

REGIONE PUGLIA
PROVINCIA DI FOGGIA
COMUNE DI ASCOLI SATRIANO
LOCALITÀ SAN MERCURIO

Oggetto:

PROGETTO DEFINITIVO PER LA COSTRUZIONE E L'ESERCIZIO DI UN IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO AVENTE POTENZA PARI A 33,16 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE

Sezione:

SEZIONE A - RELAZIONI GENERALI

Elaborato:

RELAZIONE IDRAULICA

Nome file sorgente:

SEZIONE A/FV.ASC01.PD.A.06.1.docx

Numero elaborato:

FV.ASC01.PD.A.06.1

Scala:

Formato di stampa:

Nome file stampa:

FV.ASC01.PD.A.06.1.pdf

Tipologia:

R

A4

Proponente:

E-WAY FINANCE S.p.A.

Via Po, 23
00198 ROMA (RM)
P.IVA. 15773121007



Progettista:

E-WAY FINANCE S.p.A.

Via Po, 23
00198 ROMA (RM)
P.IVA. 15773121007



CODICE	REV. n.	DATA REV.	REDAZIONE	VERIFICA	VALIDAZIONE
FV.ASC01.PD.A.06.1	00	12/2021	D. Genco	A.Bottone/G.Conio	

INDICE

1	PREMESSA.....	10
2	INTRODUZIONE	11
3	METODO DI ANALISI.....	12
4	LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	14
4.1	Inquadramento delle opere nei territori di competenza dell'A.d.B.....	14
4.2	Sintesi delle Norme Tecniche di Attuazione dell'A.d.B.	14
4.3	Compatibilità degli interventi rispetto al PAI	15
5	LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	17
5.1	Interferenze tra le opere di progetto e il reticolo idrografico.....	17
5.1.1	Aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico.....	17
5.1.2	Viabilità a servizio del campo fotovoltaico	18
5.1.3	Linea elettrica MT per il collegamento del campo fotovoltaico alla stazione di trasformazione	18
6	ANALISI MORFOLOGICA E MORFOMETRICA DEI BACINI IDROGRAFICI.....	22
6.1	Inquadramento geomorfologico	22
6.2	Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici	23
7	ANALISI IDROLOGICA.....	28
7.1	Generalità del progetto VAPI per la regione Puglia	28
7.2	Analisi idrologica del progetto VAPI per la regione Puglia	28
7.2.1	Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica in Puglia	29
7.2.2	Stima delle portate al colmo di piena per la regione Puglia	31
7.3	Calcolo delle precipitazioni e delle portate di progetto	33
8	MODELLAZIONE IDROLOGICA	36
8.1	Metodologia utilizzata.....	36
8.2	Modello idrologico	36

8.2.1	Modello geometrico	36
8.2.2	Modellazione della forzante pluviometrica	39
8.2.2.1	Metodo Curve Number (CN) e stima del coefficiente di deflusso ϕ ante-operam	40
8.2.2.2	Valutazione post-operam.....	46
8.2.2.3	Considerazioni e conclusioni	48
9	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI	50
9.1	Metodologia impiegata per l'analisi di compatibilità	50
9.2	Descrizione delle interferenze e verifiche idrauliche	51
9.2.1	Interferenza C.01	51
9.2.2	Interferenze C.02 e INT.01	53
9.2.3	Interferenze C.03 e INT.02	56
9.2.4	Interferenza INT.03	58
9.2.5	Interferenza INT.04	60
9.2.6	Interferenze INT.05, INT.06 e INT.07	62
9.2.7	Interferenza INT.08	65
9.3	Calcolo dell'erosione	66
10	REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE	69
11	CONCLUSIONI.....	70



RELAZIONE IDRAULICA

CODICE FV.ASC01.PD.A.06.1

REVISIONE n. 00

DATA REVISIONE 12/2021

PAGINA 4 di 71

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze delle opere di progetto.</i>	11
<i>Figura 2: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze delle opere di progetto.....</i>	16
<i>Figura 3: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e interferenze C.01, C.02, C.0, INT.01 e INT.02 delle opere di progetto.....</i>	18
<i>Figura 4: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.03, INT.04, INT.05, INT.06, INT.07 e INT.08 delle opere di progetto</i>	20
<i>Figura 5: Stralcio Carta Geologica 1:100000 Foglio 175 Cerignola, con legenda della stratigrafia dei depositi quaternari</i>	23
<i>Figura 6: Opere di progetto in relazione al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto in relazione al modello digitale del terreno.....</i>	24
<i>Figura 7: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto su modello digitale del terreno .</i>	26
<i>Figura 8: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto sulla mappa dell'uso del suolo secondo progetto Corine Land Cover al II livello.....</i>	27
<i>Figura 9: Zone omogenee rispetto al valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere, progetto VAPI</i>	31
<i>Figura 10: Curve di possibilità pluviometrica relative al valore del tempo di ritorno pari a 200 anni e ai sotto-bacini in cui ricadono le opere di progetto</i>	34
<i>Figura 11: Modello geometrico dei domini relativi ai sotto-bacini SB01 e SB02 ai fini della modellazione idraulica in HEC-RAS.....</i>	37
<i>Figura 12: Rapporto tra Precipitazione totale e precipitazione cumulata al variare del parametro CN</i>	41
<i>Figura 13: Mappa Litologica dei sotto-bacini SB01 e SB02.....</i>	42
<i>Figura 14: Schema della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).....</i>	51
<i>Figura 15: Area A in relazione al modello digitale del terreno e al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia (a) e ad immagine da Google Satellite (b).....</i>	52
<i>Figura 16: Interferenza C.01 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione post-operam su base Google Satellite</i>	53
<i>Figura 17: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze C.02, C.03, INT.01 e INT.02 delle opere di progetto</i>	54

<i>Figura 18: Interferenze C.02, C.03, INT.01 e INT.02 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione post-operam su base Google Satellite</i>	<i>55</i>
<i>Figura 19: INT.01 - Struttura di attraversamento del corso d'acqua</i>	<i>56</i>
<i>Figura 20: C.03 – Vista verso monte (a) e verso valle (b) da sezione generica del corso d’acqua inerente all’intersezione C.03 all’interno del lotto B</i>	<i>57</i>
<i>Figura 21: INT.02 – Tubazione di convogliamento delle acque ricoperto in terra</i>	<i>58</i>
<i>Figura 22: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell’A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.03 delle opere di progetto (a), vista dell’asta del reticolo idrografico dall’intersezione INT.03 verso valle (b)</i>	<i>59</i>
<i>Figura 23: Interferenza INT.03 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione ante-operam su base Google Satellite</i>	<i>60</i>
<i>Figura 24: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell’A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07 delle opere di progetto</i>	<i>60</i>
<i>Figura 25: INT.04 – Attraversamento in cemento dell’asta del reticolo idrografico.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 26: Interferenze INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione ante-operam su base Google Satellite.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 27: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell’A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.05, INT.06 e INT.07 delle opere di progetto</i>	<i>63</i>
<i>Figura 28: Attraversamento tipo in riferimento alle intersezioni INT.05, INT.06 e INT.07.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 29: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell’A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenza INT.08 delle opere di progetto (a), interferenza INT.08 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione ante-operam su base Google Satellite.....</i>	<i>66</i>



RELAZIONE IDRAULICA

CODICE FV.ASC01.PD.A.06.1

REVISIONE n. 00

DATA REVISIONE 12/2021

PAGINA 7 di 71

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1: Coordinate delle aree A e B adibite all'istallazione del campo fotovoltaico in coordinate WGS 84 UTM Fuso 33</i>	17
<i>Tabella 2: Interferenze tra le aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico e il reticolo idrografico esistente.....</i>	17
<i>Tabella 3: Interferenze tra il tracciato del cavidotto di progetto e il reticolo idrografico esistente</i>	19
<i>Tabella 4: Caratteristiche morfologiche dei sub-bacini idrografici del caso studio</i>	25
<i>Tabella 5: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Puglia.....</i>	29
<i>Tabella 6: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita per le piogge in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno</i>	30
<i>Tabella 7: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Puglia.....</i>	32
<i>Tabella 8: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita per le portate in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno</i>	32
<i>Tabella 9: Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per l'area pluviometrica omogenea 3 in riferimento ai sotto-bacini del caso studio</i>	33
<i>Tabella 10: Altezze medie di precipitazione e portate al colmo di piena per i sotto-bacini SB01 e SB02</i>	35
<i>Tabella 11: Categorie di aree di dominio e relativi valori assegnati del coefficiente di Manning</i>	38
<i>Tabella 12: Classificazione del tipo idrologico del suolo in base alla litologia del territorio secondo N.R.C.S.</i>	41
<i>Tabella 13: Classificazione del tipo idrologico di suolo in base alla classe litologica dei sotto-bacini del caso studio</i>	42
<i>Tabella 14: Tipo di copertura ed uso del suolo</i>	43
<i>Tabella 15: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento al sotto-bacino SB01.....</i>	43
<i>Tabella 16: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento al sotto-bacino SB02.....</i>	45
<i>Tabella 17: Classe AMC in riferimento all'altezza di pioggia cumulata nei cinque giorni precedenti all'evento</i>	45
<i>Tabella 18: Parametri del metodo CN e dei coefficienti di deflusso.....</i>	46
<i>Tabella 19: caratteristiche degli input di precipitazione della modellazione idraulica ANTE-OPERAM.....</i>	46
<i>Tabella 20: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento alle aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico</i>	47
<i>Tabella 21: Parametri per la valutazione del coefficiente di deflusso delle aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico post-operam</i>	48
<i>Tabella 22: caratteristiche degli input di precipitazione della modellazione idraulica POST-OPERAM</i>	49
<i>Tabella 23: Parametri per il calcolo dell'erosione in riferimento alle risoluzioni delle intersezioni INT.01, INT.02, INT.03, INT.05, INT.06 e INT.07</i>	68
<i>Tabella 24: Valori delle aree impermeabilizzate rispetto alla superficie totale.....</i>	69



RELAZIONE IDRAULICA

CODICE FV.ASC01.PD.A.06.1

REVISIONE n. 00

DATA REVISIONE 12/2021

PAGINA 9 di 71

1 PREMESSA

Il presente elaborato è riferito al progetto per la costruzione e l'esercizio di un impianto agro-fotovoltaico di produzione di energia elettrica da fonte solare, denominato "San Mercurio", sito in agro di Ascoli Satriano (FG).

In particolare, l'impianto in progetto ha una potenza nominale pari a 33,16 MW ed è costituito dalle seguenti sezioni principali:

1. Un campo agro-fotovoltaico suddiviso in 6 sottocampi, costituiti da moduli fotovoltaici aventi potenza nominale pari a 600 Wp cadauno ed installati su strutture ad inseguimento monoassiale (tracker);
2. Una stazione di conversione e trasformazione dell'energia elettrica detta "Power Station" per ogni sottocampo dell'impianto;
3. Una Cabina di Raccolta e Misura in Media Tensione a 30 kV;
4. Tre linee elettriche in MT a 30 kV in cavo interrato necessarie per l'interconnessione delle Power Station alla Cabina di Raccolta e Misura;
5. Una Stazione Elettrica (SE) di trasformazione 150/30 kV Utente;
6. Una linea elettrica in MT a 30 kV in cavo interrato necessaria per l'interconnessione della Cabina di Raccolta e Misura e della SE Utente, di cui al punto precedente;
7. Una sezione di impianto elettrico comune con altri tre operatori, necessaria per la condivisione dello Stallo AT a 150 kV, assegnato dal Gestore della Rete di Trasmissione Nazionale (RTN) all'interno del futuro ampliamento della SE "Camerelle" della RTN, ubicata nel comune di Ascoli Satriano (FG). Tale sezione è localizzata in una zona adiacente alla SE Utente e contiene tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT necessarie per la condivisione della connessione;
8. Tutte le apparecchiature elettromeccaniche in AT di competenza dell'Utente da installare all'interno del futuro ampliamento della SE "Camerelle" della RTN, in corrispondenza dello stallo assegnato;
9. Una linea elettrica in AT a 150 kV in cavo interrato di interconnessione tra la sezione di impianto comune ed il futuro ampliamento della SE "Camerelle" della RTN.

Titolare dell'iniziativa proposta è la società E-Way Finance S.p.A., avente sede legale in Via Po, 23 - 00198 Roma (RM), P.IVA 15773121007.

2 INTRODUZIONE

Il presente elaborato ha come scopo l'analisi della compatibilità idrologica ed idraulica delle opere di progetto con particolare riferimento alle aree interessate dall'installazione del campo fotovoltaico e al tracciato della linea elettrica MT di connessione alla stazione SE utente. Sono analizzate le possibili interferenze tra le opere di progetto e le condizioni idrologiche dell'area di studio al fine di garantire la conformità delle condizioni di sicurezza idraulica redatte dal P.S.A.I. vigente.

Ai fini dello studio sono state individuate le interferenze tra soluzione progettuale d'impianto e il reticolo idrografico, utilizzando come fonte ufficiale la carta idrogeomorfologica 1:25000 della regione Puglia, redatta dall'Autorità di Bacino regione Puglia e Interregionale Ofanto, e la carta C.T.R. (Carta Tecnica Regionale) 1:25000 (Figura 1).

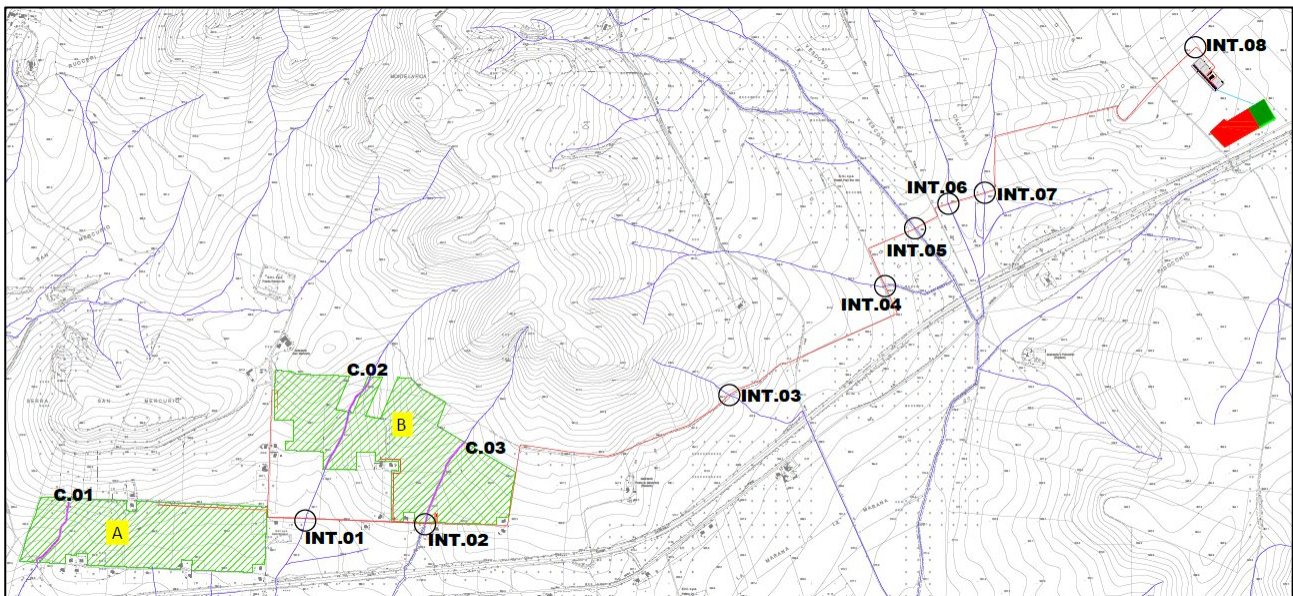


Figura 1: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze delle opere di progetto

I paragrafi successivi riportano la descrizione delle varie fasi dello studio:

- quadro normativo e conoscitivo dell'area,
- analisi morfologica dei bacini idrografici sottesi alle interferenze individuate;
- studio idrologico;
- compatibilità idraulica degli interventi.

Nel seguito sono illustrate nel dettaglio le opere che insistono sulle fasce di pertinenza fluviale del reticolo idrografico e le modalità del ripristino della relativa sicurezza idraulica. La Figura 1 (si rimanda all'elaborato

FV.ASC01.PD.A.06.1 – “Interferenze con reticolo idrografico da carta idrogeomorfologica”) riporta l’inquadramento delle opere su carta C.T.R. e in relazione al reticolo idrografico e relative interferenze.

3 METODO DI ANALISI

Gli approfondimenti sull’assetto idrologico-idraulico delle aree in esame saranno svolti in riferimento alle opere elencate nel paragrafo iniziale, ricadenti all’interno del territorio di competenza dell’A.d.B. (autorità di Bacino) della regione Puglia e Interregionale Ofanto.

Come si evince dalla Figura 1, l’area in esame è interessata da un diffuso reticolo idrografico; tuttavia, sia per quanto riguarda le zone destinate all’installazione dell’impianto che il tracciato del cavidotto MT, le aste fluviali di interesse sono classificate secondo carta idrogeomorfologica come generici “Corsi d’acqua ordinari”, tutti affluenti di un corso d’acqua a sua volta confluyente del fiume Ofanto sulla sinistra idraulica.

A differenza delle aree relative alla pericolosità idraulica, le fasce di pertinenza non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato al P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico) dell’A.d.B. della regione Puglia e Interregionale Ofanto. Pertanto, in seguito all’individuazione del reticolo idrografico attraverso la base cartografica dell’A.d.B. regione Puglia e C.T.R., sono state delimitate le fasce di pertinenza dei corsi d’acqua di interesse (si rimanda all’elaborato FV.ASC01.PD.A.06.2 – “Interferenze con fasce di pertinenza reticolo idrografico da cata idrogeomorfologica”) in base a quanto riportato all’art.10 comma 3 della N.T.A. (Norme Tecniche di Attuazione):

“Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all’area golenale, come individuata all’art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m”.

Le fasi previste per la redazione del seguente studio idrologico-idraulico sono le seguenti:

- Reperimento della cartografia di base (carta idrogeomorfologica 1:25000 dell’A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto, C.T.R. 1:25000 e “Carta delle pericolosità idraulica e geomorfologica” allegata al P.A.I.);
- Identificazione delle interferenze tra le opere di progetto e il reticolo idrografico esistente e successiva determinazione delle fasce di pertinenza fluviale;

- Individuazione e caratterizzazione dei bacini idrografici in riferimento ai punti ed alle aree in cui le opere di nuova realizzazione intersecano il reticolo idrografico o ricadono nelle relative fasce di pertinenza;
- Determinazione e caratterizzazione degli eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni mediante analisi pluviometrica e procedure di regionalizzazione secondo procedura del progetto VAPI (Valutazione delle Piene in Italia) in merito alla regione Puglia.

L'analisi delle interferenze non riguarderà i tratti di strada esistenti impiegati esclusivamente per il transito dei mezzi di trasporto dei componenti dell'impianto. Inoltre, sarà previsto il ripristino dello stato dei luoghi alle condizioni ex-ante a trasporti avvenuti, senza apportare modifiche alle opere idrauliche esistenti.

4 LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

4.1 Inquadramento delle opere nei territori di competenza dell'A.d.B.

Le opere progettuali in esame ricadono interamente all'interno dei confini del comune di Ascoli Satriano (FG): nello specifico le aree adibite all'installazione dell'impianto fotovoltaico sono situate nei pressi dei confini sud-occidentali, a circa 4000 metri dal centro abitato del comune di Candela (FG) tra il fiume Ofanto e il torrente Carapelle, mentre il cavidotto si estende in direzione dell'area centrale del comune di Ascoli Satriano. Il territorio analizzato è pertanto di competenza dell'A.d.B. Distrettuale dell'Appennino Meridionale (D. Lgs. 52/2006), nello specifico della U.o.M. (Unit of Management) Regione Puglia e Interregionale Ofanto (ex A.d.B. Interr. Puglia).

Nel presente studio sono affrontate le interferenze del reticolo idrografico con le opere di progetto ricadenti all'interno del territorio competente dell'A.d.B. competente.

4.2 Sintesi delle Norme Tecniche di Attuazione dell'A.d.B.

Le N.T.A. (11/2005) del Piano Assetto Idrogeologico dell'A.d.B. della regione Puglia e Interregionale Ofanto trattano il rischio idraulico agli articoli 2, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 26:

- *Art. 2:* Ambito di applicazione;
- *Art. 4:* Disposizioni generali;
- *Art. 6:* Aree fluviale in modellamento attivo ed aree golenali;
- *Art. 7:* Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.);
- *Art. 8:* Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica (M.P.);
- *Art. 9:* Interventi consentiti nelle aree a bassa pericolosità idraulica (B.P.);
- *Art. 10:* Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale;
- *Art. 16:* Finalità delle azioni;
- *Art. 17:* Obiettivi di sicurezza idraulica;
- *Art. 26:* Modalità di rilascio dei pareri di conformità dei nuovi interventi e delle nuove opere ai contenuti e alle prescrizioni del P.A.I.

Le aree a diverse pericolosità idraulica sono individuate all'interno della "Carta di pericolosità idraulica e geomorfologica" fornita dall'A.d.B. di competenza, l'individuazione delle fasce di

pertinenza fluviale del reticolo idrografico sono individuate seguendo i criteri riportati nell'art. 11 comma 3 delle N.T.A. del P.A.I., secondo cui:

“Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m”.

