab. 11: Valori degli idrogrammi del TRONCO\_SB\_05, del sottobacino SB\_05 e della loro somma utilizzata come input per la modellazione idraulica bidimensionale – TR 200 anni

In Fig.25 è riportata una planimetria estratta dal software HEC-RAS che mostra il dominio di calcolo utilizzato ai fini modellistici per le diverse aree di intervento. Nella Fig.26 è invece riportato un dettaglio planimetrico sempre estratto dal software HEC-RAS che mostra l'inserimento di uno degli attraversamenti rilevati nell'ambito del rilievo topografico di dettaglio (attraversamento n°01) in modo da rappresentare nel dettaglio lo stato attuale dei luoghi mentre in Fig.27 è riportata la finestra di HEC-RAS relativa all'inserimento dei dati geometrici del singolo tombino. Nel complesso, all'interno del dominio di calcolo sono stati inseriti 9 manufatti idraulici di attraversamento lungo il reticolo idrografico oggetto di studio.

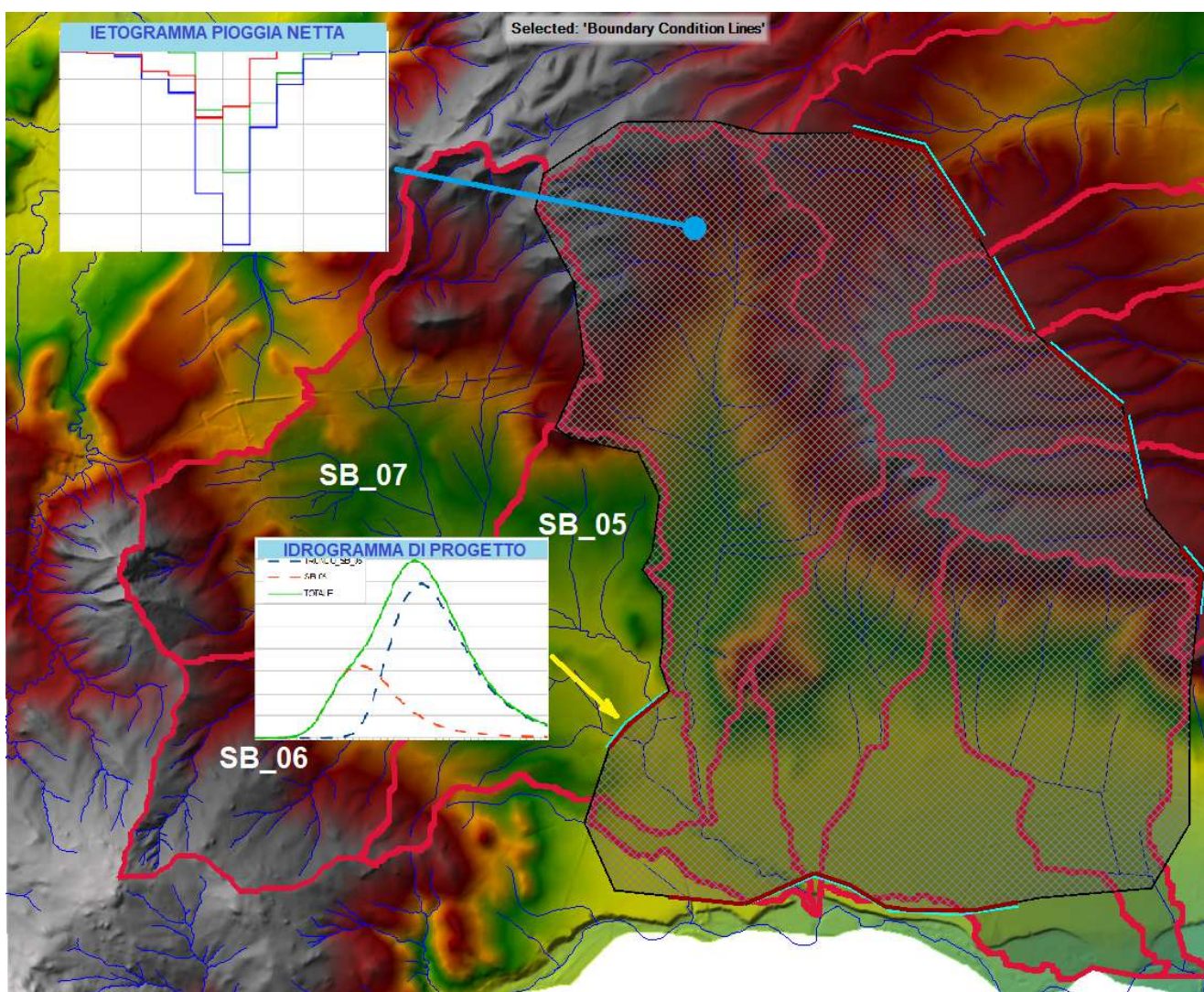


Fig. 25: Planimetria aree 2D utilizzate nel modello idraulico

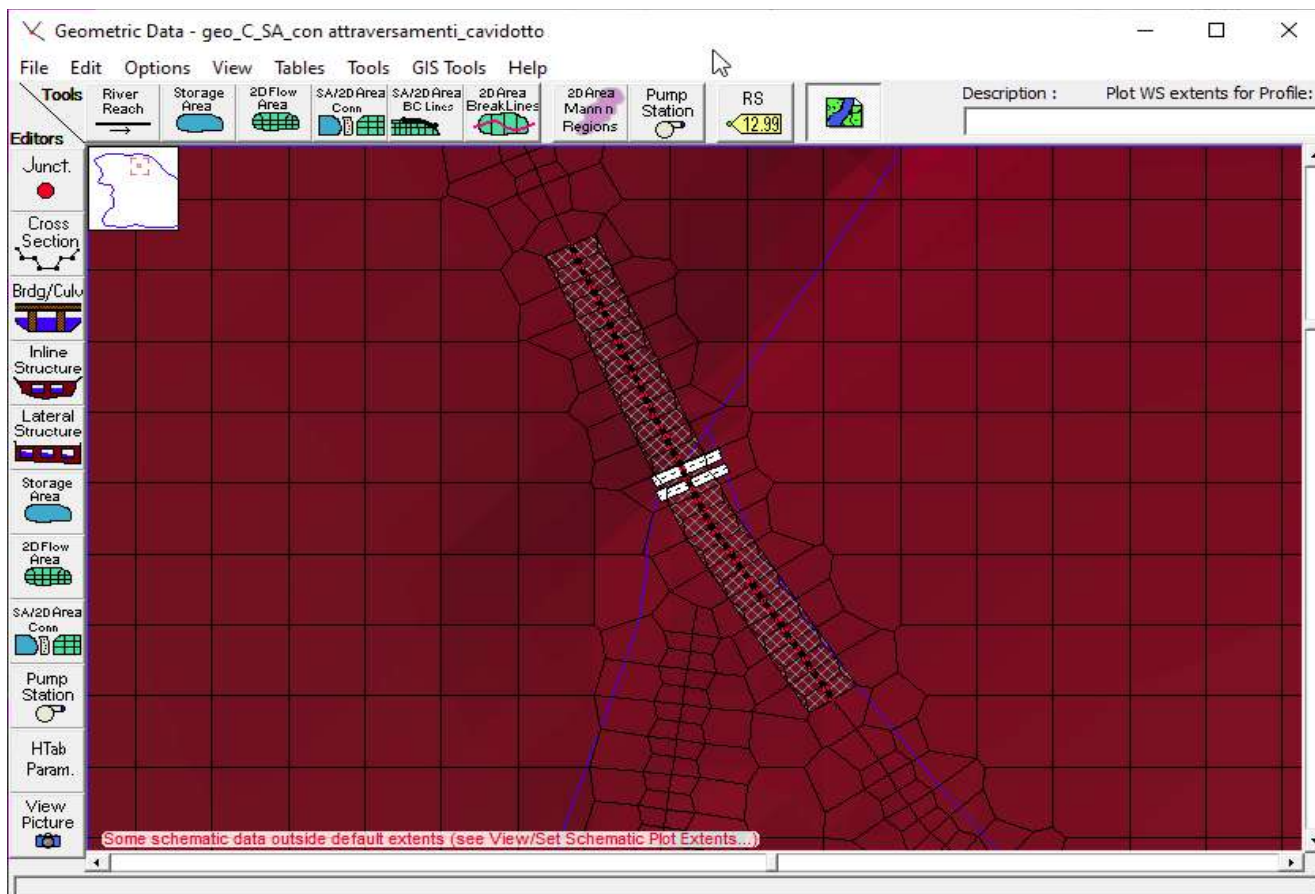


Fig. 26: Planimetria dettaglio inserimento manufatto idraulico (attraversamento n°01)

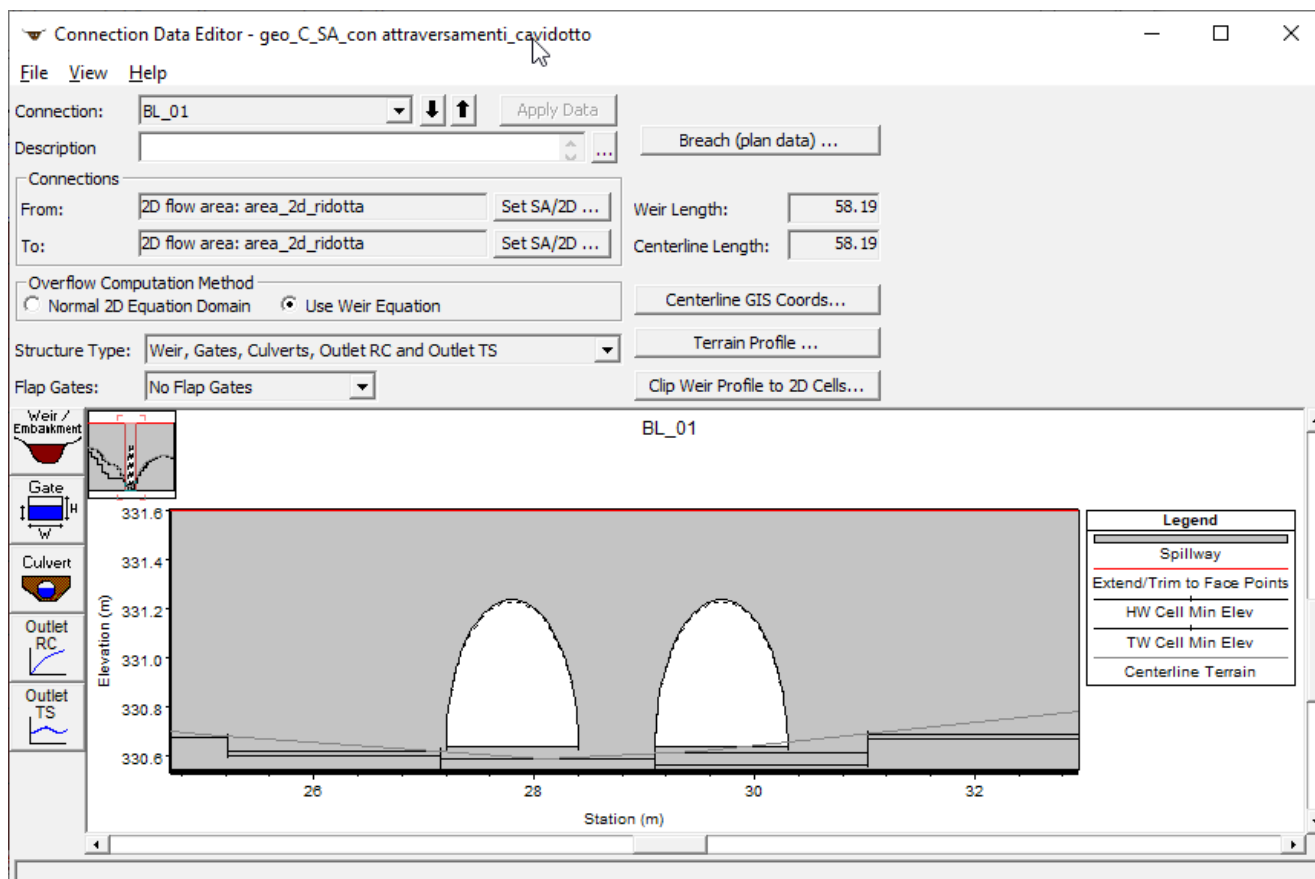


Fig. 27: Finestra inserimento dati geometrici manufatto idraulico (attraversamento n°01)

### **3.3.2 – Risultati modellazione idraulica bidimensionale**

Le simulazioni effettuate con riferimento al tempo di ritorno di 200 anni, hanno permesso di individuare con maggiore dettaglio lo scenario degli allagamenti nella zona in cui ricadono i lotti di interesse ed il tracciato del cavidotto di collegamento tra gli impianti fotovoltaici in progetto e la Cabina Primaria “Camerelle”. Si è proceduto dunque alla modellazione idraulica bidimensionale in questa configurazione per valutare l'eventuale condizione di rischio idraulico della porzione di territorio su cui saranno realizzate le opere per valutarne l'interferenza con il reticolo idrografico.

