

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 IDROLOGICA

Nome file sorgente:

SEZIONE A/FV.ASC01.PD.A.06.2.docx

Numero elaborato:

FV.ASC01.PD.A.06.2

Scala:

Formato di stampa:

Nome file stampa:

FV.ASC01.PD.A.06.2.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.06.2	00	12/2021	D. Genco	A.Bottone/G.Conio	

INDICE

1	PREMESSA.....	8
2	INTRODUZIONE	9
3	METODO DI ANALISI	10
4	LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	12
4.1	Inquadramento delle opere nei territori di competenza dell'A.d.B.	12
4.2	Sintesi delle Norme Tecniche di Attuazione dell'A.d.B.	12
4.3	Compatibilità degli interventi rispetto al PAI	13
5	LOCALIZZAZIONE DELL'INTERVENTO	15
5.1	Interferenze tra le opere di progetto e il reticolo idrografico.....	15
5.1.1	Aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico	15
5.1.2	Viabilità a servizio del campo fotovoltaico	16
5.1.3	Linea elettrica MT per il collegamento del campo fotovoltaico alla stazione di trasformazione	16
6	ANALISI MORFOLOGICA E MORFOMETRICA DEI BACINI IDROGRAFICI.....	20
6.1	Inquadramento geomorfologico	20
6.2	Analisi morfologica e morfometrica dei bacini idrografici	21
7	ANALISI IDROLOGICA.....	26
7.1	Generalità del progetto VAPI per la regione Puglia	26
7.2	Analisi idrologica del progetto VAPI per la regione Puglia	26
7.2.1	Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica in Puglia	27
7.2.2	Stima delle portate al colmo di piena per la regione Puglia	29
7.3	Calcolo delle precipitazioni e delle portate di progetto	31
8	MODELLAZIONE IDROLOGICA	34
8.1	Metodologia utilizzata	34
8.2	Modello idrologico	34

8.2.1	Modello geometrico	34
8.2.2	Modellazione della forzante pluviometrica	37
8.2.2.1	Metodo Curve Number (CN) e stima del coefficiente di deflusso ϕ ante-operam	38
8.2.2.2	Valutazione post-operam.....	44
8.2.2.3	Considerazioni e conclusioni	46
8.3	Stima delle portate.....	47



RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE FV.ASC01.PD.A.06.2

REVISIONE n. 00

DATA REVISIONE 12/2021

PAGINA 4 di 50

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>	9
<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>	14
<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>	16
<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>	18
<i>Figura 5: Stralcio Carta Geologica 1:100000 Foglio 175 Cerignola, con legenda della stratigrafia dei depositi quaternari</i>	21
<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>	22
<i>Figura 7: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto su modello digitale del terreno .</i>	24
<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>	25
<i>Figura 9: Zone omogenee rispetto al valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere, progetto VAPI</i>	29
<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>	32
<i>Figura 11: Modello geometrico dei domini relativi ai sotto-bacini SB01 e SB02 ai fini della modellazione idraulica in HEC-RAS.....</i>	35
<i>Figura 12: Rapporto tra Precipitazione totale e precipitazione cumulata al variare del parametro CN</i>	39
<i>Figura 13: Mappa Litologica dei sotto-bacini SB01 e SB02.....</i>	40
<i>Figura 14: Rappresentazione dei sotto-bacini con sezioni di chiusura in prossimità delle interferenze INT.01, INT.02, INT.04, INT.05 e INT.07 in riferimento al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000</i>	48



RELAZIONE IDROLOGICA

CODICE FV.ASC01.PD.A.06.2

REVISIONE n. 00

DATA REVISIONE 12/2021

PAGINA 6 di 50

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>	15
<i>Tabella 2: Interferenze tra le aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico e il reticolo idrografico esistente.....</i>	15
<i>Tabella 3: Interferenze tra il tracciato del cavidotto di progetto e il reticolo idrografico esistente</i>	17
<i>Tabella 4: Caratteristiche morfologiche dei sub-bacini idrografici del caso studio</i>	23
<i>Tabella 5: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Puglia.....</i>	27
<i>Tabella 6: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita per le piogge in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno</i>	28
<i>Tabella 7: Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Puglia.....</i>	30
<i>Tabella 8: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita per le portate in Puglia, per alcuni valori del periodo di ritorno</i>	30
<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>	31
<i>Tabella 10: Altezze medie di precipitazione e portate al colmo di piena per i sotto-bacini SB01 e SB02</i>	33
<i>Tabella 11: Categorie di aree di dominio e relativi valori assegnati del coefficiente di Manning</i>	36
<i>Tabella 12: Classificazione del tipo idrologico del suolo in base alla litologia del territorio secondo N.R.C.S.</i>	39
<i>Tabella 13: Classificazione del tipo idrologico di suolo in base alla classe litologica dei sotto-bacini del caso studio</i>	40
<i>Tabella 14: Tipo di copertura ed uso del suolo</i>	41
<i>Tabella 15: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento al sotto-bacino SB01.....</i>	41
<i>Tabella 16: Parametro CN in relazione al tipo di copertura e al tipo di suolo in riferimento al sotto-bacino SB02.....</i>	43
<i>Tabella 17: Classe AMC in riferimento all'altezza di pioggia cumulata nei cinque giorni precedenti all'evento</i>	43
<i>Tabella 18: Parametri del metodo CN e dei coefficienti di deflusso.....</i>	44
<i>Tabella 19: caratteristiche degli input di precipitazione della modellazione idraulica ANTE-OPERAM.....</i>	44
<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>	45
<i>Tabella 21: Parametri per la valutazione del coefficiente di deflusso delle aree adibite all'istallazione del campo fotovoltaico post-operam</i>	46
<i>Tabella 22: caratteristiche degli input di precipitazione della modellazione idraulica POST-OPERAM</i>	47
<i>Tabella 23: Caratteristiche morfologiche dei sotto-bacini con sezione di chiusura presso le intersezioni di interesse</i>	49
<i>Tabella 24: Valori di portata stimati per le intersezioni di interesse</i>	49

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).