Come già detto precedentemente il presente elaborato considera il reticolo idrografico individuato nella carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto, ma essendo quest'ultima datata all'ottobre 2009 e quindi non adeguatamente aggiornata in merito all'evoluzione morfologica dei siti, sia naturale che antropica, le informazioni riguardanti i corsi d'acqua interessati dalle opere di progetto sono state integrate da sopralluoghi e rilievi in sito, al fine di definirne l'effettiva entità.

4.3 Compatibilità degli interventi rispetto al PAI

La progettazione delle opere è stata eseguita, ponendo le opere di progetto all'esterno di aree a pericolosità e/o rischio idraulica definite da vigente PAI. Il sito interessato dall'installazione del campo fotovoltaico e il tracciato del cavidotto ricadono all'esterno dalle fasce di pericolosità idraulica individuate dalla cartografia del P.A.I. (si rimanda all'elaborato FV.ASC01.PD.C.08 – “Inquadramento rispetto al P.A.I.”); tuttavia, alcuni corsi d'acqua attraversano in maniera differente le aree adibite all'installazione delle opere di progetto, mentre altri intersecano il tracciato del cavidotto MT in diversi punti, il quale ricade con l'ultimo tratto di interesse all'interno di una fascia di pertinenza (Figura 2).

Al fine di valutare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, il presente elaborato tiene conto delle indicazioni date dall'art. 36 delle N.T.A. secondo cui la sicurezza idraulica è:

“condizione associata alla pericolosità idraulica per fenomeni di insufficienza del reticolo di drenaggio e generalmente legata alla non inondabilità per eventi di assegnata frequenza. Agli effetti del P.A.I. si intendono in sicurezza idraulica le aree non inondate per eventi con tempo di ritorno fino a 200 anni”.

In particolare, sono stati individuati gli eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni secondo direttive del progetto VAPI per la regione Puglia e successivamente, attraverso modellazione in HEC-RAS, è stata condotta un'analisi bidimensionale in regime di moto vario per valutare le aree allagabili.

Le aree non soggette ad allagamento sono state considerate in sicurezza idraulica, per cui possono accogliere le opere consentite dagli strumenti di governo del territorio.

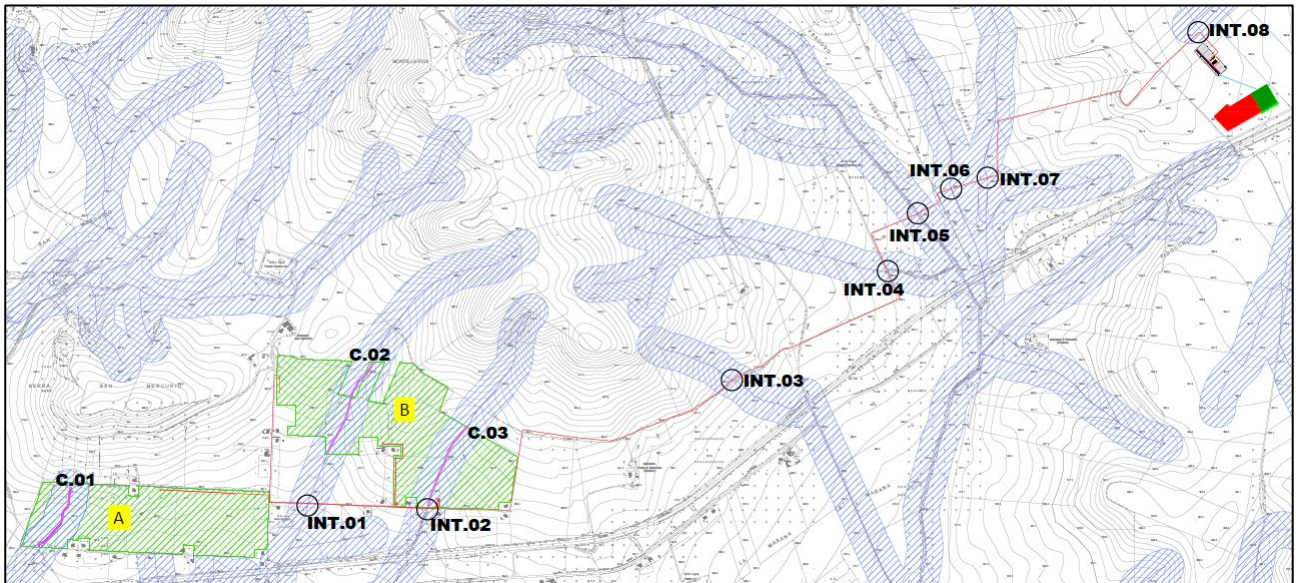


Figura 2: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze delle opere di progetto

5 LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO

5.1 Interferenze tra le opere di progetto e il reticolo idrografico

Sono state riscontrate alcune interferenze di porzioni delle opere di progetto con alcuni corsi d'acqua del reticolo idrografico e relative fasce di pertinenza fluviale, di cui all'art. 11 comma 3 delle N.T.A. del P.A.I. dell'autorità di bacino in esame. Le interferenze sono descritte nei paragrafi seguenti.

5.1.1 Aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico

Le aree di interesse su cui verranno installati il campo fotovoltaico e annesse opere interferiscono con alcuni corsi d'acqua del reticolo idrografico: nello specifico (Figura 3), l'area A è attraversata nella parte occidentale e per intero da un'asta del reticolo, mentre l'area B interferisce con quest'ultimo nella parte centrale e in quella orientale. Maggiori informazioni sulle interferenze citate sono esplicitate nelle tabelle seguenti.

Tabella 1: Coordinate delle aree A e B adibite all'istallazione del campo fotovoltaico in coordinate WGS 84 UTM Fuso 33

ID	UTM WGS 84		ELEVATION	Area
	E [m]	N [m]	[m s.l.m.]	[km ²]
A	546936	4556487	294	26.12
B	547974	4556850	337	34.13

Tabella 2: Interferenze tra le aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico e il reticolo idrografico esistente

Interferenza	Tipologia d'alveo	Denominazione	Opera interferente	Area di tutela interessata
C.01	Corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	lotto A	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
C.02	Corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	lotto B	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
C.03	Corso d' da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	lotto B	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto

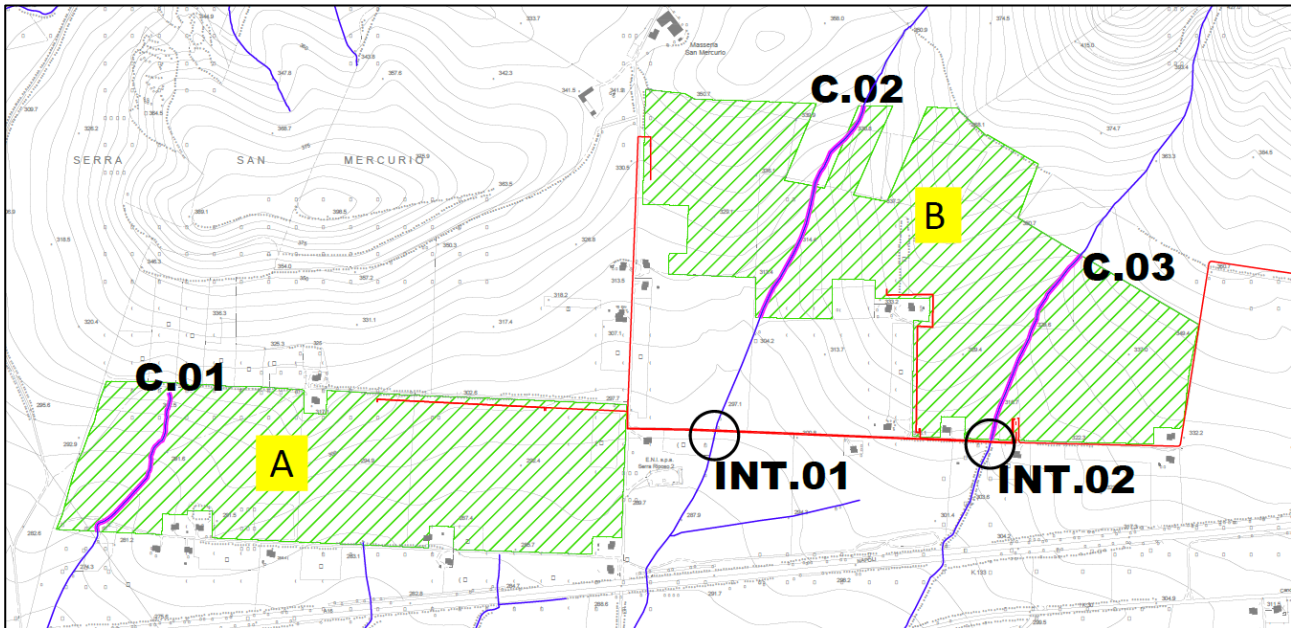


Figura 3: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e interferenze C.01, C.02, C.0, INT.01 e INT.02 delle opere di progetto

Le modalità di gestione delle suddette interferenze saranno approfondite nei paragrafi successivi.

5.1.2 Viabilità a servizio del campo fotovoltaico

Si prevede una viabilità a servizio del campo fotovoltaico principalmente basata su tratti di strada esistenti e/o da adeguare, gli unici tratti di nuova realizzazione riguardano la viabilità interna del sito, non interferente con il reticolo idrografico presente sul territorio. Si suppone che la viabilità esistente sia già stata sottoposta ad indagini riguardanti la sicurezza idraulica, essendo stata riscontrata la presenza di opportune opere di smaltimento delle acque durante lo svolgimento di sopralluoghi e rilievi in sito.

5.1.3 Linea elettrica MT per il collegamento del campo fotovoltaico alla stazione di trasformazione

Uno degli obiettivi principali durante la fase di progettazione del tracciato della linea elettrica MT è stato quello di minimizzare le intersezioni con il reticolo idrografico. Nonostante ciò, sono state riscontrate delle interferenze, elencate e descritte nella tabella seguente.

Tabella 3: Interferenze tra il tracciato del cavidotto di progetto e il reticolo idrografico esistente

Interferenza	Tipologia d'alveo	Denominazione	Opera interferente	Area di tutela interessata
INT.01	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto interno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.02	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto interno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.03	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto esterno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.04	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto esterno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.05	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto esterno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.06	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto esterno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.07	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto esterno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto
INT.08	corso d'acqua rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000	corso d'acqua	cavidotto esterno MT interrato	fascia di pertinenza fluviale definita dall'A.d.B. regione Puglia e interregionale Ofanto

Le modalità di gestione delle suddette interferenze saranno approfondite nei paragrafi successivi.

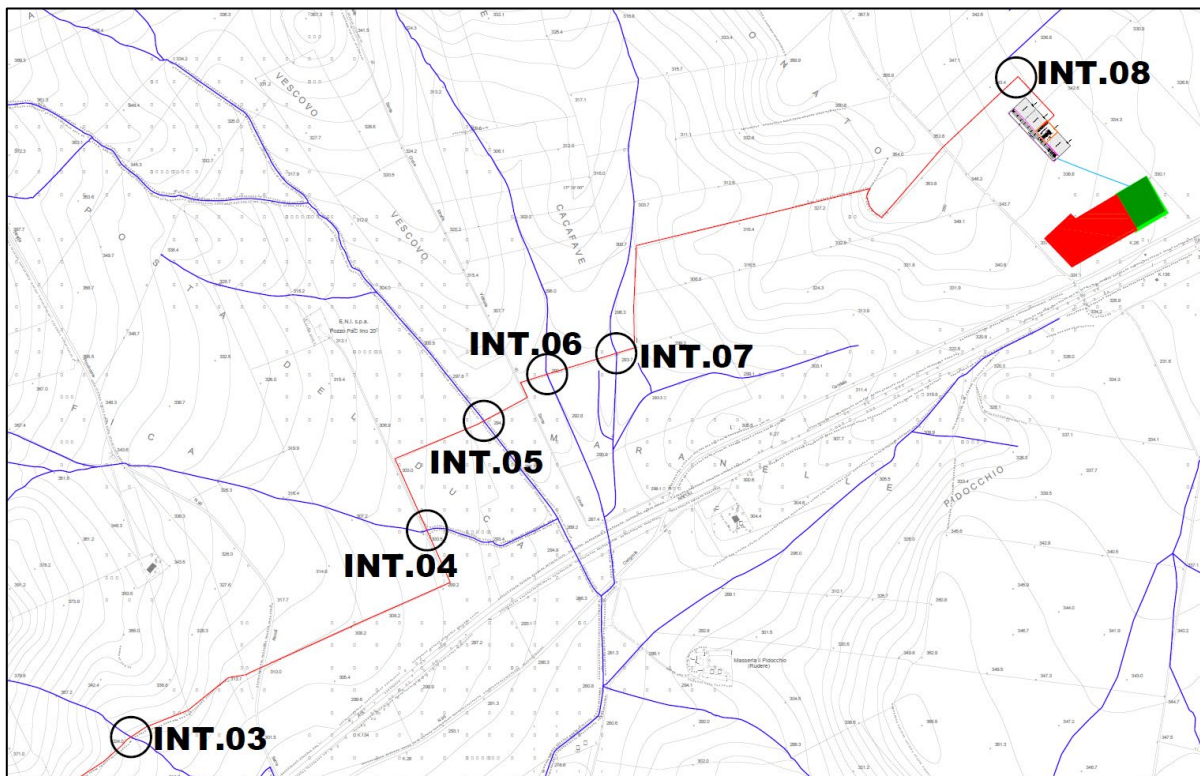


Figura 4: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.03, INT.04, INT.05, INT.06, INT.07 e INT.08 delle opere di progetto

La presente analisi ha consentito di individuare tutte le interferenze tra le opere di progetto e il reticolo idrografico esistente.

Le interferenze di maggior entità sono quelle relative all'intersezione tra le aree adibite all'installazione dell'impianto e i corsi d'acqua, **C.01**, **C.02** e **C.03**.

Per quanto riguarda l'interferenza **C.01** si è visto a seguito di sopralluogo in sito, che il corso d'acqua individuato dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 è in realtà una linea d'impluvio i cui relativi versanti non hanno una pendenza sensibilmente elevata; la mancata presenza di un alveo inciso o di altri elementi geomorfologici che attestino la presenza, sia nel presente che nel breve passato, del passaggio di un flusso d'acqua avvalorata la considerazione fatta in precedenza. Caratteristiche più marcate della testimonianza del passaggio di un corso d'acqua sono rilevate immediatamente a monte dell'area di interesse, pertanto non più di pertinenza del presente elaborato.

Simili considerazioni possono essere fatte per l'asta del reticolo riguardante l'intersezione **INT.03** con il cavidotto esterno interrato: si tratta appunto di una linea di impluvio poco evidente la quale non presenta

tracce evidenti del passaggio di un corso d'acqua, ma al contrario impronte del passaggio di mezzi specifici per la coltivazione del suolo. Tuttavia, immediatamente a monte dell'intersezione del cavidotto MT è evidente un fenomeno erosivo della scarpata, probabilmente per i fenomeni combinati di ruscellamento ed infiltrazione.

Nei paragrafi successivi saranno esaminate in dettaglio tutte le interferenze, rispetto alle quali è stato effettuato il calcolo idraulico, allo scopo di verificare e garantire la compatibilità idraulica delle opere e dimostrare la non alterazione delle caratteristiche idrogeomorfologiche del territorio anche a seguito dell'inserimento delle opere di progetto.

6 ANALISI MORFOLOGICA E MORFOMETRICA DEI BACINI IDROGRAFICI

6.1 Inquadramento geomorfologico

L'area in esame, comprensiva sia delle zone adibite all'installazione dell'impianto fotovoltaico che del tracciato del cavidotto MT, si colloca alla base e alle pendici di un'area collinare a quote comprese tra i 280 e 370 metri s.l.m. Essa presenta morfologie tipiche del "Tavoliere delle Puglie" con superfici spianate da sub-pianeggianti a collinari digradanti verso est. I depositi quaternari affioranti sono dissecati da due valli principali a fondo piatto e sono percorse dal torrente Carapelle e dal fiume Ofanto, oltre che da una serie di marane a regime prevalentemente torrentizio che incidono i depositi sabbiosi-conglomeratici quaternari di riempimento della Fossa Bradanica. Le superfici interessate sono caratterizzate da assetto sub planare, nel settore orientale si raggiungono pendenze massime del 10-13 %. L'area è compresa tra il torrente Carapelle e il fiume Ofanto, ed appartiene al bacino idrografico di quest'ultimo, il quale ha lasciato evidenti tracce della sua divagazione anche tramite esistenza relitta di terrazzi.

L'area studio, da un punto di vista geologico, ricade all'interno della fossa Bradanica, una depressione tettonica ad andamento appenninico (NW-SE) bordata ad Ovest dalla catena Appenninica meridionale e ad Est dall'Avampese Apulo. Tale bacino è appunto riferibile alla subsidenza dell'Avampese Apulo compensata da sedimentazione emipelagica fino alla completa emersione a seguito del sollevamento tettonico che ha interessato l'intero areale. La presenza delle Argille Subappennine, su cui poggiano in contatto erosivo i sedimenti silicoclastici di mare basso e continentali a seguito della regressione marina, testimonia l'instaurarsi delle condizioni di mare profondo. Infatti, questi ultimi rappresentano le fasi finali di riempimento dell'avanfossa, e sono rappresentati da depositi sabbiosi e sabbio-conglomeratici. Il sito di interesse ricade all'interno del Foglio n°175 Cerignola, come mostrato in Figura, la quale riporta il record stratigrafico di riempimento della Fossa Bradanica.

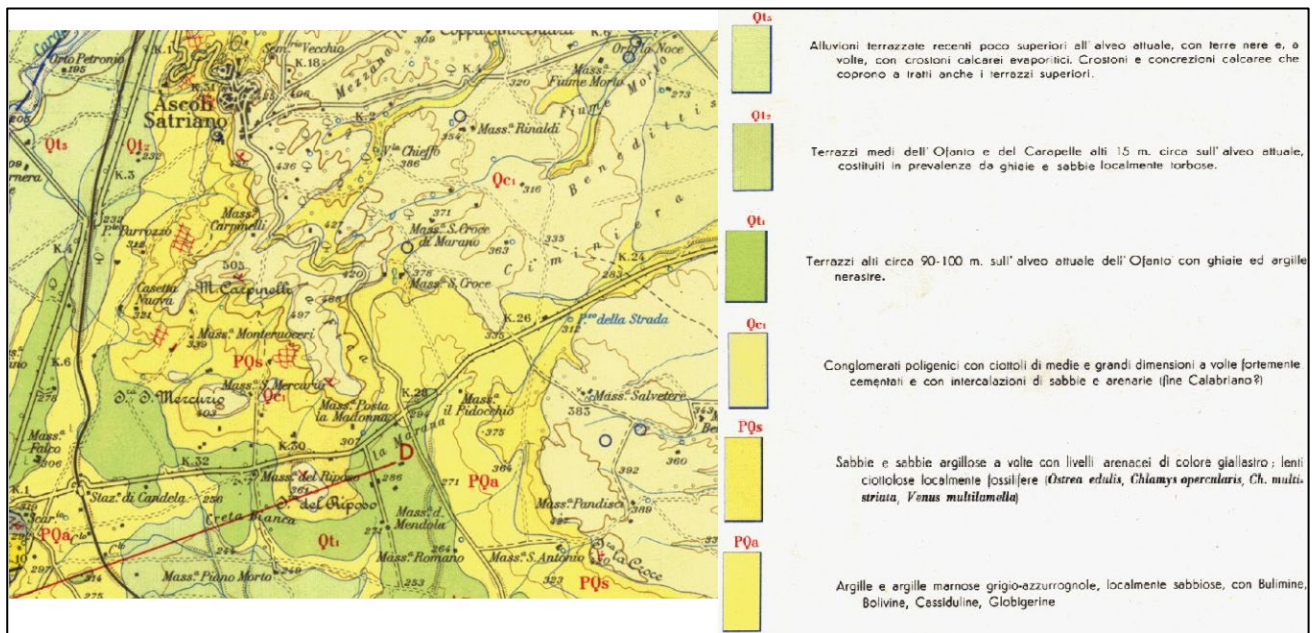


Figura 5: Stralcio Carta Geologica 1:100000 Foglio 175 Cerignola, con legenda della stratigrafia dei depositi quaternari

6.2 Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici

Le interferenze dell'opera di progetto con il reticolo idrografico esistente evidenziate nei capitoli precedenti ricadono nel comune di Ascoli Satriano in prossimità dei confini con il comune di Candela, tra il fiume Ofanto e il torrente Carapelle. Pertanto, tutti corsi d'acqua presi in considerazione nel presente elaborato costituiscono dei tributari di un corso d'acqua maggiore, a sua volta affluente del fiume Ofanto nella sinistra idraulica, fatta eccezione per l'asta del reticolo riguardante l'intersezione INT.01, la quale confluisce presso la sinistra idraulica all'interno del Canale Castello, a sua volta affluente del torrente Carapelle presso la destra idraulica, in prossimità della località Tressanti.

Dalla Figura 6, la quale riporta le opere di progetto in relazione al modello digitale di elevazione (DEM), reperibile dal S.I.T. (Sistema Informativo Territoriale) della regione Puglia, si vede che l'area studio ricade all'interno di un sotto-bacino imbrifero con sezione di chiusura presso la confluenza nella sinistra idraulica del fiume Ofanto, appartenente al bacino totale del relativo fiume (Figura 6). Per l'analisi dell'interferenza B.01 è stato invece considerato un subbacino di estensione molto minore, essendo l'asta appartenente ad un bacino idrografico diverso.