I risultati ottenuti nella configurazione attuale mostrano sostanzialmente che lo scenario utilizzato è caratterizzato da un deflusso generalizzato sul piano campagna in quanto il reticolo idraulico presente nella zona, date le sue ridotte dimensioni, non riesce a smaltire in modo adeguato i deflussi.

Nelle Figg. 28 e 29 sono riportati i risultati della modellazione idraulica rispettivamente in termini di battenti massimi (m) e velocità massime (m/s) che si instaurano nel dominio di calcolo relativamente all'evento corrispondente al tempo di ritorno di 200 anni. Dai risultati ottenuti è possibile notare come i principali allagamenti si verificano solo nell'intorno del reticolo idraulico minore, il quale viste le ridotte dimensioni, risulta appunto insufficiente a smaltire i deflussi di piena in arrivo da monte.

I lotti su cui si intende realizzare i campi fotovoltaici non risultano interessati dall'allagamento fatta eccezione per il lotto C che sebbene per una ristretta area, viene interessato da allagamenti caratterizzati da battenti inferiori a 0.3 m e velocità ridotte (Figg. 28 e 29).

Per quanto riguarda invece il tracciato dell'elettrodotta di collegamento tra gli impianti in progetto e la Cabina Primaria “Camerelle” è emerso che i manufatti idraulici presenti in corrispondenza delle intersezioni tra il tracciato del cavidotto ed il reticolo idrografico, non sempre riescono a smaltire adeguatamente i deflussi in arrivo da monte, provocando delle esondazioni localizzate. I dettagli degli allagamenti in corrispondenza dei punti di intersezione tra il cavidotto ed il reticolo idrografico sono riportati in allegato A.

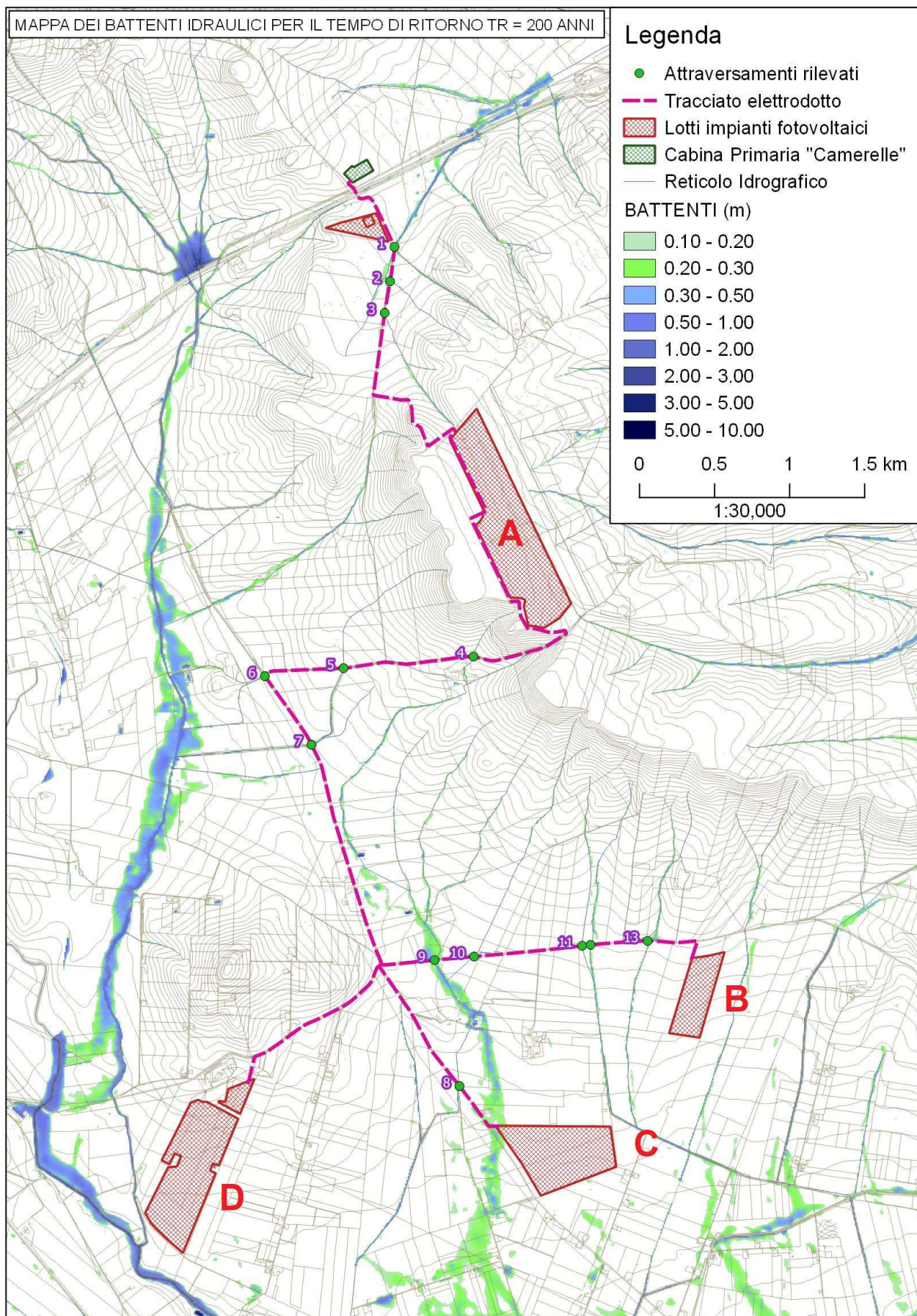


Fig. 28: Mappa battenti per il tempo di ritorno di 200 anni

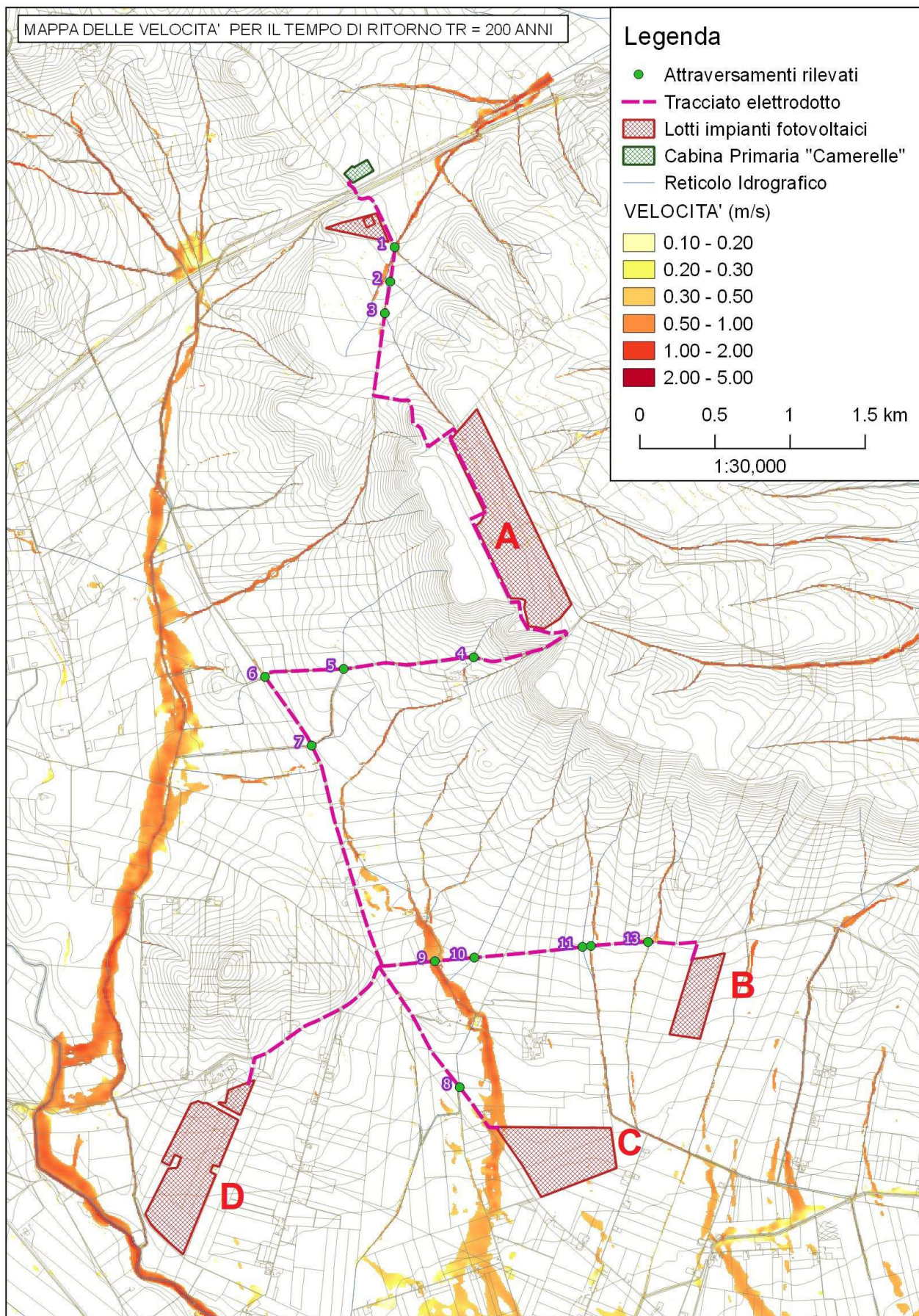


Fig. 29: Mappa delle velocità per il tempo di ritorno di 200 anni

### 3.4 – Descrizione interventi in progetto

I terreni nei quali verranno realizzati gli impianti fotovoltaici in progetto sono ubicati nei Comuni di Ascoli Satriano (FG) e di Candela(FG). I terreni in esame hanno una destinazione d'uso prevalentemente caratterizzata da aree seminative semplici non irrigue.