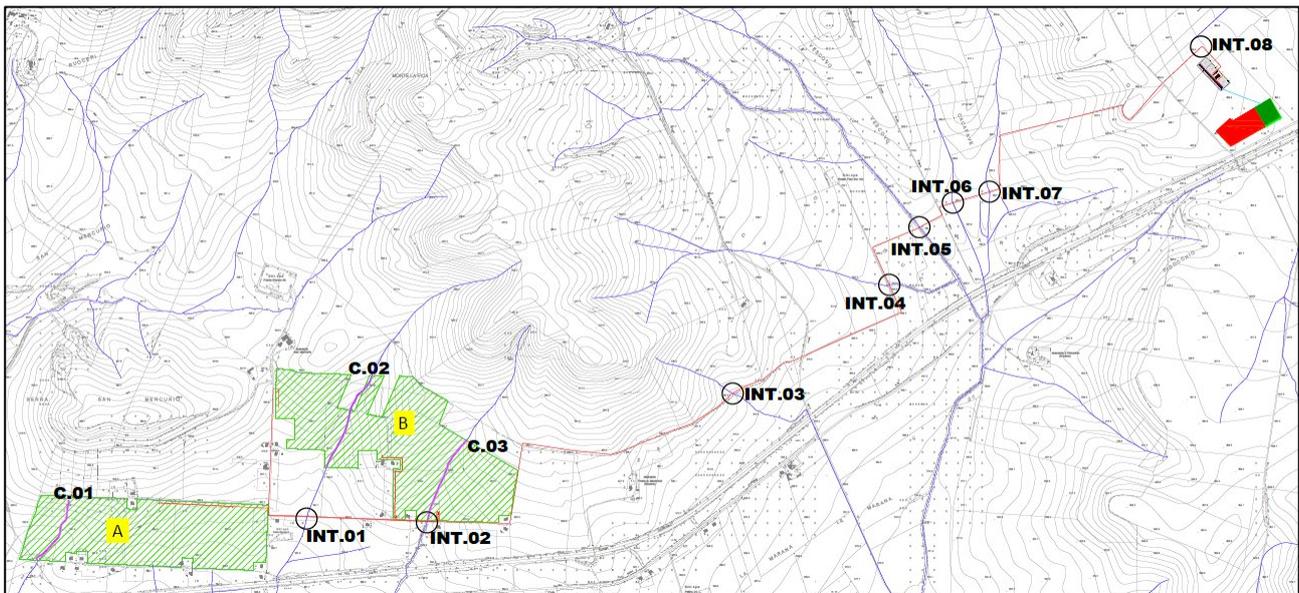


Figura 1: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze delle opere di progetto

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, contermini 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 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.

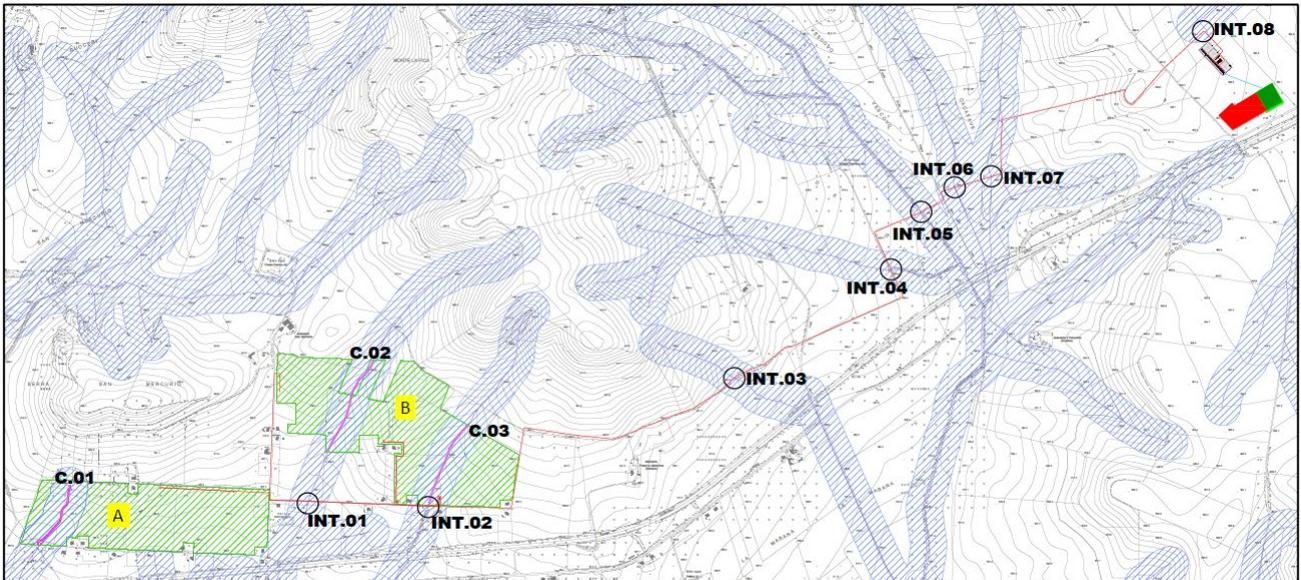


Figura 2: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione delle fasce di pertinenza del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze delle opere di progetto

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 annesso 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

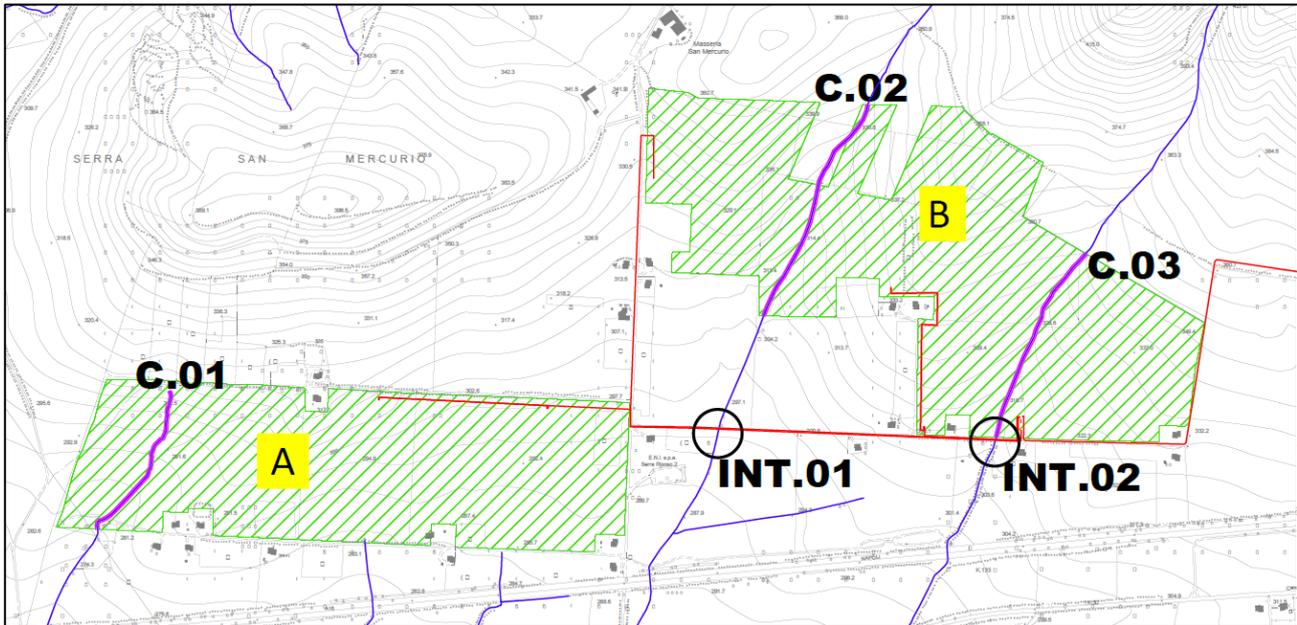


Figura 3: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e interferenze C.01, C.02, C.0, INT.01 e INT.02 delle opere di progetto

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.