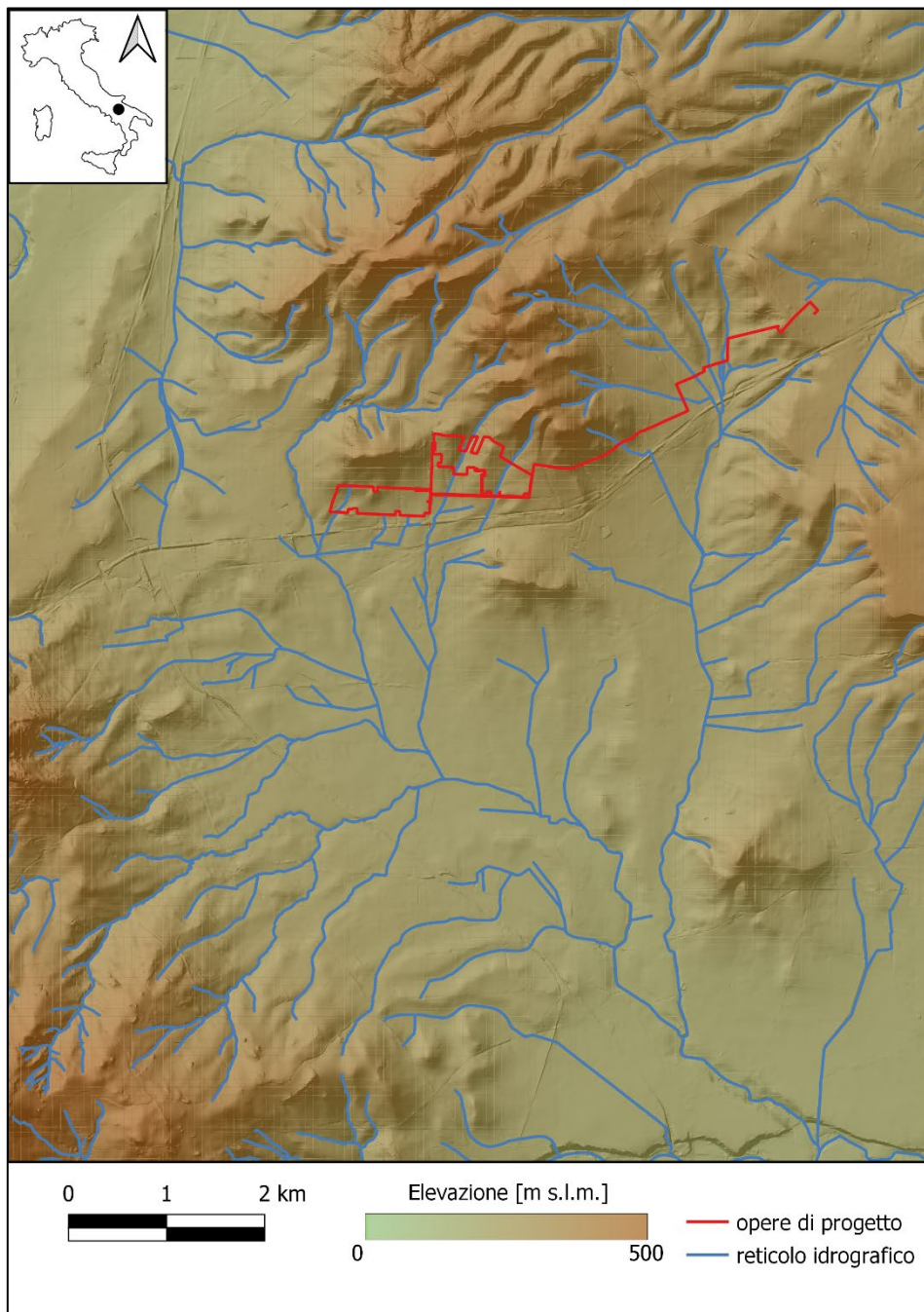


Figura 6: Opere di progetto in relazione al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto in relazione al modello digitale del terreno

Una possibile schematizzazione del territorio prevede la determinazione dei sottobacini con sezione di chiusura in prossimità delle intersezioni delle opere di progetto con il reticolo idrografico, determinando così la portata transitante per le sezioni di interesse. Tale modellazione risulta poco efficiente per tre problemi sostanziali:

- I sottobacini individuati sono di modeste dimensioni, la maggior parte al di sotto di 1 km², per cui le portate al colmo di piena o gli eventi di precipitazione valutati potrebbero sottostimare la reale entità delle sollecitazioni ricercate;
- Un'analisi dettagliata delle aree soggette ad inondazione è più realistica se si prende in considerazione una porzione di territorio più ampia rispetto ai singoli sottobacini, in modo da valutare nel complesso le interazioni tra il reticolo idrografico e le strutture presenti sul territorio, come strade, edifici ecc.;
- La valutazione della portata al colmo in prossimità delle intersezioni con il reticolo idrografico risulterebbe una "forzatura" dei valori ricercati durante la simulazione, quando in realtà è uno dei parametri su cui si vuole investigare.

A seguito di tali considerazioni si procede con la determinazione, attraverso il modello digitale in elevazione a disposizione, di due bacini idrografici, rispettivamente SB01 e SB02, riportati in Figura 7. La tabella seguente riporta le caratteristiche morfologiche del bacino in esame.

Tabella 4: Caratteristiche morfologiche dei sub-bacini idrografici del caso studio

Bacino Idrografico	SB01	SB02
Superficie [km²]	55.28	0.83
Quota sezione di chiusura [m s.l.m.]	192.54	300.47
Quota media [m s.l.m.]	299.09	340.64
Quota massima [m s.l.m.]	542.13	380.32
Dislivello [m]	349.59	79.85
Pendenza media [%]	8.92	6
Lunghezza asta principale [km]	13.2	1.64
Pendenza media asta principale [%]	1.87	4.44

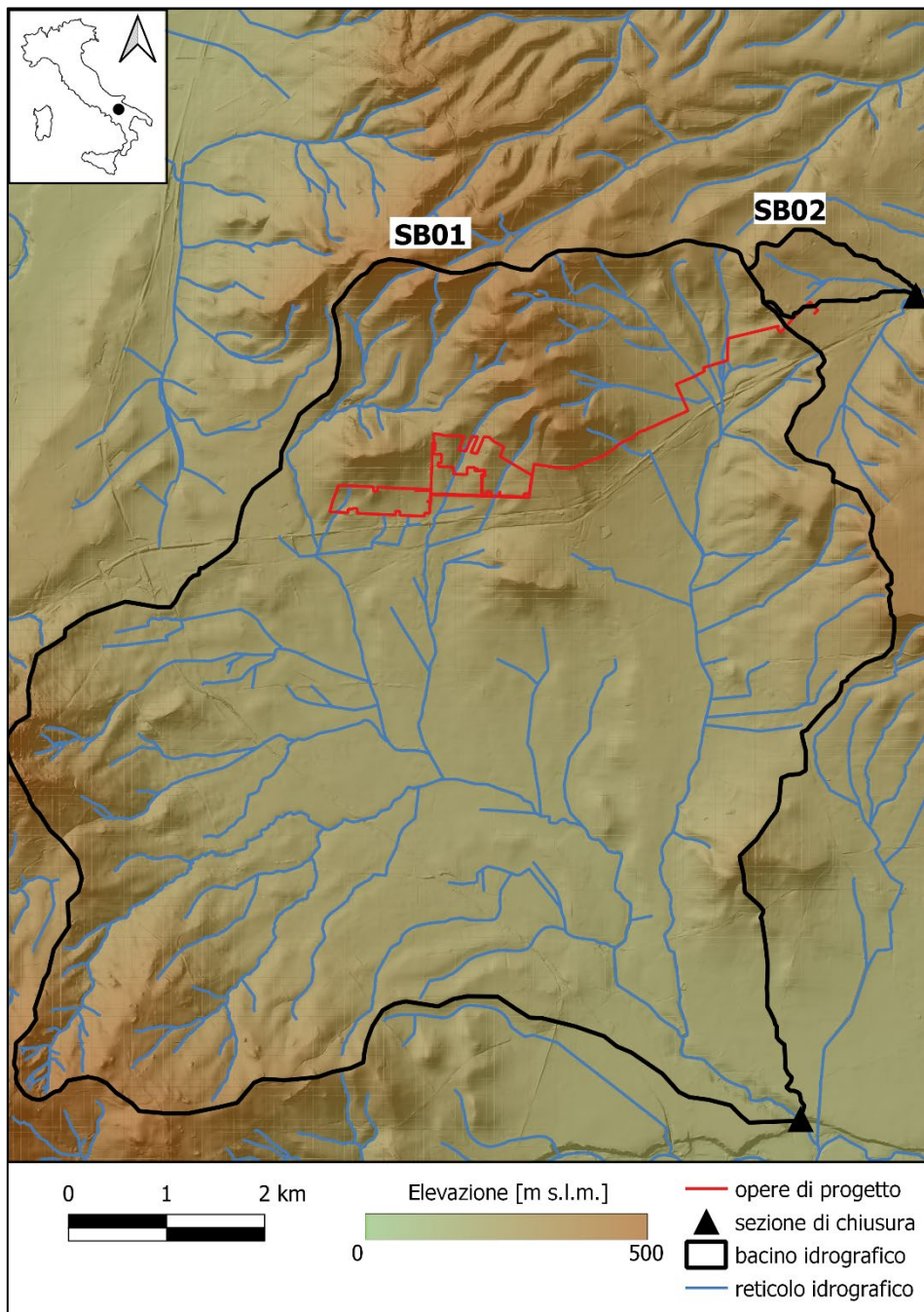


Figura 7: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto su modello digitale del terreno

L'area adibita all'istallazione delle opere di progetto è collocata nella zona collinare del bacino denominato SB01, seppur con lievi variazioni di pendenza. Per tale motivo si suppone che i deflussi generati in prossimità delle intersezioni delle opere di progetto con il reticolo idrografico, seppur relativi a eventi con tempo di ritorno di 200 anni, siano di modesta entità.

La Figura 8 riporta la mappa dell'uso del suolo redatta secondo progetto Corine Land Cover (CLC) fino al II livello, reperibile sul S.I.T. della regione Puglia; gran parte dell'area ricadente all'interno dei bacini di interesse (circa il 93 %) è classificata come "seminativo semplice in aree non irrigue", con rare macchie di "insediamenti produttivi agricoli", intorno al 2 % dell'area totale. Le zone identificate come "tessuto residenziale" sono quasi del tutto inesistenti (al di sotto dello 0.5 % del bacino totale), e per la gran parte costituite da casolari e masserie disabitate ed in evidente stato di degrado, come si è potuto constatare durante sopralluoghi. La mappa in Figura 8 riporta la presenza di due strade che attraversano l'intero bacino idrografico sia in modo trasversale che longitudinale quasi perpendicolarmente, rispettivamente l'autostrada dei due mari, affiancata in parallelo dalla SP95, e la SP90. Le restanti macchie sparse, di colore rosso in mappa, rappresentano la presenza di uliveti e vigneti.

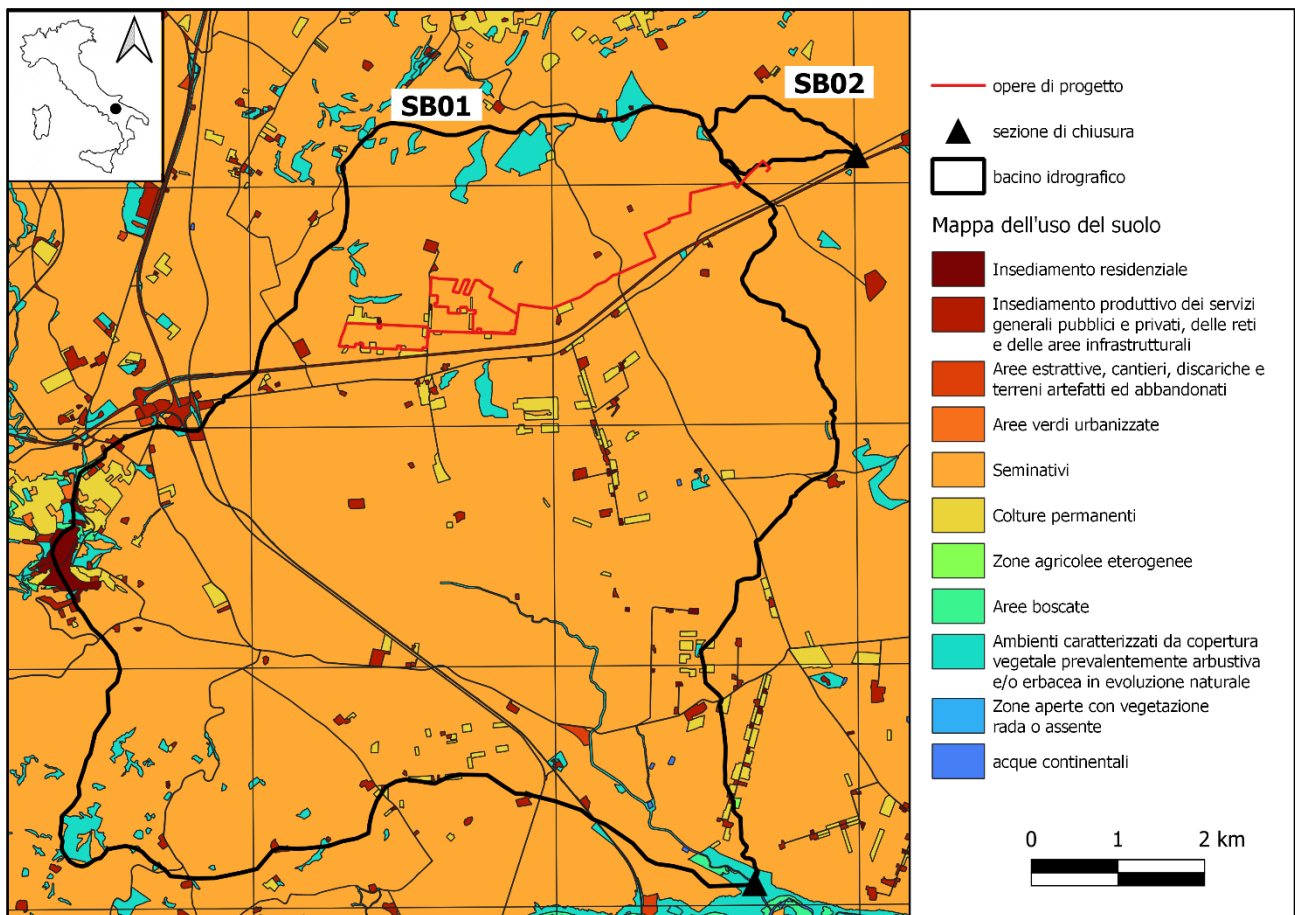


Figura 8: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto sulla mappa dell'uso del suolo secondo progetto Corine Land Cover al II livello

Come si può notare dalla mappa dell'uso del suolo, il reticolo idrografico interagente con le opere di progetto non è classificato in alcun modo, ciò avvalorava ancora di più l'ipotesi di assenza di pericolosità relativa ai corsi d'acqua del presente studio.

7 ANALISI IDROLOGICA

7.1 Generalità del progetto VAPI per la regione Puglia

A seguito di uno studio morfologico, i metodi finalizzati all'analisi idrologica del sito in esame devono essere individuati in base alle peculiarità del bacino e del relativo reticolo idrografico. L'analisi idrologica ha lo scopo di valutare le portate al colmo di piena e corrispettivi volumi che interessano il bacino imbrifero e anche tutti gli elementi del territorio soggetti all'evento con prefissato tempo di ritorno.

In accordo con le N.T.A. del P.A.I. dell'autorità di bacino della regione Puglia e interregionale Ofanto, un'area è al sicuro da un punto di vista idraulico se non è inondata da un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni. Il D.P.C.M. 29.09.1998, in materia di difesa del suolo, stabilisce che:

“Ove possibile è consigliabile che si traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena, con assegnato tempo di ritorno, dalle elaborazioni eseguite dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (S.I.M.N.), oppure dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.), del Consiglio Nazionale delle Ricerche (C.N.R.)”.

Il progetto speciale VAPI del G.N.D.C.I. del C.N.R., patrocinato dalla protezione Civile, si propone di fornire una guida tecnica sulla valutazione delle piene, destinata a tutti gli operatori del settore dell'Ingegneria idraulica e della difesa del suolo, basata su moderne e affidabili metodologie di analisi regionale.

Il presente studio idrologico è stato condotto rifacendosi al progetto VAPI per la regione Puglia (a cura di V.A. Copertino e M. Fiorentino), le cui procedure adottate e i calcoli effettuati sono descritti nei capitoli paragrafi successivi. Per quanto riguarda la valutazione dei deflussi naturali dei corsi d'acqua in esame in prossimità delle sezioni di interesse è stata effettuata una simulazione bidimensionale in moto vario con il software HEC-RAS, utilizzando come forzante pluviometrica uno ietogramma sintetico in accordo con le direttive del progetto VAPI.

7.2 Analisi idrologica del progetto VAPI per la regione Puglia

L'analisi idrologica dell'area in esame è stata condotta utilizzando il metodo VAPI elaborato dal G.N.C.D.I. del C.N.R., nell'ambito dell'analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata, e per diversi tempi di ritorno. L'analisi regionale è un metodo indiretto per la stima della portata in sezioni fluviali di cui non sono reperibili osservazioni o nel caso in cui si disponga di campioni esigui. L'analisi si basa generalmente sul concetto di distribuzione invariante del campione indice: si identifica un gruppo di m bacini

idrografici “idrologicamente simili”, ognuno con il proprio campione di osservazioni. Per l’area m -esima il generico valore X_i viene diviso per il valore indice X_{idx} e aggregando tutti il campione si ottiene il campione standardizzato del gruppo omogeneo. La distribuzione di probabilità di quest’ultimo è la stessa per tutti i siti del gruppo omogeneo, di conseguenza la variabile X_i del sito m relativo a prefissato tempo di ritorno T è pari al prodotto della variabile standardizzata relativa al tempo T , coefficiente di crescita K_T , per il valore indice X_{idx} .

7.2.1 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica in Puglia

I dati pluviometrici utilizzati sono gestiti quasi tutti dalla sezione di Bari del S.I.M.N., la cui rete pluviometrica al 1985 risultava composta da 100 stazioni di misura delle piogge con almeno un anno di osservazione.

Per i massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata, è stato adottato un modello di regionalizzazione basato sull’uso della distribuzione di probabilità TCEV (Two Component Extreme Values), utilizzata per rappresentare la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo di tempo, da una variabile casuale distribuita secondo l’unione di due leggi esponenziali. In diverse sedi tale metodo ha già dimostrato una buona adattabilità alle serie storiche delle massime altezze di pioggia di una qualsiasi durata. È stata eseguita una suddivisione della regione in zone e sottozone omogenee in base all’analisi delle massime precipitazioni giornaliere. L’estensione della validità di tale suddivisione anche all’interpretazione delle piogge di durata inferiore a quella giornaliera, è stata poi condotta e verificata sulla scorta delle informazioni fornite dai dati delle precipitazioni di durata inferiore al giorno, registrate alle stazioni pluviografiche.

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata all’interno della sottozona pluviometrica omogenea identificata, è univocamente determinata la relazione tra tempo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T :

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k} - \Lambda_* \Lambda_1^{\frac{1}{\theta_*}} e^{-\frac{\eta k}{\theta_*}})} \tag{1}$$

Dove i parametri riportati sono univoci per la regione Puglia

Tabella 5: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Puglia

θ_*	Λ_*	Λ_1	η
2.352	0.772	45	5.662

Risulta più utile dal punto di vista pratico l'inverso della formula precedente, per cui fissato il valore del tempo di ritorno T si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita. La tabella seguente riporta i valori del coefficiente K_T ottenuti numericamente dalla relazione precedente.

Tabella 6: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita per le piogge in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno

T [a]	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T [-]	0.91	1.26	1.53	1.81	1.9	2.1	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

Nelle pratiche approssimazioni è possibile anche fare riferimento ad un'espressione semplificata che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Puglia è pari a:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 \ln(T) \quad (2)$$

Per le piogge, per valori del tempo di ritorno superiori ai 5 anni, l'errore nell'uso di tale equazione è sempre inferiore al 3 %.

Per quanto riguarda la regione Puglia, il S.I.M.N. gestisce 73 stazioni pluviometriche di cui 60 con serie maggiore di 10 anni dei massimi annuali delle altezze di pioggia h_d per durate pari a 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive. La consistenza di tale rete è paragonabile a quella pluviometrica, anche per le dimensioni campionarie. In ogni caso, si assume che il coefficiente di crescita sia costante al variare della durata.

Definito il fattore K_T , ai fini del calcolo dell'altezza di precipitazione per corrispettivo tempo di ritorno e per data durata d , è necessario stimare la variabile indice citata in precedenza, tipicamente assunta pari alla media delle altezze massime annuali di precipitazione. Le leggi di probabilità pluviometrica definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su fissata durata d , $m[h(d)]$, con la durata stessa, secondo l'espressione:

$$m[h(d, Z)] = ad^{n(Z)} \quad (3)$$

Con

$$n(Z) = \frac{CZ + D + \ln \alpha - \ln a}{\ln 24} \quad (4)$$

In cui Z è la quota della stazione pluviometrica, α è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere di durata 24 ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misure, per la Puglia è risultato praticamente costante e pari a 0.89. I parametri necessari per l'applicazione delle relazioni sono tabellati per ogni zona pluviometrica omogenea, la Figura 9 ne riporta la divisione.

