

Wood Solare Italia S.r.l.

**Impianto agro-fotovoltaico da 37.613,4 kWp
(33.860 kW in immissione) ed opere connesse**

Comune di Manfredonia (FG)

Progetto Definitivo Impianto agro-fotovoltaico

Allegato 08 – Relazione idrologica



Professionista incaricato: Dr. Geol. Baldassarre Franco La Tessa – Ordine Geologi della Puglia n.499

Rev. 0

Febbraio 2022

wood.



Studio di Geologia e Geotecnica

Dr. Geol. Baldassarre, Franco La Tessa - Via Marsala, 113 - Torremaggiore (FG)
P.Iva 03018770713 –C.f. LTBDS68A23F537C Tel./fax 0882.601742-3929775853
mail: francolatessa@hotmail.com PEC geollatessa@epap.sicurezza postale.it



COMUNE DI MANFREDONIA (FG) RELAZIONE IDROLOGICA

OGGETTO: PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI IMPIANTO AGRO-FOTOVOLTAICO, POTENZA INSTALLATA 37.613,4 kWp SU CIRCA 50 ETTARI DI SUPERFICIE, CON INSEGUITORE MONOASSIALE IN AGRO DI MANFREDONIA LOCALITÀ AMENDOLA COMPRENSIVO DELLE OPERE DI CONNESSIONE IN ALTA TENSIONE (AT) ALLA RETE DI TRASMISSIONE NAZIONALE

- D.M. 17/01/2018 Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica e s.m.i.. Circolare M. 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP.
- Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale D.Lgs.152/2006 e s.m.i., Legge 221/2015, D.M. n. 294/2016 e DPCM 4 aprile 2018, PPTR Regione Puglia
- Art. 12 del D.Lgs. n. 387/2003 "impianti per la produzione di energia da fonti rinnovabili" e s.m.i.

**COMMITTENTE
WOOD SOLARE ITALIA SRL**

Il Geologo

Baldassarre Franco La Tessa

Documento firmato digitalmente, ai sensi del D.P.R. 28.12.2000 n. 445 e del D.Lgs. 7.03.2005 n. 82, che sostituisce la firma autografa



Informativa nel rispetto del Regolamento (UE) 2016/679 del Parlamento europeo e del Consiglio del 27 aprile 2016 Codice in materia di protezione dei dati personali
La informiamo che la comunicazione e il trattamento dei Suoi dati personali sono necessari per le operazioni di natura amministrativa nonché per adempiere a specifici obblighi di legge e di contratto. Il trattamento dei Suoi avverrà nel rispetto delle misure di sicurezza previste dal succitato regolamento a cura del "Dott. Geol. Baldassarre, Franco La Tessa". Le sarà possibile esercitare i suoi diritti tramite comunicazione scritta indirizzata a " Dott. Geol. Baldassarre, Franco La Tessa" indicando sulla busta o sul foglio la dicitura: "Inerente alla Privacy".

INDICE

| | |
|--|----|
| INDICE | 1 |
| 1. PREMESSA | 2 |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 3 |
| 3.VERIFICA DEI VINCOLI AI SENSI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) - SEZIONE IDRAULICA REGIONE PUGLIA | 7 |
| 4. ANALISI INTERFERENZE | 13 |
| 5.ANALISI IDROLOGICA | 26 |
| 5.1 ANALISI MORFOLOGICA E DEFINIZIONE DEI BACINI | 26 |
| 5.2 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI | 29 |
| 5.3 ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE | 30 |
| 5.4 APPLICAZIONE DEL MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI | 35 |
| 6.0 ALLEGATI | 46 |

1. PREMESSA

Il presente studio ha lo scopo di individuare le interferenze che si vengono a creare tra le opere connesse con la futura realizzazione di un impianto per la produzione di energia mediante lo sfruttamento del sole (*cfr. Fig.1*) all'interno del territorio comunale di Manfredonia, il reticolo Idrogeomorfologico e le aree oggetto di perimetrazione da parte del PAI (Piano di assetto Idrogeologico) redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia, nonché di identificare la risoluzione delle stesse mediante opportune valutazioni sul loro superamento e sull'utilizzo di adeguate tecniche costruttive e materiali idonei.

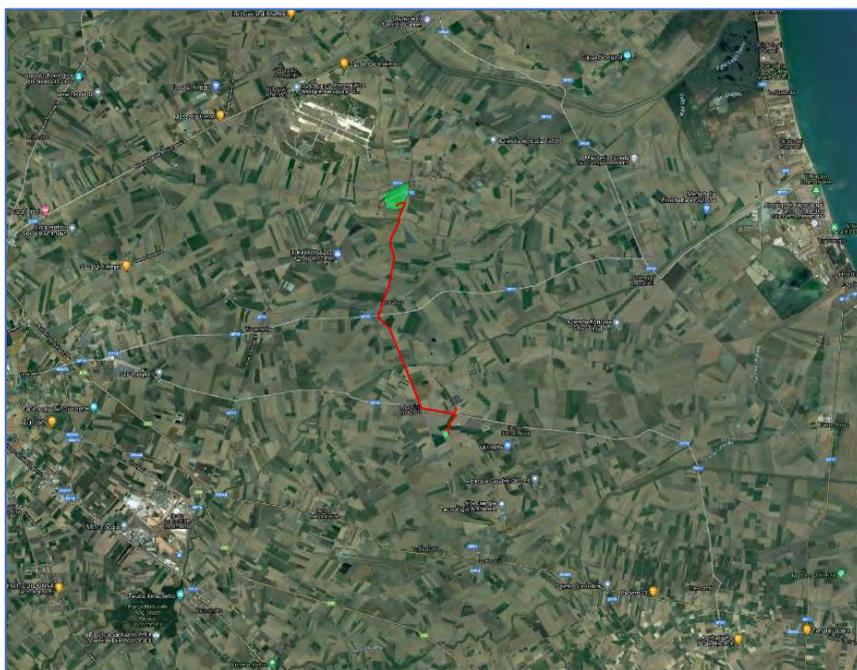
In particolare le caratteristiche dell'impianto di produzione sono:

Località: l'area interessata dal progetto in esame ricade nel territorio comunale di Manfredonia, precisamente in località Amendola;

Tipologia impianto: agrofotovoltaico;

Potenza installata: 37.613,4 kWp (33.860 kW in immissione)

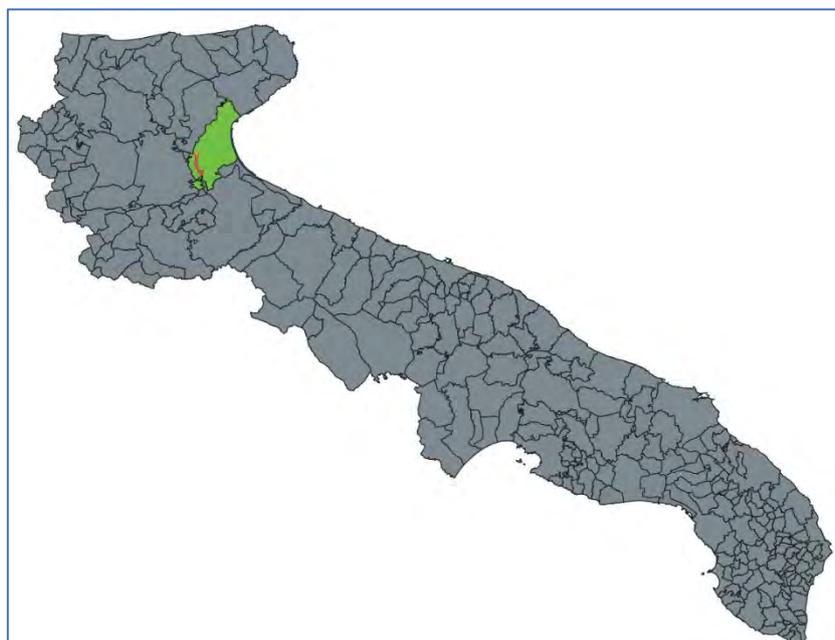
Estensione superficiale: circa 50 Ha di superficie;



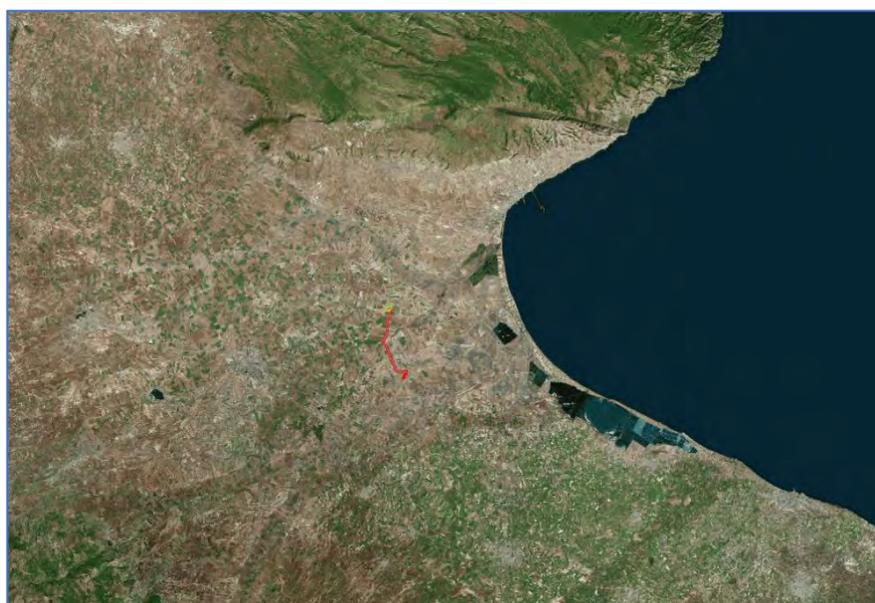
(Fig.1 Inquadramento territoriale)

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

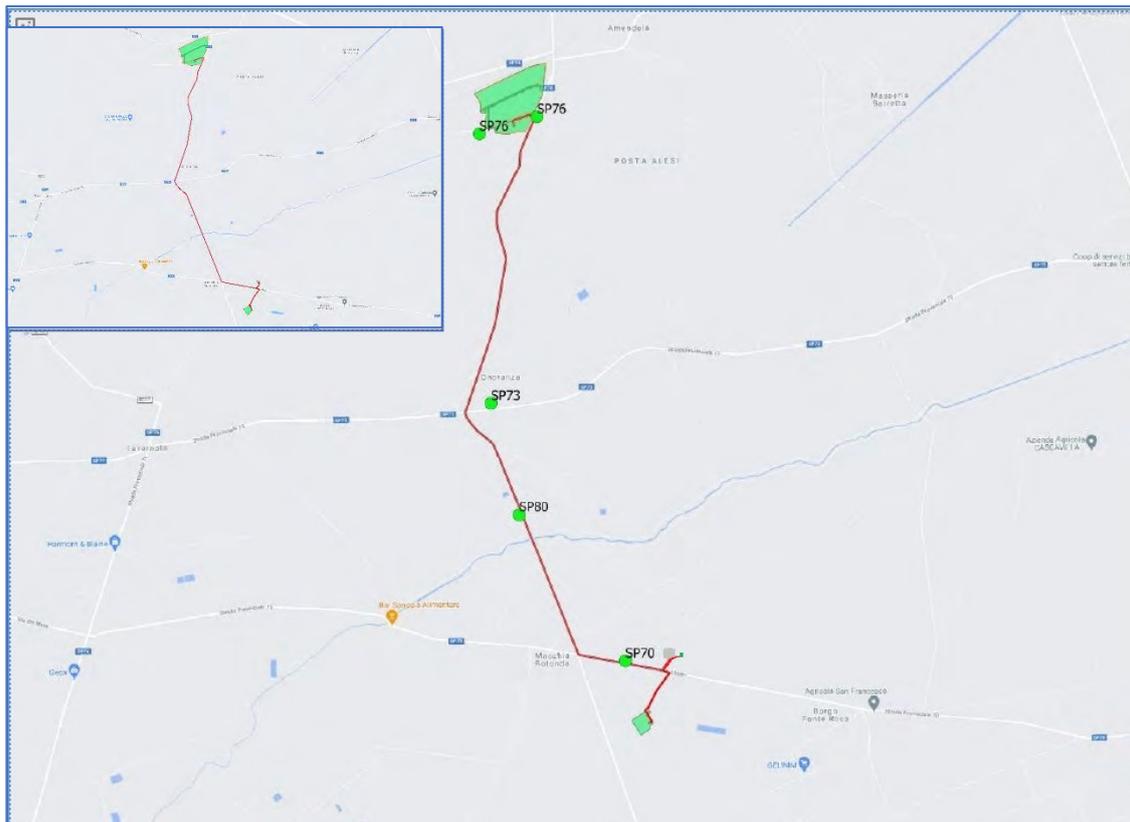
L'Area di intervento ricade nel territorio comunale di Manfredonia (cfr. Fig.2) e precisamente in località "Amendola". Si trova in adiacenza alle pubbliche vie, infatti è delimitata e/o interseca strade provinciali quali la Sp70, la Sp 80, la Sp73, ed Sp 76 (cfr.Fig.4).