Nell'ambito della realizzazione degli impianti fotovoltaici è prevista l'installazione di batterie di pannelli (Fig.30) e di una serie di cabine di trasformazione oltre che dei cavi per il trasporto della corrente.

Nello specifico l'impianto sarà corredato di:

1. **Locali tecnici:** 14 cabine inverter di dimensioni altezza fuori terra 2.55 m, superficie 30.5 mq ognuna, 14 cabine di trasformazione MT di dimensioni altezza fuori terra 2.55 m, superficie 10.2 mq ognuna, 2 control room, 1 sottostazione utente, 42 cabine per storage per campo di imensioni altezza fuori terra 2.55 m e superficie 30.5 mq ognuna;
2. **n° 56 Inverter;**
3. **n° 1 cavidotto di connessione:** ciascun sotto lotto sarà collegato mediante cavidotti interrati su strade pubbliche e private in Media Tensione di lunghezza complessiva pari a 12.6 km alla Cabina Primaria denominata "Camerelle" nel Comune di Ascoli Satriano (FG);
4. **n° 1 cavidotto di connessione in Alta Tensione** tra la SSE e la futura stazione di Smistamento a 150 kv della RTN denominata "Camerelle" di lunghezza complessiva di circa 400 m;
5. **opere civili di servizio:** costituite principalmente dalla struttura di fondazione dei pannelli, dalle opere di viabilità e cantierizzazione e dai cavidotti.

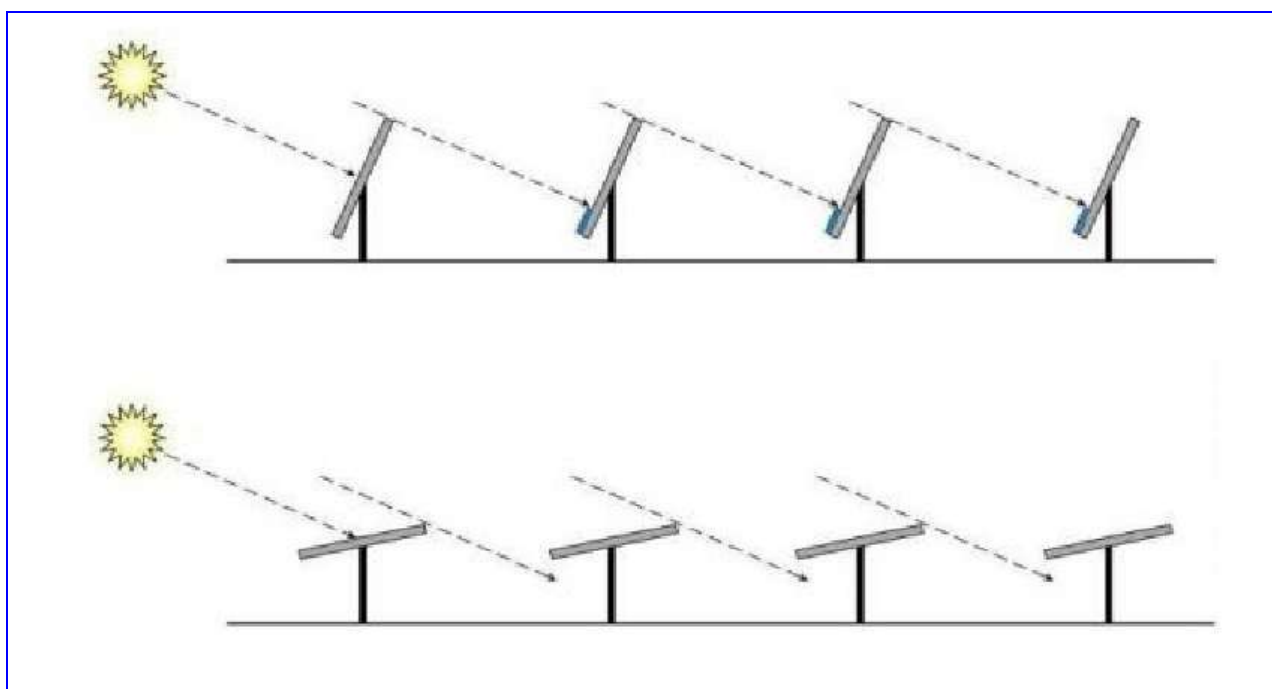


Fig. 30: Schema installazione batterie di pannelli fotovoltaici.



Per quanto concerne la realizzazione del tracciato del cavidotto interrato si è deciso di utilizzare la tecnica della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC) per l'attraversamento dei corsi d'acqua naturali e artificiali che è costituita essenzialmente da tre fasi (Fig. 31):

- **Perforazione pilota:** si realizza mediante una batteria di perforazione che viene manovrata attraverso la combinazione di rotazioni e spinte il cui effetto, sulla traiettoria seguita dall'utensile fondo-foro, è controllata attraverso il sistema di guida;
- **Alesatura:** una volta completato il foro pilota con l'uscita dal terreno dell'utensile fondo foro (exit point) viene montato, in testa alla batteria di aste di acciaio, l'utensile per l'allargamento del foro pilota (alesatore), avente un diametro maggiore a quello del foro pilota, e il tutto viene tirato a ritroso verso l'impianto di trivellazione (entry point). Durante il tragitto di rientro l'alesatore allarga il foro pilota.
- **Tiro della tubazione o del cavo del foro:** completata l'ultima fase di alesatura, in corrispondenza dell'exit point la tubazione da installare viene assemblata fuori terra e collegata, con un'opportuna testa di tiro, alla batteria di aste di perforazione, con interposizione di un giunto girevole reggispinta (detto girevole o swivel). Raggiunto il punto di entrata la posa della tubazione si può considerare terminata.

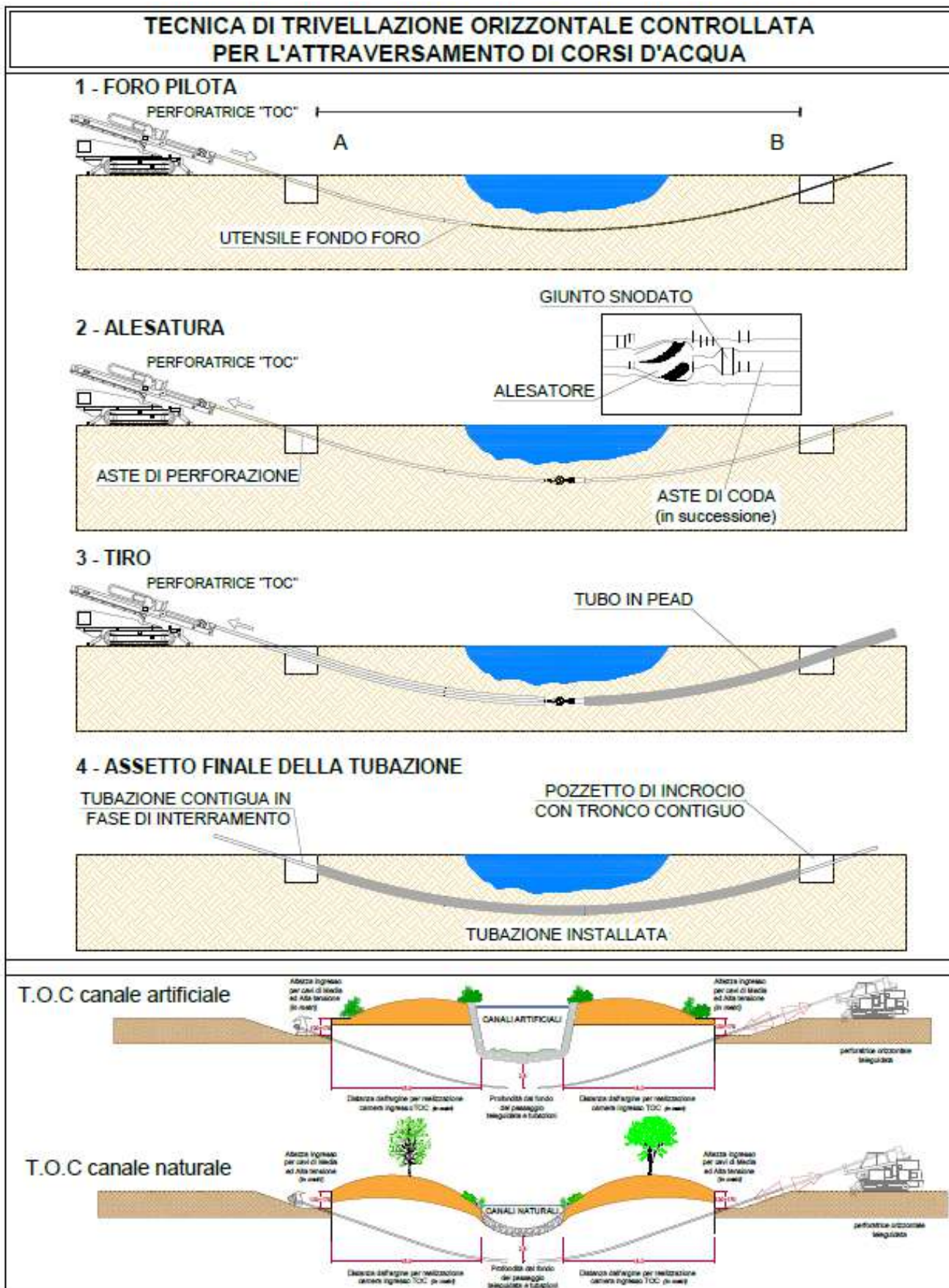


Fig. 31: Fasi principali relative alla tecnica di Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).

### **3.5 – Valutazione effetto intervento in progetto**

Come in precedenza accennato, per verificare la compatibilità idraulica degli impianti fotovoltaici in progetto con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona è necessario accertare che:

- I. gli interventi previsti siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in maniera tale che non subiscano danni in caso che la zona si allaghi;
- II. la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.

Con riferimento al punto I, alla luce dei risultati ottenuti nell'ambito delle verifiche idrauliche condotte in questa sede che prevedono uno scenario di allagamenti dovuto unicamente all'insufficienza del reticolo idrografico minore, risulta che:

- unicamente il lotto C viene interessato marginalmente dagli allagamenti con battenti inferiori a 0.3 m e velocità associate ridotte e inferiori a 1 m/s. Per tali aree la quota di imposta dell'asse di rotazione delle batterie di pannelli fotovoltaici deve essere osta almeno 0.5 m al di sopra del livello idrico massimo;
- i campi fotovoltaici A, B e D destinati non risultano interessati dagli allagamenti anche con tempi di ritorno di 200 anni e pertanto sono in condizioni di sicurezza idraulica;
- per la realizzazione dell'elettrodotta di collegamento tra gli impianti fotovoltaici in progetto e la Cabina Primaria "Camerelle", ove il tracciato si interseca con il reticolo idrografico occorre fare riferimento ai risultati delle verifiche idrauliche condotte sia in termini di aree allagabili che di livelli idrici e velocità, in particolare i pozzetti d'incrocio del cavo, che sarà realizzato con la tecnica TOC in corrispondenza degli attraversamenti, devono essere scavati all'esterno delle aree che risultano allagabili relativamente al tempo di ritorno 200 anni;
- gli alvei che vengono attraversati dal cavidotto con la tecnica TOC, a una profondità di posa di circa 2.5 m rispetto al twalveg, non risultano mobili e privi di alcun segno di erosione come evidenziato anche dalle immagini presenti nella documentazione fotografica (Allegato B), condizione confermata anche dalle ridotte velocità di deflusso che si instaurano in corrispondenza degli stessi attraversamenti, vedi tab.12.