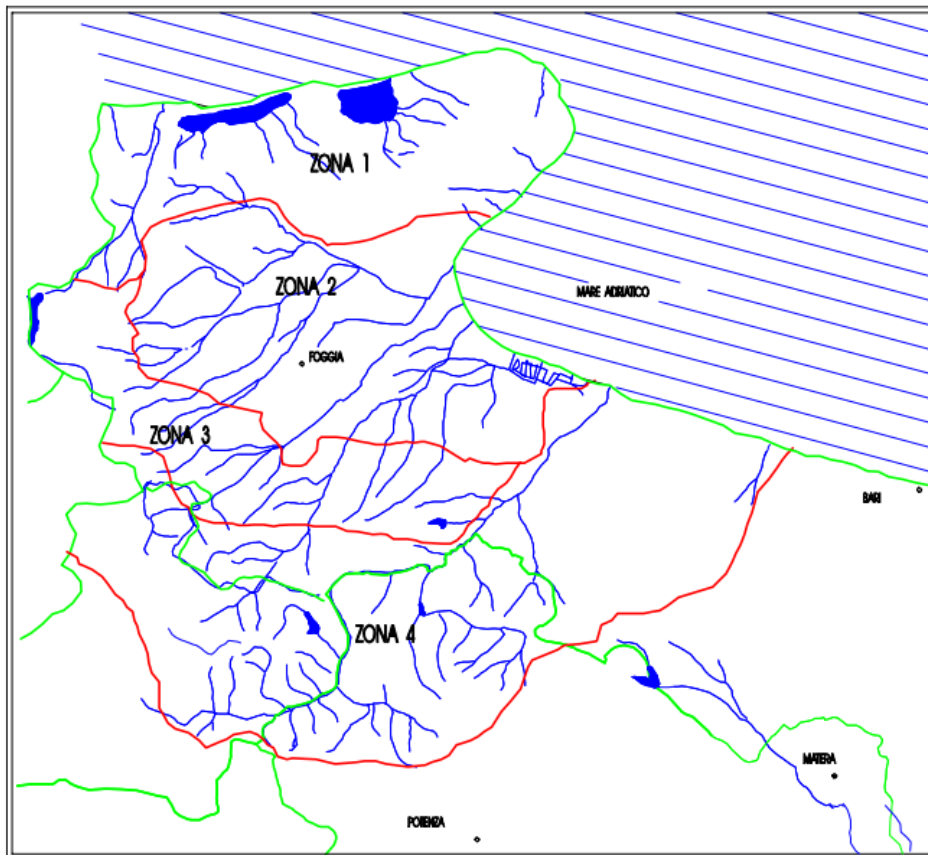


Figura 9: Zone omogenee rispetto al valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere, progetto VAPI

Essendo il valore di altezza di precipitazione un dato puntuale, la valutazione dell'intensità di pioggia media sull'intero bacino viene effettuata tenendo conto di un fattore di riduzione areale K_A determinabile come nella relazione seguente

$$K_A(d) = 1 - 1 - (\exp(-c_1 A)) \exp(-c_2 d^{c_3}) \quad (5)$$

Dove A è l'area del bacino espressa in km^2 , d è la durata dell'evento in ore e i coefficienti c_1 , c_2 e c_3 sono pari rispettivamente a 0.0021, 0.53 e 0.25.

7.2.2 Stima delle portate al colmo di piena per la regione Puglia

La consistenza della rete di misura idrometrica è molto variata nel corso degli anni: fino al 1970 risultavano complessivamente, per il Compartimento di Bari, 20 stazioni idrometriche. Così come nel caso dell'analisi dei massimi di precipitazione, al fine di valutare la portata al colmo di piena è necessario stimare il coefficiente di crescita derivante da analisi regionale applicata al campione standardizzato delle portate al colmo massime annuali osservate e della portata indice, intesa come media delle portate massime annuali. L'analisi regionale è stata condotta come in precedenza attraverso la legge di distribuzione di probabilità TCEV, la relazione che

lega il coefficiente di crescita K_T al tempo di ritorno T è ancora la relazione (1), in tal caso i valori dei parametri della distribuzione sono riportati nella tabella seguente.

Tabella 7: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Puglia

θ_*	Λ_*	Λ_1	η
2.654	0.35	5	2.937

La tabella seguente riporta invece i valori del coefficiente di crescita al variare del valore del tempo di ritorno ottenuti numericamente.

Tabella 8: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita per le portate in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno

T [a]	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T [-]	0.83	1.39	1.85	2.37	2.55	2.95	3.15	3.76	4.39	5.22	5.84

Nelle pratiche approssimazioni è possibile far riferimento ad un'espressione semplificata che, dati i valori assunti dai parametri della distribuzione TCEV in Puglia, è pari a:

$$K_T = -0.4007 + 0.904 \ln(T) \tag{6}$$

Per le portate, per valori del tempo di ritorno superiori a 10 anni, l'errore nell'uso di tale relazione è sempre inferiore al 10 %.

Quando nella sezione terminale del bacino in esame è situata una stazione idrometrica la stima della portata massima media annua può essere effettuata direttamente sulla serie osservata dei massimi annuali al colmo di piena, essendo tale stima piuttosto affidabile non appena la serie osservata sia sufficientemente lunga. Nel caso più frequente, come quello analizzato nel presente elaborato, in cui tali dati dovessero mancare del tutto, possono essere utilizzati diversi modelli per la stima indiretta della piena media annua:

- **Regressione empirica:** diverse formulazioni di tipo regressivo fra la piena media annua e le principali grandezze fisiche del bacino possono essere considerate; in particolare, per le sue prestazioni statistiche e per la semplicità d'uso, può essere adoperata la seguente operazione

$$m(Q) = 1.556 A^{0.71} \tag{7}$$

Anche se ad una verifica strettamente statistica essa si mostri valida solo per una stima in prima approssimazione;

- Formula razionale: basata sull'ipotesi di isofrequenza tra portata al colmo di piena ed evento di pioggia che genera l'idrogramma, tale modello si riassume nell'espressione seguente

$$m(Q) = C^* K_A(t_r) m[I(t_r)]A/3.6 \quad (8)$$

Dove C^* è il coefficiente di piena, adimensionale, t_r è il tempo di ritardo del bacino in ore e stimato attraverso la relazione

$$t_r = 0.344 \sqrt{A} \quad (9)$$

Con A in entrambe le formule pari all'area del bacino in esame in km^2 . Nella relazione (8) $m[I(t_r)]$ è la media del massimo annuale dell'intensità di pioggia in durata t_r , valore stimato dividendo la media delle altezze massime di precipitazione annuale per la durata dell'evento stesso.

7.3 Calcolo delle precipitazioni e delle portate di progetto

In accordo ai procedimenti descritti nei paragrafi precedenti sono state stimate le precipitazioni e le portate di progetto in riferimento al valore del periodo di ritorno pari a 200 anni, in accordo alla definizione di sicurezza idraulica dell'A.d.B. di competenza.

Per quanto riguarda la stima delle precipitazioni, i sotto-bacini del caso in esame, e di conseguenza le opere di progetto, ricadono nella zona omogenea 3. La tabella seguente riporta tutti i parametri necessari al fine della determinazione dei parametri $n(Z)$ e in seguito del valor medio dell'altezza di precipitazione massima annuale $m[h(d)]$ per data durata d , secondo la relazione (3).

Tabella 9: Parametri statistici delle leggi di probabilità pluviometriche regionali per l'area pluviometrica omogenea 3 in riferimento ai sotto-bacini del caso studio

sub-bacino	α	a [mm/h]	$C \cdot 10^4$	D	Z [m s.l.m.]	$n(Z)$
SB01	0.89	25.3	5.31	3.811	299	0.196
SB02	0.89	25.3	5.31	3.811	340.64	0.203

Successivamente è stato stimato il valore di $m[h(d)]$ per una serie di durate che va da 1 a 48 ore secondo la relazione (3), e attraverso il prodotto tra quest'ultimo e il fattore di crescita K_T relativo al valore del tempo di ritorno di 200 anni, sono stati ottenuti i valori delle altezze di precipitazione media per le corrispettive durate. In seguito, è stata applicata un modello di regressione lineare per ottenere i parametri a ed n per la determinazione della curva di possibilità pluviometrica per tempo di ritorno pari a 200 anni, relative ai sotto-bacini del presente elaborato, riportate in Figura 10.

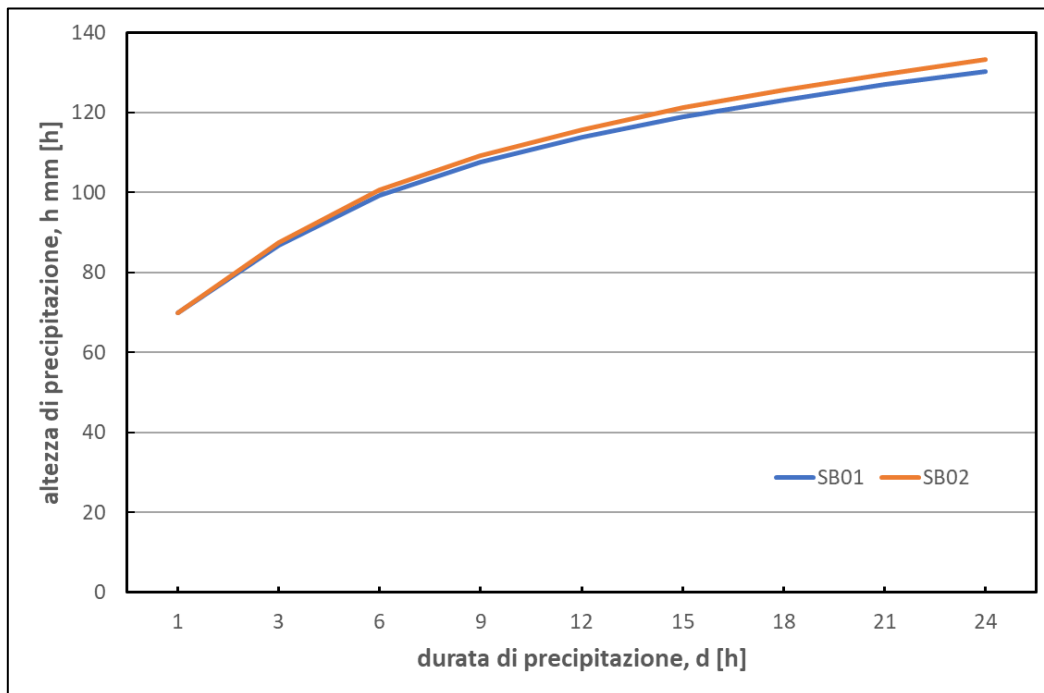


Figura 10: Curve di possibilità pluviometrica relative al valore del tempo di ritorno pari a 200 anni e ai sotto-bacini in cui ricadono le opere di progetto

Dalla curva di possibilità pluviometrica in riferimento al tempo di ritorno di 200 anni è possibile stimare l'altezza media di precipitazione, e di conseguenza il valor medio di intensità, riferita ad un evento di durata pari al tempo di corrivazione, indicato come t_c e stimato attraverso formula di Kirpich, del bacino idrografico in esame, essendo l'evento tipicamente peggiore dal punto di vista idraulico su un bacino imbrifero in assenza di opere di regolazione delle acque.

In merito alla stima della portata al colmo di piena generata dall'evento precedentemente descritto, si procede attraverso i due metodi illustrati nel rapporto VAPI regione Puglia, ovvero il metodo empirico e il metodo razionale, in accordo con le relazioni (7) e (8). Per quanto riguarda il coefficiente di piena C^* , il presente elaborato tiene conto del Capitolo 10 del progetto VAPI per la regione Puglia secondo cui:

"L'utilità dell'informazione costituita dal C^ caratteristico di una zona è sensibile se è l'obiettivo è determinare il valore di x per un bacino che ricade in uno solo dei bacini considerati in questa analisi, specie se è di area ridotta".*

È stato preso in considerazione il coefficiente di deflusso relativo al bacino idrografico con sezione di chiusura presso la stazione di S. Samuele di Cafiero sull'Ofanto, essendo il sotto-bacino SB01 compreso in quest'area.

Per quanto riguarda il sub-bacino SB02, seppur ricadente all'interno del bacino imbrifero del torrente

Carapelle, si ritiene non inverosimile considerare lo stesso coefficiente C^* del bacino precedente, avendo entrambi caratteristiche molto simili per quanto riguarda la litologia e gli usi del suolo.

La tabella seguente riporta i valori dei parametri per la stima dell'altezza di precipitazione media in riferimento ad un evento di durata pari al tempo di ritardo del bacino idrografico in esame e al valore del tempo di ritorno pari a 200 anni e della portata al colmo di piena attesa alle sezioni di chiusura, con entrambi i metodi prima descritti.

Tabella 10: Altezze medie di precipitazione e portate al colmo di piena per i sotto-bacini SB01 e SB02

	SB01	SB02
Area [km²]	55.28	0.83
t_c [h]	1.23	0.29
t_r [h]	2.56	0.31
$K_A(t_c)$ [-]	0.94	1.00
$K_A(t_r)$ [-]	0.94	1.00
C^* [-]	0.185	0.185
K_{200} piogge [-]	2.77	2.77
K_{200} portate [-]	4.39	4.39
$m[h(t_c)]$ [mm]	26.35	19.68
$m[I(t_c)]$ [mm/h]	21.42	67.87
$m[h(t_r)]$ [mm]	30.41	19.95
$m[I(t_r)]$ [mm/h]	11.88	64.36
$h_{200}(t_c)$ [mm]	72.98	54.52
$h_{200}(t_r)$ [mm]	84.25	55.26
$m(Q)$ m. empirico [m³/s]	26.87	1.36
Q_{200} m. empirico [m³/s]	117.95	5.98
$m(Q)$ m. razionale [m³/s]	31.86	2.74
Q_{200} m. razionale [m³/s]	139.86	12.04

8 MODELLAZIONE IDROLOGICA

8.1 Metodologia utilizzata

Per le opere di progetto intersecanti il reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia Interregionale Puglia e ricadenti in fasce di pertinenza fluviale definite nell'art 10 delle N.T.A. del P.A.I., sono state eseguite le verifiche idrauliche attraverso la modellazione nel software gratuito HEC-RAS, sviluppato dalla H.E.C. (Hydrologic Engineering Center), sezione dell'United States Army Corps of Engineers, permette di modellare l'idraulica dei flussi d'acqua di fiumi naturali e non solo, attraverso l'integrazione delle equazioni complete di De Saint Venant sia in caso mono che bidimensionale. Il programma è finalizzato allo studio della propagazione delle piene nei corsi d'acqua e alla determinazione delle aree allagabili con diversi tempi di ritorno in caso di esondazioni. La propagazione dell'onda di piena sia nell'alveo fluviale che su terreno soggetto ad esondazione è studiata secondo l'equazione di Manning, e relativa scabrezza indicata come n [$s/m^{1/3}$], come nella relazione seguente.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot f^{1/2} \cdot R^{2/3} \cdot \Omega \quad (9)$$

Q è la portata in m^3/s , f è la pendenza del fondo, Ω è la sezione del flusso in m^2 , R è il raggio idraulico in m, pari al rapporto tra la sezione del flusso e il perimetro bagnato.

8.2 Modello idrologico

Al fine della valutazione della persistenza delle condizioni di sicurezza idraulica è stata modellata la propagazione dell'onda di piena e di possibile esondazione attraverso il software HEC-RAS su un dominio bidimensionale in condizioni di moto vario. Particolare peculiarità del programma è quella di gestire mesh strutturate adattandole a domini non strutturati, ciò permette di utilizzare una cella non estremamente ridotta, e quindi di non aumentarne il numero e di conseguenza i tempi di calcolo.

8.2.1 Modello geometrico

Nel presente elaborato è stati adottati due domini separati, di estensione pari a quella dei bacini imbriferi in cui ricadono le opere di progetto, i relativi confini sono stati lievemente ampliati, differenza quasi non visibile come mostrato in Figura 11, onde evitare che l'acqua si attesti lungo i bordi del dominio costituendo una vasca di accumulo di spropositate dimensioni, caso improbabile in condizioni reali. Sulle aree di interesse è stata utilizzata una fitta mesh composta dalle celle aventi un'area media di circa $100 m^2$, aumentando notevolmente gli oneri computazionali a fronte di un maggiore dettaglio in merito alla propagazione de

fronte d'onda. Per entrambi i domini della modellazione, la condizione al contorno in uscita è costituita dall'imposizione della pendenza media dell'asta principale (Tabella 4) presso le sezioni di chiusura, evidenziate in azzurro nella Figura 11. Condizioni al contorno più accurate possono essere ottenute attraverso l'imposizione l'idrogramma delle portate o dei tiranti idrici presso la sezione di chiusura, derivanti da osservazioni; tuttavia, tali assunzioni risulterebbero una forzatura per la propagazione dell'onda di piena, soprattutto se in assenza di osservazioni, come il presente caso, si dovesse ricorrere ad idrogrammi sintetici di progetto.

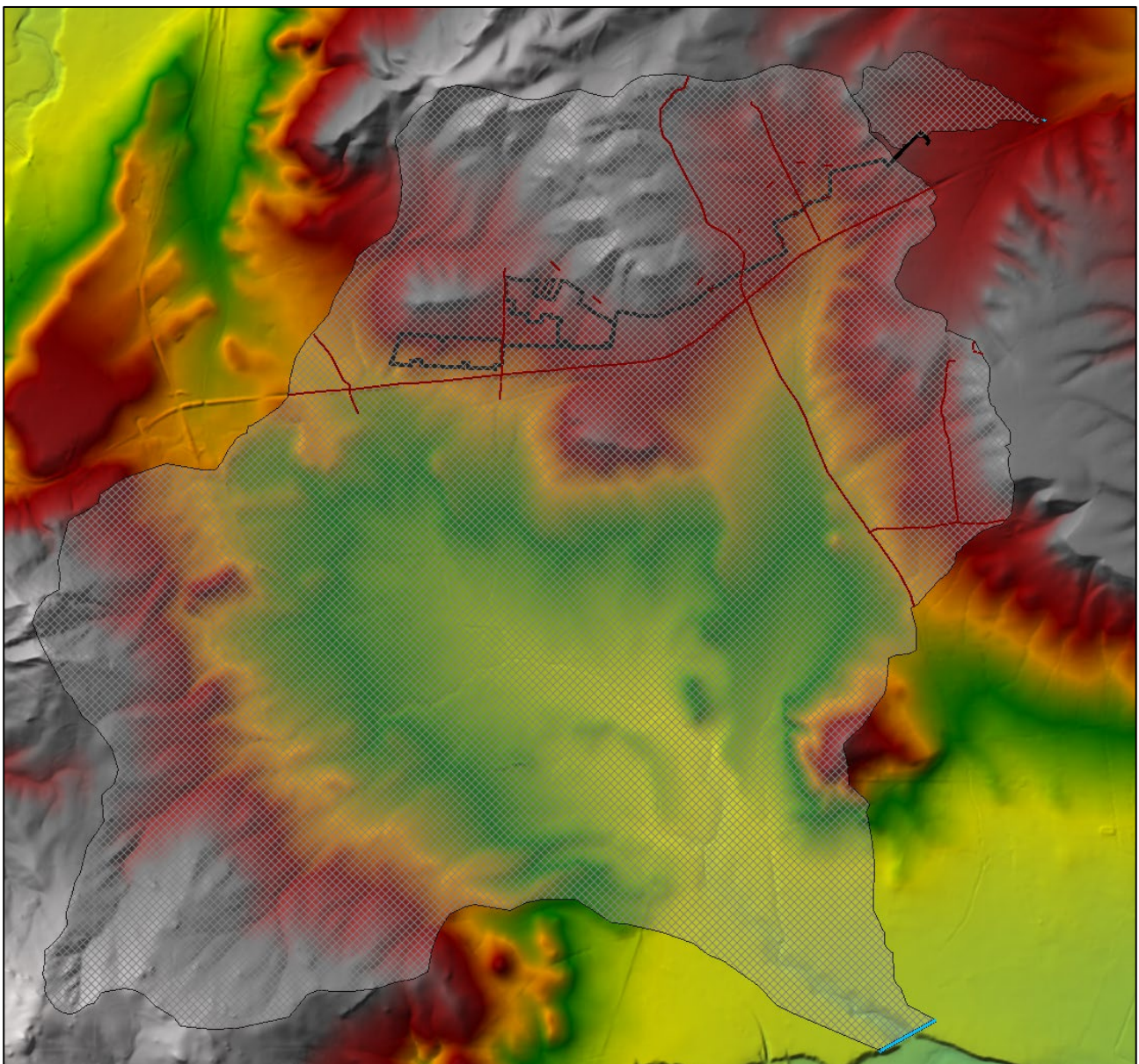


Figura 11: Modello geometrico dei domini relativi ai sotto-bacini SB01 e SB02 ai fini della modellazione idraulica in HEC-RAS

Ai fini della modellazione della propagazione dell'onda di piena sul dominio in esame, è necessaria la determinazione dei coefficienti di Manning, n , per ogni area definita in geometria. Nel presente elaborato la divisione dell'area studio in base al coefficiente di Manning è stata condotta in accordo con le mappe dell'uso del suolo del 2006 aggiornate al 2011 secondo progetto Corine Land Cover, disponibili presso il S.I.T. della regione Puglia ma, a differenza della Figura 8, ci si è spinti al III livello di classificazione, ai fini di un grado di dettaglio maggiore in merito alla stima delle velocità dell'onda di piena, essendo tale fattore fortemente influente sull'attenuazione e il ritardo dell'onda stessa. Oltre alle classi riportate nella classificazione dell'uso del suolo secondo CLC al III livello, il coefficiente n di Manning è stato classificato per gli alvei dei corsi d'acqua intersecati dalle opere di progetto in relazione alle caratteristiche morfologiche dei canali (forma dell'alveo inciso, vegetazione esistente, pendenze medie, ecc.), rilevate e maturate in seguito a sopralluoghi in sito.