(Fig.2 Inquadramento territorio comunale)



(Fig.3 Inquadramento impianto, vista satellitare)



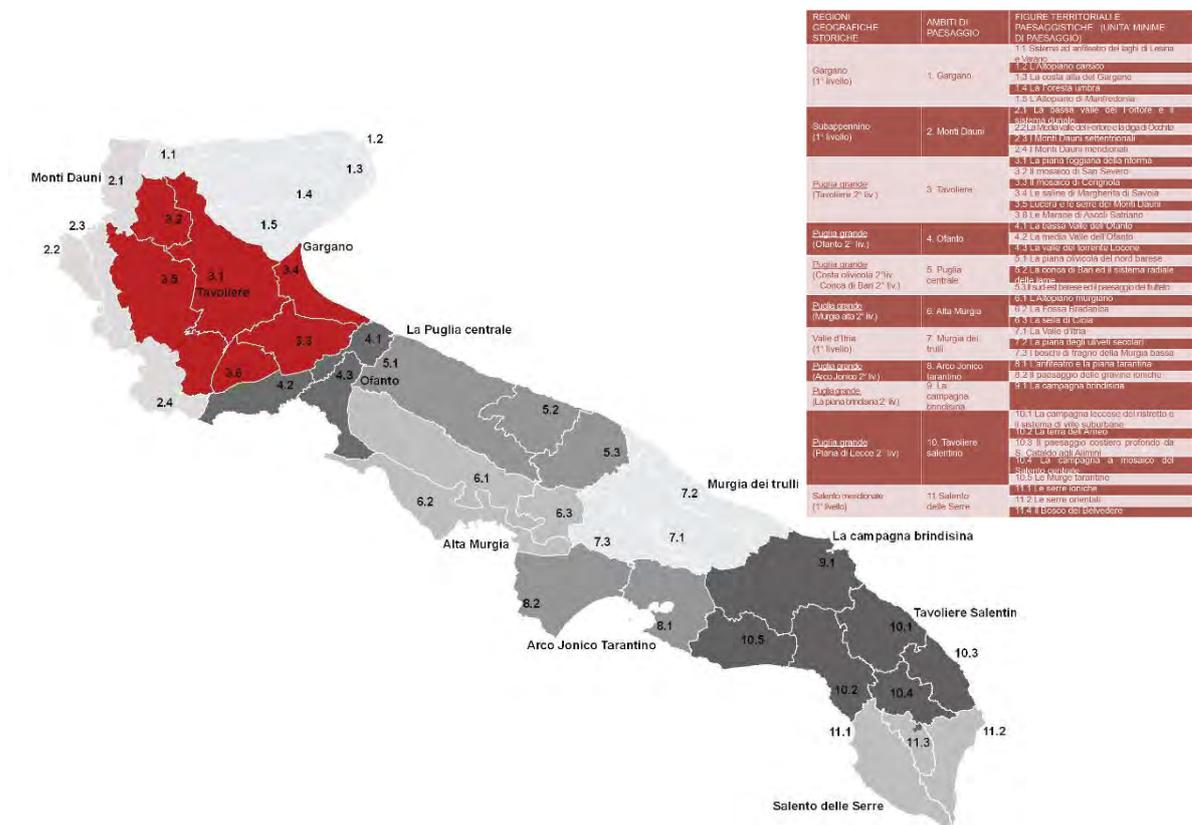
(Fig.4 Inquadramento impianto, vista Google Maps)

Dal punto di vista paesaggistico l'area di intervento ricade nell'ambito paesaggistico n.3 "Tavoliere" (cfr. Fig.5). L'ambito del Tavoliere è caratterizzato dalla dominanza di vaste superfici pianeggianti coltivate prevalentemente a seminativo che si spingono fino alle propaggini collinari dei Monti Dauni. La delimitazione dell'ambito si è attestata sui confini naturali rappresentati dal costone garganico, dalla catena montuosa appenninica, dalla linea di costa e dalla valle dell'Ofanto. Questi confini morfologici rappresentano la linea di demarcazione tra il paesaggio del Tavoliere e quello degli ambiti limitrofi (Monti Dauni, Gargano e Ofanto) sia da un punto di vista geolitologico (tra i depositi marini terrazzati della piana e il massiccio calcareo del Gargano o le formazioni appenniniche dei Monti Dauni), sia di uso del suolo (tra il seminativo prevalente della piana e il mosaico bosco/pascolo dei Monti Dauni, o i pascoli del Gargano, o i vigneti della Valle dell'Ofanto), sia della struttura insediativa (tra il sistema di centri della pentapoli e il sistema lineare della Valle dell'Ofanto, o quello a ventaglio dei Monti Dauni). Il perimetro che delimita l'ambito segue ad Ovest, la viabilità interpodereale che circonda il mosaico agrario di San Severo e la viabilità secondaria che si sviluppa lungo il versante appenninico (all'altezza dei 400 m s.l.m.), a Sud la viabilità provinciale (SP95 e SP96) che

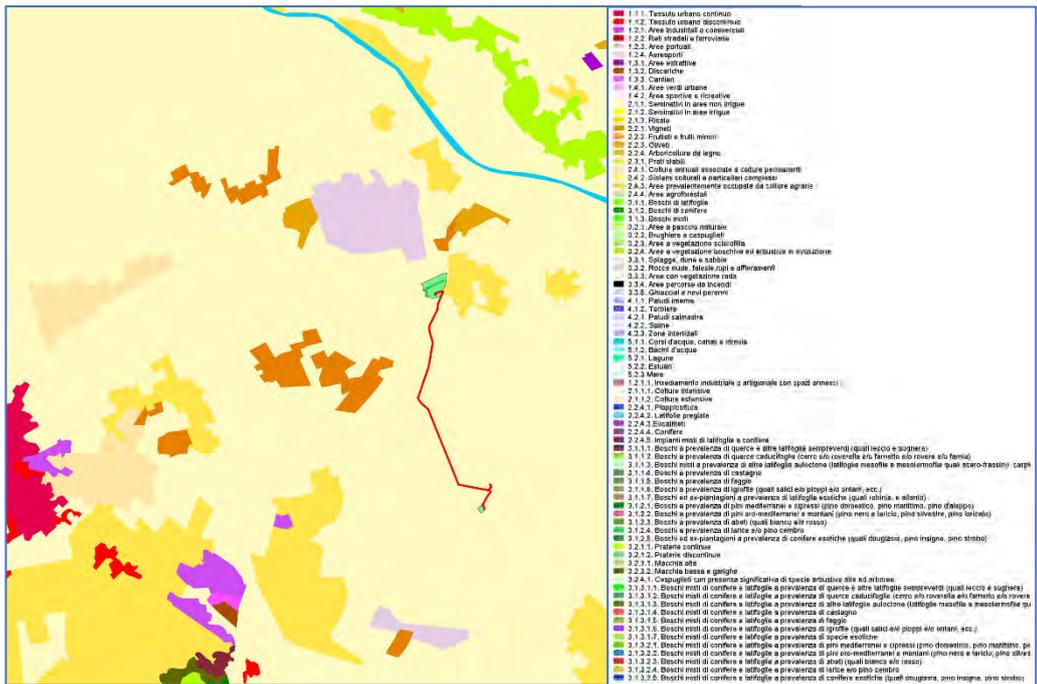
circoscrive i vigneti della valle dell'Ofanto fino alla foce, a Nord-Est, la linea di costa fino a Manfredonia e la viabilità provinciale che si sviluppa ai piedi del costone garganico lungo il fiume Candelaro, a Nord, la viabilità interpodereale che cinge il lago di Lesina e il sistema di affluenti che confluiscono in esso (cfr. Elaborato 5 del PPTR, Schede ed ambiti paesaggistici).

Nello specifico l'impianto sorgerà a Nord-Est del centro abitato di Foggia e ricade nella figura territoriale n.3.1 denominata "La Piana Foggiana della Riforma".

L'area oggetto di studio, inoltre, ricoprirà principalmente aree interessate da terreni adibiti alle coltivazioni di seminativi, come si evince dalle (cfr. Fig.6,7) che inquadrano l'intervento nella cartografia dell'uso del suolo e su ortofoto.



(Fig.5 Inquadramento impianto Ambito Paesaggistico)



(Fig.6 Uso del suolo)



(Fig.7 Vista Uso del suolo da ortofoto)

3.VERIFICA DEI VINCOLI AI SENSI DEL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) -SEZIONE IDRAULICA REGIONE PUGLIA

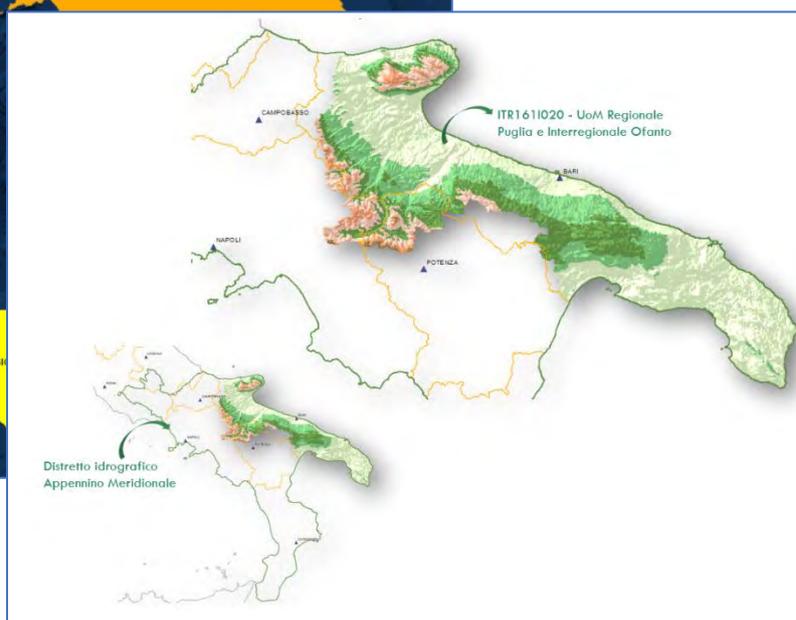
L'analisi territoriale è stata condotta attraverso la consultazione della seguente documentazione cartografica:

- Carta IGM scala 1:25.000;
- Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia;
- Ortofoto 2019;
- Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000;

L'area oggetto di studio ricade nell'area di competenza del Distretto dell'Appennino Meridionale (*cf. Fig.8*) in particolare nella Unit of Management Regionale Puglia e interregionale Ofanto (*cf. Fig.9*).



(Fig.8 Distretto Appennino Meridionale)



(Fig.9 UoM Regionale Puglia ed Interregionale Ofanto)

La scelta del tracciato del cavidotto dal parco fotovoltaico al punto di consegna è stata dettata dalle seguenti motivazioni:

- a) privilegiare l'uso della viabilità esistente, al fine di non eseguire operazioni di cantiere invasive e potenzialmente impattanti sulle componenti ambientali e paesaggistiche del contesto locale;
- b) minimizzare l'attraversamento di terreni agricoli, al fine di interessare un numero minimo di proprietari nella procedura espropriativa e ridurre l'impatto sulle componenti naturali presenti nelle aree di intervento;
- c) ottimizzare la lunghezza del tracciato, in funzione della fattibilità tecnica delle operazioni di cantiere previste;
- d) minimizzare le interferenze con i sottoservizi esistenti nelle aree di intervento;
- e) minimizzare le interferenze con gli elementi del reticolo idrografico superficiale, mediante l'adozione della tecnica della perforazione orizzontale teleguidata, la quale consente di non interferire con il naturale deflusso superficiale delle acque e di non compromettere le condizioni statiche dei manufatti idraulici esistenti sui canali e impluvi interessati dal tracciato del cavidotto;
- f) garantire la compatibilità idraulica degli attraversamenti da realizzare, interrando i cavidotti ad una profondità scelta in funzione della potenziale erodibilità degli alvei, assicurando un adeguato franco di sicurezza in corrispondenza dei manufatti idraulici interessati;

Gli aspetti tecnici elencati avvalorano la scelta del percorso del tracciato effettuata, motivando, pertanto, la non delocalizzabilità degli interventi previsti.

A supporto di quanto detto, prevedendo, contrariamente a quanto scelto, un tracciato della linea di connessione che si sviluppasse prevalentemente in terreni agricoli, si sarebbero riscontrati i seguenti aspetti:

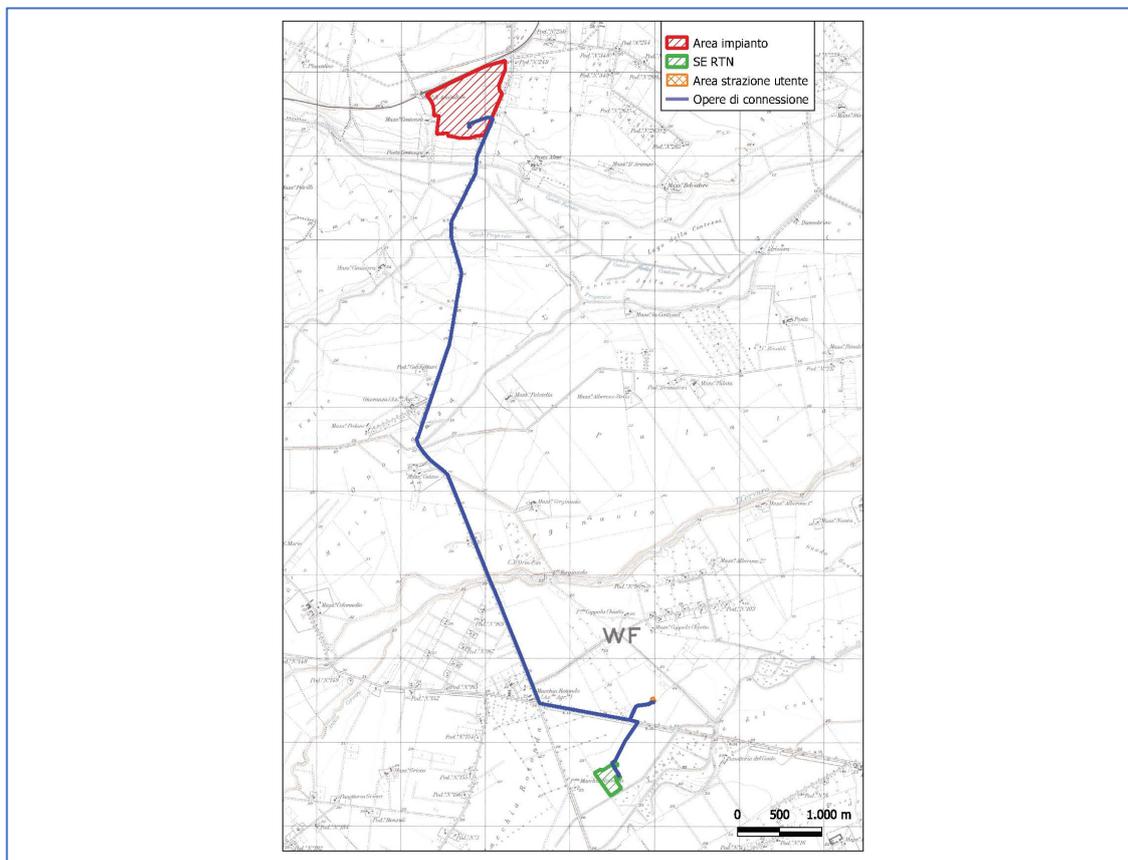
- a) aumento dell'eventuale numero dei soggetti interessati dalla procedura espropriativa;
- b) realizzazione di operazioni di cantiere maggiormente invasive e impattanti sulle componenti ambientali e paesaggistiche del contesto di riferimento;
- c) maggior numero di interferenze con gli elementi del reticolo idrografico superficiale, che si presenta piuttosto ramificato nell'area di intervento, con il conseguente aumento dell'onerosità degli interventi necessari per la realizzazione degli attraversamenti e per garantirne la relativa sicurezza idraulica.