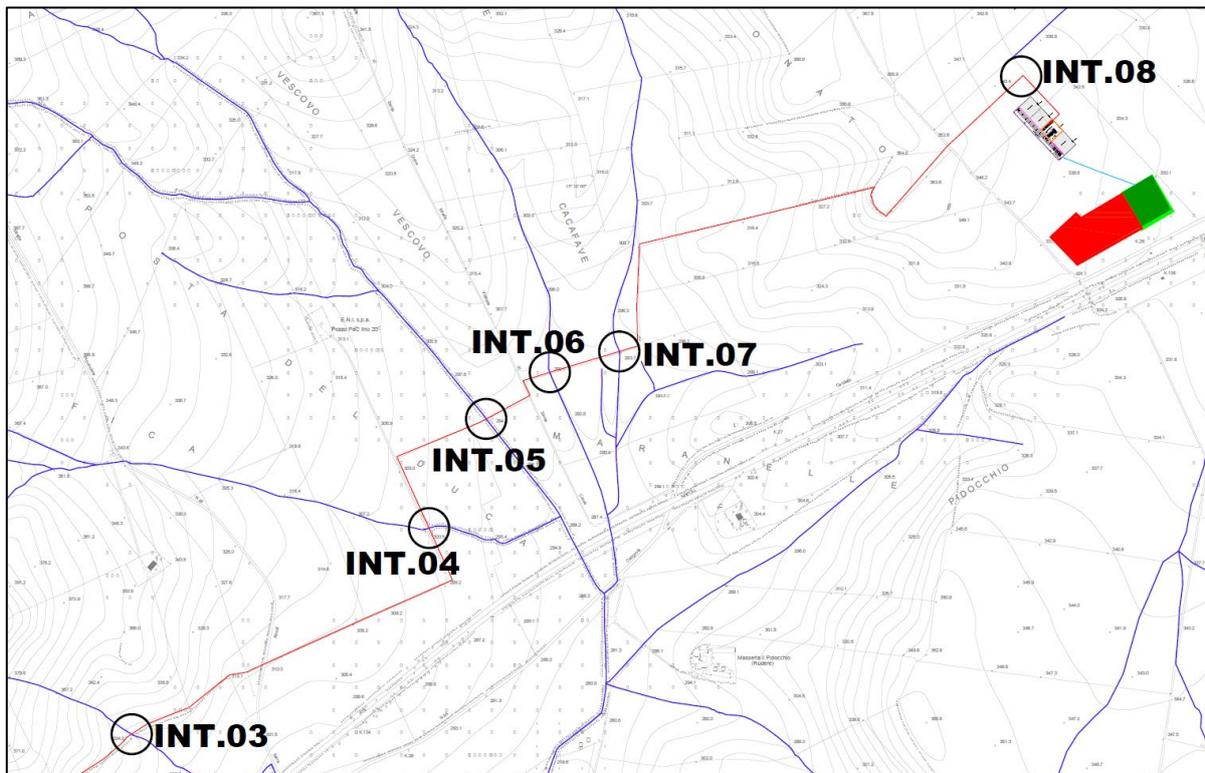


Figura 4: Stralcio Layout di progetto su carta C.T.R. con individuazione del reticolo idrografico rinvenuto dalla carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto e interferenze INT.03, INT.04, INT.05, INT.06, INT.07 e INT.08 delle opere di progetto

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 avvalorava 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.

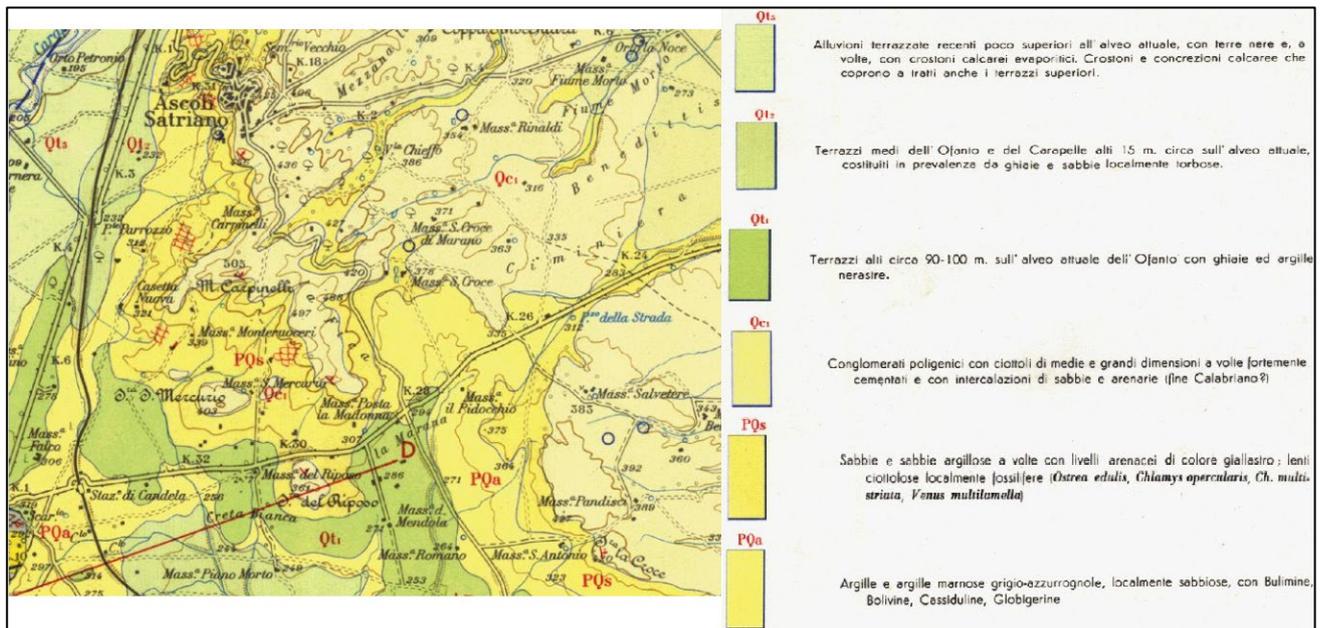


Figura 5: Stralcio Carta Geologica 1:100000 Foglio 175 Cerignola, con legenda della stratigrafia dei depositi quaternari

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.