Tabella 11: Categorie di aree di dominio e relativi valori assegnati del coefficiente di Manning

CATEGORIA	Coeff. di Manning, n [s/m^{1/3}]
INSEDIAMENTO CONTINUO	0.1
INSEDIAMENTO DISCONTINUO	0.1
INSEDIAMENTO INDUSTRIALE, COMMERCIALE E DEI GRANDI	0.1
RETI ED AREE INFRASTRUTTURALI	0.04
CANTIERI	0.1
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	0.1
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	0.06
VIGNETI	0.06
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	0.06
OLIVETI	0.07
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	0.05
BOSCHI DI LATIFOGLIE	0.07
AREE A PASCOLO NATURALE, PRATERIE, INCOLTI	0.05
CESPUGLIETI E ARBUSTETI	0.09
CORSI D'ACQUA, CANALI E IDROVIE	0.05
BACINI D'ACQUA	0.04
ALVEO CON STRATO VEGETATIVO INCOLTO	0.09
ALVEO NON VEGETATO CON ANDAMENTO RETTILINEO	0.04
ALVEO IN PIANURA NON VEGETATO E IN MAGRA	0.06

La scelta dei valori del coefficiente di resistenza di Manning, n , è basata sulle tabelle riportate nel testo "Applied Hydrology" [Chow V.T., 1959], le quali riportano il valore di n al variare del tipo di superficie e del corso d'acqua. Variazioni dei valori del coefficiente di Manning sono state apportate iterativamente svolgendo diverse simulazioni attraverso software HEC-RAS, calibrando il modello geometrico secondo un range di valori plausibili attesi per il flusso d'acqua (circa 1 m s^{-1} per i flussi all'interno dei canali e $0,1 \text{ m s}^{-1}$ per i flussi di versante).

8.2.2 Modellazione della forzante pluviometrica

La porzione del reticolo idrografico intersecato dalle opere di progetto non è interessata da un sistema di monitoraggio, è presente una stazione idrometrica verso valle riguardante una sezione del fiume Ofanto presso la località di San Samuele di Cafiero. Attraverso lo studio idrologico condotto secondo rapporto VAPI possono essere stimate le portate al colmo di piena in riferimento al valore del tempo di ritorno di 200 anni e ad una specifica sezione del reticolo idrografico, tuttavia, non è determinato l'idrogramma dell'evento, utilizzabile come condizione iniziale per la modellazione della propagazione dell'onda. Una valida soluzione consiste nella determinazione di un idrogramma sintetico triangolare, portata al picco determinata così come specificato nel progetto VAPI e con durata pari al doppio del tempo di ritardo, anche se tale semplificazione si discosta sensibilmente dalla realtà. Inoltre, in mancanza di osservazioni riguardanti il reticolo idrografico in esame, non è possibile effettuare una fase di calibrazione del modello idrologico.

Nel presente elaborato, alla luce delle problematiche sorte nella modellazione idraulica, la condizione iniziale è costituita da uno ietogramma sintetico costante costituito dalle sole piogge efficaci, ovvero dalle acque che costituiscono il solo deflusso superficiale, che contribuiscono alla formazione dell'onda di piena. La separazione dell'altezza di pioggia efficace dalla pioggia totale è stata eseguita secondo l'ipotesi di depurazione dalle perdite idrologiche di tipo percentuale in base al coefficiente di deflusso φ , caratteristico dell'evento nella sua totalità, ed è pari al rapporto tra la precipitazione efficace (o netta) e la precipitazione totale, in termini di volume o di altezze di pioggia.

$$\varphi = \frac{P_e}{P} \quad (10)$$

Lo ietogramma costante sintetico di progetto sarà rappresentativo di un evento con durata pari al tempo di corrivazione del bacino in esame (ovvero evento che peggiore per un bacino imbrifero non regimentato da opere idrauliche) e di altezza di precipitazione in riferimento al tempo di corrivazione e per valore del tempo di ritorno pari a 200 anni, stimato nel capitolo precedente, moltiplicato per il coefficiente di deflusso φ , coerentemente a quanto detto finora.

La stima del coefficiente di deflusso è stata condotta secondo il metodo CN (Curve Number) del SCS (Soil Conservation Service), ovvero una procedura atta alla trasformazione della pioggia lorda durante un dato evento ricadente in un bacino imbrifero in deflusso superficiale.

Il coefficiente di deflusso φ è direttamente proporzionale alla percentuale impermeabilizzata dell'area analizzata, la quale non è influenzata sensibilmente dalla presenza del cavidotto MT interrato, essendo un'opera lineare. Tuttavia, l'installazione del campo fotovoltaico sul territorio di interesse comporta variazioni sensibili sulla percentuale di superficie scoperta e/o impermeabilizzata, rispetto alle condizioni ante-operam.

Per le ragioni illustrate, sono stati stimati i valori del coefficiente di deflusso in riferimento sia alle condizioni ante-operam che post-operam, in modo da effettuare due simulazioni, basate su stesso modello geometrico ma con input pluviometrico delle precipitazioni nette differenziati in base alla condizione antecedente o precedente all'installazione dell'impianto.

8.2.2.1 Metodo Curve Number (CN) e stima del coefficiente di deflusso φ ante-operam

Il modello, concentrato nello spazio e nel tempo, si basa sulla semplificazione concettuale del modello idrologico: la formulazione operata è derivante dall'equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo dei termini di afflusso e deflusso. Si assume come ipotesi iniziale che lungo la durata dell'evento in esame la relazione (11) di proporzionalità rimanga invariata.

$$\frac{F}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (11)$$

Nella relazione riportata F è rappresentativo delle perdite effettive generate durante l'evento, S è il volume specifico di saturazione del terreno, P_e è la precipitazione netta cumulata, P è la precipitazione lorda cumulata, I_a rappresenta le perdite iniziali dovute all'intercettazione, infiltrazione e saturazione delle depressioni superficiali, il tutto in mm. Assumendo F pari alla differenza tra P e P_e , è valida la relazione (12), per $P > I_a$.

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (12)$$

Il volume specifico di saturazione del terreno S è stimato secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (13)$$

mentre, in linea generale, il valore delle perdite iniziali I_a è assunto pari al 20 % di S . Il parametro CN è una variabile adimensionale che varia tra 100 (deflusso superficiale costituito dalla totalità del volume di

precipitazione) e 0 (volume d'acqua infiltrato pari al totale volume di precipitazione). La Figura 12 riporta la relazione tra la precipitazione cumulata lorda e la precipitazione netta cumulata, al variare del parametro CN.

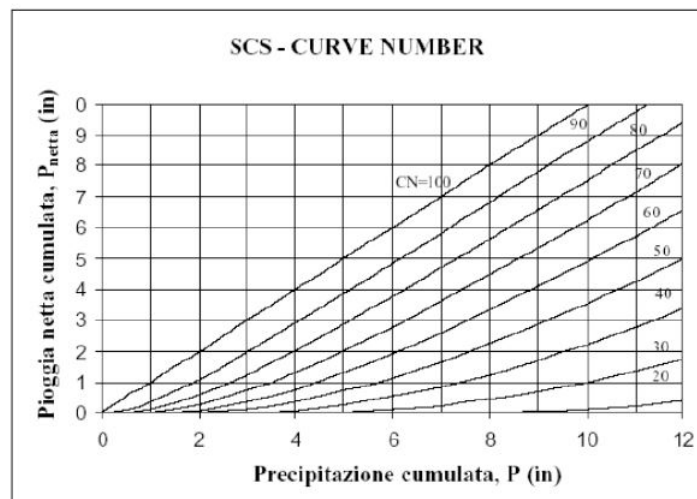


Figura 12: Rapporto tra Precipitazione totale e precipitazione cumulata al variare del parametro CN

Il parametro CN varia in funzione di 4 classificazioni:

- classificazione della possibilità di infiltrazione del suolo, legata alla natura litologica dello stesso;
- uso del suolo e trattamento della superficie;
- condizioni iniziali di saturazione dei suoli;
- stagioni di riposo o della vegetazione.

Tabella 12: Classificazione del tipo idrologico del suolo in base alla litologia del territorio secondo N.R.C.S.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Nel 1972 la N.R.C.S. (Natural Resources Conservation Service), nota precedentemente come Soil Conservation Service, ha suddiviso il suolo, secondo la capacità di assorbimento, in quattro classi, riportate nella tabella seguente.

La mappa litologica del territorio in esame è reperibile dal S.I.T. ed è rinvenuta dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell’A.d.B. regione Puglia. La Figura 13 riporta la mappa litologica relativa ai sotto-bacini in esame, mentre la tabella sottostante riporta la tipologia idrologica del suolo assegnata ad ogni classe litologica.

Tabella 13: Classificazione del tipo idrologico di suolo in base alla classe litologica dei sotto-bacini del caso studio

**TIPO IDROLOGICO
DI SUOLO**

CLASSE LITOLOGICA

A	Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa
B	Unità a prevalente componente arenitica
B	Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica
C	Unità a prevalente componente argillosa
C	Unità a prevalente componente ruditica
C	Depositi sciolti a prevalente componente pelitica
D	Unità a prevalente componente argillitica con un generale assetto caotico

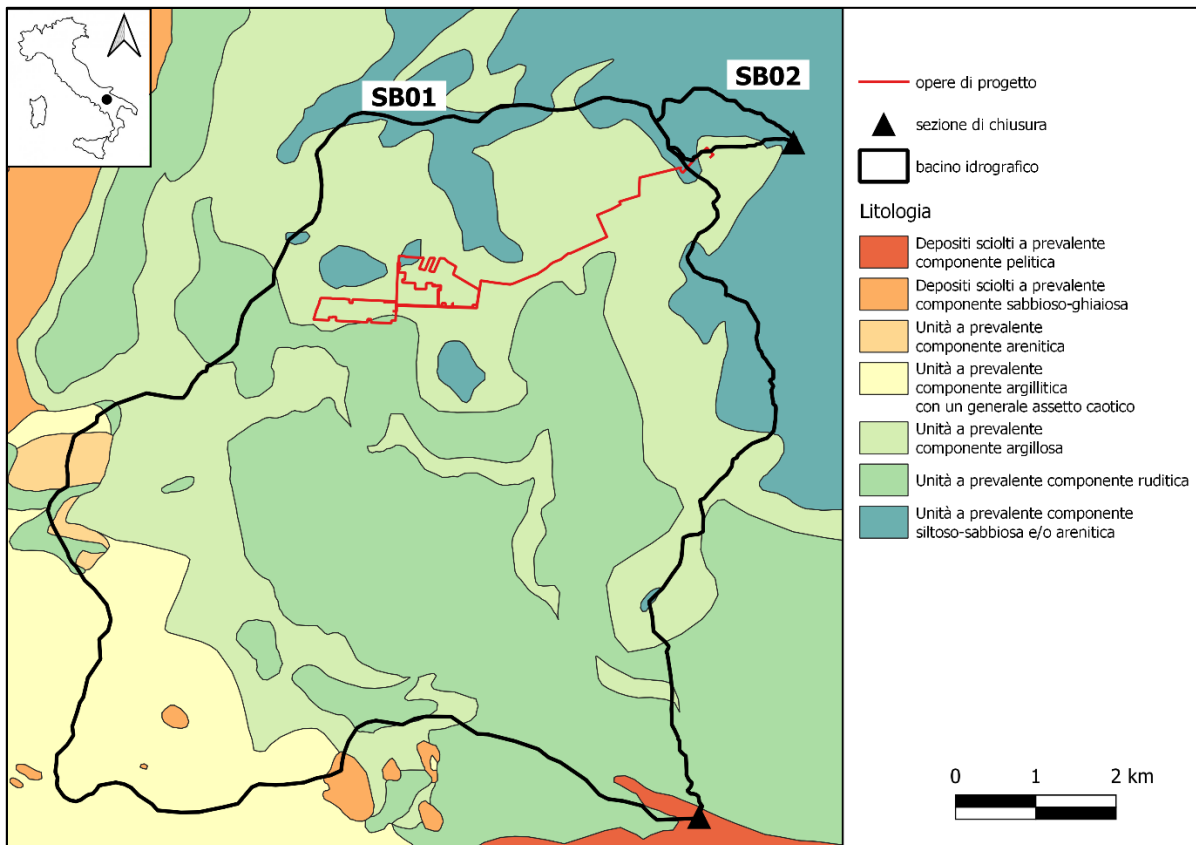


Figura 13: Mappa Litologica dei sotto-bacini SB01 e SB02

La stima del parametro *CN* è stata condotta secondo le mappe dell'uso del suolo e della litologia, in accordo con la Tabella 14. Come detto nei capitoli precedenti, per i vari aspetti del presente elaborato inerenti all'uso del suolo, si è fatto riferimento alla classificazione del Corine Land Cover, nello specifico per la zona in esame, la classificazione del 2006 aggiornata al 2011; nel caso specifico della stima del parametro *CN* si è fatto riferimento al III livello della legenda. A seguito della determinazione del parametro *CN*, il valore relativo ai sotto-bacini SB01 e SB02 risulta da una media pesata delle singole aree omogenee, con peso la superficie occupata.

Tabella 14: Tipo di copertura ed uso del 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 BOSCOSE 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

La Tabella 15 e 16 riportano i valori dedotti del parametro *CN* per ogni categoria di uso del suolo, secondo il III livello della legenda del Corine Land Cover, e per ogni tipo idrologico di suolo, in riferimento ai sotto-bacini SB01 e SB02.

Tabella 15: Parametro *CN* in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento al sotto-bacino SB01

Categoria di uso del suolo	Tipo di Suolo	CN	Area [%]
Insedimento continuo	B	65	0.13
Insedimento continuo	C	77	0.16
Insedimento discontinuo	B	65	0.04
Insedimento discontinuo	C	77	0.06
Insedimento discontinuo	C	77	0.05
Insedimento discontinuo	D	84	0.01

Insediamiento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi	B	92	0.00
Insediamiento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi	B	92	0.03
Insediamiento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi	C	94	0.37
Insediamiento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi	C	94	0.20
Insediamiento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi	D	95	0.06
Reti ed aree infrastrutturali	A	98	0.00
Reti ed aree infrastrutturali	B	98	0.00
Reti ed aree infrastrutturali	B	98	0.01
Reti ed aree infrastrutturali	C	98	0.59
Reti ed aree infrastrutturali	C	98	0.42
Reti ed aree infrastrutturali	D	98	0.05
Cantieri	C	91	0.07
Aree ricreative e sportive	B	69	0.00
Seminativi in aree non irrigue	A	62	0.18
Seminativi in aree non irrigue	B	71	6.19
Seminativi in aree non irrigue	B	71	0.22
Seminativi in aree non irrigue	C	78	38.03
Seminativi in aree non irrigue	C	78	0.13
Seminativi in aree non irrigue	C	78	38.29
Seminativi in aree non irrigue	D	81	9.73
Vigneti	C	77	0.08
Vigneti	C	77	0.01
Frutteti e frutti minori	B	66	0.07
Frutteti e frutti minori	C	77	0.04
Frutteti e frutti minori	C	77	0.02
Frutteti e frutti minori	D	83	0.00
Oliveti	B	66	0.03
Oliveti	B	66	0.38
Oliveti	C	77	0.64
Oliveti	C	77	0.85
Oliveti	D	83	0.03
Colture temporanee associate a colture permanenti	C	78	0.00
Boschi di latifoglie	B	66	0.01
Boschi di latifoglie	C	77	0.02
Boschi di latifoglie	C	77	0.07
Boschi di latifoglie	C	77	0.02
Boschi di latifoglie	D	83	0.01
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	B	79	0.78
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	B	79	0.01
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	C	86	0.21
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	C	86	0.00
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	C	86	0.63
Aree a pascolo naturale, praterie, incolti	D	89	0.61
Cespuglieti e arbusteti	B	61	0.02
Cespuglieti e arbusteti	C	74	0.17
Cespuglieti e arbusteti	C	74	0.14
Cespuglieti e arbusteti	C	74	0.05
Cespuglieti e arbusteti	D	80	0.01
Corsi d'acqua, canali e idrovie	C	99	0.00
Corsi d'acqua, canali e idrovie	C	99	0.03
Bacini d'acqua	C	99	0.02
Bacini d'acqua	C	99	0.01

Tabella 16: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento al sotto-bacino SB02

Categoria di uso del suolo	Tipo di Suolo	CN	Area [%]
Seminativi in aree non irrigue	B	71	87.43
Seminativi in aree non irrigue	C	78	12.57

Per quanto riguarda il sotto-bacino SB01, la quasi totalità dell'area, circa il 93 %, ricade nella classe d'uso del suolo "seminativi non irrigui", è prevedibile quindi che il valore finale di CN sia molto vicino al corrispettivo valore della suddetta classe, la quale ricopre la totale estensione del sotto-bacino SB02.

A seguito dei dati stimati, riportati nelle tabelle precedenti, e di quanto detto precedentemente sul calcolo dei parametri di interesse, sono stati stimati i valori del parametro CN per i due domini del caso studio, SB01 e SB02, rispettivamente 78 e 72.

Le condizioni di saturazione del terreno sono di fondamentale importanza per la corretta valutazione del coefficiente di deflusso, poiché a parità di precipitazione, le diverse condizioni del terreno incidono sulla risposta del bacino e sulla portata al colmo di piena. Il metodo CN tiene conto dello stato di saturazione del terreno attraverso le condizioni di umidità del terreno antecedenti all'inizio dell'evento, AMC (Antecedent Moisture Condition); a tal proposito l'S.C.S. individua tre classi in relazione al valore assunto dell'altezza di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti all'evento di pioggia, la cui attribuzione è basata secondo i valori riportati nella tabella seguente.

Tabella 17: Classe AMC in riferimento all'altezza di pioggia cumulata nei cinque giorni precedenti all'evento

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

Per condizioni antecedenti all'evento molto umide, classe III, o molto asciutte, classe I, è possibile derivare i relativi valori del parametro CN in base al valore in condizioni medie, ovvero classe II, i cui valori sono quelli riportati nella tabella precedente, secondo le seguenti relazioni.

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad (14)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad (15)$$

Dal punto di vista di valutazione della sicurezza idraulica del sito in esame, una scelta plausibile sarebbe quella di considerare il terreno nelle peggior condizione di umidità, ottenendo così un valore del coefficiente di deflusso più elevato, in maniera cautelativa. Tuttavia, un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni ha già insito nella propria definizione una bassa probabilità di accadimento, se a ciò si aggiunge la condizione peggiore di saturazione per il terreno su cui insiste, la probabilità di accadimento di un evento di tale portata diminuisce ancora di più, portando ad una determinazione delle fasce di allagamento sovrastimate. Per tali motivi si ritiene opportuno considerare il valore del parametro CN relativo alle condizioni medie di saturazione del suolo.

Dalle relazioni (13) e (12) sono determinati rispettivamente il volume specifico di saturazione del terreno, S , e la precipitazione netta cumulata, P_e ; il rapporto tra quest'ultimo e la precipitazione totale è pari al coefficiente di deflusso, secondo le ipotesi che tale parametro sia costante su tutta l'area del bacino e lungo tutta la durata dell'evento. In conclusione, i valori stimati del coefficiente di deflusso φ in condizioni ante-operam per i sotto-bacini di riferimento sono riportati nella Tabella 18.

Tabella 18: Parametri del metodo CN e dei coefficienti di deflusso

	S_0 [mm]	S [mm]	I_a [mm]	$P_e (t_c)_{200}$ [mm]	φ
SB01	254	70.885	14.17707	26.66	0.365
SB02	254	99.36562	19.87312	8.96	0.164

In conclusione, gli input di precipitazione della prima simulazione bidimensionale relativa alle condizioni ante-operam, attraverso software HEC-RAS, è costituito dagli ietogrammi sintetici di progetto, di durata pari al tempo di corrivazione e altezza di precipitazione così come indicate nella tabella seguente.

Tabella 19: caratteristiche degli input di precipitazione della modellazione idraulica ANTE-OPERAM

	d [h]	φ	$h(t_c)_{200}$ [mm]	$h_e(t_c)_{200}$ [mm]
SB01	1.23	0.365	72.98	26.64
SB02	0.29	0.164	54.52	8.94

8.2.2.2 Valutazione post-operam

Per quanto riguarda le opere prevalentemente permeabili, è stato valutato l'impatto dell'installazione delle strutture tracker, attraverso un confronto tra il coefficiente di deflusso φ ante e post-operam. Le strutture sono configurate attraverso un sistema di inseguimento attivo, non è prevista quindi configurazione fissa; l'interasse tra le file è di 9.8 m, mentre l'altezza in mezzeria rispetto al piano campagna è di 2.25 m.