NUMERO ATTRAVERSAMENTO	LIVELLO IDRICO MASSIMO (mslm)	VELOCITA' MASSIME (m/s)
1	331.25	1.32
2	337.01	0.57
3	-	-
4	338.16	0.31
5	295.90	0.56
6	270.70	1.05
7	274.00	1.80
8	223.49	0.24
9	243.86	1.08
10	-	-
11	253.90	0.79
12	254.70	0.87
13	259.30	0.85

Tab. 12: Livelli idrici massimi (mslm) e velocità massime instaurate in corrispondenza degli attraversamenti

A titolo di esempio si riporta in Fig.32 la fascia da rispettare nella perforazione mediante tecnica TOC relativamente all'attraversamento n° 09.

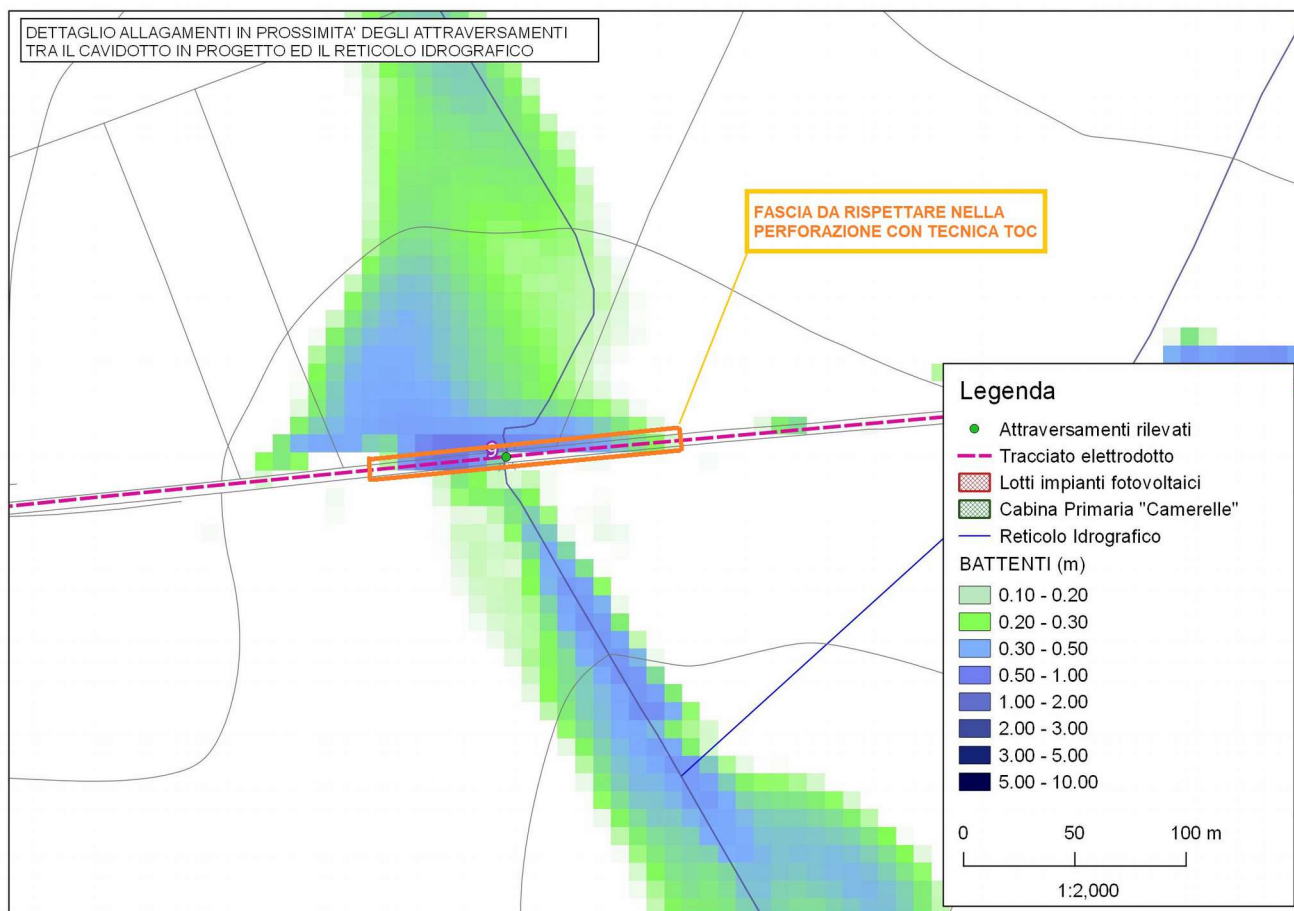


Fig. 32: Area allagabili da considerare nella realizzazione del cavidotto - attraversamento n° 09

Relativamente alla superficie che sarà interessata dall'installazione di batterie di pannelli e di una serie di cabine di trasformazione oltre che dei cavi per il trasporto della corrente, saranno lasciate libere le viabilità interne necessarie per l'installazione e la manutenzione dell'impianto. La

tipologia delle batterie di pannelli fotovoltaici previste, caratterizzati da una certa distanza tra le varie batterie, permette di affermare che l'installazione dei pannelli non costituisca consumo di suolo in quanto non viene sottratta allo stesso superficie permeabile. In questo caso infatti l'acqua piovana intercettata dai pannelli non tende a concentrarsi sui pannelli stessi, come farebbe invece sulla falda di un tetto di un edificio di grandi o medie dimensioni, ma ricade subito sul suolo posto al di sotto dei pannelli stessi. Le caratteristiche del suolo al di sotto dei pannelli non vengono in alcun modo alterate per cui permane la permeabilità originaria della zona.

Con riferimento al punto II considerato che:

- il cavidotto viene realizzato interamente interrato e pertanto non interferisce con il libero deflusso delle acque;
- nel lotto C in corrispondenza delle aree allagate sia le batterie di pannelli che le cabine di trasformazione verranno rialzate e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- i campi fotovoltaici A, B e D campi fotovoltaici vengono realizzati al di fuori delle aree allagabili e pertanto non interferiscono con il libero deflusso delle acque.

si può affermare che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto comprensivo dei relativi cavidotti non altera le condizioni di rischio idraulico della zona.

## 4 – Conclusioni e raccomandazioni

Il presente studio ha lo scopo di analizzare il rischio idraulico in una zona situata a sud-est del centro abitato di Ascoli Satriano (FG) e a est rispetto al Comune di Candela (FG) e ricadente negli stessi comuni dove il committente, la Solar Italy XVII S.r.l. , ha predisposto il progetto per un intervento denominato “Campo Agrosolare Camerelle” consistente nella realizzazione di un impianto fotovoltaico della potenza di circa 67 MWp. I lotti in cui si vogliono realizzare gli impianti ricadono nelle immediate vicinanze di alcuni corsi d'acqua, così come riportato sulla Cartografia IGM in scala 1:25.000 (vedi fig.2), e sulla Carta Idrogeomorfologica predisposta dall'Autorità di Bacino della Puglia (vedi Fig. 5).

Per quanto riguarda le aree a diversa pericolosità idraulica, dal Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia, la zona oggetto d'intervento non risulta classificata come area a pericolosità idraulica come evidenziato nella planimetria riportata in Fig.1. L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale ha peraltro rilasciato parere di competenza rispetto al PAI, nota protocollo n° 2133 del 31-01-2020, in cui ha specificato che *“la stessa compatibilità potrà essere assentita solo a seguito della redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica con TR=200 anni (...omiss..) teso a dare riscontro agli aspetti di sicurezza idraulica delle opere di progetto, rispetto alla presenza del reticolo idrografico”*.

Considerata pertanto la vicinanza delle aree di intervento ai corsi d'acqua riportati nell'IGM e nella Carta Idrogeomorfologica si fa riferimento a quanto prescritto dall' art. 6 *“Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali”* delle NTA del PAI della Regione Puglia. In particolare, il comma 1 dell'Art. 6, definisce che: *“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.”*, al comma 7 definisce che *“ Per tutti gli interventi 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.”*

Al fine di valutare la compatibilità idraulica a corredo degli interventi per la realizzazione di un impianto fotovoltaico, senza che si verifichi un aumento delle condizioni di rischio idraulico nel territorio circostante, in accordo con la normativa vigente, è stato redatto il presente studio secondo le procedure previste nel Piano di Bacino, Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Puglia.

Lo scrivente nell'ambito della redazione dello studio di compatibilità idraulica sopra citato ha predisposto quindi un'analisi del rischio idraulico basato a monte su uno studio idrologico attraverso una modellazione afflussi – deflussi per la determinazione della pioggia netta e degli idrogrammi utilizzati successivamente come input nella modellazione idraulica bidimensionale per la

propagazione dei deflussi con tempo di ritorno di 200 anni all'interno del dominio di calcolo, allo scopo di accertare che:

- I. gli interventi previsti siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in maniera tale che non subiscano danni in caso che la zona si allaghi;
- II. la realizzazione degli interventi previsti non provochi comunque un aumento del rischio idraulico per i territori adiacenti.

Con riferimento al punto I, alla luce dei risultati ottenuti nell'ambito delle verifiche idrauliche condotte in questa sede che prevedono uno scenario di allagamenti dovuto unicamente all'insufficienza del reticolo idrografico minore, risulta che:

- le aree destinate alla realizzazione dei campi fotovoltaici non risultano interessate dagli allagamenti anche con tempi di ritorno di 200 anni e pertanto sono in sicurezza idraulica;
- per la realizzazione dell'elettrodotta di collegamento tra gli impianti fotovoltaici in progetto e la Cabina Primaria "Camerelle", ove il tracciato si interseca con il reticolo idrografico occorre fare riferimento ai risultati delle verifiche idrauliche condotte sia in termini di aree allagabili che di livelli idrici e velocità, in particolare i pozzetti d'incrocio del cavo, che sarà realizzato con la tecnica TOC in corrispondenza degli attraversamenti, devono essere scavati all'esterno delle aree che risultano allagabili relativamente al tempo di ritorno 200 anni;
- gli alvei che vengono attraversati dal cavidotto con la tecnica TOC, a una profondità di posa di circa 2.5 m rispetto al twalveg, non risultano mobili e privi di alcun segno di erosione, condizione confermata anche dalle ridotte velocità di deflusso che si instaurano in corrispondenza degli stessi attraversamenti.

Con riferimento al punto II considerato che:

- il cavidotto viene realizzato interamente interrato e pertanto non interferisce con il libero deflusso delle acque;
- nel lotto C in corrispondenza delle aree allagate sia le batterie di pannelli che le cabine di trasformazione verranno rialzate e poste a quota tale da non interferire con il libero deflusso delle acque;
- i campi fotovoltaici A, B e D vengono realizzati al di fuori delle aree allagabili e pertanto non interferiscono con il libero deflusso delle acque.

Si può pertanto concludere che la realizzazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto è compatibile con le condizioni di rischio idraulico presenti nella zona a condizione che nella fase realizzativa vengano rispettate integralmente le indicazioni progettuali sopra riportate.