Alla luce delle osservazioni e delle valutazioni tecniche sopra esposte, si conclude che il tracciato scelto per il cavidotto di connessione del parco fotovoltaico alla Rete Elettrica risulta il più vantaggioso sia dal punto di vista della fattibilità tecnica, che dal punto di vista della

compatibilità degli interventi previsti con il contesto ambientale e paesaggistico che caratterizza le aree di intervento, giustificando, quindi la non delocalizzabilità degli stessi interventi.

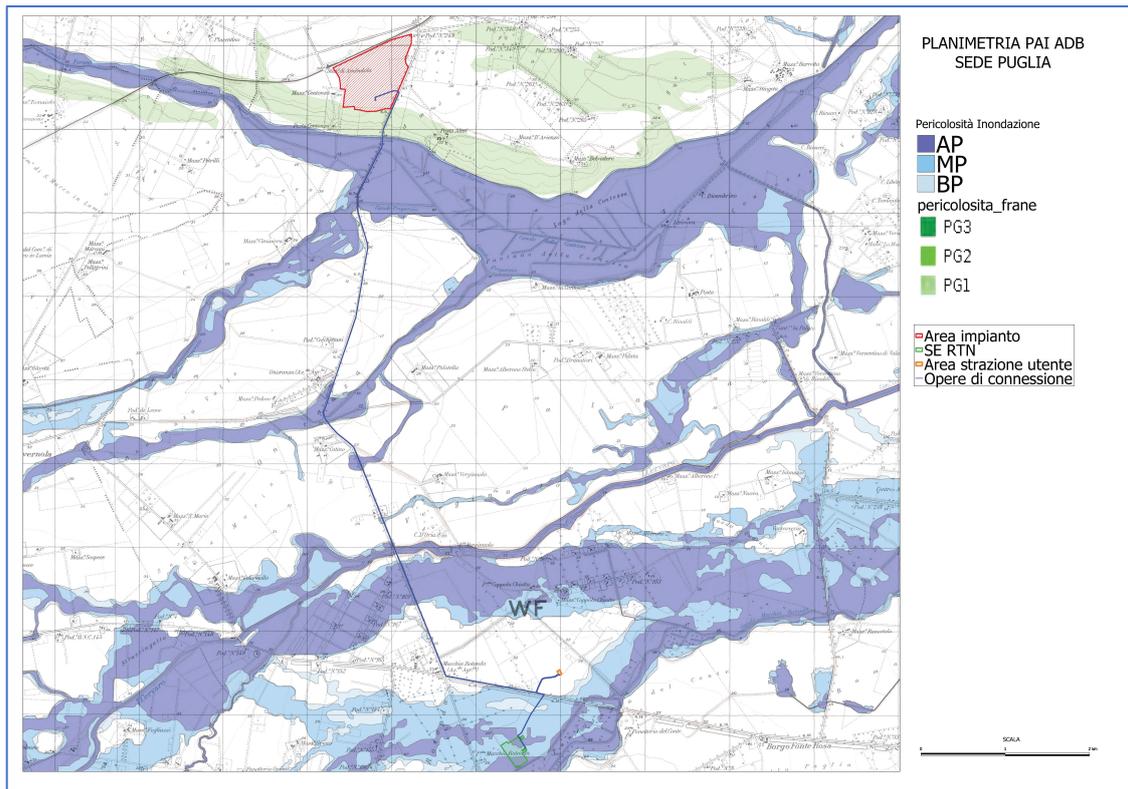
L'analisi territoriale svolta ha permesso di individuare interferenze dell'impianto con aree ben precise e mappate dalle analisi delle perimetrazioni di pericolosità idraulica ai sensi delle NTA (Norme tecniche di Attuazione) del PAI (Piano di Assetto idrogeologico) della Regione Puglia in vigore, redatte dall'Autorità di Bacino Distrettuale (già Autorità di Bacino della Puglia).

Si evince, dunque, come l'area di intervento, (cfr. Fig.10) risulti interessata da perimetrazioni relative ad aree a pericolosità idraulica (alta, media o bassa) (cfr. Fig.11).



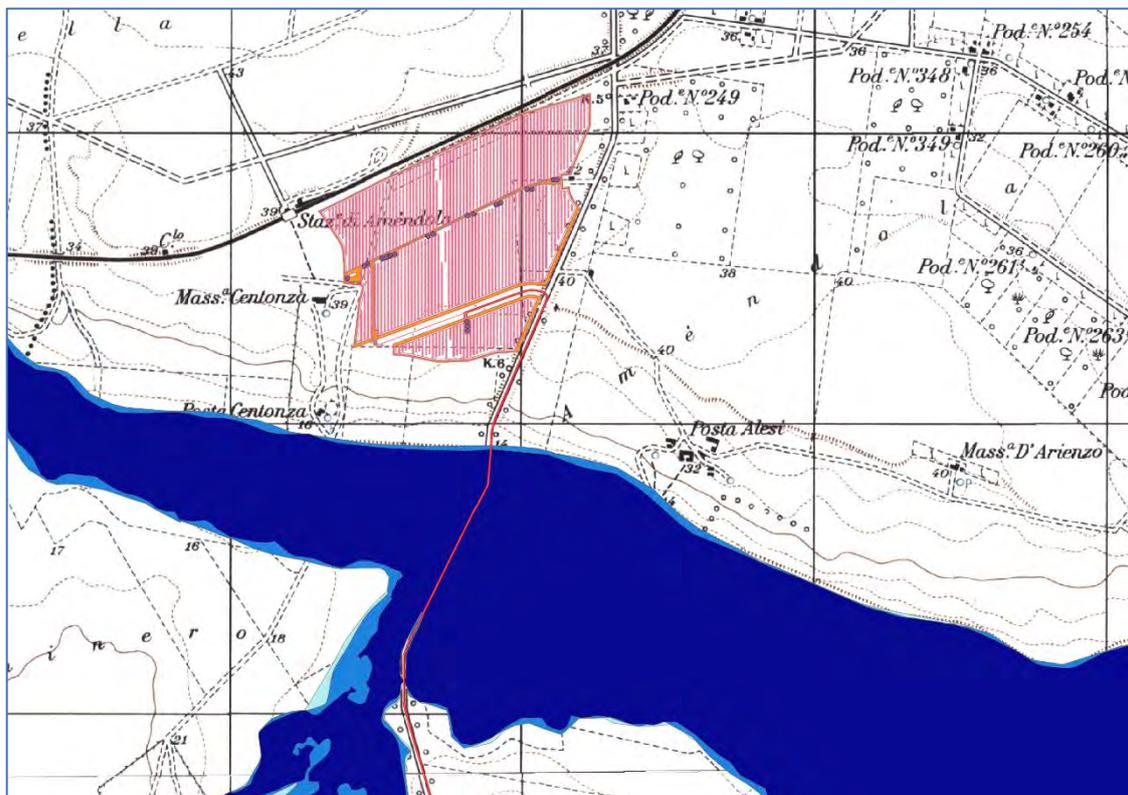
(Fig.10 Inquadramento impianto su cartografia IGM)

Nello specifico, dalle cartografie allegate, si evidenzia come nè l'intero impianto agro-fotovoltaico, né la stazione utente, né la nuova viabilità di collegamento alla stazione utente ricadono nelle zone perimetrate e soggette ad allagamenti, a differenza però del cavidotto che inevitabilmente attraversa zona caratterizzate da pericolosità idraulica bassa, media e alta (cfr. Fig.12,13).

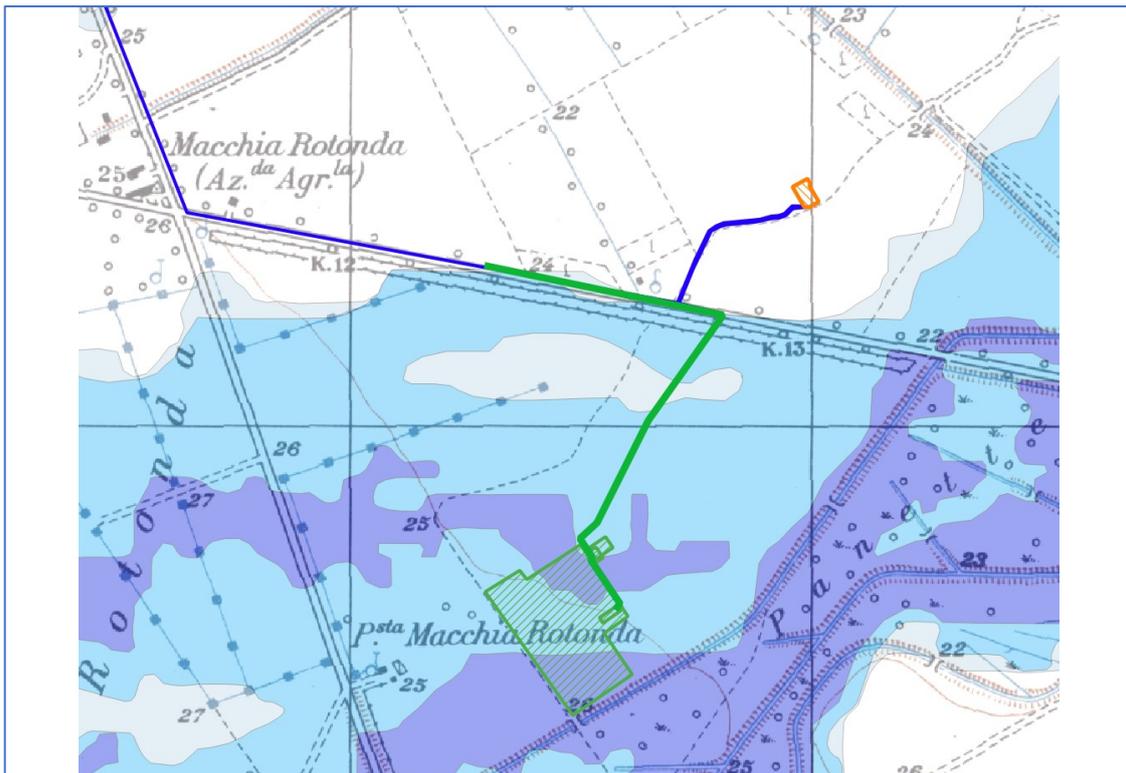


(Fig.11 Interferenza impianto con aree perimetrare PAI- fonte:

http://webgis.adb.puglia.it/gis/map_default.phtml)



(Fig.12 Interferenza impianto fotovoltaico con aree perimetrare PAI)



(Fig.13 Interferenza stazione utente con aree perimetrare PAI)

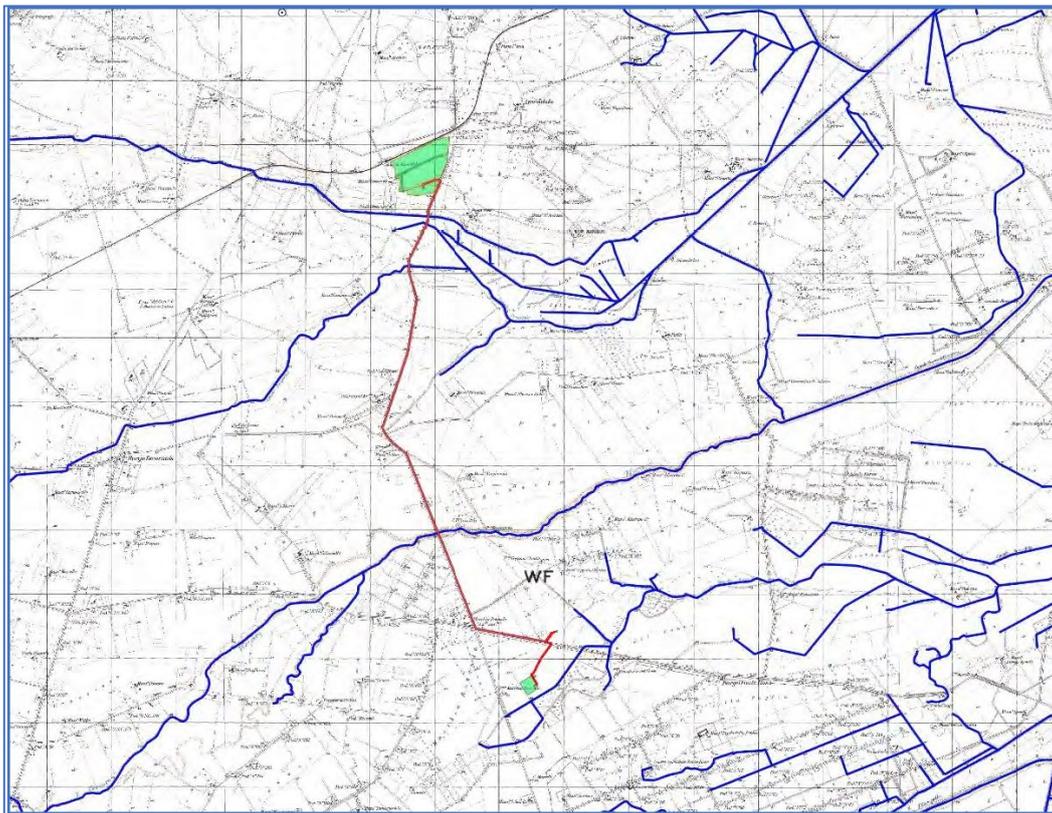
E' stata effettuata, oltre che con le aree allagabili, anche una valutazione dell'interferenza dell'impianto con il reticolo idrografico (cfr. Fig.14). Anche tale interferenza è stata analizzata attraverso la consultazione della carta IGM 1:25.000, della cartografia ufficiale del PAI Puglia, e della Carta Idrogeomorfologica della Puglia.