È opportuno considerare che, anche durante eventi intensi riferiti a elevati tempi di ritorno, la capacità di infiltrazione e le caratteristiche di permeabilità del terreno ricadente nell'area in esame non varino sensibilmente a seguito dell'installazione dei tracker. Inoltre, le opere di progetto riguardano un impianto agro-fotovoltaico, per cui le superfici impermeabilizzate riguarderanno esclusivamente le platee di appoggio delle cabine elettriche, aventi comunque un'area trascurabile rispetto all'estensione totale. La viabilità di progetto, interna all'impianto agro-fotovoltaico, è caratterizzata da un impatto al suolo fortemente ridotto grazie alla scelta di tecniche ampiamente diffuse in situ e all'utilizzo di metodologie "a secco", le quali prevedono il ricorso a materiale inerte a diversa granulometria da posare su sottofondo di terreno compattato e stabilizzato. Tale tipo di approccio consente di eliminare completamente la rete di canalizzazioni superficiali.

Tuttavia, in maniera cautelativa, si ipotizza una perdita di capacità di infiltrazione delle acque meteoriche, per cui è stata valutata l'incidenza areale e gli impatti in termini di caratteristiche di permeabilità del terreno di eventuali acque di ruscellamento nelle aree riguardanti le opere di progetto.

Volendo valutare il coefficiente di deflusso φ per le sole aree adibite all'installazione del campo fotovoltaico, si procede con il metodo CN focalizzato alle sole aree di interesse, i cui dettagli sono riportati nella seguente tabella.

Tabella 20: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento alle aree adibite all'installazione del campo fotovoltaico

Categorie di uso del suolo	Tipo di suolo	CN	Area [%]
Seminativi in aree non irrigue	B	71	3.74
Seminativi in aree non irrigue	C	78	90.03
Oliveti	C	77	1.59
Seminativi in aree non irrigue	C	78	3.31
Oliveti	C	77	0.34
Insediamiento industriale, commerciale e dei grandi impianti di servizi	C	94	0.13
Vigneti	C	77	0.86

Come nei casi precedenti, la valutazione del parametro CN è stata condotta secondo una media pesata sull'area, ottenendo un valore pari a 78. Pertanto, si assume, per le sole aree adibite all'installazione del campo fotovoltaico, un valore del coefficiente di deflusso φ pari al caso del sotto-bacino SB01 ante-operam, ovvero 0.365.

Al fine della valutazione della porzione di suolo coperta, è stato preso in considerazione uno studio precedente [Cook et al., 2013] basato su un modello concettuale di impatto secondo cui l'area in esame è suddivisa in zone adibite all'installazione dei pannelli e zone di interfila. Si suppone, ragionevolmente, che l'area di interfila non presenti una capacità di infiltrazione influenzata dall'installazione dei tracker; d'altra parte, secondo gli studi presi in considerazione, si considera l'area interessata dalle strutture composta al 50 % da una sezione "Wet" con capacità di infiltrazione non influenzata e collegata alla precedente area di interfila, e una sezione "Dry" assunta, a vantaggio di sicurezza, non interessata dal fenomeno di infiltrazione diretta e con coefficiente di deflusso unitario.

Essendo i pannelli regolati da un sistema ad inseguimento attivo, il tilt varia durante le fasi della giornata, di conseguenza la proiezione dei tracker a terra non è fissa. Tuttavia, a vantaggio di sicurezza, si suppone che l'evento relativo al tempo di ritorno pari a 200 anni colpisca l'area in esame quando i pannelli sono in condizione di riposo, ovvero tilt della struttura pari a 0, e di conseguenza con area "Dry" pari al 50 % dell'area utile dei pannelli montati su tracker. La tabella seguente riporta i valori delle variabili appena descritte.

Tabella 21: Parametri per la valutazione del coefficiente di deflusso delle aree adibite all'installazione del campo fotovoltaico post-operam

superficie totale [ha]	60.25
proiezione a terra dei tracker in posizione di riposo [ha]	16.98
rapporto di copertura [%]	28.18
percentuale di area "dry" con coefficiente di deflusso pari ad 1 [%]	14.1
coefficiente di deflusso ante-operam stimato	0.365
coefficiente di deflusso post-operam stimato	0.454

8.2.2.3 Considerazioni e conclusioni

Nel precedente procedimento atto alla stima del coefficiente di deflusso in condizioni post-operam delle aree di interesse adibite all'installazione delle opere di progetto, la percentuale di area "dry" è stata assunta come totalmente impermeabilizzata (φ pari ad 1), nonostante l'installazione dell'impianto in ambito agro-fotovoltaico non preveda un trattamento di impermeabilizzazione del suolo al di sotto dei pannelli. Di conseguenza, non è corretto assegnare all'area interessata dalla proiezione a terra dei tracker in posizione di riposo un valore unitario del coefficiente unitario, essendo un'area coperta, ovvero non interessata direttamente dal volume di precipitazione, ma non impermeabile. Tuttavia, si ritiene che la procedura

illustrata precedentemente stimi adeguatamente in maniera approssimativa la variazione del coefficiente di deflusso delle aree interessate, ponendosi in una condizione di vantaggio di sicurezza.

In conclusione, le due simulazioni bidimensionali riguardanti la propagazione dell'onda di piena ed eventualmente di esondazione differiscono esclusivamente per la tipologia di input pluviometrico, in entrambi i casi costituito da uno ietogramma costante sintetico di progetto, la cui altezza efficace media di precipitazione è ottenuta attraverso la decurtazione delle perdite idrologiche attraverso coefficiente di deflusso, nel caso ante-operam e post-operam. Le caratteristiche delle forzanti climatiche del modello idrologico in condizioni post-operam sono riportate nella Tabella 22.

Tabella 22: caratteristiche degli input di precipitazione della modellazione idraulica POST-OPERAM

	d [h]	φ	$h(t_c)_{200}$ [mm]	$h_e(t_c)_{200}$ [mm]
SB01	1.23	0.454	72.98	33.13
SB02	0.29	0.164	54.52	8.94

La valutazione della variazione del coefficiente di deflusso ante-operam ha interessato le sole aree interessate dall'istallazione del campo fotovoltaico, essendo il cavidotto MT un'opera di tipo lineare e quindi riguardante una superficie non rilevante dal punto di vista della valutazione del suolo. Per cui, la modellazione idraulica post-operam riguardante il sotto-bacino SB02 non vede una forzante pluviometrica diversa dalla condizione ante-operam.

È opportuno ricordare che il dato di altezza media di precipitazione derivante da curve di possibilità pluviometrica è di tipo puntuale, nell'ipotesi di precipitazione costante lungo tutta la durata e uniforme nell'area di interesse; il ripristino delle condizioni reali è condotto secondo la moltiplicazione del dato di pioggia per un coefficiente areale K_A , compreso tra zero ed uno. Nella simulazione degli eventi di piena tale dato non è stato preso in considerazione a vantaggio di sicurezza.

9 COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI

9.1 Metodologia impiegata per l'analisi di compatibilità

Fatta eccezione per i casi C.01, C.02 e C.03, per le quali sono state previste delle fasce di rispetto delimitanti le aree inondabili, tutte le interferenze tra le opere di progetto e il reticolo idrografico riguardano il tracciato del cavidotto MT, sia interno che esterno all'impianto.

Le interferenze puntuali citate potranno essere risolte applicando le alternative progettuali di seguito esplicitate, tutte allo scopo di garantire il mantenimento delle condizioni idrauliche ante-operam.

- Scavo in trincea al di sotto del reticolo idrografico esistente;
- Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.).

Una delle alternative più utilizzate al fine di assicurare che la posa dei cavi interrati non alteri l'equilibrio dei materiali costituenti il fondo delle aree inondabili da eventi bicentenari di piena, è la tecnica T.O.C., prevista lungo i tratti di intersezione tra il reticolo idrografico e il tracciato del cavidotto. Tale tecnica si articola in tre fasi operative descritte di seguito.

- Realizzazione del foro pilota: l'apertura sarà di piccolo diametro ed è realizzata mediante l'utilizzo di una macchina perforatrice, la quale garantirà l'avanzamento di un utensile fresante (utensile fondo foro) all'interno del terreno attraverso la trasmissione del movimento rotatorio ad una batteria di aste di acciaio alla cui testa è montato l'utensile fondo foro. È previsto un sistema di localizzazione per il monitoraggio della costante posizione dell'utensile. La fase in esame termina quando l'utensile fondo foro fuoriesce dal terreno;
- trivellazione per l'allargamento del foro fino alle dimensioni richieste: completato il foro pilota si procede con il montaggio dell'utensile per l'allargamento del foro in testa alla batteria di aste di acciaio. Il sistema è tirato 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: terminata la fase di alesatura, in corrispondenza dell'exit point è montato, in testa alle condotte da posare già giuntate tra loro, l'utensile per la fase di tiro-posa, a sua volta collegato all'alesatore, il quale ha lo scopo di evitare che durante la fase di tiro il movimento rotatorio applicato al sistema della macchina perforatrice non venga trasmesso alle tubazioni. La posa della condotta può considerarsi terminata quando si raggiunge il punto d'entrata.

L'attraversamento delle aree allagabili relative ad eventi di piena con tempi di ritorno di 200 anni avverrà al di sotto del reticolo idrografico, in modo da garantire che i punti di infissione siano posizionati esternamente alle aree toccate dall'acqua. La Figura 14 riporta la schematizzazione generica della tecnica T.O.C. così come descritta in precedenza (si rimanda all'elaborato FV.ASC01.PD.H.10 – "Risoluzione tipologia interferenze").

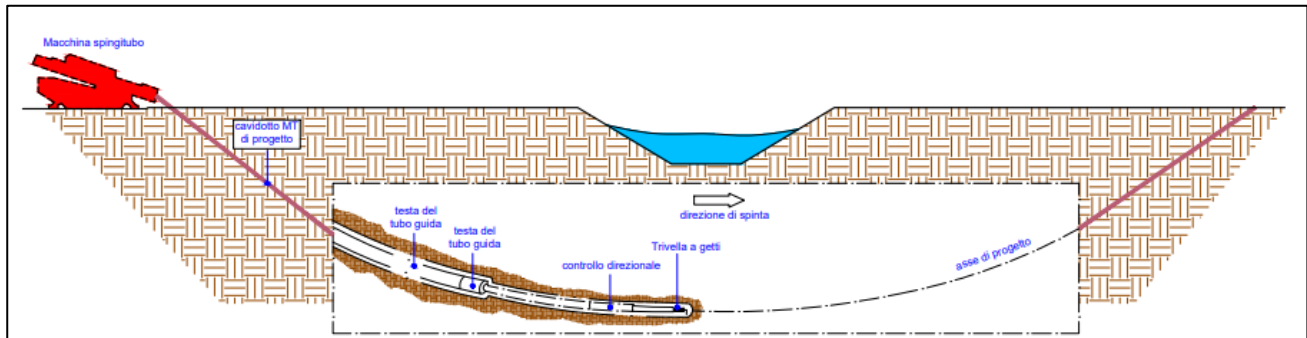


Figura 14: Schema della Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.)

Nel caso in cui le aree inondate da eventi di piena relativi a tempi di ritorno di 200 anni siano di modesta estensione o del tutto assenti, l'interferenza può essere risolta tramite staffaggio, ovvero mediante posa del cavidotto in una canalina passacavi staffata ad un attraversamento esistente, con successiva re-immissione della tubazione all'interno del corpo stradale a monte o a valle dell'attraversamento.

Nei paragrafi seguenti si procede con la descrizione di ciascuna interferenza citate precedentemente, delle verifiche eseguite e delle modalità di attraversamento previste. In fase di progettazione esecutiva, per tutti gli attraversamenti in corrispondenza delle fasce di pertinenza fluviale, sono eseguite le consuete verifiche idrauliche.

9.2 Descrizione delle interferenze e verifiche idrauliche

Le considerazioni e le verifiche idrauliche sono state eseguite per tutte le intersezioni delle opere di progetto con i rami del reticolo idrografico in esame, in relazione ai massimi livelli idrici risultanti da simulazione HEC-RAS (si rimanda agli elaborati FV.ASC01.PD.A.06.3 – "Aree inondabili con Tr 200 anni: ante-operam" e "FV.ASC01.PD.A.06.4 – "Aree inondabili con Tr 200 anni: post-operam"). Di seguito sono riportate, per ogni interferenza citata nei capitoli precedenti, la descrizione dell'intersezione, la valutazione idraulica eseguita e i metodi di risoluzione dei problemi sorti.

9.2.1 Interferenza C.01

L'interferenza C.01 riguarda l'intersezione delle opere di progetto ricadenti nell'area A con il reticolo idrografico. La carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia riporta un corso d'acqua che

attraversa la zona occidentale l'area A adibita all'installazione del campo fotovoltaico. Tuttavia, come si evince dalla Figura 15 la quale riporta un dettaglio dell'area A in riferimento a Google Satellite, si tratta di una linea d'impluvio non molto marcata e non avente le caratteristiche di un corso d'acqua. Anche a fronte di eventi di elevata intensità è plausibile che tale linea di impluvio non raggiunga tiranti idrici elevati, o quanto meno altezze d'acqua da considerarsi tali. Tale ipotesi è avvalorata dalla traccia di mezzi agricoli che la attraversano e da attività di sopralluogo in sito.

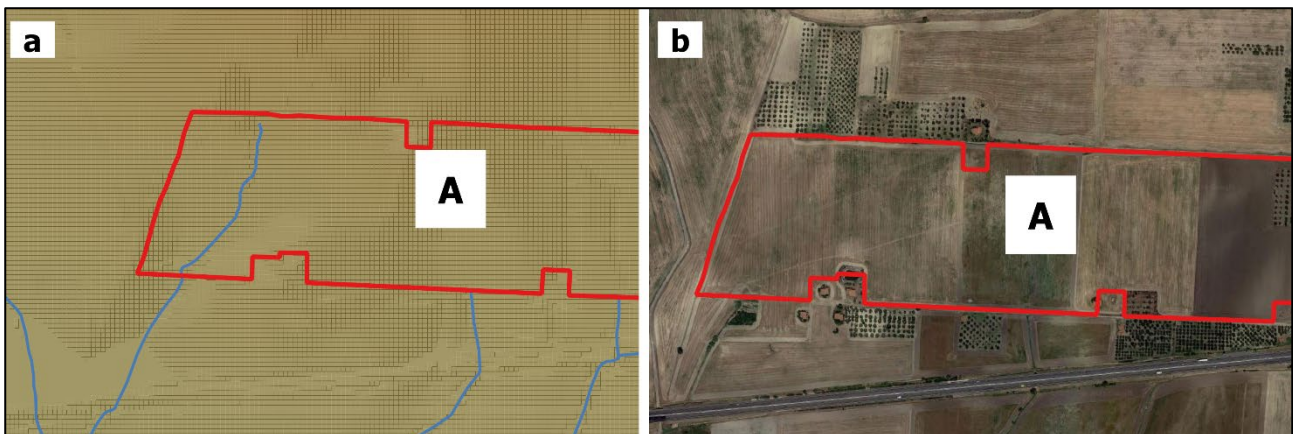


Figura 15: Area A in relazione al modello digitale del terreno e al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 del'A.d.B. regione Puglia (a) e ad immagine da Google Satellite (b)

I risultati della simulazione dell'evento di pioggia con valore bicentenario del tempo di ritorno, nelle condizioni post-operam, non evidenziano fenomeni di ruscellamento o comunque fenomeni di formazione di percorsi d'acqua preferenziali lungo i versanti. La Figura 16 riporta la mappa delle massime profondità raggiunte dal tirante idrico nelle aree allagabili in condizioni post-operam, nella quale si evince l'assenza di battenti registrati in prossimità del corso d'acqua identificato dal reticolo idrografico.



Figura 16: Interferenza C.01 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione post-operam su base Google Satellite

Secondo modello idraulico in condizioni post-operam sviluppato in HEC-RAS, si registrano livelli d'acqua rilevanti al di fuori dell'area di interesse. Pertanto, si ritiene che la linea di impluvio classificato come interferenza C.01 non costituisca un elemento di pericolosità per le opere di progetto, non producendo aree inondabili generate da un evento riferito al tempo di ritorno di 200 anni.

In conclusione, per quanto riguarda l'intersezione denominata C.01 delle opere di progetto con il reticolo idrografico, si ritiene che sia garantita la condizione di sicurezza idraulica, per cui a tal proposito non sono previste opere di mitigazione e fasce di rispetto.

9.2.2 Interferenze C.02 e INT.01

Le opere di progetto ricadenti nel lotto B, adibita all'installazione del campo fotovoltaico, sono attraversate in direzione N-S da due aste del reticolo idrografico identificato dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto. Tali interferenze sono state denominate rispettivamente C.02 e C.03; gli stessi corsi d'acqua sono intersecati dal tracciato del cavidotto interno interrato MT nei punti indicati come INT.01 e INT.02. La Figura 17 mostra le suddette interferenze in relazione al reticolo idrografico.

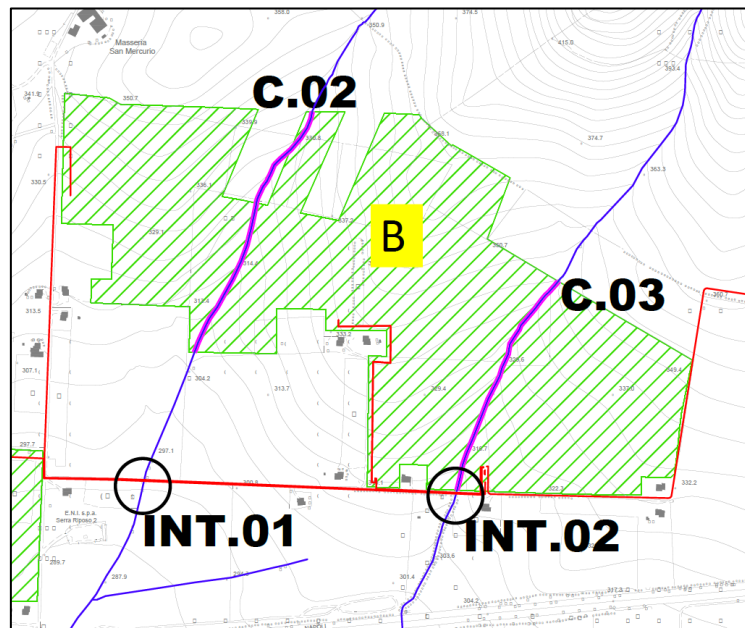


Figura 17: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze C.02, C.03, INT.01 e INT.02 delle opere di progetto

A seguito di sopralluogo in sito, si ritiene che il canale identificato come C.02 non abbia le caratteristiche di un corso d'acqua ordinario: non è stata riscontrata la presenza di un flusso d'acqua, anche se risulta evidente un elevato livello di umidità del suolo sul fondo dell'alveo. La sezione tipo del canale ha dimensioni massime comprese tra 4 e 3.5 m, nel caso della profondità dell'alveo, e tra 4 e 5 m, per quanto riguarda l'ampiezza. Il letto è per la maggior parte ricoperto da vegetazione alta ed incolta, ragion per cui risulta complesso definire i limiti raggiunti dall'acqua durante la piena ordinaria. La presenza massiccia di uno strato vegetativo incolto avvalorava l'ipotesi di episodicità del corso d'acqua con regime torrentizio. A valle di tali considerazioni, si ritiene che il canale rimanga asciutto o comunque in condizioni di magra durante la maggior parte dell'anno, raggiungendo valori di tirante idrico rilevanti solo in caso di eventi climatici di notevole intensità. Risalendo verso monte la presenza dello strato vegetativo si riduce notevolmente, anche la sezione dell'alveo risulta più compatta e assume dimensioni minori, con una profondità massima rilevata di circa 1.80 m e un'ampiezza nell'intorno di 3 m.

La Figura 19 riporta la mappa dei massimi tiranti idrici registrati durante simulazione in HEC-RAS in condizioni post-operam, con dettaglio sulle interferenze C.02, C.03, INT.01 e INT.02. Lungo il tratto dell'asta di interesse non si registrano battenti maggiori di 3 metri, raramente si arriva anche al di sopra dei 2 metri, il flusso d'acqua segue l'andamento del canale. L'ampiezza del flusso risulta maggiore dell'ampiezza massima della sezione derivante da sopralluoghi in sito, ciò porta alla considerazione di eventuali fenomeni di esondazione.

Tuttavia, le reali dimensioni dell'asta fluviale non sono rappresentate adeguatamente dal modello digitale di

dimensioni 8x8 adoperato, per cui si suppone che questi abbia una maggiore capacità di smaltimento dell'onda di piena.



Figura 18: Interferenze C.02, C.03, INT.01 e INT.02 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione post-operam su base Google Satellite

In misura cautelativa, si prevedono una fascia di rispetto di 10 metri su entrambi i lati del canale, ed un'ulteriore distanza di 4 metri tra la recinzione perimetrale e la viabilità interna che circonda i sottocampi in esame.