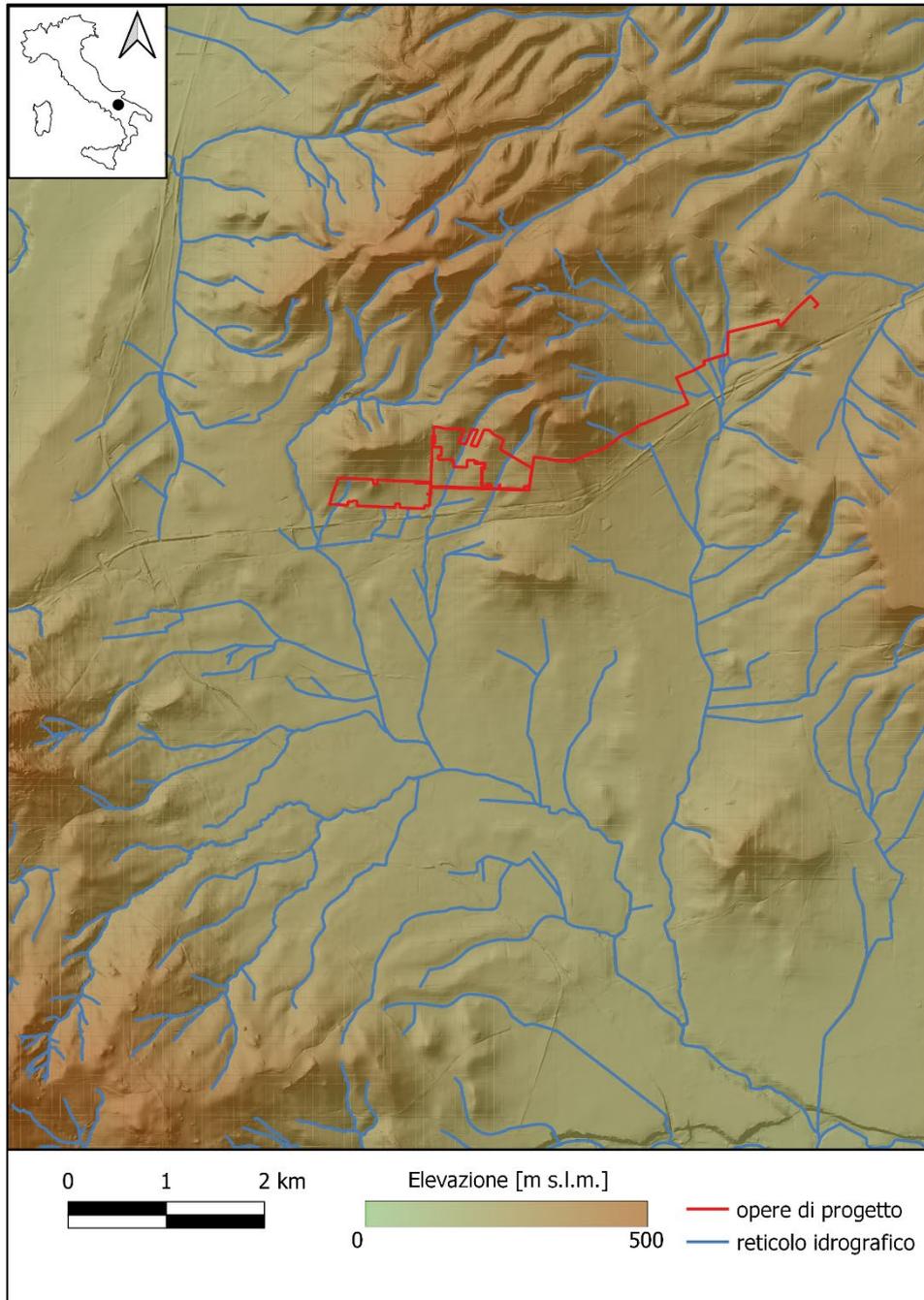


Figura 6: Opere di progetto in relazione al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000 dell'A.d.B. regione Puglia e Interregionale Ofanto in relazione al modello digitale del terreno

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

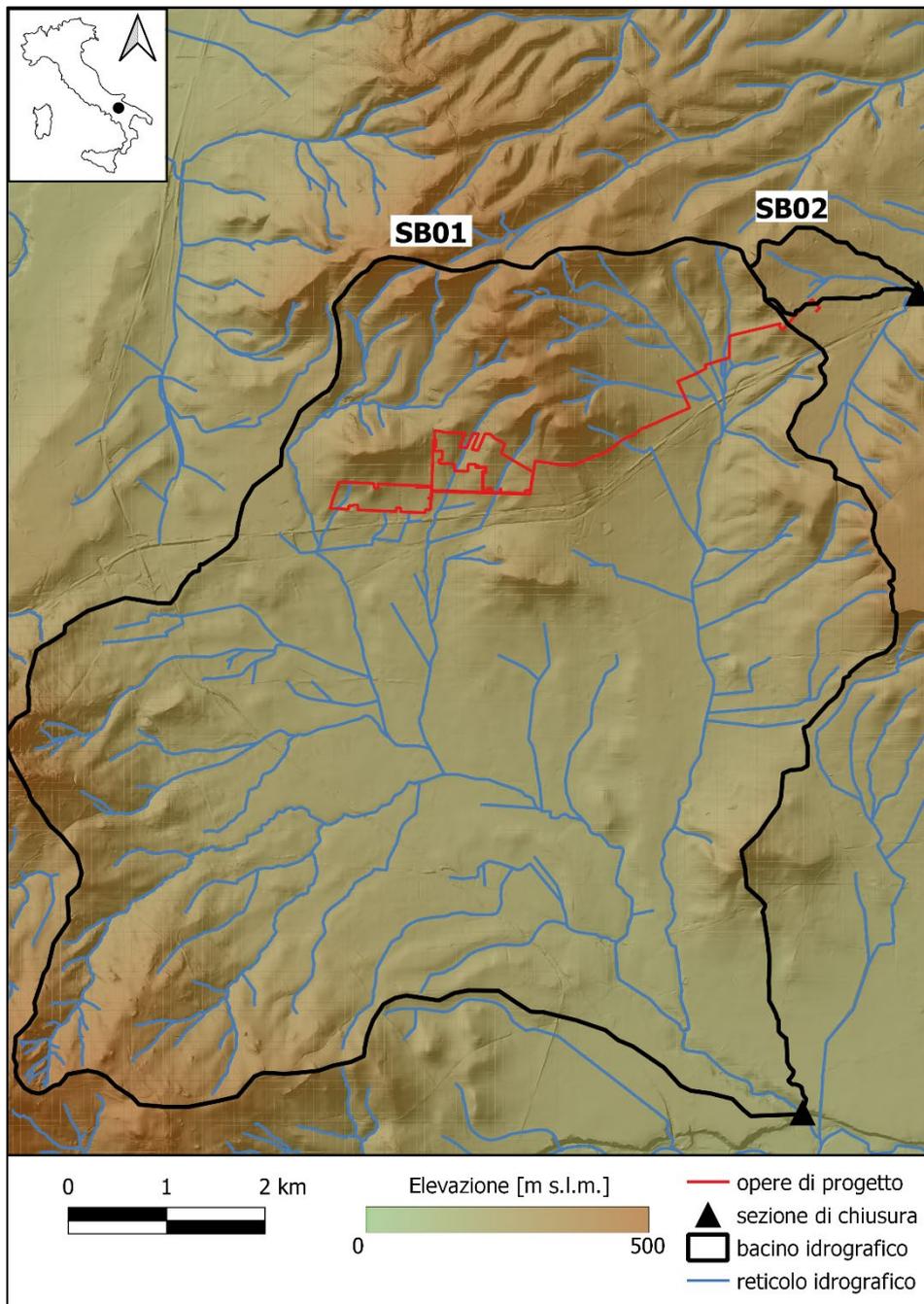


Figura 7: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto su modello digitale del terreno

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.