Ai fini della salvaguardia dei corsi d'acqua e la prevenzione dei presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, il PAI individua l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali e le fasce di pertinenza fluviale, di cui agli Artt. 6 e 10 delle NTA del PAI. Secondo quanto disciplinato dall'Art. 6, comma 8, "Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m".

L'art.10, comma 3, dispone che "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."

Emerge, quindi, come nè l'intero impianto agro-fotovoltaico, né la stazione utente, né la nuova viabilità di collegamento alla stazione utente interferiscono con il reticolo idrografico (cfr.Fig.13), a differenza però del cavidotto che inevitabilmente attraversa in più punti il reticolo idrografico derivante da carta idrogeomorfologica e IGM e passa in zone disciplinate dall'art. 6 (Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali) e dall'art.10 (Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale).

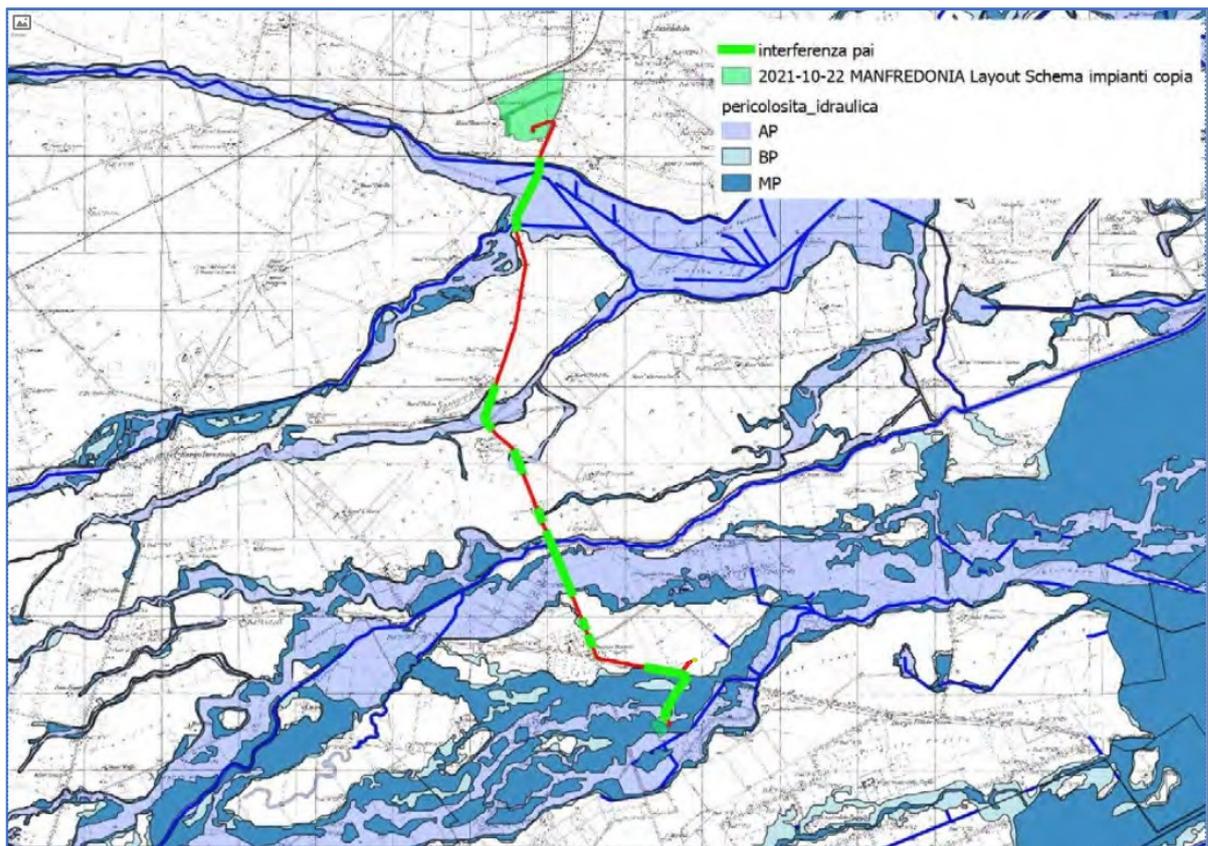
Il reticolo idrografico, individuato dalla carta idrogeomorfologica della Puglia e dalla carta IGM, come detto verrà attraversato dal cavidotto a media tensione in più punti. Lo stesso cavidotto, infatti attraverserà un piccolo affluente del Canale Macchia Rotonda, il Torrente Cervaro, due affluenti del Canale Properzio ed il Canale Farano.



(Fig.14 Interferenza intervento di progetto con reticolo idrografico ed aree di cui Artt.6 e 10 NTA Pai)

4. ANALISI INTERFERENZE

Di seguito sono rappresentati gli stralci planimetrici relativi alle interferenze individuate tra le opere di progetto e le aree a pericolosità idraulica nonché il reticolo idrografico, così come riportato nella Carta Idrogeomorfologica dell'AdB Puglia. (Cfr. Fig.15)



(Fig.15 Interferenza stazione utente con aree perimetrare PAI)

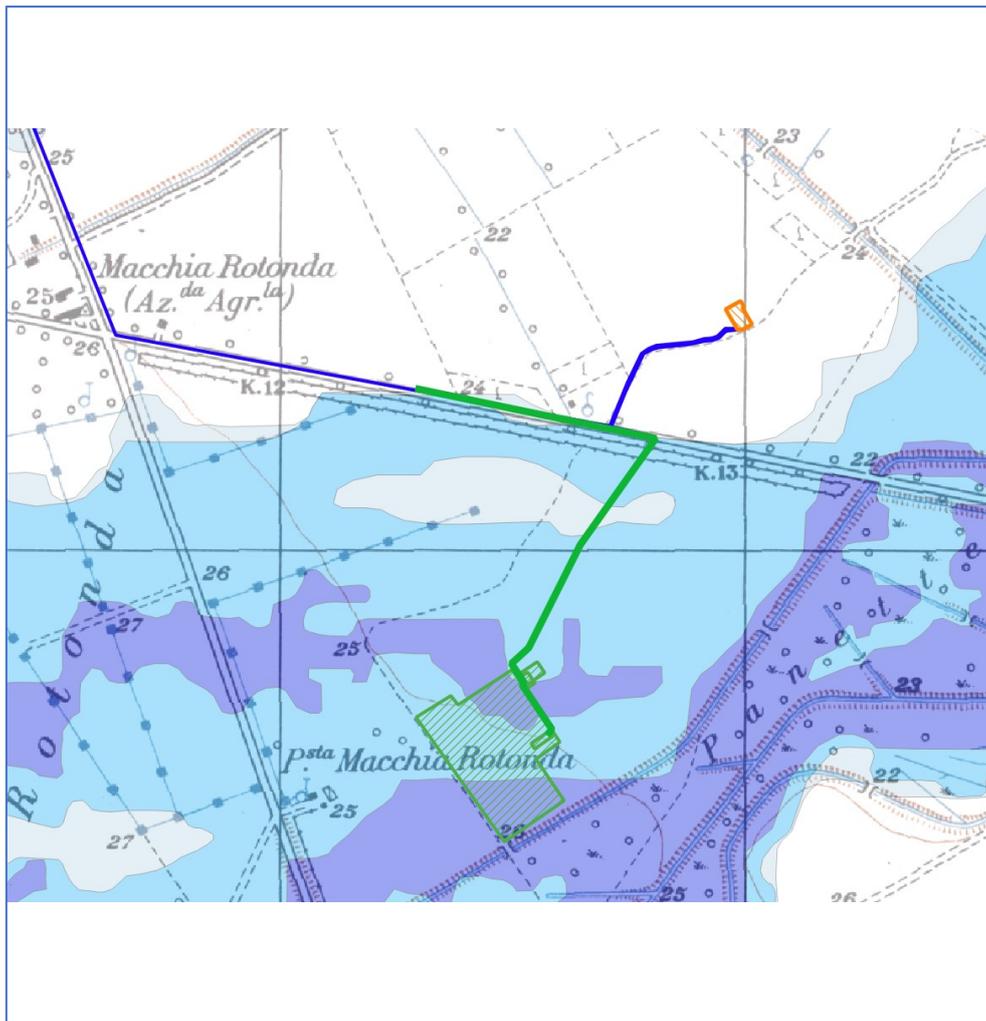
Le interferenze delle opere in progetto sono suddivise in:

- interferenze tra Impianto e pertinenze con aree Pai e Reticoli;
- interferenze Viabilità di accesso e collegamento impianto;
- interferenze del Cavidotto di collegamento;

Le prime due tipologie di interferenze suddette non sono presenti, infatti, come definito al capitolo 3, area di impianto e stazione utenza sono al di fuori delle aree allagabili e dal reticolo, così come dalle aree di cui artt.6 e 10 delle NTA.

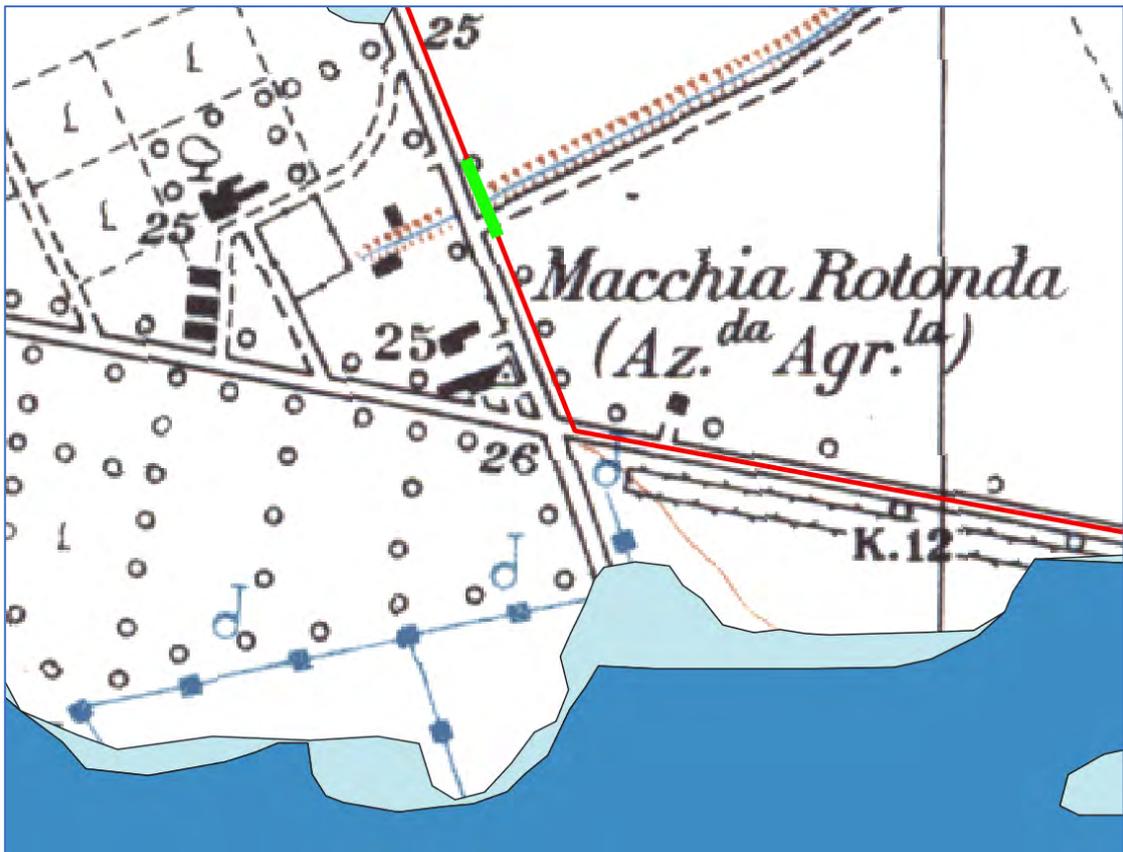
Le interferenze del cavidotto di collegamento individuate lungo il tracciato sono invece 10:

- 1) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strade esistenti. In particolare il cavidotto attraversa la strada di collegamento con la stazione principale e lungo la Sp 70. L'interferenza avviene con aree ad alta, media e bassa pericolosità idraulica (cfr. Fig.16).



(Fig.16 Interferenza n.1)

- 2) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la Sp 70. L'interferenza avviene con il reticolo idrografico, precisamente con un piccolo affluente del Canale Macchia Rotonda (cfr. Fig.17).



(Fig.17 Interferenza n.2)

- 3) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 80 e attraversa un'area a bassa pericolosità idraulica (cfr. Fig.18).



(Fig.18 Interferenza n.3)

- 4) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 80 e attraversa un'area ad alta, media e bassa pericolosità idraulica (cfr. Fig.19).



(Fig.19 Interferenza n.4)

- 5) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 80 e attraversa un'area ad alta, media e bassa pericolosità idraulica, inoltre interseca il reticolo idrografico e precisamente il torrente Cervaro (cfr. Fig.20). La strada attraversa il torrente Cervaro mediante ponte in calcestruzzo (cfr. Fig. 21,22,23).