**Marzo 2020**

**Ing. Dario Tricoli**





## ALLEGATI

ALLEGATO A – Modellazione idraulica bidimensionale – Dettagli delle  
carte dei battenti sui punti di intersezione tra il tracciato  
dell'elettrodotto in progetto ed il reticolo idrografico

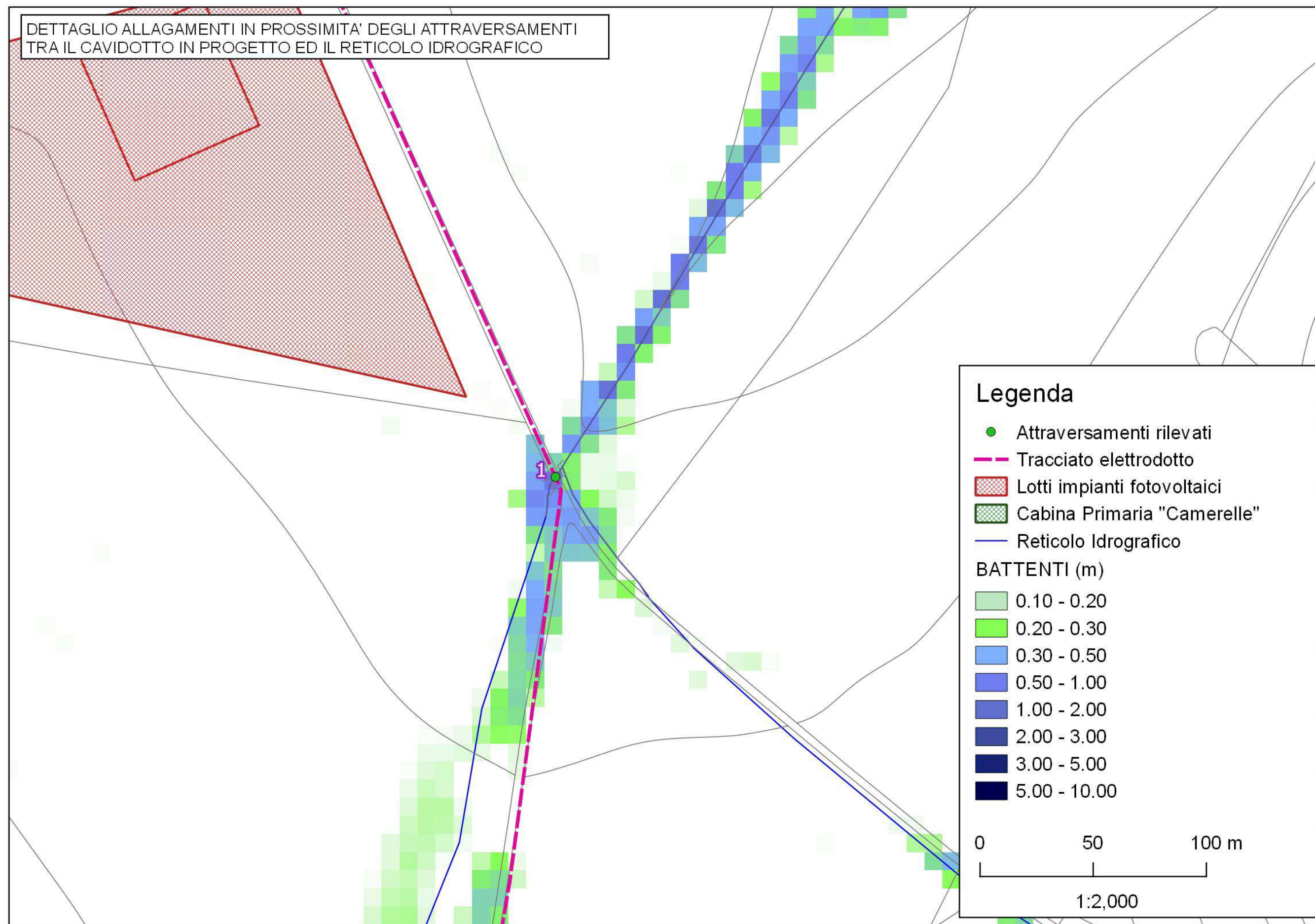


Fig.A 1: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 01

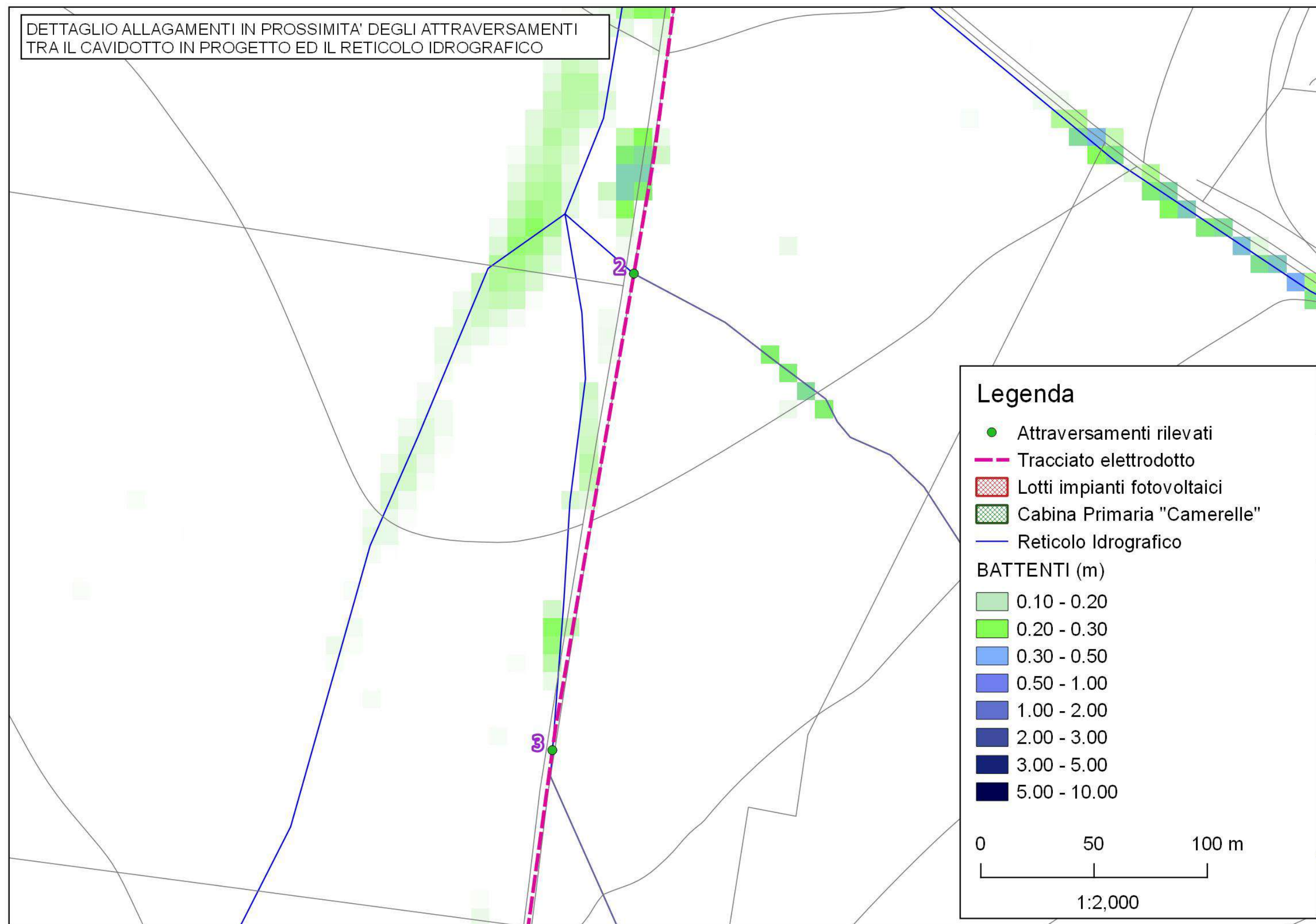


Fig.A 2: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 02 e 03