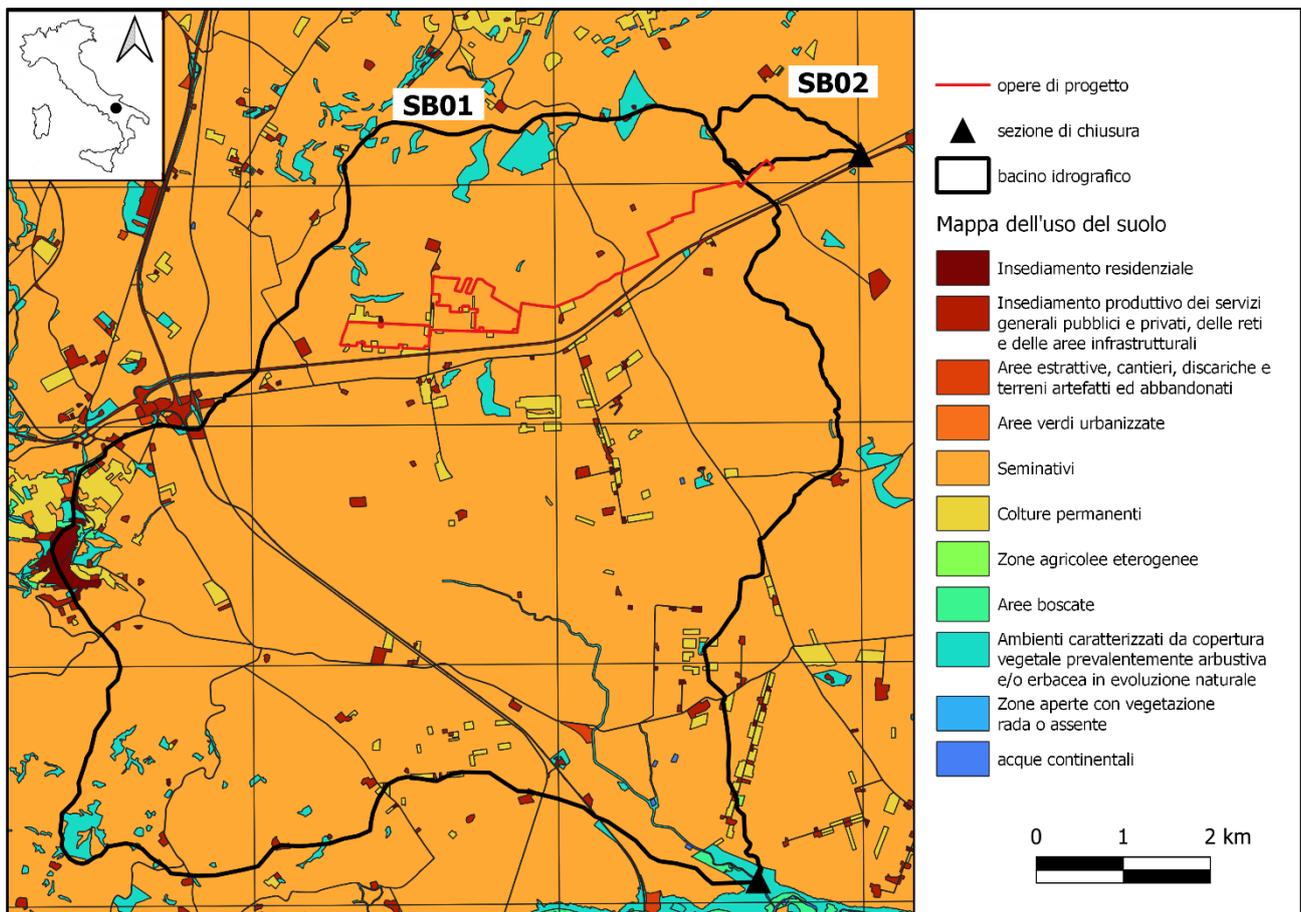


Figura 8: Inquadramento dei sotto-bacini idrografici riguardanti le opere di progetto sulla mappa dell'uso del suolo secondo progetto Corine Land Cover al II livello

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.

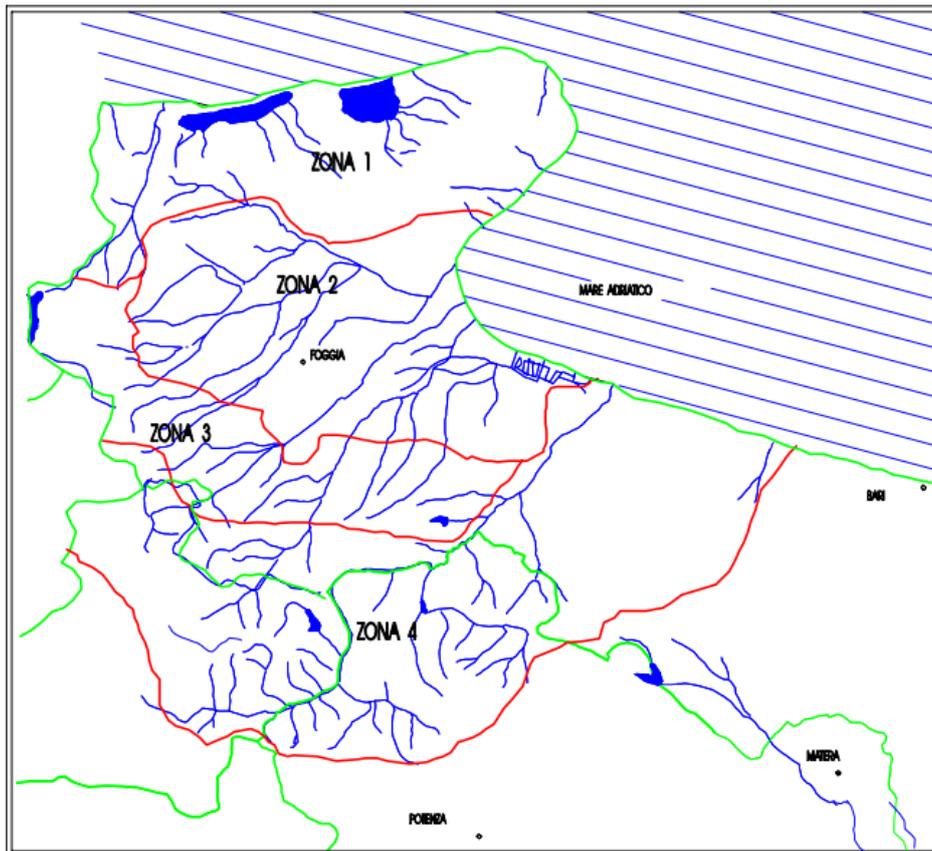


Figura 9: Zone omogenee rispetto al valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere, progetto VAPI

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:

$$K_T = -0.4007 + 0.904 \ln(T) \quad (6)$$

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

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

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.