(Fig.20 Interferenza n.5)



(Fig.21 Ponte Torrente Cervaro, Vista Valle)

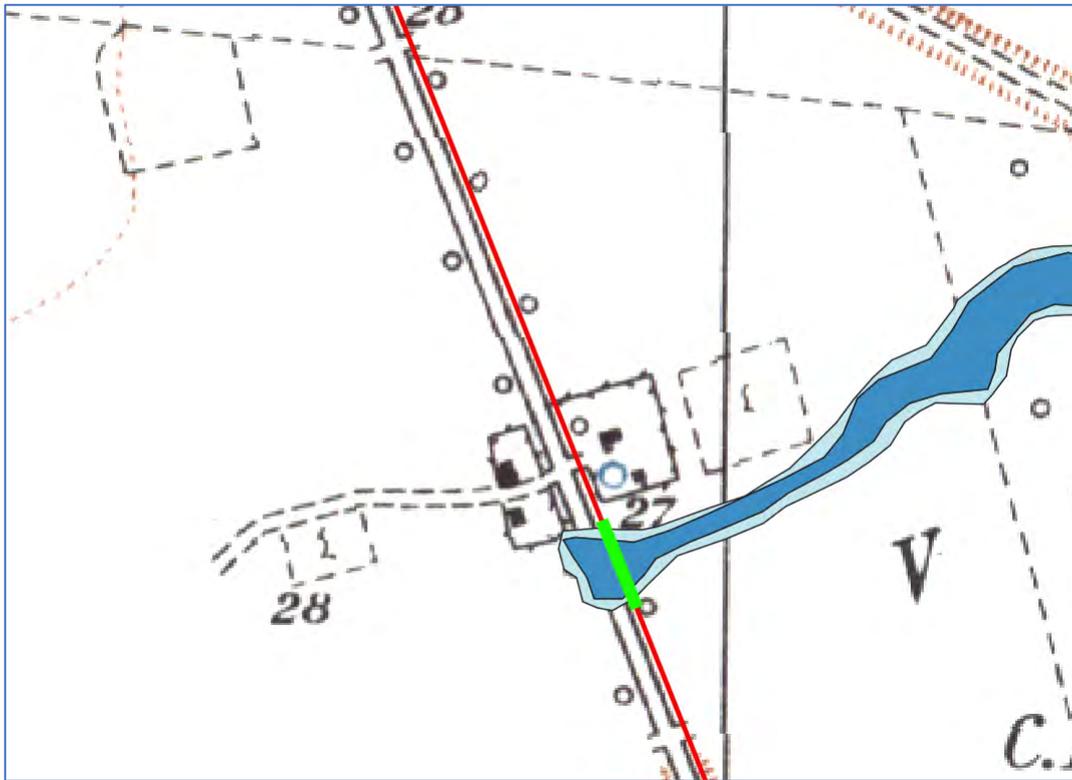


(Fig.22 Ponte Torrente Cervaro, Vista Monte n.1)



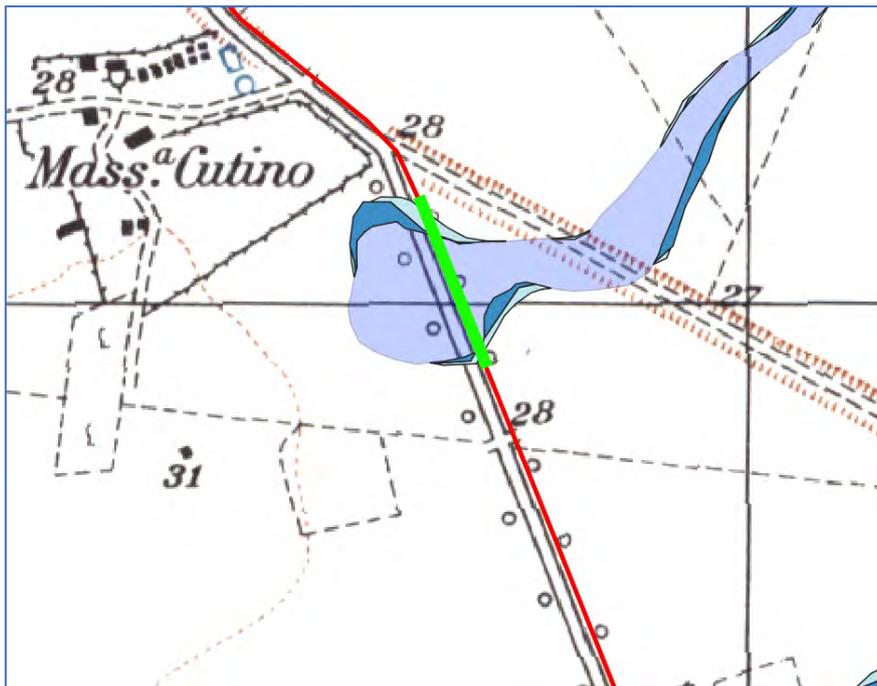
(Fig.23 Ponte Torrente Cervaro, Vista Monte n.2)

- 6) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 80 e attraversa un'area a media e bassa pericolosità idraulica (cfr. Fig. 24).



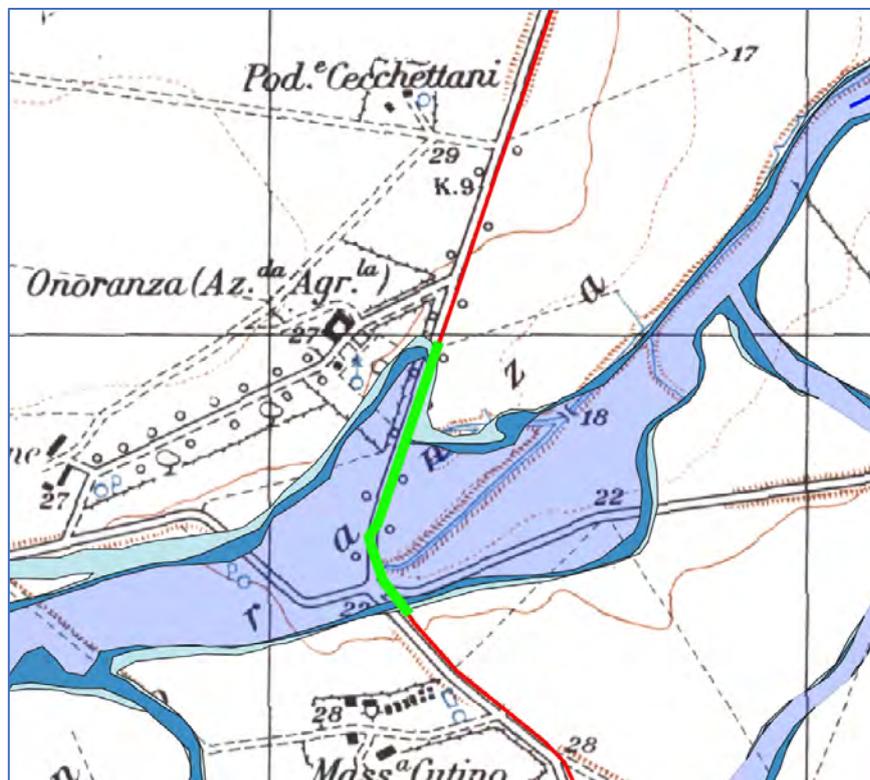
(Fig.24 Interferenza n.6)

- 7) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 80 e attraversa un'area ad alta, a media e bassa pericolosità idraulica (cfr. Fig. 25).



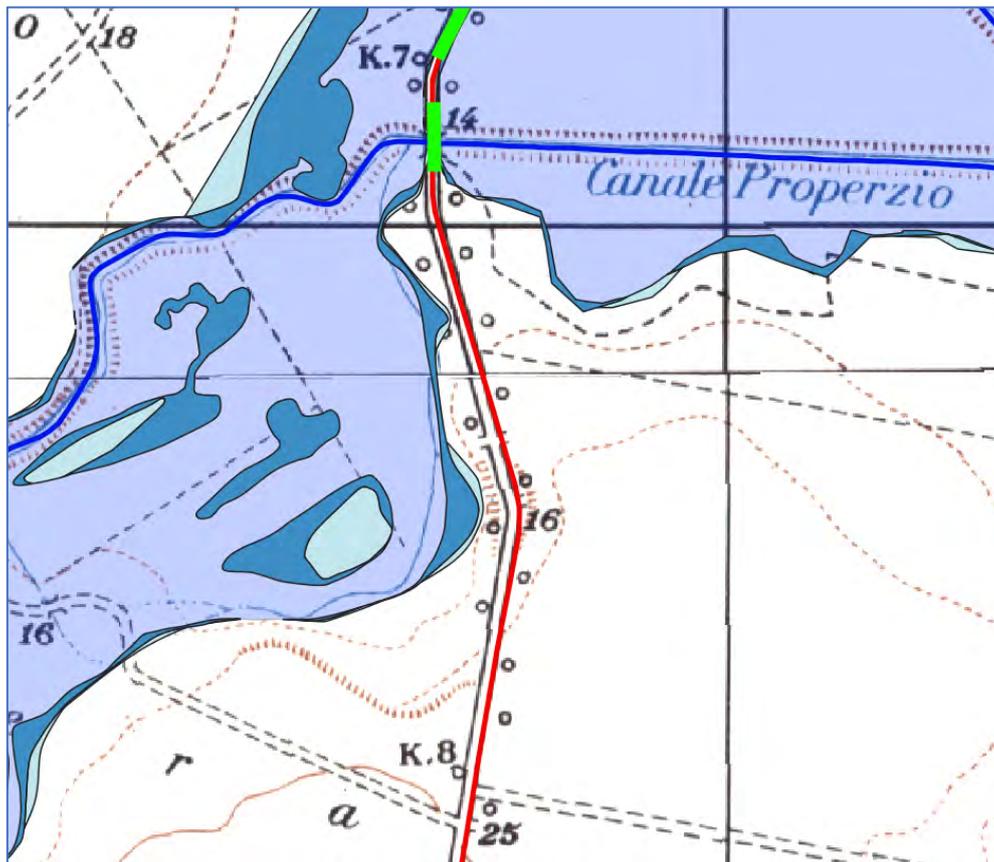
(Fig.25 Interferenza n.7)

- 8) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 80 e attraversa un'area ad alta, a media e bassa pericolosità idraulica (cfr. Fig.26).



(Fig.26 Interferenza n.8)

- 9) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 76 e attraversa un'area ad alta, a media e bassa pericolosità idraulica oltre che il reticolo idrografico ed aree di cui art. 6 e 10 del Pai. Il cavidotto intersecherà infatti il canale "Properzio" (cfr. Fig. 27). La strada attraversa il canale mediante ponticello in calcestruzzo (cfr. Fig. 28, 29, 30).



(Fig.27 Interferenza n.9)



(Fig.28 Ponte "Canale Properzio")

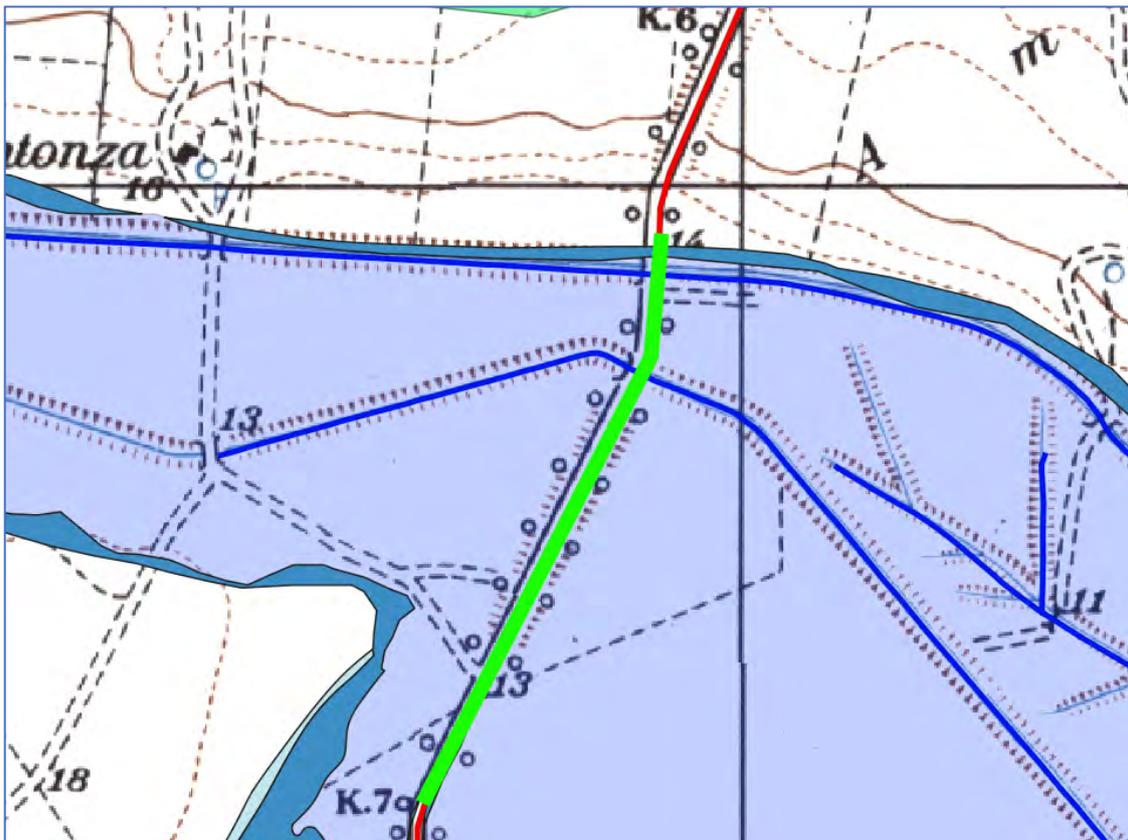


(Fig.29 Ponte "Canale Properzio" Vista Monte)



(Fig.30 Ponte "Canale Properzio" Vista Valle)

- 10) Tratto di cavidotto da realizzarsi su strada esistente. In particolare il cavidotto verrà realizzato lungo la strada Sp 76 e attraversa un'area ad alta, a media e bassa pericolosità idraulica oltre che il reticolo idrografico (cfr. Fig.31). Il cavidotto intersecherà un ulteriore affluente del canale "Properzio" oltre che il canale "Farano". La strada provinciale attraversa i tratti di reticolo idrografico grazie ai ponticelli in calcestruzzo armato riportati nelle foto sottostanti (cfr. Fig.32, 33,34).



(Fig.31 Interferenza n.10)



(Fig.32 Ponte "Affluente Canale Properzio")



(Fig.33 Ponte "Canale Farano" Vista Monte)



(Fig.34 Ponte "Canale Farano" Vista Valle)

5.ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica ha come obiettivo la valutazione delle portate di piena che, per prefissati tempi di ritorno, interessano un bacino idrografico e, di conseguenza, le sue infrastrutture, centri abitati ed elementi vulnerabili.

Per l'area interessata dall'intervento, come già detto, sono già ben individuate le perimetrazioni PAI.

L'analisi idrologica è stata eseguita su quei bacini generati in prossimità delle aree in cui il cavidotto, che sarà alloggiato su strada esistente, interseca il reticolo idrografico e.

Per le analisi eseguite si sono considerati i dati dei rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDICI- CNR.