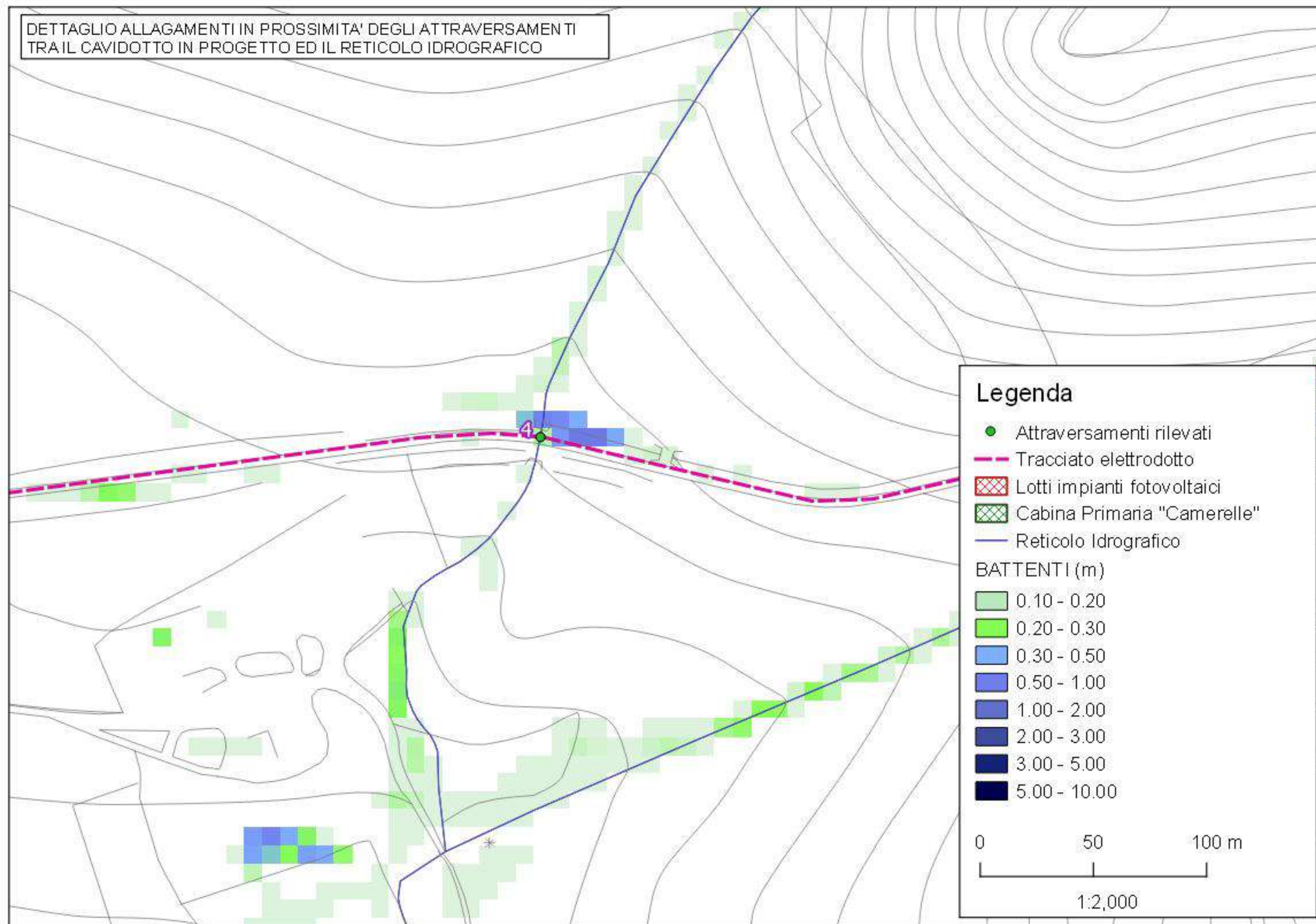


Fig.A 3: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 04

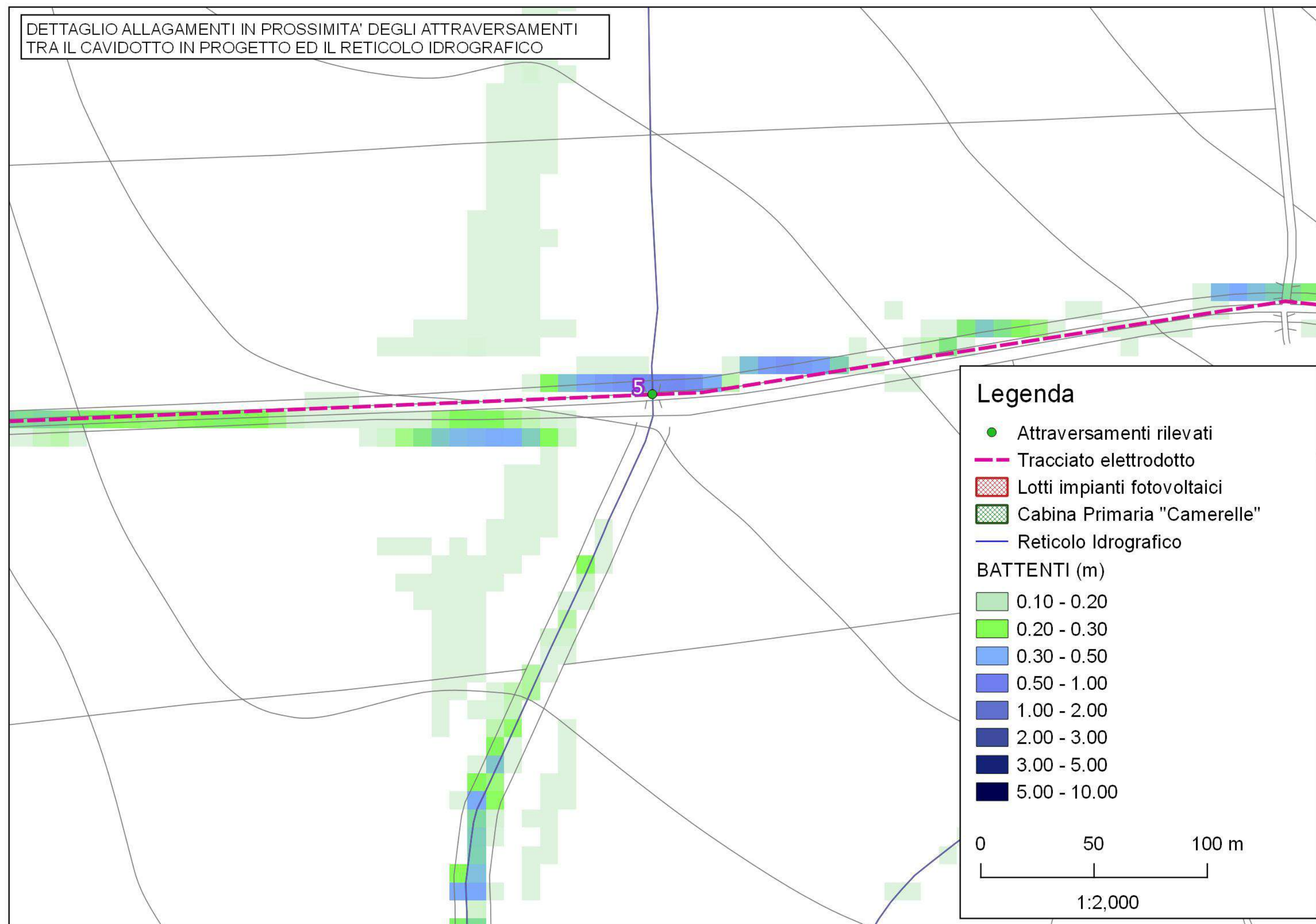


Fig.A 4: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 05

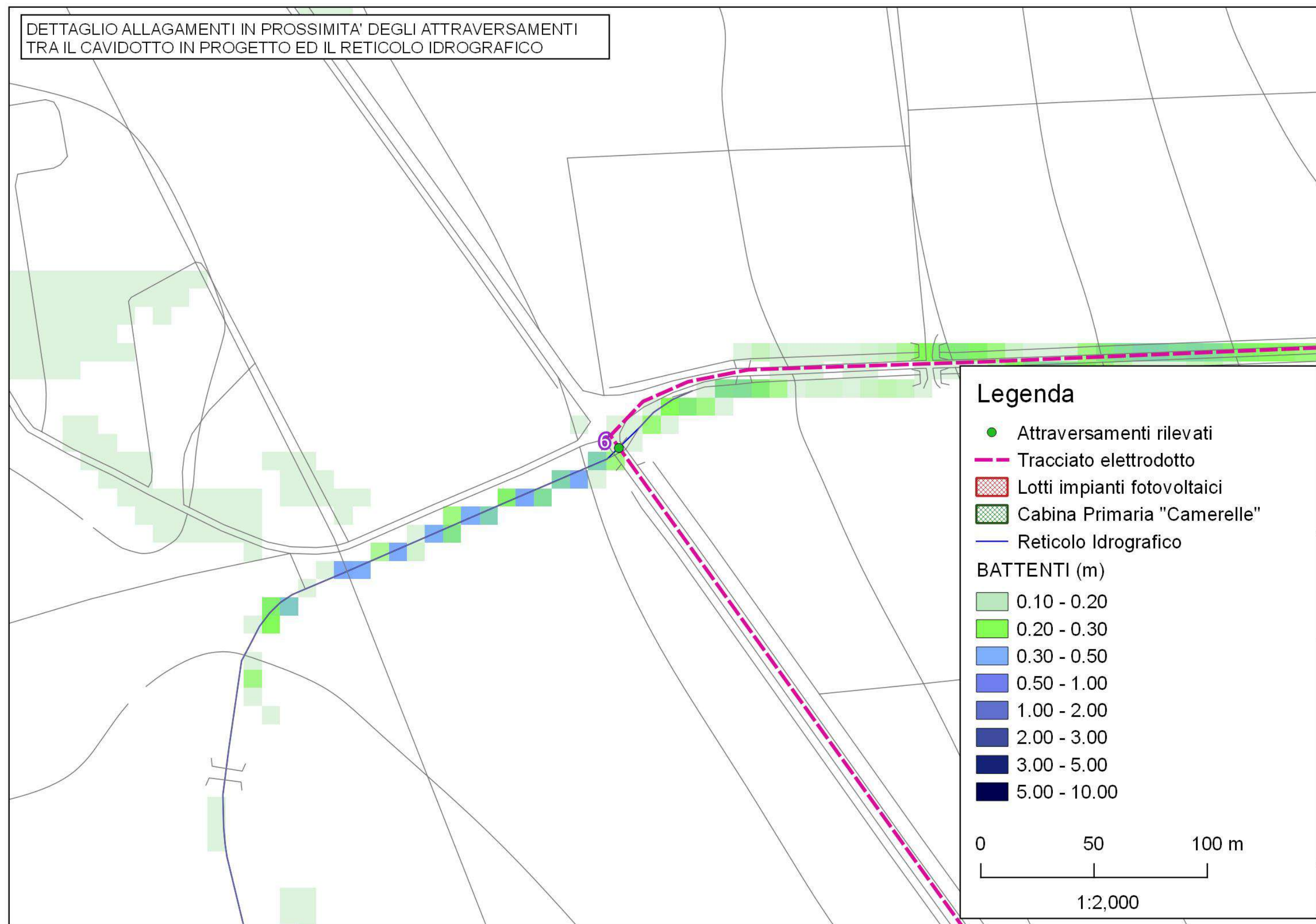


Fig.A 5: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 06

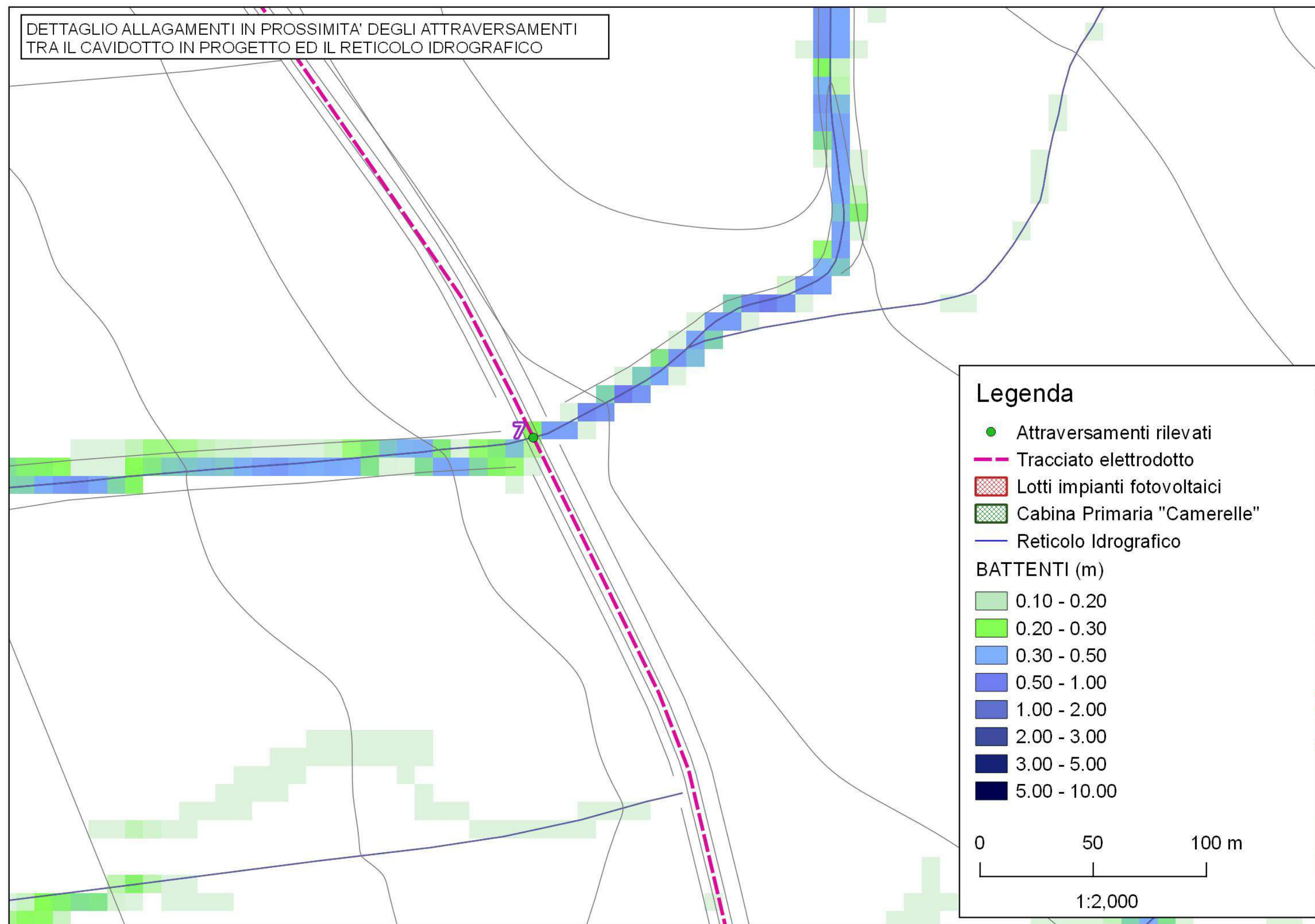


Fig.A 6: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 07



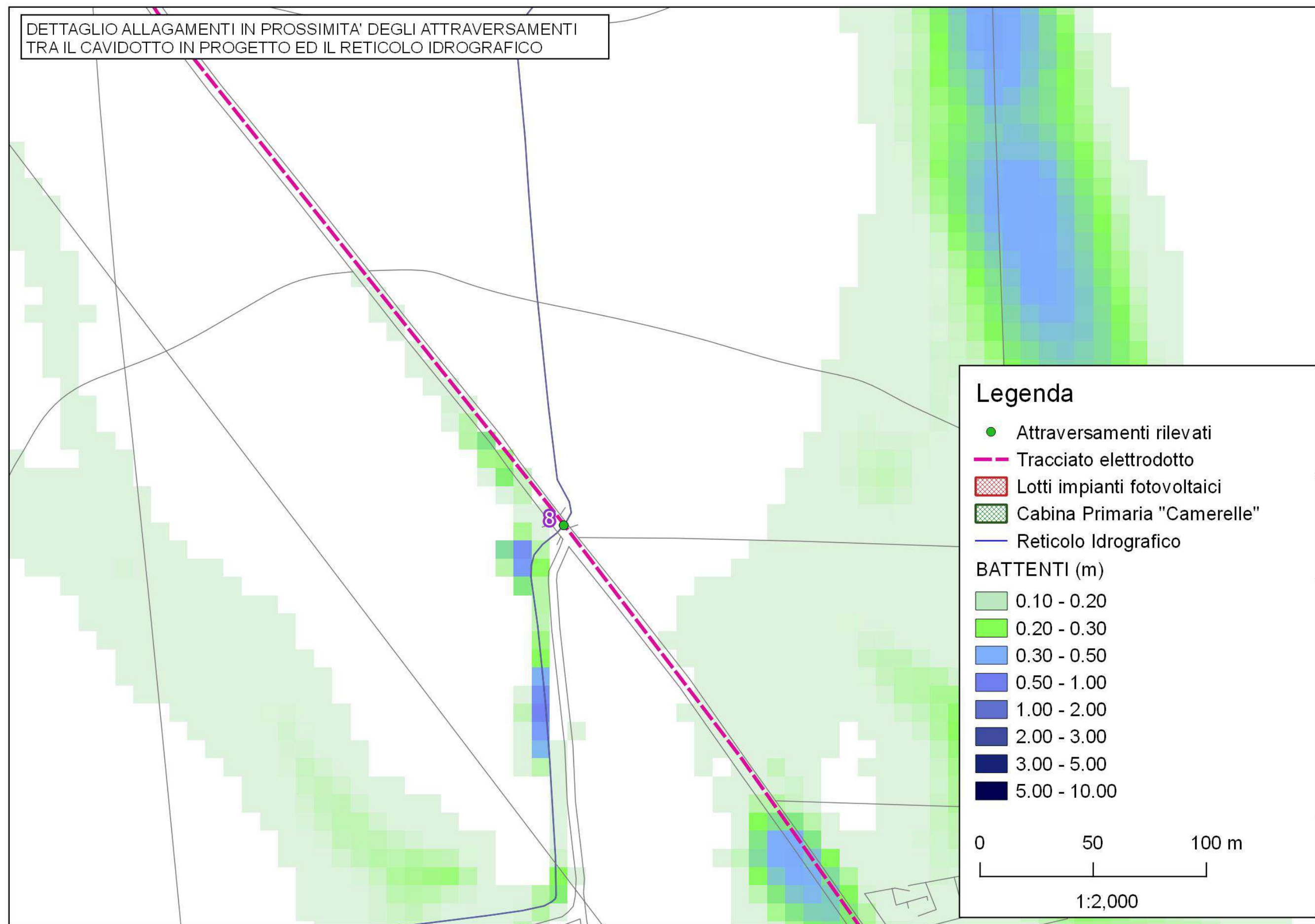