L'intersezione denominata INT.01 (Figura 17) del tracciato del cavidotto MT con la medesima asta fluviale avviene su una struttura di attraversamento di quest'ultimo. Il tratto d'alveo di interesse è quasi interamente occupato da vegetazione incolta, in presenza maggiore rispetto alla condizione di monte, anche se a valle dell'attraversamento lo strato vegetativo decresce drasticamente. Secondo le condizioni appena descritte, si deduce che il restringimento dovuto alla struttura di attraversamento comporti un rallentamento del volume d'acqua transitante, di conseguenza si ottiene un maggiore tempo di residenza all'interno del canale e quindi un fenomeno di infiltrazione nel sottosuolo prolungato. Nonostante il livello idrico in prossimità dell'intersezione INT.01 sia di circa 1 metro (come si evince da Figura 18), si ritiene che la sezione in prossimità

dell'attraversamento non sia adeguata allo smaltimento della portata al colmo relativa all'evento bicentenario, pertanto il fronte d'onda potrebbe sormontare la sommità della struttura, con conseguente flusso d'acqua a stramazzo.



Figura 19: INT.01 - Struttura di attraversamento del corso d'acqua

Si prevede che il superamento dell'interferenza viene eseguito mediante una modalità tra: T.O.C. realizzata su una distanza tra il foro d'entrata e d'uscita maggiore o uguale all'ampiezza delle aree allagate in riferimento all'evento bicentenario, nel caso dell'intersezione INT.01 pari a 20 metri. Ipotesi alternativa consiste nello scavo in trincea al di sotto del fondo alveo del reticolo idrografico esistente, presso la sezione di valle dell'attraversamento, realizzato ad almeno 2 metri di profondità dal letto del corso d'acqua, onde evitare eventuali fenomeni di erosione. Nel caso citato è necessario ripristinare lo stato dei luoghi ante-operam allo scopo di non alterare il regime idrologico-idraulico del vallone esistente.

La scelta della modalità di attraversamento consona al caso in esame potrà essere calibrata anche sulla base delle indicazioni dell'ente autorizzante.

9.2.3 Interferenze C.03 e INT.02

Il lotto B, adibito all'installazione del campo fotovoltaico, è attraversato trasversalmente da un'asta del reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 redatta dall'A.d.B., la quale è intersecata dal tracciato del cavidotto interno MT interrato. Le due interferenze citate, rispettivamente C.03 e INT.02, sono riportate nella Figura 17.

A seguito di sopralluoghi in sito, rispetto all'interferenza precedente, l'asta del reticolo idrografico riguardante l'interferenza C.03 presenta segni più marcati del transito di un flusso d'acqua, anche se si ritiene ancora che il canale sia dominato da un regime torrentizio, con alveo asciutto la maggior parte dell'anno. L'alveo inciso è molto più marcato rispetto al caso precedente, l'impiuvio a monte, come mostra la Figura 20, comporta una maggiore quantitativo d'acqua convogliato e transitante lungo il tratto del reticolo idrografico. Il canale in esame presenta evidenti fenomeni erosivi lineari, accentuati dalla natura dei terreni (limoso-sabbioso). Sono stati infatti identificati solchi di erosione causati da ripetuti fenomeni di termoclastismo.

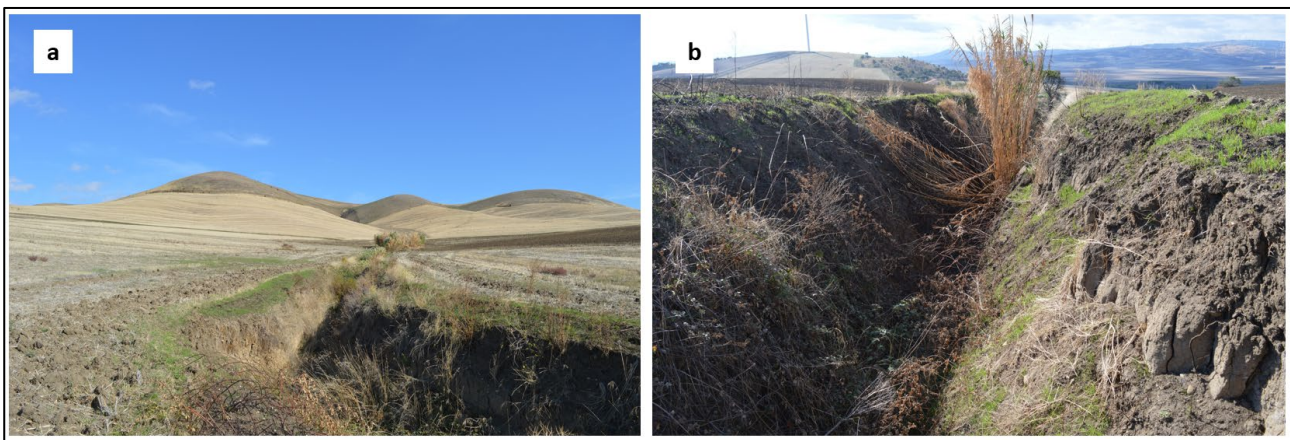


Figura 20: C.03 – Vista verso monte (a) e verso valle (b) da sezione generica del corso d'acqua inerente all'intersezione C.03 all'interno del lotto B

Proseguendo verso valle la sezione tende a restringersi sia in profondità che in ampiezza, si riscontra una maggiore presenza di vegetazione all'interno dell'alveo, comportando quindi un ostacolo aggiunto al transito del fronte d'onda.

La Figura 18 non riporta visivamente valori registrati del massimo tirante idrico all'interno dell'asta del reticolo idrografico riguardante l'interferenza C.03, fatta eccezione per macchie sporadiche lungo il canale con tiranti idrici registrati minori di 1.30 metri. La differenza di livello registrata tra i due corsi d'acqua all'apparenza simili è da ricercare nelle differenze morfologiche degli alvei. Nell'interferenza in esame, l'alveo presenta una sezione più ampia e definita, con minor presenza di vegetazione, comportando probabilmente un'ampiezza del flusso d'acqua maggiore del caso precedente, di conseguenza tiranti idrici minori.

In misura cautelativa, congruentemente al caso dell'interferenza lineare C.02 precedentemente analizzata, si prevedono una fascia di rispetto di 10 metri su entrambi i lati del canale, ed un'ulteriore distanza di 4 metri tra la recinzione perimetrale e la viabilità interna che circonda i sottocampi in esame.

L'intersezione denominata INT.02 del tracciato del cavidotto interno MT interrato con la medesima asta fluviale avviene in prossimità di una tubazione in cemento di convogliamento delle acque, ricoperto in terra al fine di creare un attraversamento (Figura 21). Anche se da simulazione nel software HEC-RAS non si registrano tiranti idrici al di sopra del metro in relazione ad eventi bicentenari di piena, si ritiene che l'opera di smaltimento non sia adeguata allo smaltimento dei volumi d'acqua transitanti, con conseguente sormonto della tubazione ed espansione dell'onda di esondazione su sede stradale.



Figura 21: INT.02 – Tubazione di convogliamento delle acque ricoperto in terra

Si prevede che il superamento dell'interferenza in esame sia eseguito secondo scavo in trincea al di sotto del reticolo idrografico esistente presso la sezione di valle dell'attraversamento, e realizzato ad almeno 2 metri di profondità dal letto del corso d'acqua, ponendo attenzione al ripristino dello stato dei luoghi ante-operam allo scopo di non alterare il regime idrologico-idraulico del sistema esistente. Alternativa progettuale consiste nella metodologia T.O.C. realizzata su una distanza tra il foro di entrata e d'uscita maggiore o uguale all'ampiezza dell'area allagata derivante da simulazione, da Figura 18 si deduce una distanza minima di 15 metri.

La scelta della modalità di attraversamento consona al caso in esame potrà essere calibrata anche sulla base delle indicazioni dell'ente autorizzante.

9.2.4 Interferenza INT.03

Il tracciato del cavidotto interno MT interrato interseca un'asta del reticolo idrografico, il punto di intersezione è denominato INT.03, mostrato in Figura 22a. A seguito di sopralluoghi in sito, non è stata

riscontrata la presenza di un canale aventi caratteristiche di corso di un corso d'acqua, sia ordinario che episodico; da Figura 22b, rappresentante l'intersezione INT.03 tra il tracciato del cavidotto MT e un'asta del reticolo idrografico, è evidente una linea di impluvio con pendenze dei versanti non elevate, la quale riporta impronte di mezzi adibiti ad attività agricola che la attraversano.

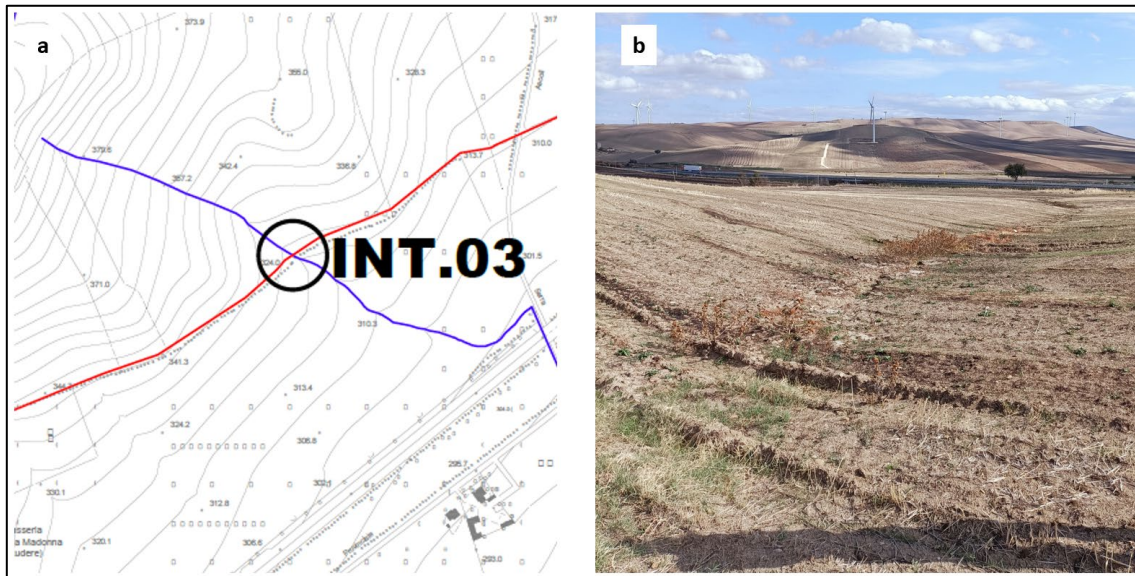


Figura 22: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.03 delle opere di progetto (a), vista dell'asta del reticolo idrografico dall'intersezione INT.03 verso valle (b)

La simulazione bidimensionale in HEC-RAS riguardante la propagazione degli idrogrammi di piena a seguito ad eventi relativi a tempo di ritorno pari a 200 anni, è stata modellata su un bacino imbrifero di grandi dimensioni rispetto all'area delle opere di progetto. Per tale motivo è stato possibile investigare sulla propagazione dell'onda di esondazione anche nel caso in cui non vi è presenza di un alveo definito, come nel caso dell'INT.03.

La Figura 23 riporta la mappa delle massime profondità registrate a seguito della modellazione in HEC-RAS, da cui si evince come l'asta in esame del reticolo idrografico non sia interessata da livelli idrici rilevanti. Si suppone che l'acqua defluente lungo la linea di impluvio abbia una profondità di pochi centimetri, le velocità del flusso sono dell'ordine di $0.1-0.2 \text{ m s}^{-1}$. I risultati ottenuti avvalorano l'ipotesi di non sussistenza della formazione di un corso d'acqua vero e proprio, motivo per cui si ritiene di non dover prevedere opere ad hoc per la risoluzione dell'intersezione. In conclusione, si prevede che l'interferenza INT.03 non sia trattata come tale, ma si suppone che si superi attraverso uno scavo a cielo aperto con interrimento del cavidotto all'interno del corpo stradale, i cui dettagli saranno discussi e approfonditi in fase di progettazione esecutiva.

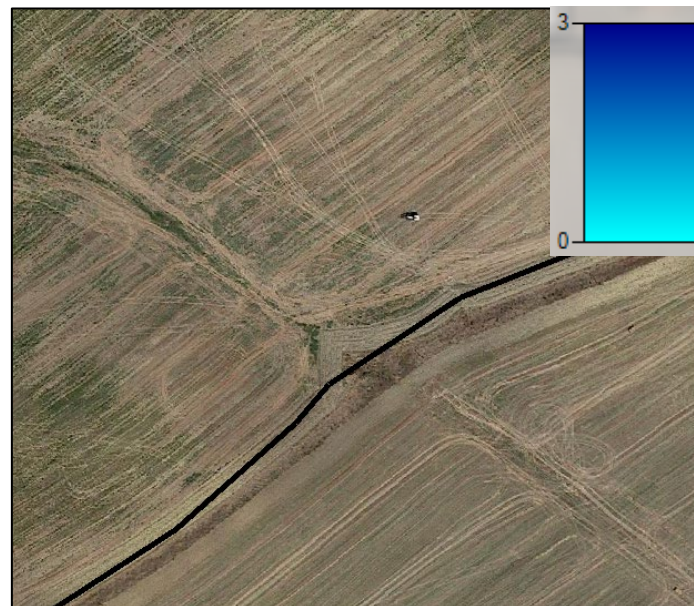


Figura 23: Interferenza INT.03 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione ante-operam su base Google Satellite

9.2.5 Interferenza INT.04

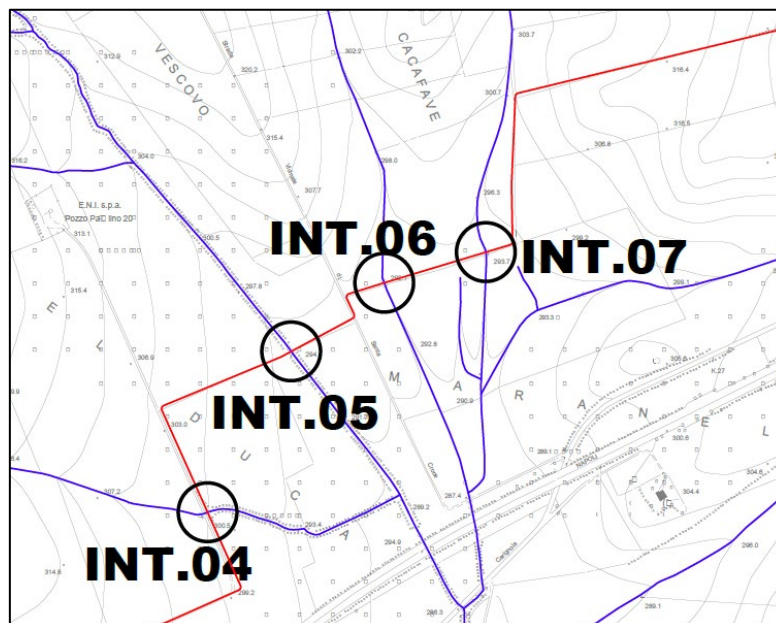


Figura 24: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07 delle opere di progetto

Il punto denominato INT.04 rappresenta l'intersezione tra il tracciato del cavidotto esterno MT interrato ed un'asta del reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto.

L'intersezione avviene su una struttura di attraversamento in cemento che ricopre una tubazione per il convogliamento delle acque defluenti lungo il canale. Il manufatto è caratterizzato da una soletta di 30 centimetri e altezza della luce libera di circa 2 metri, riportato in Figura 25. L'alveo del canale in esame è per gran parte ricoperto da vegetazione autoctona sviluppatasi in altezza, si suppone quindi un livello di umidità del suolo elevato ma una presenza dell'acqua meno frequente di un regime torrentizio all'interno dell'alveo.



Figura 25: INT.04 – Attraversamento in cemento dell'asta del reticolo idrografico

Nella Figura 26 è riportata la mappa dei massimi tiranti idrici in relazione alle interferenze INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07, rinvenuti dalla modellazione bidimensionale in HEC-RAS. Per quanto riguarda l'intersezione in prossimità del punto INT.04, si registrano tiranti inferiori a 1.3 metri, tuttavia, è probabile che il manufatto relativo all'attraversamento dell'asta del reticolo idrografico, viste le modeste dimensioni (Figura 26), venga sormontato dall'onda transitante.

Dalle mappe delle massime profondità si riscontra una diramazione dal canale inerente all'interferenza INT.04, probabilmente per una capacità di smaltimento ridotta nella sezione di monte, la quale segue parallelamente il corso d'acqua fino all'incrocio con la strada esistente. Si suppone che tale evento non costituisca un problema per il tracciato del cavidotto interrato MT, sia per i modesti tiranti idrici registrati in prossimità che per le pendenze caratteristiche del territorio, secondo le quali il corso d'acqua della diramazione si ricongiunge al canale principale.

In conclusione, è necessario superare l'interferenza mediante una modalità tra T.O.C. realizzata su una distanza tra il foro di entrata e d'uscita maggiore o uguale all'ampiezza dell'area allagata derivante da

simulazione, da Figura 26 si deduce una distanza minima di 17 metri, o scavo in trincea al di sotto del reticolo idrografico esistente presso la sezione di valle dell'attraversamento, e realizzato ad almeno 2 metri di profondità dal letto del corso d'acqua, ponendo attenzione al ripristino dello stato dei luoghi ante-operam allo scopo di non alterare il regime idrologico-idraulico del sistema esistente.

La scelta della modalità di attraversamento consona al caso in esame potrà essere calibrata anche sulla base delle indicazioni dell'ente autorizzante.

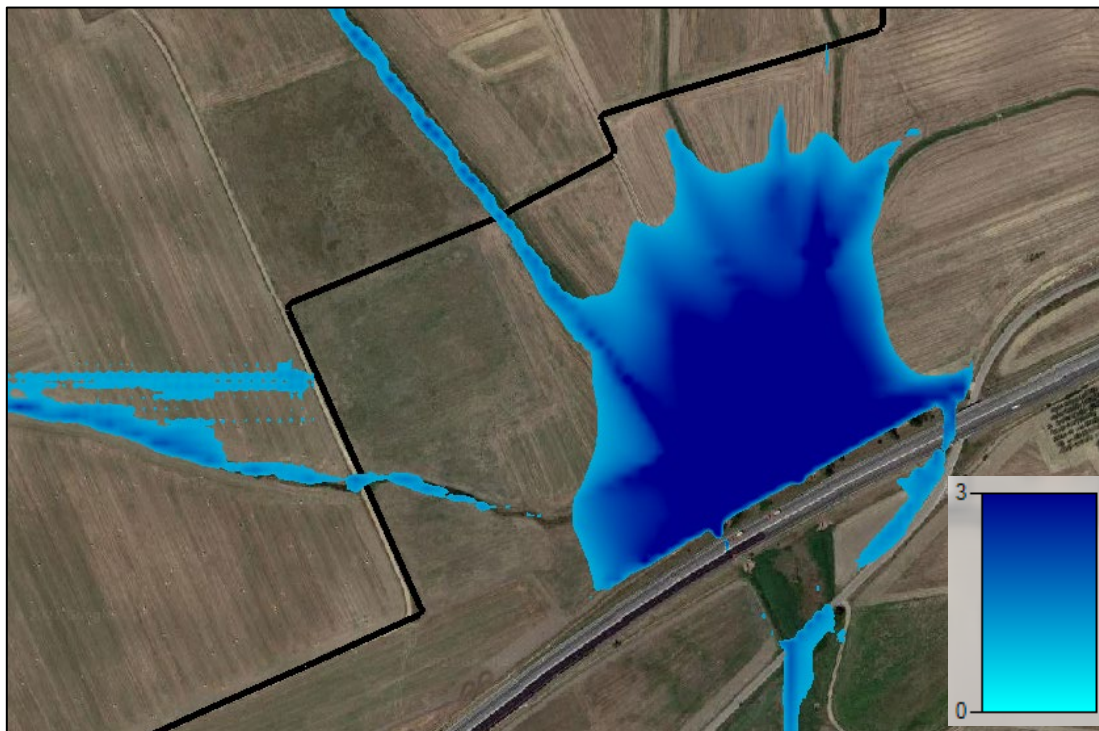


Figura 26: Interferenze INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione ante-operam su base Google Satellite

9.2.6 Interferenze INT.05, INT.06 e INT.07

Il tracciato del cavidotto esterno MT interrato interseca il reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 nei punti denominati INT.05, INT.06 e INT.07. Le intersezioni avvengono su tre strutture di attraversamento, dei ponti in cemento tutti caratterizzati dagli stessi sistema costruttivo, tipologia strutturale e caratteristiche geometriche.

Rispetto al caso dell'intersezione precedente, le aste fluviali in esame del reticolo idrografico sono ad una distanza di interasse minore dell'ampiezza delle fasce di pertinenza, definite dalle N.T.A. del P.A.I. Tale condizione fa sì che si venga a costituire un'unica fascia di pertinenza, mostrata in Figura 27, per cui effettuare l'analisi di compatibilità idraulica.