5.1 ANALISI MORFOLOGICA E DEFINIZIONE DEI BACINI

L'individuazione dei bacini idrografici, che costituisce un passaggio fondamentale al fine di determinare le portate al colmo di piena per i tempi di ritorno considerati, è stata eseguita mediante sistemi GIS e confrontando i risultati ottenuti con la cartografia I.G.M. 1:25:000.

In particolare, sono stati utilizzati i dati forniti dal SIT Puglia quali l'utilizzo di files DEM (Digital Elevation Model). Sono stati individuati i principali parametri morfologici, geologici e climatici, utili alla caratterizzazione delle variabili idrologiche utilizzate nei modelli di calcolo per la stima dei deflussi attesi.

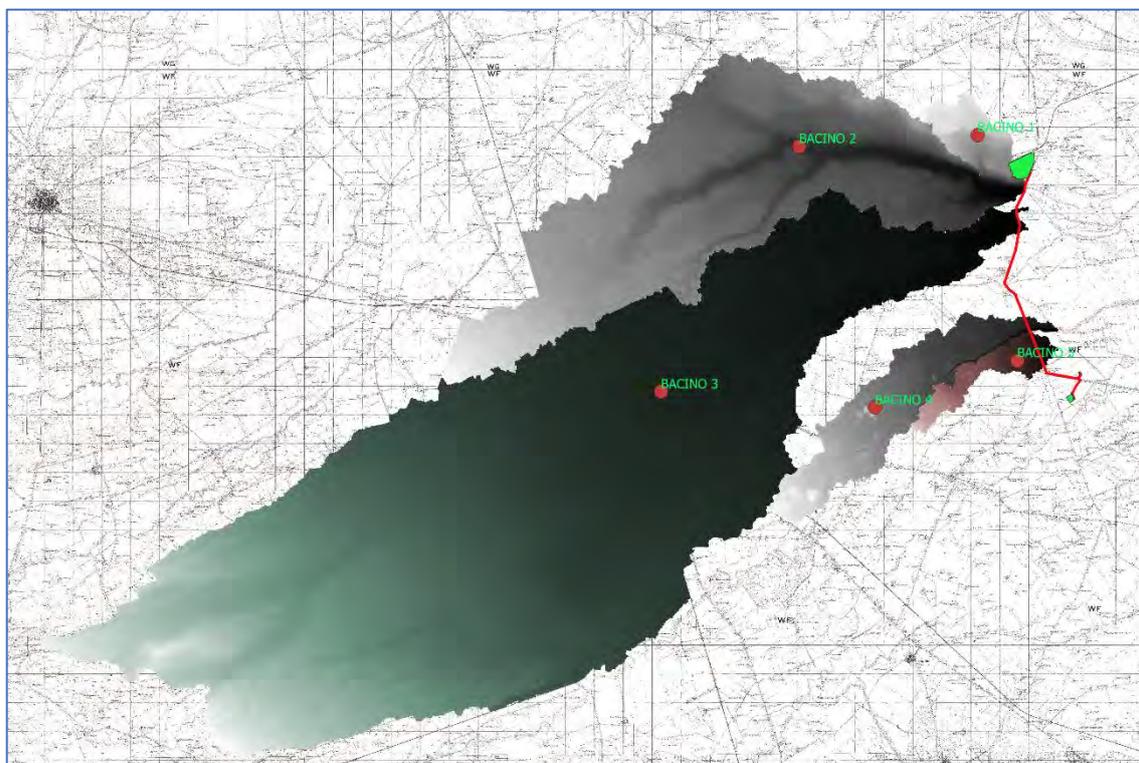
La definizione dei bacini idrografici di competenza del reticolo individuato è stata condotta a partire dal reticolo idrografico delineato dalla Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia.

I bacini idrografici individuati (*cf. Fig 35,36,37*) si riferiscono a sezioni di chiusura differenti .

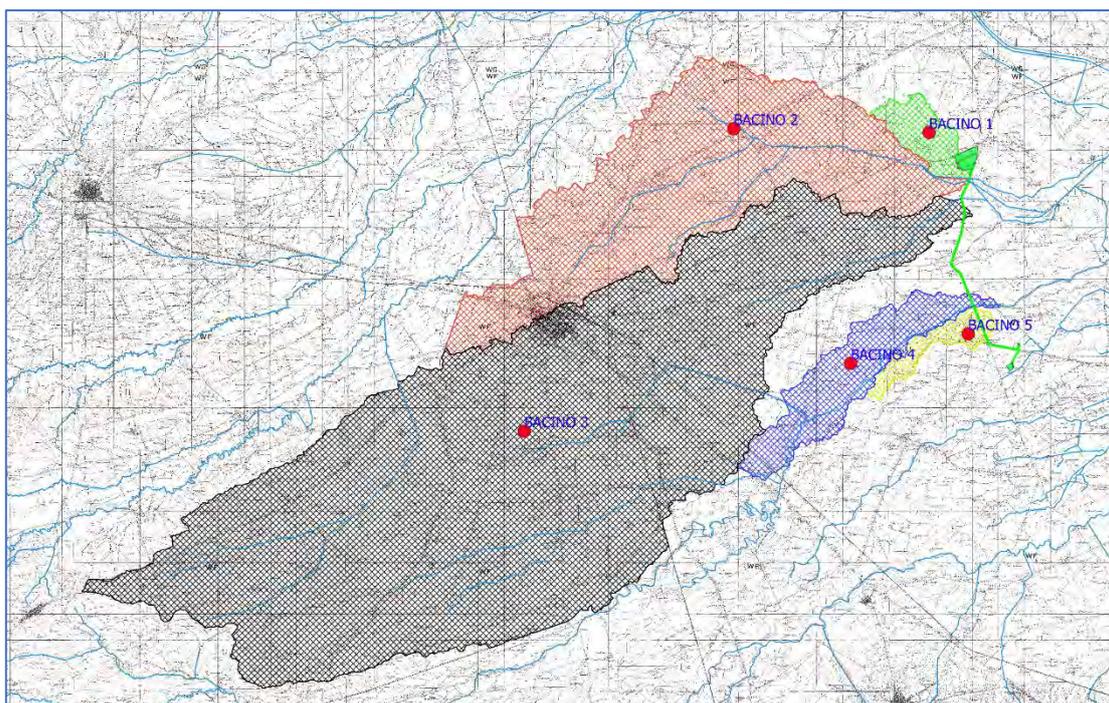
Nella seguente tabella si riassumono alcune grandezze caratteristiche dei bacini idrografici individuati ed oggetto di studio.

Tab.1 Caratteristiche dei bacini idrografici

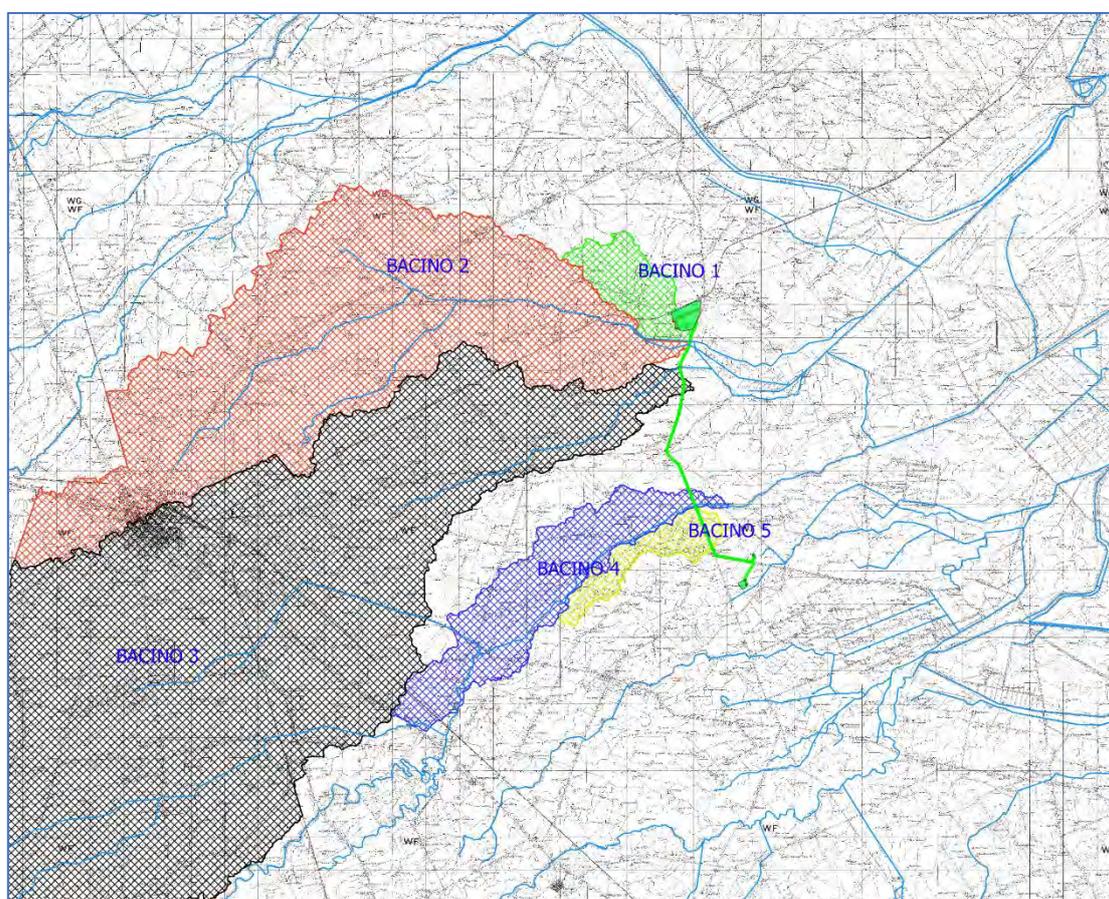
| Caratteristiche bacini | | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------|--------------|
| Bacino idrografico | Area | Longest Flowpath Length | Longest Flowpath Slope | Centroidal Flowpath Length | Centroidal Flowpath Slope | 10-85 Flowpath Length | Basin Slope | Basin relief |
| | A [km ²] | L [m] | | [Km] | | [Km] | | [m] |
| bacino 1 | 5,8600 | 6,3850 | 0,0082 | 3,4261 | 0,009 | 4,7888 | 0,0201 | 52,0112 |
| bacino 2 | 81,1140 | 28.90036 | 0.00284 | 13.35529 | 0,002 | 21,6752 | 0,0155 | 82,0245 |
| bacino 3 | 236,9900 | 47,7382 | 0,0073 | 26,2088 | 0,003 | 35,8037 | 0,0226 | 363,8589 |
| bacino 4 | 18,0040 | 14,5545 | 0,0033 | 7,7343 | 0,003 | 10,9159 | 0,0163 | 56,3693 |
| bacino 5 | 3,4688 | 8,3029 | 0,0025 | 4,1351 | 0,002 | 6,2272 | 0,0102 | 23,1460 |



(Fig.35 Bacini idrografici, visualizzazione DEM)



(Fig.36 Bacini idrografici inquadramento su reticolo idrografico)



(Fig.37 Bacini idrografici inquadramento su reticolo idrografico)

5.2 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI

In Puglia, le stazioni di misura idrometriche sono in numero assai limitato, se confrontato con quelle di misura pluviometriche, pertanto, il calcolo della portata di piena deve essere realizzato attraverso un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Ai sensi del DPCM 29 settembre 1998, ai fini della perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, *“ove possibile, è consigliabile che gli esecutori traggano i valori di riferimento della portata al colmo di piena con assegnato tempo di ritorno...dai rapporti tecnici del progetto VAPI messo a disposizione dal GNDCI-CNR”*.

Nel caso dei bacini idrografici oggetto di studio, si è fatto quindi ricorso ai risultati del progetto VAPI (VALutazione Plene in Italia), per la determinazione delle altezze di precipitazione, delle curve di possibilità pluviometrica e delle portate al colmo di piena.

Detto ciò, in questo studio l'analisi idrologica ha il fine stimare la portata al colmo di piena per un tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

Per quanto concerne, invece, la valutazione dei deflussi naturali nelle sezioni di interesse si è fatto ricorso all'analisi comparata dei risultati derivati dall'applicazione di alcune relazioni, a base geomorfologica, atte a definire il tempo di corrivazione del bacino.

In particolare, si sono utilizzati i risultati rinvenuti dall'applicazione delle relazioni fornite da Giandotti (1934), Kirkich-Pezzoli-Watt-Chow (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), Ferro (2002), Puglisi-Zanframundo e Turazza, sulle cui peculiarità e limiti di applicabilità si illustrerà dettagliatamente nel seguito.

Và, infine, evidenziato che i valori dei tempi di ritorno (TR) utilizzati per la definizione delle curve di possibilità climatica e, di conseguenza, per la stima degli eventi di piena sono quelli che il PAI Puglia definisce per la valutazione delle aree ad alta, media e bassa probabilità di inondazione.

In particolare, essi sono per le aree a:

- *Alta Probabilità di Inondazione (AP) TR = 30 anni.*
- *Media Probabilità di Inondazione (MP) TR = 200 anni.*
- *Bassa Probabilità di Inondazione (BP) TR = 500 anni.*

5.3 ANALISI REGIONALE DELLE PIOGGE

L'approccio più moderno per lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto con un insieme di procedure atte a trasferire l'informazione idrologica e nota come "analisi regionale". Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico-stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

La scelta del tipo di modello richiede la conoscenza di alcuni aspetti fondamentali legati alle risorse dedicabili allo studio, alla qualità dell'informazione disponibile e alla precisione richiesta dai risultati. Pertanto, la struttura del modello richiede la costruzione del risolutore numerico e un'attenta identificazione dei parametri di taratura.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson, 1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al. 1984).

Quest'ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV consente di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, che utilizza tre differenti livelli di scala spaziale per la stima dei parametri del modello probabilistico utilizzato, in modo da ottimizzare l'informazione ricavabile dai dati disponibili e dal numero di stazioni della rete di misura.

In seguito si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione del territorio pugliese centro-settentrionale, territorio nel quale ricadono i bacini oggetto di studio. Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa

variabile segua la legge di Poisson. Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e ordinaria, appartengano a popolazioni diverse, anche se è ammessa la loro interferenza attraverso un processo poissoniano.