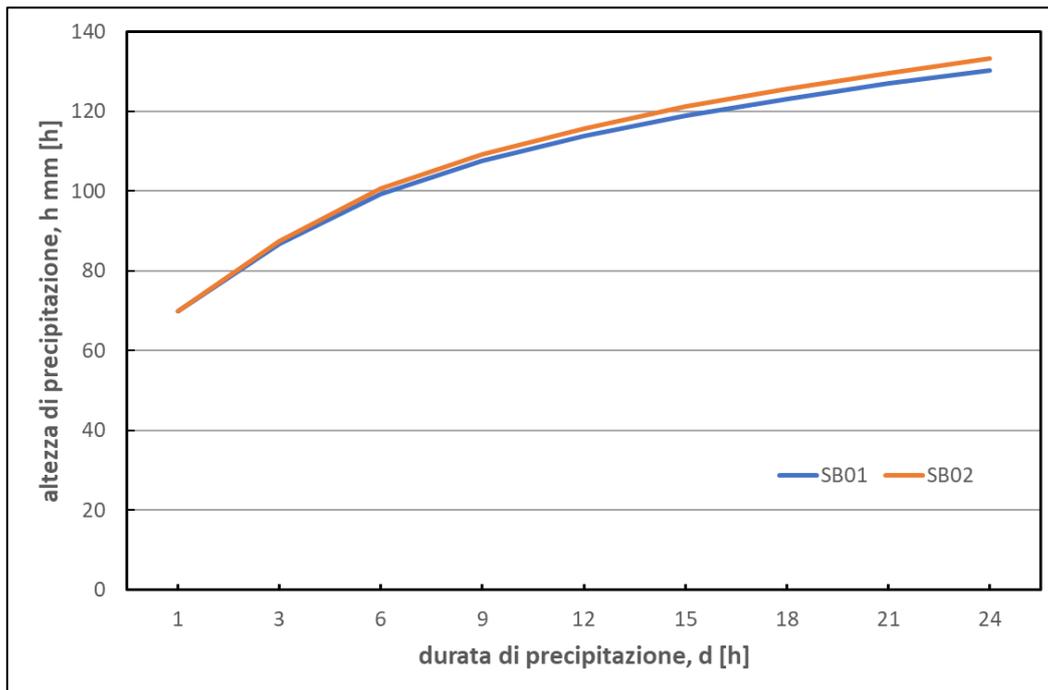


Figura 10: Curve di possibilità pluviometrica relative al valore del tempo di ritorno pari a 200 anni e ai sotto-bacini in cui ricadono le opere di progetto

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.

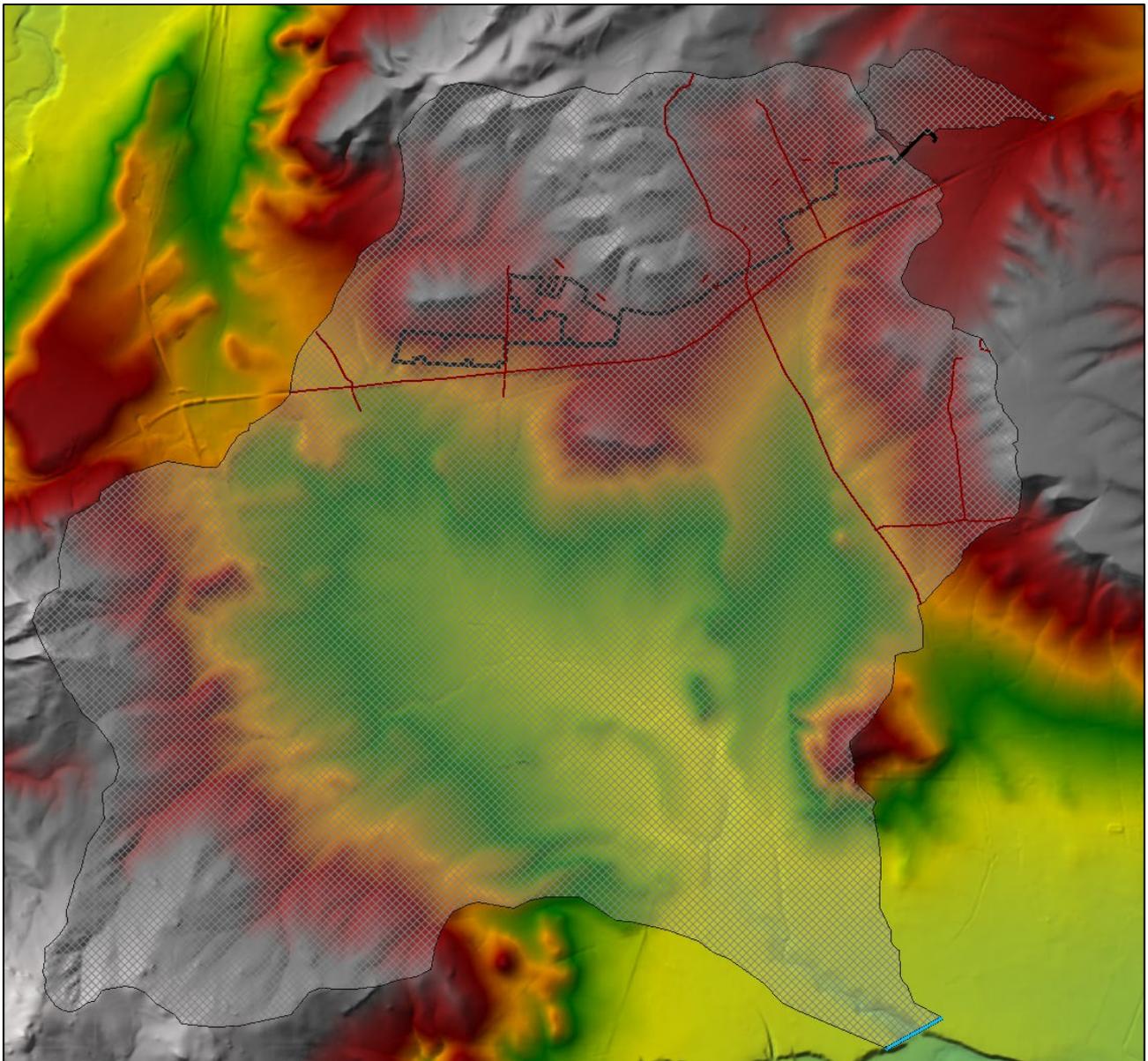


Figura 11: Modello geometrico dei domini relativi ai sotto-bacini SB01 e SB02 ai fini della modellazione idraulica in HEC-RAS

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 un 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*.