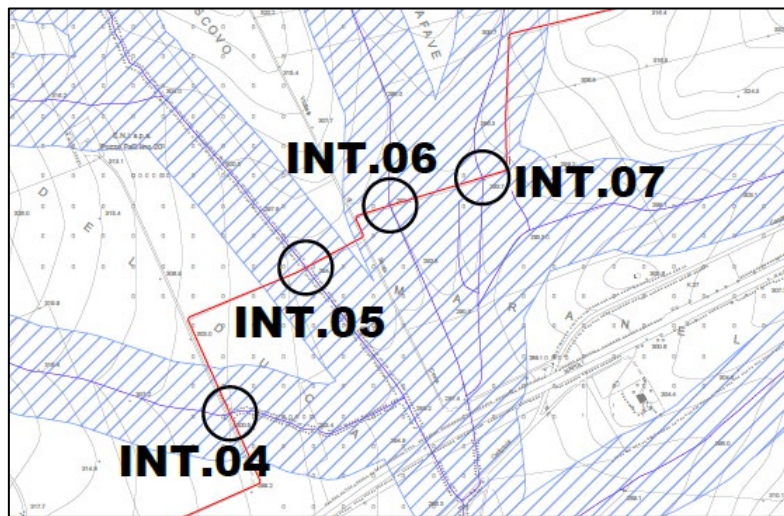


Figura 27: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.05, INT.06 e INT.07 delle opere di progetto



Figura 28: Attraversamento tipo in riferimento alle intersezioni INT.05, INT.06 e INT.07

Per tutti le tre interferenze, la struttura di attraversamento costituisce un elemento di separazione dell'ambiente dell'alveo dell'asta fluviale, la presenza di vegetazione si riduce drasticamente superato il manufatto. Il terreno presente le stesse caratteristiche in prossimità dell'attraversamento, fatta eccezione per il livello di umidità del suolo, maggiore nella condizione di monte.

La struttura di attraversamento è riportata in Figura 28, è costituita da una soletta di circa 50 centimetri, il portale al di sotto ha dimensioni 2 m × 2.8 m. Da vista dall'alto, il manufatto si estende per 8 metri, per un'ampiezza di 4.70 metri.

Secondo sopralluoghi in sito, si ipotizza che il manufatto funga da sbarramento per il corso d'acqua, portando ad un rallentamento del flusso e alla costituzione di zone inattive nella sezione di monte, creando così una sorta di "serbatoio di accumulo", seppur con modesti livelli idrici. Ciò comporta un tempo di residenza dell'acqua all'interno del canale maggiore rispetto alla condizione di valle, portando ad un livello di umidità del suolo elevato, di conseguenza, favorendo i fenomeni di infiltrazione. Trattandosi di aste del reticolo in prossimità delle zone collinari a monte del bacino imbrifero di interesse, si ritiene possibile che non ci siano fenomeni di esondazione del corso d'acqua durante il transito dell'onda di piena, nonostante la considerazione di un evento estremo bicentenario. Tuttavia, causa un maggiore tempo di residenza dell'acqua a monte della struttura di attraversamento, si ritiene che possano instaurarsi fenomeni prolungati di capillarità, con conseguente risalita della frangia capillare fino al piano campagna secondo modello di infiltrazione di Dunne, tipico delle zone collinari e pianeggianti.

Le profondità massime raggiunte in prossimità delle intersezioni INT.05, INT.06 e INT.07 derivanti da modellazione bidimensionale con evento di precipitazione relativo al valore bicentenario del tempo di ritorno, sono riscontrabili nella Figura 26. In riferimento all'intersezione INT.05, si riscontrano livelli idrici nell'intervallo di 1-1.7 metri, circa 1.6 metri nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento. Da modello idraulico, si evince che la struttura di attraversamento venga sormontata dall'onda di esondazione, nel cui caso il flusso sarà regolato da legge di afflusso sotto battente e allo stramazzo. Le portate e i tiranti maggiori riscontrati nel canale in esame rispetto ai corrispettivi corsi d'acqua delle intersezioni INT.06 e INT.07, nonostante le simili caratteristiche morfologiche, sono giustificate dalla densità del reticolo ricadente all'interno del bacino imbrifero con sezione di chiusura presso il manufatto dell'INT.05, molto maggiore rispetto agli altri casi del presente elaborato.

In merito alle interferenze denominate INT.06 e INT.07, da Figura 26 non si riscontrano elevati tiranti idrici in prossimità delle sezioni di interesse, se non dei valori al di sotto del metro nella sezione a monte del manufatto riguardante l'interferenza INT.07.

In conclusione, per le tre interferenze in esame non risulta fattibile la risoluzione di queste attraverso staffaggio, essendo i manufatti di attraversamento caratterizzati da una soletta di soli 50 centimetri. Nel caso dell'interferenza INT.05 è necessario superare l'intersezione mediante una modalità tra T.O.C. realizzata su

una distanza tra il foro di entrata e d'uscita maggiore o uguale all'ampiezza dell'area allagata derivante da simulazione, da Figura 26 si deduce una distanza minima di 12 metri, o scavo in trincea al di sotto del reticolo idrografico esistente presso la sezione di valle dell'attraversamento, e realizzato ad almeno 2 metri di profondità dal letto del corso d'acqua, ponendo attenzione al ripristino dello stato dei luoghi ante-operam allo scopo di non alterare il regime idrologico-idraulico del sistema esistente.

Per quanto riguarda le interferenze INT.06 e INT.07, dalle considerazioni precedenti si ritiene sufficiente superare le intersezioni attraverso scavo in trincea al di sotto del reticolo idrografico, con le stesse considerazioni effettuate per l'INT.05. Alternativa progettuale consiste, anche in questo caso, nella scelta della metodologia T.O.C. per la risoluzione di tale interferenza.

La scelta della modalità di attraversamento consona al caso in esame potrà essere calibrata anche sulla base delle indicazioni dell'ente autorizzante.

Da Figura 26 si riscontra la formazione di un accumulo d'acqua derivante da precipitazione, nel quale sono registrati i tiranti idrici anche al di sopra dei tre metri. Tale fenomeno è giustificato dalle scarse capacità di smaltimento dei volumi di piena delle opere di smaltimento al di sotto del profilo stradale dell'autostrada A16. Infatti, tali gallerie, seppur di rilevanti dimensioni, risultano da sopralluoghi in sito in uno stato di scarsa manutenzione, essendo quasi l'intera sezione di interesse e relativi canali di deflusso al suo interno, ricoperte da un folto strato vegetativo. La condizione descritta comporta quindi un effetto di sbarramento per il corso di deflusso delle acque, il quale raggiunge portate e tiranti considerevoli, essendoci a monte più confluente dei corsi d'acqua descritti in precedenza. Nonostante ciò, le sezioni relative alle intersezioni si trovano a quote maggiori delle opere di smaltimento citate, per cui queste non sono toccate dallo specchio d'acqua dell'accumulo creatosi, come si evince anche da modellazione bidimensionale.

9.2.7 Interferenza INT.08

A differenza dei casi precedenti, l'interferenza denominata INT.08 non riguarda un'intersezione del cavidotto esterno MT interrato con un'asta del reticolo idrografico, ma ricade nella fascia di pertinenza di un canale affluente del canale Castello, affluente del torrente Carapelle (Figura 29a).

Il bacino relativo all'interferenza in esame, denominato SB02, ha dimensione ridotte, inoltre l'interferenza è situata nella zona di monte, dove tipicamente l'area contribuente alla formazione del deflusso superficiale è ancora di modesta entità. Difatti, da mappa delle massime profondità registrate da modellazione idraulica in HEC-RAS, riportata in Figura 29b, non si riscontrano tiranti idrici, la portata massima riscontrata in prossimità della sezione di chiusura è al di sotto di $1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, ciò giustifica livelli dell'acqua al di sotto dei 50 centimetri.

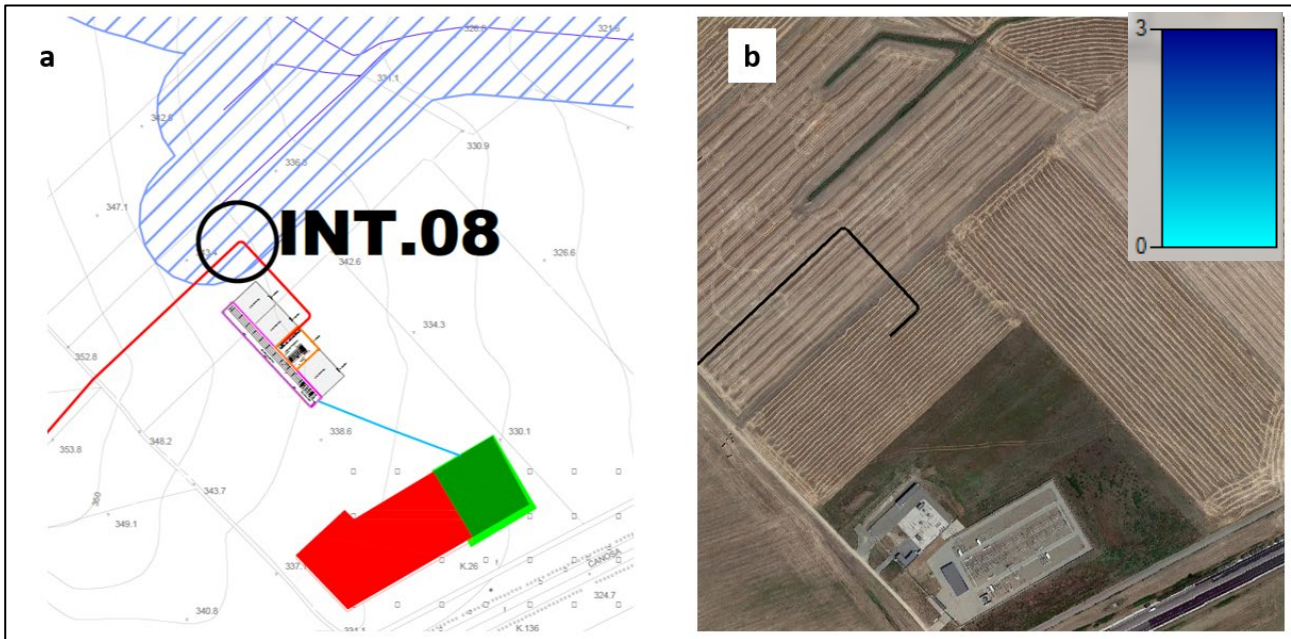


Figura 29: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenza INT.08 delle opere di progetto (a), interferenza INT.08 in riferimento ai massimi tiranti idrici stimati nelle aree inondabili relative ad eventi con tempi di ritorno pari a 200 anni e in condizione ante-operam su base Google Satellite

In conclusione, si ritiene che il tratto del tracciato del cavidotto MT interrato ricadente nella fascia di pertinenza dell'asta del reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto, sussista in condizioni di sicurezza idraulica. Pertanto, non si prevedono opere ad hoc per la risoluzione dell'interferenza.

9.3 Calcolo dell'erosione

Il calcolo dell'erosione è stato eseguito per tutte le interferenze delle opere di progetto con il reticolo idrografico, la cui risoluzione prevede un attraversamento dell'asta specifica attraverso tecnica T.O.C. o scavo in trincea. Infatti, le tecniche citate prevedono una profondità per la posa del cavo al di sotto del punto più basso della sezione di attraversamento del reticolo idrografico, di 2.5 metri (con tecnica T.O.C.) e di 2 metri (scavo in trincea). Risulta quindi opportuno analizzare le azioni di trascinamento della corrente in corrispondenza delle sezioni interessate dalle risoluzioni delle interferenze, con il fine ultimo di verificare che la relativa profondità di escavazione del corso d'acqua non raggiunga il cavo stesso.

Il fenomeno dell'erosione legato alle correnti idriche è direttamente proporzionale alla tipologia di terreno costituente l'alveo e le aree limitrofe inondabili, alla velocità del flusso e alle pendenze dell'alveo inciso, anche se quest'ultimi due parametri sono legati tra loro. A parità di caratteristiche geomorfologiche del territorio analizzato, pendenze maggiori dell'alveo inciso, e di conseguenza maggiori velocità del flusso nel

canale, tipiche di ambienti montani con rilevanti variazioni di quota in brevi distanze, comportano fenomeni di trasporto solido e di erosione dell'ambiente fluviale rispetto a pendenze meno accentuate e moderate velocità dell'acqua, caratteristiche tipiche dei territori pianeggianti o collinari con morfologia meno acclive, come nel caso del presente elaborato. Nell'ultimo caso citato, fenomeni di deposito sul fondo valle o negli ambienti limitrofi golenali sono preponderanti rispetto a quelli di erosione e trasporto, comportando un graduale riempimento dell'alveo e una modellazione degli ambienti circostanti.

I fenomeni di erosione più frequenti sono legati ad eventi di piena ordinaria, relativi a tempi di ritorno compresi 1.5 e 2 anni, nel cui caso il transito dell'onda di piena comporta il trasporto solido sul fondo valle ed eventuale deposito nelle aree golenali a seguito dello smaltimento dei volumi di piena. Nel caso di eventi intensi relativi a valori di tempi di ritorno elevati, i fenomeni di erosione sono notevolmente accentuati, costituendo di conseguenza un fattore di pericolosità maggiore per le opere civili di interesse.

Il grado di erosione in una sezione di un'asta fluviale generica può essere definito attraverso formulazioni empiriche. In maniera approssimativa, demandando alla fase esecutiva un maggior grado di dettaglio nell'analisi dei fenomeni di erosione nelle sezioni di interesse, la profondità di erosione δ è stimata secondo la relazione seguente.

$$\delta = |h_e - h| \quad (16)$$

Nell'equazione (16) h_e è il livello idrico nella sezione a seguito dell'evento erosivo, mentre h è il livello idrico nella sezione precedentemente all'evento di interesse, derivante dalla modellazione idraulica in HEC-RAS. Il parametro h_e è stato stimato attraverso formule empiriche, in particolare per il caso di interesse, secondo la formulazione di Blench (1969) nel caso di sabbie e limi.

$$h_e = 0.379 q^{2/3} d_{50}^{-1/6} \quad (17)$$

Nella relazione (17) q è la portata per unità di larghezza in $m^3 (s m)^{-1}$, d_{50} è il diametro corrispondente al 50 % del passante, in metri. Il valore del parametro d_{50} è compreso tra 6×10^{-5} e 0.002, a vantaggio di sicurezza, nel presente elaborato è stato preso come valore di tale parametro il limite superiore dell'intervallo. La portata per unità di larghezza è ottenuta dal prodotto della velocità massima registrata nella sezione di interesse e il tirante idrico massimo, dati derivanti dalla modellazione in HEC-RAS relativa ad eventi di precipitazione per valore bicentenario del tempo di ritorno. Tale misura è del tutto cautelativa, poiché a elevate velocità del flusso all'interno del canale corrispondono livelli idrici minori, essendo caratteristiche della corrente veloce.

Metodo alternativo per la stima del parametro q consiste nell'effettuare il rapporto tra la portata al colmo di piena rinvenuta in ogni sezione di interesse, valore ottenibile dalla simulazione bidimensionale, e l'ampiezza massima della relativa sezione, dato registrato durante sopralluoghi in sito. L'ultimo parametro citato è riferito all'ampiezza massimo del canale, ai fini del calcolo dell'erosione è necessaria l'ampiezza del flusso d'acqua, dato dipendente dal tirante idrico e variabile da sezione a sezione. Nel presente elaborato si procede con il primo metodo citato, i risultati sono mostrati nella seguente tabella.

Tabella 23: Parametri per il calcolo dell'erosione in riferimento alle risoluzioni delle intersezioni INT.01, INT.02, INT.03, INT.05, INT.06 e INT.07

Intersezione	h (HEC-RAS) [m]	d_{50} [m]	v (HEC-RAS) [m s ⁻¹]	q [m ² s ⁻¹]	h_e [m]	δ [m]
INT.01	1.05	0.002	1.5	1.58	1.45	0.40
INT.02	1.06	0.002	2.63	2.79	2.11	1.05
INT.04	1.33	0.002	3.29	4.38	2.86	1.53
INT.05	1.54	0.002	2.75	4.24	2.79	1.25
INT.06	0	0.002	0	0.00	0.00	0.00
INT.07	1.06	0.002	1.4	1.48	1.39	0.33

In conclusione, nei casi in cui la risoluzione delle interferenze puntuali del cavidotto MT interrato, sia interno che esterno, avvenga attraverso tecnica T.O.C. (profondità di scavo pari a 2 metri) o scavo in trincea (profondità di scavo pari a 2 metri dal fondo alveo), il cavo è posto ad una profondità tale da non essere interessato dai fenomeni erosivi.

10 REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE

Le opere di progetto non prevedono aree impermeabilizzate, essendo le strutture tracker piantate nel terreno senza alcun tipo di fondazione areale, ad accezione delle power station e la cabina di raccolta, le quali necessitano di una platea di calcestruzzo su cui poggiare, la cui estensione però riguarda una percentuale poco rilevante dell'area totale. Inoltre, essendo l'impianto di progetto di tipo agro-fotovoltaico, dove non è previsto un sistema di irrigazione per via delle colture predisposte, è evidente che le zone impermeabilizzate sono quasi inesistenti. La presenza di canalizzazioni di raccolta delle acque meteoriche tra le file dei tracker porterebbe ad un'occupazione del suolo eccessiva, potenzialmente adibita alle colture previste.

Tabella 24: Valori delle aree impermeabilizzate rispetto alla superficie totale

Area totale [m ²]	Area impermeabilizzata [m ²]	percentuale di impermeabilizzazione [%]
602500	357.2	0.06

La Tabella 24 riporta la percentuale di superficie occupata dai basamenti delle power station e della cabina di raccolta rispetto all'area totale ricadente all'interno della recinzione perimetrale. La percentuale di superficie impermeabilizzante è di molto inferiore all'unità percentuale, motivo per cui non sono previste opere di smaltimento delle acque meteoriche.

Si prevede che la portata derivante da eventi climatici sulle aree di interesse, venga canalizzata secondo le pendenze naturali del terreno verso le opere di captazione esistenti lungo la viabilità esistente (si rimanda all'elaborato "FV.ASC01.PD.E.08 – "Regimentazione acque meteoriche").

In misura cautelativa, è ipotizzabile, al fine di ottenere una regimentazione ottimale, realizzare i basamenti della cabina di raccolta e delle power station a quota di poco maggiore di quella del terreno, creando pendenze in direzione Sud convogliando le acque all'interno degli appositi canali su viabilità esistente.

Ulteriore alternativa, è la proposta di realizzazione lungo il perimetro dell'area in esame di un canale in terra con protezione di materassi di tipo Reno, in grado di convogliare le acque di scorrimento superficiale in punti predisposti al loro raccoglimento, o verso le linee di impluvio. In tal modo si evita che l'eventuale dilavamento possa causare ogni tipo di approfondimento dei solchi vallivi che potrebbe comportare fenomeni di ripercussione lungo i versanti. Si rimandano tali considerazioni alla progettazione in fase esecutiva.

11 CONCLUSIONI

Nel presente studio di compatibilità idrologico e idraulica si è proceduto, come primo step, all'individuazione del reticolo idrografico con cui potessero interferire le opere di progetto, rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto. In seguito, sono state individuate le fasce di pertinenza per ogni tratto del reticolo idrografico di interesse, secondo direttive delle N.T.A. al P.A.I. dell'A.d.B. di riferimento.

Successivamente, si è proceduto con l'individuazione di tutte le interferenze delle opere di progetto con il reticolo idrografico individuato, nello specifico delle aree adibite all'installazione del campo fotovoltaico e del tracciato del cavidotto MT interrato, sia interno che esterno.

Per tutte le interferenze riscontrate sono state ipotizzate le modalità di attraversamento più idonee a garantire la compatibilità delle opere di progetto con il tessuto fluviale del territorio. Per alcune sono state fornite due ipotesi di risoluzione la cui scelta dovrà essere ponderata sui pareri e indicazioni dell'ente autorizzante.

Per tutte le interferenze è stato condotto uno studio morfometrico del bacino idrografico in cui queste ricadono, unico per tutti punti di interesse, eccezion fatta per l'interferenza INT.08, per la quale è stato preso in considerazione un sotto-bacino diverso. Attraverso modellazione bidimensionale in HEC-RAS, sono state stimate le aree inondabili da eventi di piena relativi a tempo di ritorno pari a 200 anni e relativi massimi tiranti idrici, sia in condizione ante-operam che post-operam.

Le interferenze più rilevanti sono:

- C.02 e C.03, ovvero le interferenze lineari costituite da due aste del reticolo idrografico, le quali attraversano trasversalmente il lotto B. Nel caso in esame sono state previste delle fasce di rispetto di 20 metri per lato, con una distanza minima della viabilità interna dalla recinzione perimetrale di ulteriori 4 metri;
- INT.01, INT.02, INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07, tutte interferenze riguardanti il tracciato del cavidotto MT interrato, sia esterno che interno. Per tali punti si prevede che l'attraversamento sia risolto con l'applicazione di una tecnica a scelta tra T.O.C. realizzata su una distanza tra il foro d'entrata e d'uscita maggiore o uguale all'ampiezza delle aree allagate in riferimento all'evento bicentenario o scavo in trincea al di sotto del reticolo idrografico esistente. La scelta della modalità di attraversamento consona ai casi citati potrà essere calibrata anche sulla base delle indicazioni dell'ente autorizzante.

Le soluzioni di attraversamento scelte non determinano interferenze con le sezioni libere di deflusso dei corsi d'acqua e col materiale inerte presente in alveo e consentono la protezione dei collegamenti elettrici dalle eventuali azioni di trascinamento della corrente. Inoltre, le opere di progetto non ricadono in aree a pericolosità idraulica, definite dal P.A.I. dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto.

Sulla base delle considerazioni e delle valutazioni fatte, al netto del parere delle autorità competenti, si ritiene il progetto compatibile con l'assetto idrologico-idraulico dell'area in esame.