L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV ha consentito di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria, quindi risultano costanti i due parametri λ^* e Θ^* ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro λ_1 che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità e le caratteristiche morfologiche. In particolare si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

La preventiva suddivisione dell'area di studio in zone e sottozone omogenee è stata effettuata in base all'analisi delle massime precipitazioni giornaliere, di cui si dispone del maggior numero di informazioni. La procedura prevede che si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali possano ritenersi costanti i valori dei parametri λ^* e Θ^* . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 66 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti dall'analisi del 1° livello e 2° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri λ^* e Θ^* .

L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione. Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di λ_1 . Alla luce di tali risultati, è stato possibile assumere realistica l'ipotesi di un'unica zona omogenea al primo e al secondo livello di regionalizzazione.

Nel riquadro a seguire si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio:

Tab.II Parametri caratteristici dell'analisi Regionale per la Puglia Settentrionale

| <i>Puglia settentrionale</i> | Θ^* | λ^* | Λ_1 |
|------------------------------|------------|-------------|-------------|
| | 2.351 | 0.772 | 44.63 |

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata $X_{d,TR}$ viene espressa in funzione di una quantità K_{TR} , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno TR e indipendente dalla durata.

Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno TR ed è definito dal rapporto seguente:

$$KT = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,TR})}$$

essendo $X_{d,TR}$ il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno.

La curva di distribuzione di probabilità di tale rapporto ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della $X_{d,TR}$. Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno TR ed il fattore di crescita K_{TR} , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. Infatti, calcolando, nelle stazioni disponibili, le medie pesate dei coefficienti di asimmetria e dei coefficienti di variazione alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria.

L'indipendenza dalla durata di K_{TR} autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

Sulla scorta dei valori regionali dei parametri λ^* , Θ^* e λ_1 , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia settentrionale, anche se tale fattore può essere calcolato in funzione di TR attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita, che ha la seguente forma:

$$K_{TR} = a + b \cdot \ln(TR)$$

in cui i parametri a e b sono esprimibili in funzione dei valori regionali di λ^* , Θ^* e λ_1

Per la Puglia settentrionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, quindi, la seguente:

$$K_{TR} = 0.5648 + 0.415 \cdot \ln(TR)$$

anche se va rimarcato come l'utilizzo di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per $T < 50$ anni e superiori al 5% per $T < 100$ anni. Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n$$

essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di curva di probabilità pluviometrica. Per la Puglia, dunque, al primo livello di regionalizzazione è stata evidenziata la presenza di un'unica zona pluviometricamente omogenea, mentre al secondo livello di due zone: Puglia Settentrionale e Puglia Centro-Meridionale. L'analisi di terzo livello condotta operando una regressione delle precipitazioni di diversa durata con la quota z , ha portato all'individuazione di 6 zone pluviometriche omogenee (cfr. Fig.38)



(Fig.38 Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello di regionalizzazione)

A ciascuna zona è associata una curva di possibilità pluviometrica (funzione, nella maggior parte dei casi, del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare) per mezzo della quale

viene valutata l'altezza di pioggia critica per i differenti intervalli di precipitazione e per i vari tempi di ritorno prescelti:

$$\text{Zona 1} \rightarrow x(t,z) = 28.66 t^{[(0.720+0.000503 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 2} \rightarrow x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

$$\text{Zona 3} \rightarrow x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.000531 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 4} \rightarrow x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

$$\text{Zona 5} \rightarrow x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 6} \rightarrow x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$$

Alla luce di quanto detto, l'area di interesse del presente studio si inquadra, nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee del territorio regionale, in **zona 2**;
pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

$$x(t,z) = 22.23t^{0.247}$$

Ai valori così ottenuti vanno applicati i coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita KT (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al fattore di riduzione areale KA (funzione della superficie del bacino espressa in Km², e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore).

Valutate le altezze di pioggia per diverse durate (1, 2, 3, ... 24) è stato possibile costruire le curve di possibilità pluviometrica (CPP) per i Tempi di ritorno T di 30, 200 e 500 anni, i cui parametri sono riportati nella tabella seguente.

Tab.III Parametri curve di possibilità pluviometrica

| TEMPO DI RITORNO | a | n |
|------------------|------|------|
| TR=30 anni | 43.9 | 0.25 |
| TR=200 anni | 61.4 | 0.25 |
| TR=500 anni | 69.9 | 0.25 |

5.4 APPLICAZIONE DEL MODELLO AFFLUSSI- DEFLUSSI

Il fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi che avviene in un bacino idrografico investito da un evento pluviometrico può essere studiato con vari metodi a secondo dei dati disponibili e del grado di dettaglio ed accuratezza del risultato che si intende ottenere. Tutti questi metodi sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- concettuali: quando il fenomeno viene schematizzato nel dettaglio e scomposto nelle sue varie componenti per ciascuna delle quali si adotta un modello matematico che simula quanto avviene nella componente stessa (es: metodo dell'idrogramma unitario o il metodo cinematico);
- statistici: quando si fa unicamente un'analisi statistica dei deflussi e quindi le portate di piena del bacino idrografico vengono valutate sulla base di equazioni matematiche che possono dipendere anche da caratteristiche morfologiche del bacino stesso (es. : metodi di regionalizzazione delle piene del VaPi);
- formule empiriche: quando le portate massime vengono calcolate sulla base di semplici relazioni tarate sulla base di dati sperimentali (es: formule di Gherardelli-Marchetti, Mongiardini, Forti, De Marchi e Pagliaro).

Nello studio oggetto della seguente relazione, al fine di ottenere le simulazioni idrologiche, si è utilizzato il software HEC-HMS dell'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

I metodi descritti pocanzi analizzano separatamente le varie fasi in cui il fenomeno di trasformazione afflussi-deflussi può essere scomposto e sono:

- separazione delle piogge;
- formazione della piena;
- propagazione della piena;
- deflusso di base;

Ai fini della modellazione idrologica si è scelto di schematizzare i bacini idrografici in prossimità delle sezioni di chiusura così come indicato al paragrafo 5.1 e per le varie fasi in cui è possibile schematizzare il fenomeno trasformazione afflussi-deflussi si è scelto di utilizzare i seguenti metodi:

I fase: separazione della pioggia (calcolo della pioggia netta): metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service (SCS);

II fase: formazione della piena: metodo dell'Idrogramma Unitario Istantaneo (IUH) del Soil Conservation Service (SCS).

La portata al colmo di piena corrisponde alla massima portata generata da una precipitazione di durata *critica* tale da mettere in crisi la rete idrografica e dipende fortemente dall'estensione del bacino.

Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

La valutazione della portata idrologica (portata al colmo di piena) è stata condotta, dunque, come già accennato applicando il Metodo SCS-CN.

Il metodo usualmente denominato "Curve Number" ed elaborato dal Soil Conservation Service, è un metodo empirico basato su una semplice equazione secondo la quale il volume specifico (altezza) di pioggia netta, dall'inizio dell'evento meteorico fino all'istante generico t , risulta legato al volume specifico di pioggia lorda caduta nel medesimo intervallo temporale.

Il volume di deflusso superficiale, Q , è quindi dato dalla seguente espressione:

$$\frac{F}{S} = \frac{Rs}{P - Ia}$$

in cui:

- F = volume specifico infiltrato;
- S = volume specifico di saturazione di un terreno;
- P = precipitazione;
- I = assorbimento iniziale (valore limite che il terreno può trattenere senza che si abbia formazione di deflusso); poiché le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo I è assunto pari a $0.2S$;

tenendo conto dell'equazione di continuità:

$$Rs = P - F - Ia$$

dalla precedente, si ottiene:

$$Q = \frac{(P - I)^2}{(P - I + s)}$$

Il volume specifico di saturazione S dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, teoricamente può assumere tutti i valori positivi compresi tra zero (superfici perfettamente impermeabili) e infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di S viene condotta attraverso la seguente relazione:

$$S = S_0 + \left(\frac{100}{CN} - 1\right)$$

in cui:

- S_0 è un fattore di scala, pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm;
- **CN** è il parametro di cui sopra, che può assumere un valore compreso fra 0 e 100; esso rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso. Tale parametro è funzione della permeabilità, delle condizioni di umidità antecedenti l'evento meteorico in esame e dell'uso del suolo.

Per quanto concerne la natura del suolo, l'SCS ha individuato quattro classi di permeabilità ottenute dal confronto delle formazioni geologiche presenti nel bacino con tabelle di conversione estratte da studi precedenti:

- Gruppo A: bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.
- Gruppo B: suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.
- Gruppo C: suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa.
- Gruppo D: suoli ad elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Per quanto riguarda le condizioni di umidità antecedenti la precipitazione, sempre l'SCS ha definito tre classi AMC (Antecedent Moisture Condition), funzione della precipitazione nei cinque giorni precedenti:

Tab.IV Classi dell'AMC

| Classe AMC | Precipitazione nei 5 giorni precedenti (mm) |
|---|---|
| I Terreno secco | $0 < P < 50$ |
| II Umidità media | $50 < P < 110$ |
| III Terreno da mediamente umido a saturo | $P > 110$ |

Tenendo conto della stagione in cui ricade l'evento in esame, rispetto al periodo di crescita delle piante, si hanno le seguenti espressioni per la valutazione del CN:

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

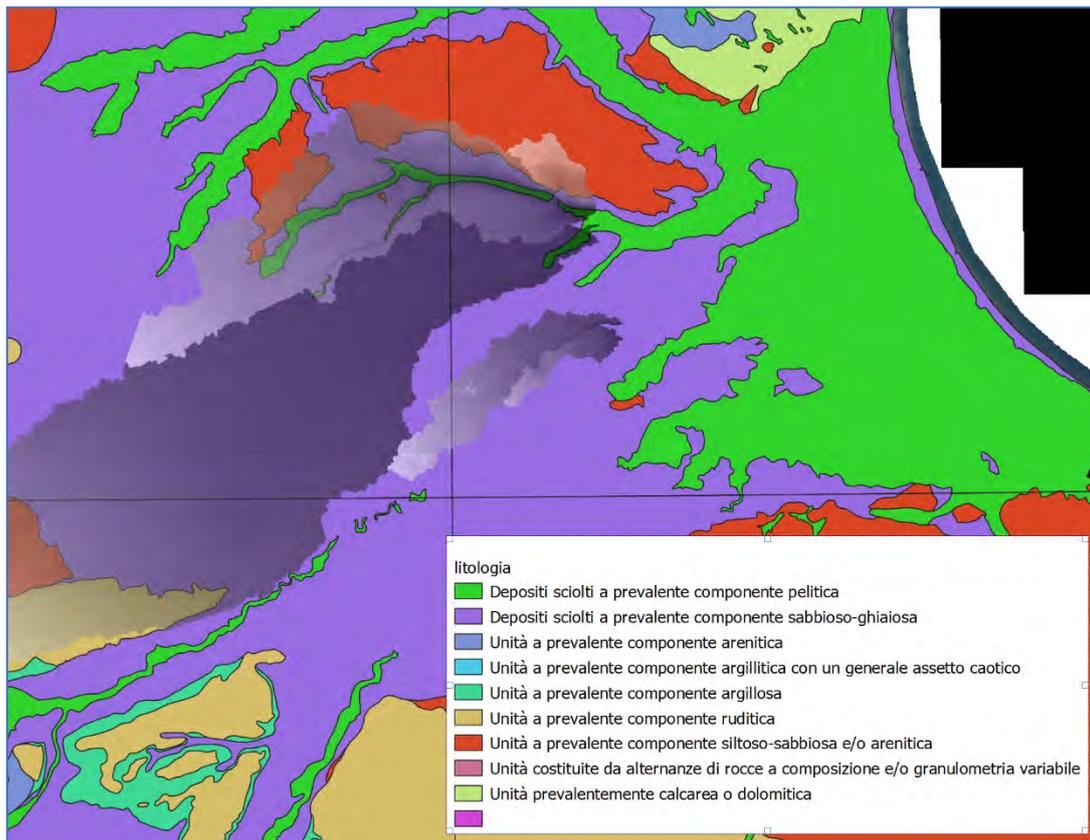
$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Il CN (II) è definito dalla tabella a doppio ingresso uso del suolo-permeabilità, reperibile in letteratura:

Tab.V Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale

| TABELLA GENERALE DI RIFERIMENTO CN DELL'SCS | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|
| TIPO DI COPERTURA | A | B | C | D |
| Aree agricole con presenza di spazi naturali | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Aree Urbane | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Area residenziale | 77 | 85 | 90 | 92 |
| Cava | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Distretti industriali | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Bacini di acqua | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Colture orticole a ciclo primaverile estivo | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Colture temporanee associate a colture permanente | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Frutteti e frutti minori non irrigui | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Frutteti e frutti minori irrigui | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Oliveti irrigui | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Oliveti non irrigui | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Prati stabili non irrigui | 30 | 58 | 71 | 78 |
| Seminativi in aree non irrigue | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Sistemi colturali e particellari complessi | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Vigneti irrigui | 72 | 81 | 88 | 91 |
| Vigneti non irrigui | 62 | 71 | 78 | 81 |
| Zone boscate | 45 | 66 | 77 | 83 |

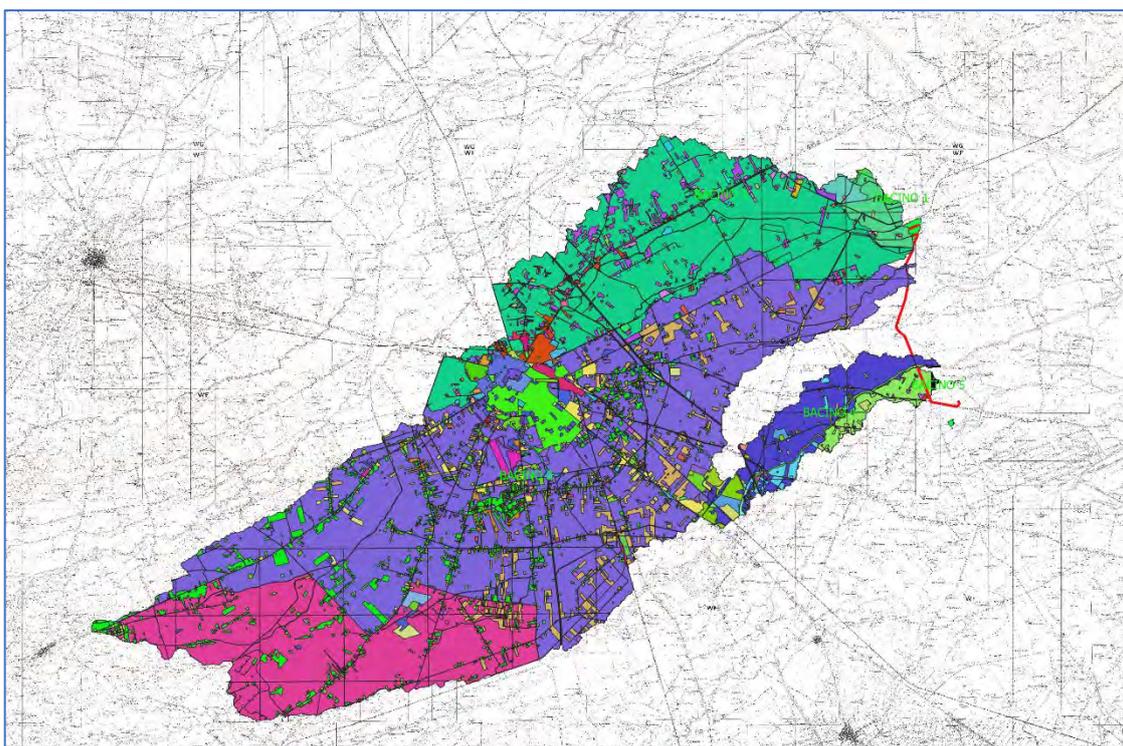
Per lo studio in oggetto, attraverso l'utilizzo di tecniche GIS, considerata la permeabilità del suolo e l'uso dello stesso (mediante cartografie scaricate dal SIT Puglia), per i bacini idrografici sono stati calcolati i valori relativi alle diverse condizioni di umidità del suolo antecedenti l'evento (AMC I, II e III).