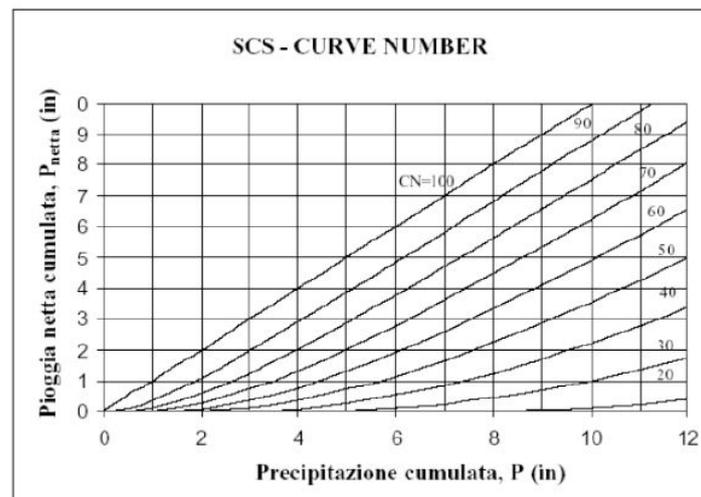


Figura 12: Rapporto tra Precipitazione totale e precipitazione cumulata al variare del parametro *CN*

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

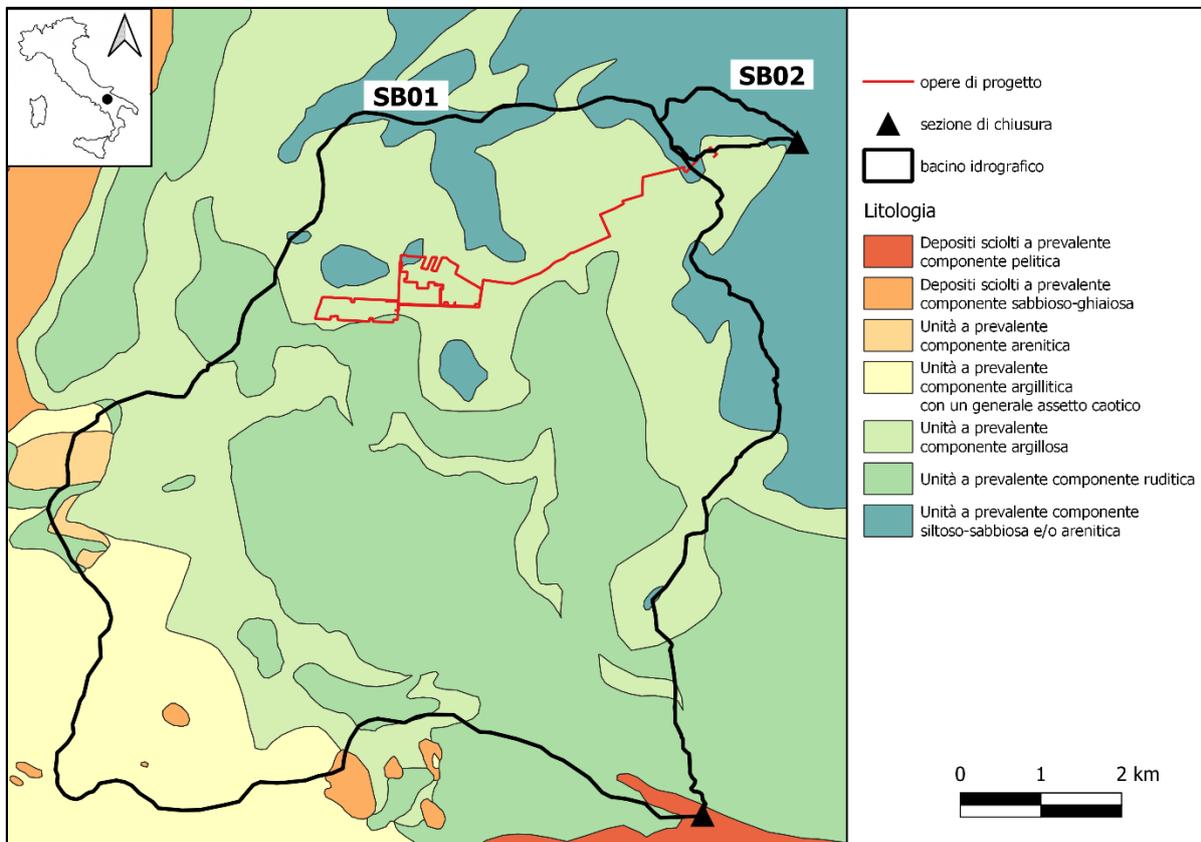


Figura 13: Mappa Litologica dei sotto-bacini SB01 e SB02

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'istallazione dei pannelli e zone di interfila. Si suppone, ragionevolmente, che l'area di interfila non presenti una capacità di infiltrazione influenzata dall'istallazione 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'istallazione 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'istallazione delle opere di progetto, la percentuale di area "dry" è stata assunta come totalmente impermeabilizzata (φ pari ad 1), nonostante l'istallazione 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.

8.3 Stima delle portate

Ai fini della valutazione delle aree inondabili da eventi straordinari relativi al tempo di ritorno pari 200 anni, sono state valutati i massimi livelli idrici raggiunti nelle aree di interesse e che le opere di progetto non ricadessero in suddette aree (si fa riferimento all'elaborato FV.ASC01.PD.A.06.1 – "Relazione Idraulica").

Tuttavia, la determinazione delle portate al colmo di piena è di utile applicazione, nel caso delle intersezioni puntuali del cavidotto MT interrato con il reticolo idrografico, allo scopo di valutare l'entità dei volumi d'acqua transitanti per le sezioni di interesse.

Una prima stima delle portate ai colmi di piena generati da eventi relativi a valore bicentenario del tempo di ritorno, può essere effettuata secondo direttive del rapporto VAPI della regione Puglia, i cui metodi sono stati descritti e commentati nel Capitolo 7.

Per le intersezioni INT.01, INT.02, INT.04, INT.05, INT.06 e INT.07 sono stati individuati i sotto-bacini con sezione di chiusura in prossimità dei punti di intersezione (Figura 14) e sono state valutate le portate al colmo di piena secondo i metodi descritti nel progetto VAPI, ovvero determinazione della forzante di pioggia da curve di possibilità pluviometrica e, sotto l'ipotesi di isofrequenza, stima della portata al colmo secondo formula razionale.