Fig.A 7: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 08

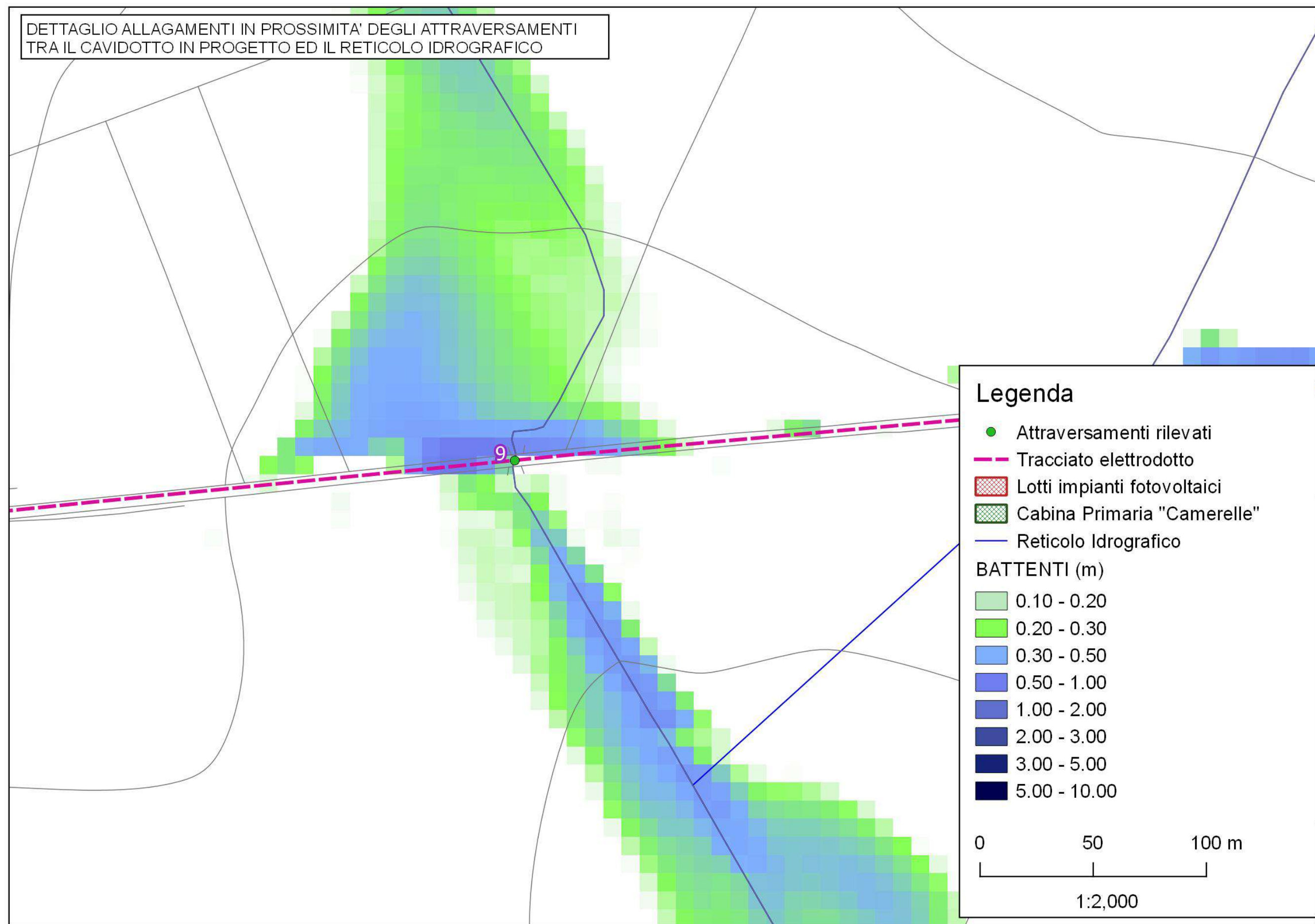


Fig.A 8: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 09

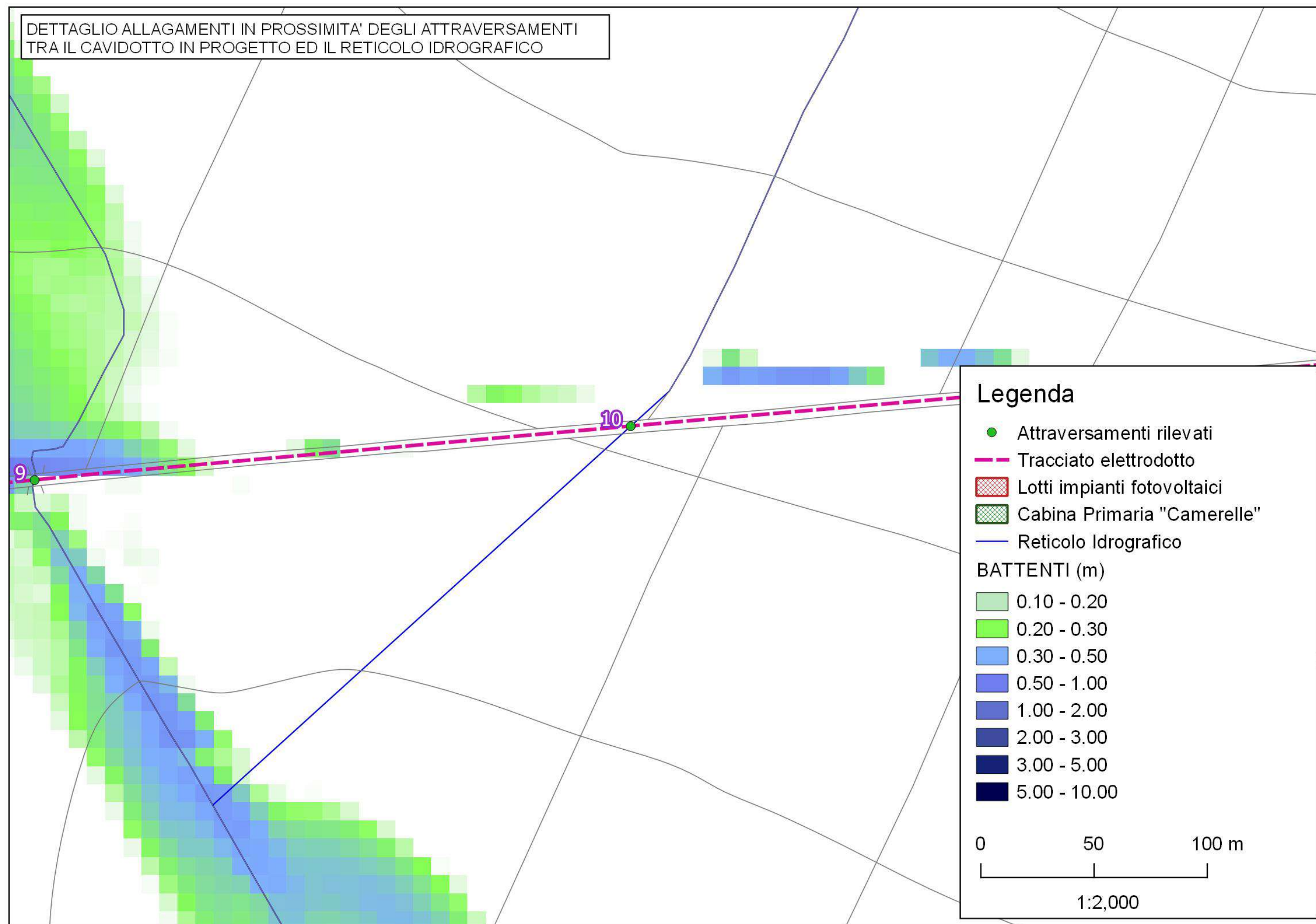


Fig.A 9: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 10

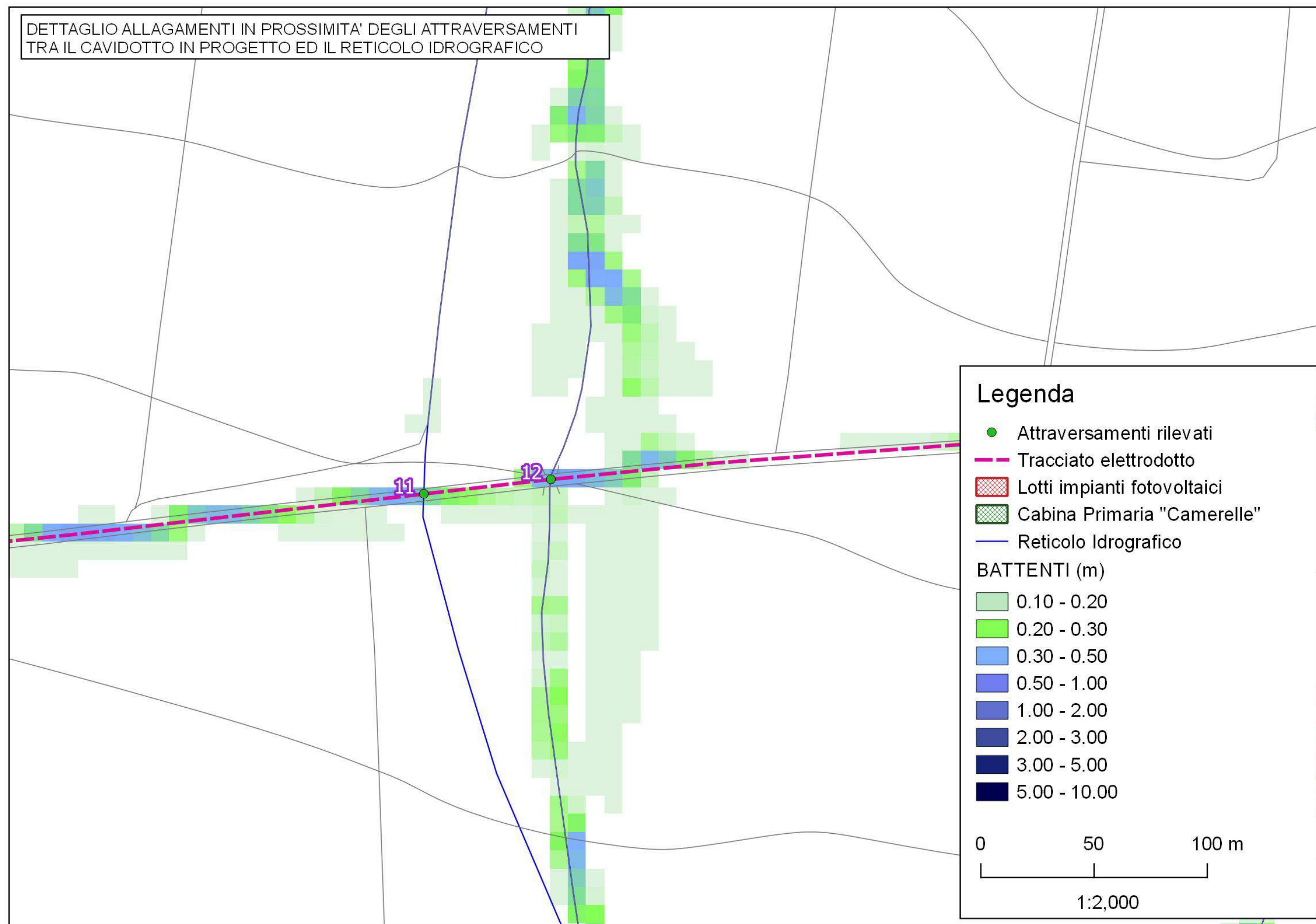


Fig.A 10: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 11 e 12

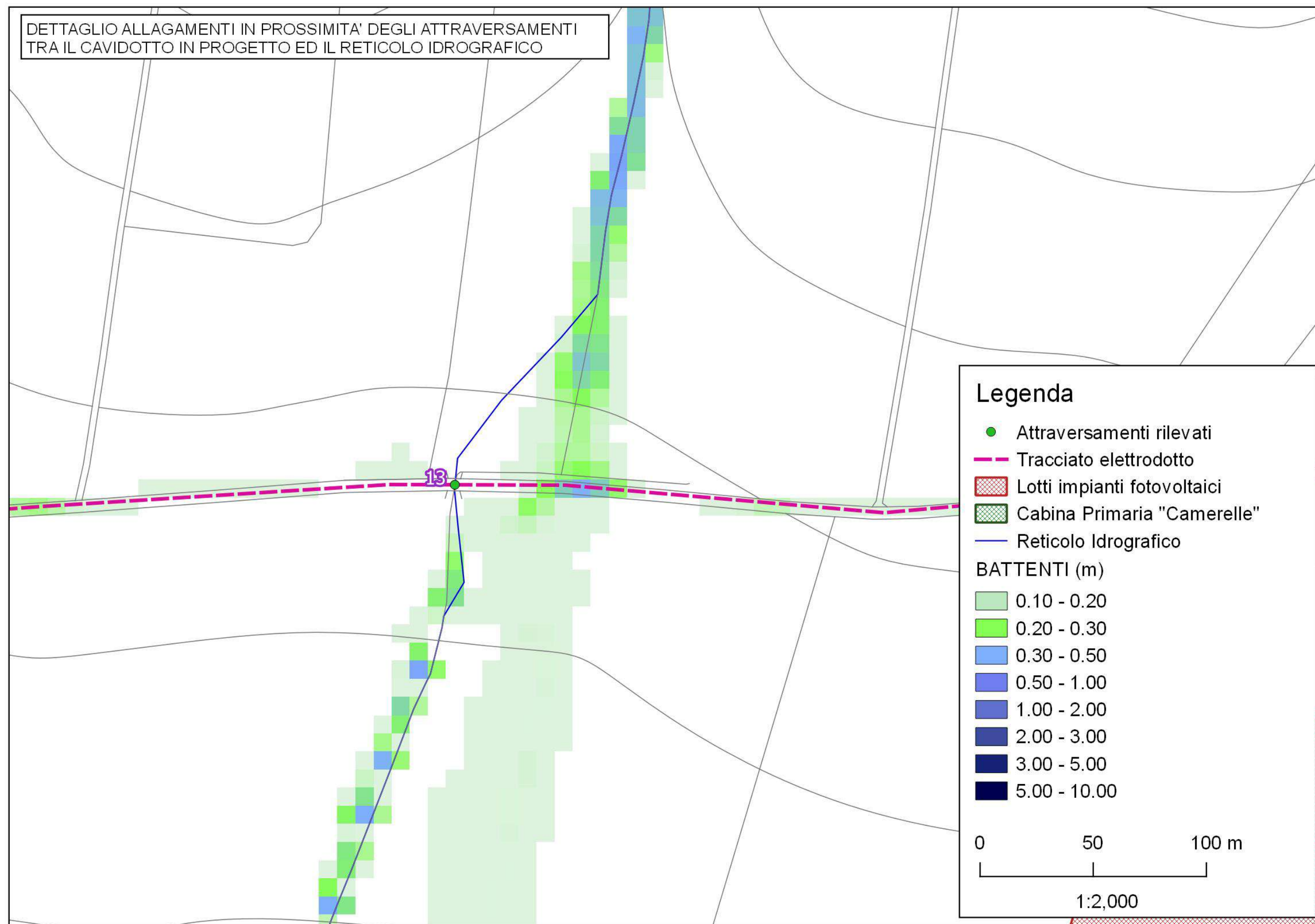


Fig.A 11: Modellazione idraulica bidimensionale per TR 200 anni – Dettaglio carta dei battenti in corrispondenza dell'attraversamento 13

## ALLEGATO B – Documentazione fotografica



Fig.B 1: Foto attraversamento 01



Fig.B 2: Foto attraversamento 04

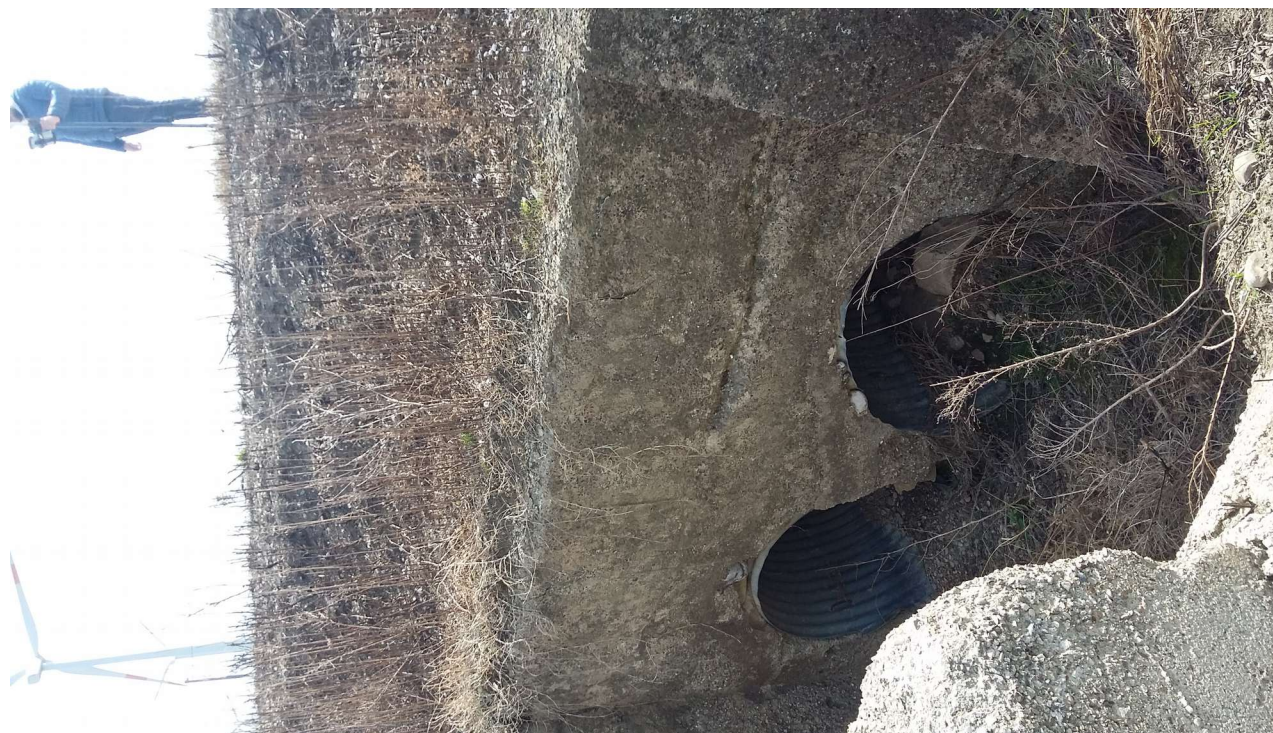


Fig.B 3: Foto attraversamento 05



Fig.B 4: Foto attraversamento 06





Fig.B 5: Foto attraversamento 07



Fig.B 6: Foto attraversamento 08



Fig.B 7: Foto attraversamento 09



Fig.B 8: Foto attraversamento 12



Fig.B 9: Foto attraversamento 13