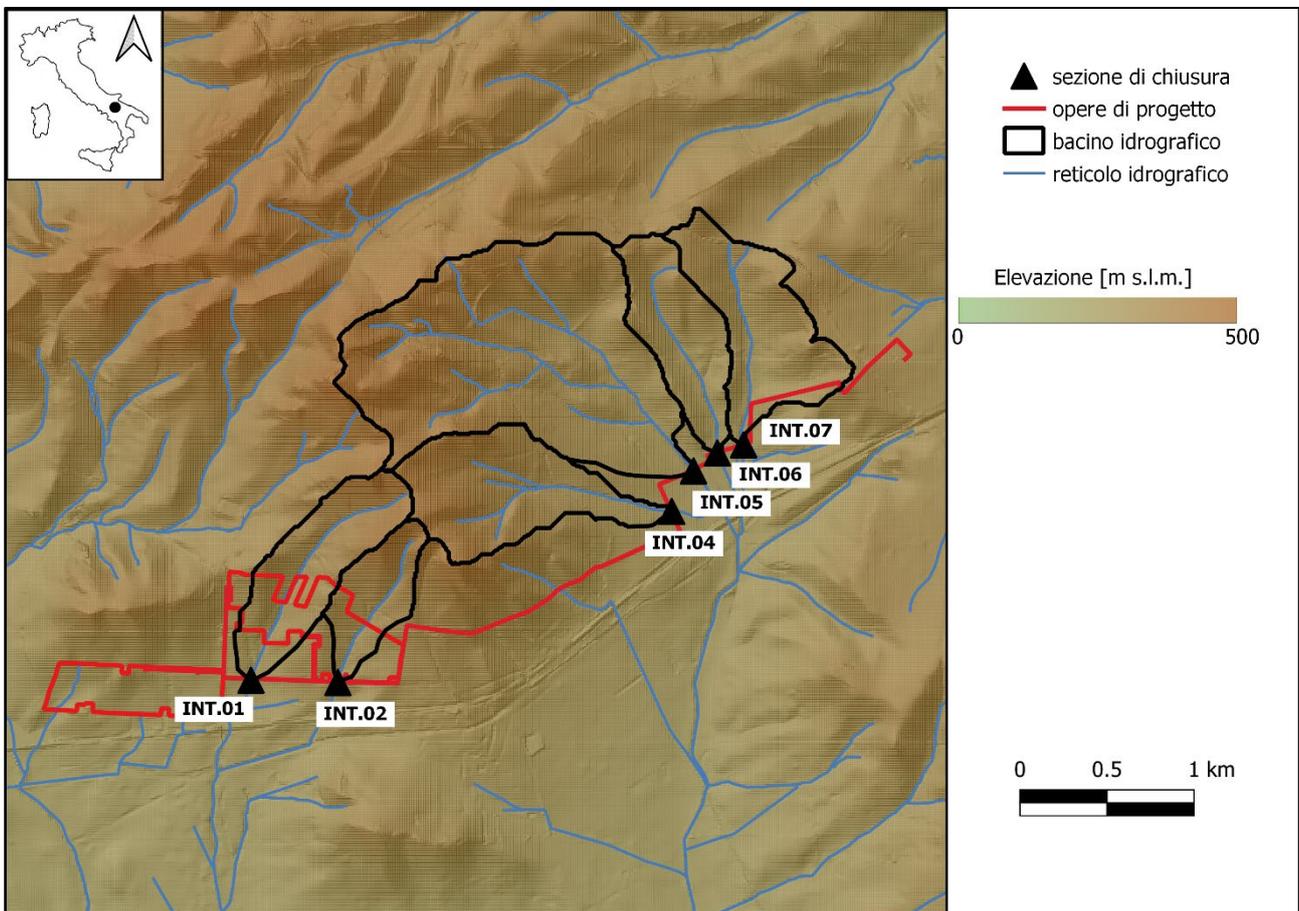


Figura 14: Rappresentazione dei sotto-bacini con sezioni di chiusura in prossimità delle interferenze INT.01, INT.02, INT.04, INT.05 e INT.07 in riferimento al reticolo idrografico rinvenuto da carta idrogeomorfologica 1:25000

La Tabella 23 riporta le principali caratteristiche morfologiche dei sotto-bacini di interesse, dalle quali è possibile stimare i valori di portata attesi.

Tabella 23: Caratteristiche morfologiche dei sotto-bacini con sezione di chiusura presso le intersezioni di interesse

Intersezione	INT.01	INT.02	INT.04	INT.05	INT.06	INT.07
Area bacino sotteso [km ²]	0.533	0.287	0.665	1.883	0.453	0.620
Quota sezione di chiusura [m s.l.m.]	295.32	312.32	298.46	293.02	292.22	293.41
Quota media [m s.l.m.]	367.08	374.49	386.09	382.32	330.16	336.52
Quota massima [m s.l.m.]	468.39	463.50	464.66	494.84	379.60	382.73
Dislivello [m]	173.07	151.18	166.20	201.82	87.38	89.32
Pendenza media [%]	19.30	20.60	15.80	14.70	11.90	13.30
Lunghezza asta principale [km]	1485.78	947.73	1319.16	2209.65	1260.65	1208.28
Pendenza media asta principale [%]	0.117	0.162	0.127	0.092	0.069	0.074

La Tabella seguente riporta le portate stimate secondo progetto VAPI e relativi valori di picco derivanti dalla modellazione bidimensionale in HEC-RAS, entrambe riferite alle sezioni in prossimità delle interferenze prima citate.

Tabella 24: Valori di portata stimati per le intersezioni di interesse

	INT.01	INT.02	INT.04	INT.05	INT.06	INT.07
Q₂₀₀ m. empirico [m³/s]	4.37	2.82	5.11	10.71	3.89	4.86
Q₂₀₀ m. razionale [m³/s]	19.29	8.69	32.45	112.24	26.35	33.17
Q₂₀₀ HEC-RAS [m³/s]	34.98	38.26	25.58	33.73	4.41	7.87

La stima delle portate condotta attraverso il metodo empirico, descritto nel Capitolo precedente, riporta i valori di portata minori; tale metodologia non è però da ritenere come la più affidabile delle tre, essendo dipendente dalla sola estensione del bacino imbrifero appartenente al gruppo di bacini omogenei individuati dal rapporto VAPI.

Si evince dalla Tabella 24 come i valori di portata stimati attraverso metodo razionale differiscano sensibilmente dai corrispettivi valori derivanti da analisi in HEC-RAS. Tuttavia, il metodo razionale è una metodologia indiretta di stima delle portate al colmo, pertanto non si ritiene opportuno fissare tali valori come riferimento assoluto.

D'altro canto, anche le portate derivanti da simulazione nel software HEC-RAS derivano da una metodologia indiretta: la stima della forzante climatica è derivata dalle curve di possibilità pluviometrica secondo direttive

VAPI, inoltre, lo ietogramma di progetto è stato assunto come costante lungo tutta la durata dell'evento e uniforme su tutta l'area di interesse.

La determinazione delle aree inondabili da eventi relativi al tempo di ritorno pari a 200 anni è stata condotta attraverso la determinazione del massimo tirante idrico registrato in ogni cella computazionale e alla successiva combinazione con il modello digitale del terreno adoperato.

In conclusione, in merito all'analisi di compatibilità idraulica delle opere di progetto con il reticolo idrografico esistente, ci si riferisce ai dati di portata derivanti dalla modellazione in HEC-RAS.