(Fig.39 Litologia della zona di intervento)

E' stata analizzata la litologia all'interno del dominio dei bacini (cfr. Fig.39) e si è evidenziato come il suolo in questione è caratterizzato maggiormente da "Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa". Tuttavia, a vantaggio di sicurezza si è preferito utilizzare parametri del CN che appartenessero a suoli di tipo C, quindi capaci di generare maggior deflusso superficiale.

Scelta la tipologia di suolo di riferimento, dalle analisi relative al suo utilizzo si sono ricavati i parametri CN per ogni diverso uso del suolo. Successivamente sono stati rapportati tali valori all'area complessiva di ogni bacino ottenendo unico valore di CN di riferimento.(cfr. Fig.40)



(Fig.40 Caratterizzazione uso del suolo)

Nella fattispecie, poiché come considerato precedentemente i valori di CN fanno riferimento a CN(II), considerata l'entità degli interventi e l'importanza degli stessi, si è preferito, a vantaggio di sicurezza, adottare un valore di Curve Number pari al CN(III), in quanto trattasi di aree, per la maggiore parte non urbanizzate.

Tab.VI Valori del CN

| CN | | |
|--------------------|--------|---------|
| Bacino idrografico | CN(II) | CN(III) |
| bacino 1 | 88 | 94,4 |
| bacino 2 | 88 | 94,4 |
| bacino 3 | 86 | 93,4 |
| bacino 4 | 88 | 94,4 |
| bacino 5 | 88 | 94,4 |

Altro elemento caratteristico di un bacino è il “tempo di ritardo” t_L (lag time), generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell’ idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d’acqua anche in assenza dell’evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto.

Il Soil Conservation Service (SCS) americano ha dedotto, empiricamente, che il rapporto t_L/t_C è pari a 0.6 (rapporto tra tempo di ritardo e tempo di corrivazione).

Per la determinazione del tempo di ritardo si ricorre alla formula di Mockus.

$$t_L = 0,342 * \frac{L^{0,8}}{S^{0,2}} * \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}$$

in cui:

- L, lunghezza dell’asta principale di reticolo in km;
- s, pendenza media del bacino in %.

Per il calcolo della portata al colmo Q_p il metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume V (m^3) ha la seguente espressione:

$$V = \frac{(Q_p * t_b)}{2}$$

avendo indicato con t_b la durata dell’evento di piena.

Poichè è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell’idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell’evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2.67t_a$$

Utilizzando le formule di cui sopra, esprimendo il volume di deflusso V in mm, il tempo t_a in ore, l’area A del bacino in Km^2 , si ottiene:

$$Q_p = 0,208 * \frac{(V * A)}{t_a}$$

La determinazione di t_a , nell’ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo, come prima calcolato, si effettua con la seguente relazione:

$$t_a = 0,5 t_p + t_L$$

In merito al tempo di corrivazione, occorre considerare che è generalmente definito come il tempo necessario alla goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura dello stesso.

Una relazione frequentemente utilizzata per il calcolo di tale grandezza è quella proposta da Giandotti (1934), valida per bacini idrografici aventi superficie (A) variabile tra 170 e 70000 km², che si esplicita nella seguente relazione:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}}$$

Essa è funzione anche della lunghezza dell'asta principale e della altezza media del bacino stesso.

Altra espressione utilizzata è quella definita (Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich). Ognuno di essi ha elaborato una propria equazione che poi si raggruppano con la espressione seguente (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte:

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8}$$

nella quale t_c è espresso in minuti e L in metri.

Vengono utilizzate nella pratica tecnica anche espressioni quali quella di Puglisi e Zanframundo la quale è stata calibrata per bacini dell'Appennino Dauno che hanno estensione compresa tra 43 e 94 km².

$$T_c = 6 \frac{L^{0.667}}{d^{0.333}}$$

con T_c espresso in ore, L in km e d (dislivello dell'asta principale del bacino) in m.

Molto utilizzata è anche la formula di Ferro:

$$T_c = k A^{0.5}$$

Con k quale coefficiente pari a 0,675. Tale formula è valida per bacini che variano da 1 a 5500 km².

A seconda delle dimensioni e delle caratteristiche in esame sono stati utilizzati dei tempi di corrivazione diversi per i bacini oggetto di studio. In particolare:

Tab.VII Valori del Tc

| TEMPI DI CORRIVAZIONE UTILIZZATI | | |
|---|---------------------|------------------------|
| Bacino idrografico | Formula Tc | Valore Tc (ore) |
| bacino 1 | Turazza | 2,6 |
| bacino 2 | Puglisi-Zanframundo | 13,0 |
| bacino 3 | Giandotti | 8,7 |
| bacino 4 | Turazza | 4,6 |
| bacino 5 | Turazza | 2,0 |

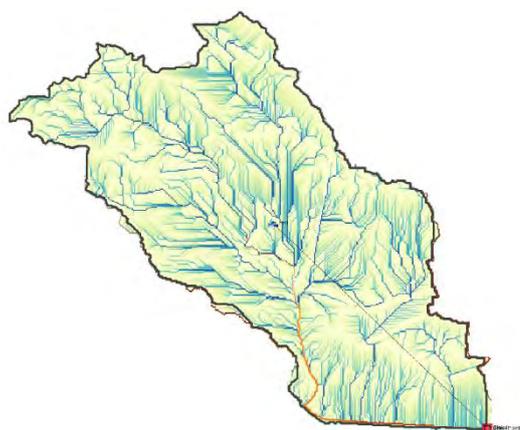
Nel software, dunque, una volta eseguite le procedure di pre-processing quali la rimozione delle depressioni presenti nel modello digitale del terreno, la individuazione della direzione del flusso e l'accumulo del flusso per ciascuna cella della griglia del raster, individuata la sezione di chiusura, si è passati all'inserimento dei dati di input necessari e richiesti a seconda della metodologia di calcolo utilizzata ed impostata (SCS-Curve Number relativamente alla separazione delle piogge e l'individuazione della pioggia netta, SCS-IUH per quanto riguarda la formazione della piena). (cfr. Fig.41...45)

Si sono inseriti i valori del Curve Number calcolati tramite GIS.

E' stato necessario inserire, inoltre, il Lag Time, funzione del tempo di corrivazione relativo ai vari bacini, ponendolo pari a 0.6 Tc.

Si è creato un modello meteorologico di pioggia sulla base dello studio di regionalizzazione di cui prima, considerando una durata di pioggia funzione delle caratteristiche del bacino e del tempo di risposta dello stesso.

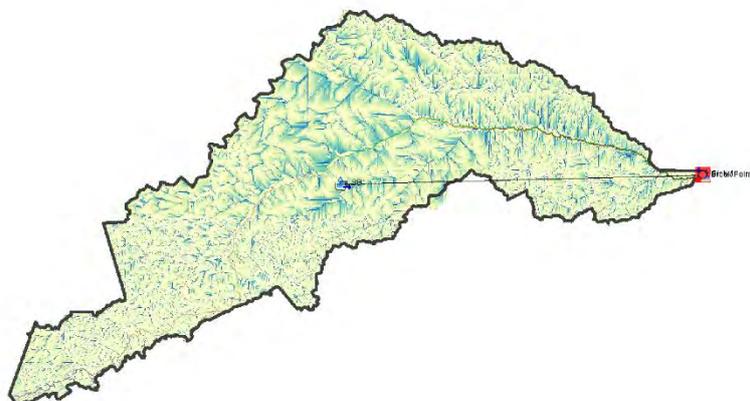
I bacini ottenuti in prossimità della sezione di chiusura vengono successivamente schematizzati e per ognuno di essi è stato ricavato un idrogramma di piena con diversi valori delle portate corrispondenti ai diversi tempi di ritorno. (cfr. Tab. VIII...XII)



(Fig.41 Bacino1)

Tab.VIII Valori Bacino 1

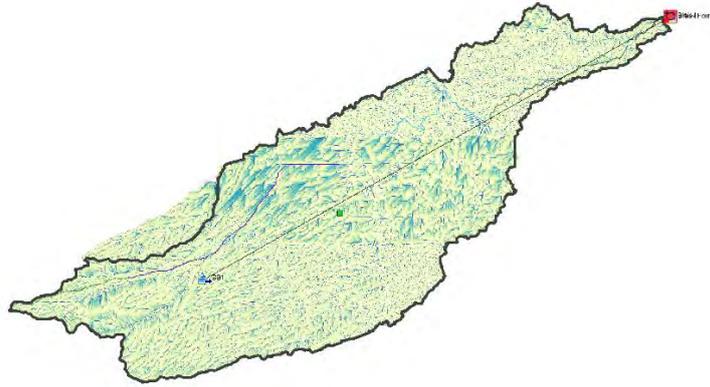
| | Tr | Volume (mm) | Portata al colmo di piena(m ³ /s) |
|----------------------|-----|-------------|--|
| Bacino idrografico 1 | 30 | 41,90 | 26,7 |
| | 200 | 63,94 | 40,7 |
| | 500 | 74,74 | 47,5 |



(Fig.42 Bacino2)

Tab.IX Valori Bacino 2

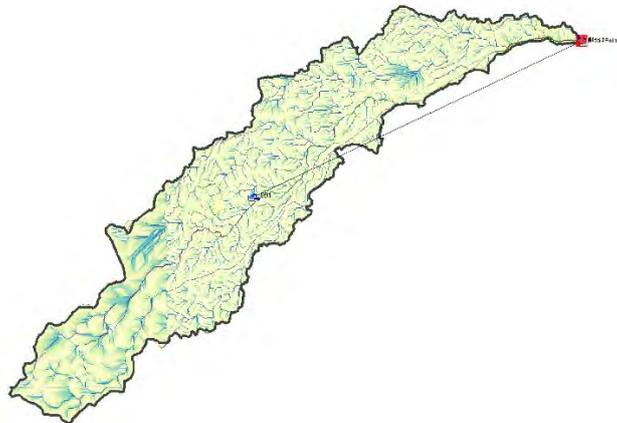
| | Tr | Volume (mm) | Portata al colmo di piena(m ³ /s) |
|----------------------|-----|-------------|--|
| Bacino idrografico 2 | 30 | 65,51 | 125,5 |
| | 200 | 97,22 | 185,4 |
| | 500 | 96,75 | 191,2 |



(Fig.43 Bacino 3)

Tab.X Valori Bacino 3

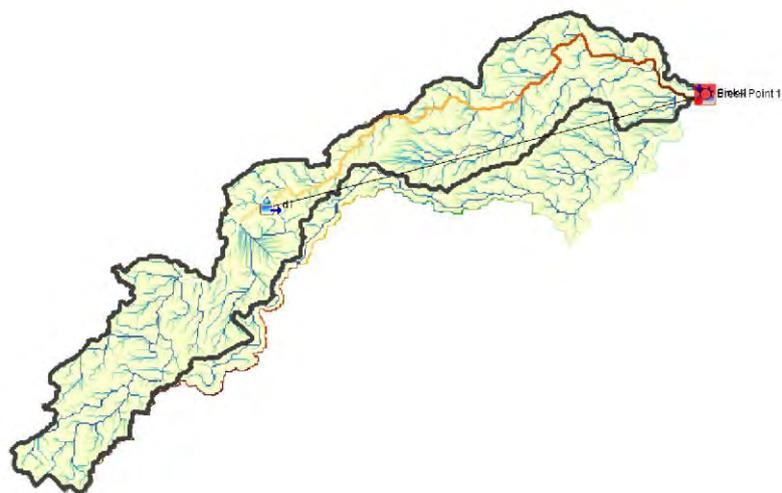
| Bacino idrografico 3 | Tr | Volume (mm) | Portata al colmo di piena(m ³ /s) |
|----------------------|-----|-------------|--|
| | 30 | 66,42 | 503,7 |
| | 200 | 97,95 | 740,6 |
| | 500 | 113,91 | 854,8 |



(Fig.44 Bacino 4)

Tab.XI Valori Bacino 4

| Bacino idrografico 4 | Tr | Volume (mm) | Portata al colmo di piena(m ³ /s) |
|----------------------|-----|-------------|--|
| | 30 | 53,13 | 58,4 |
| | 200 | 79,67 | 87,4 |
| | 500 | 92,59 | 101,4 |



(Fig.45 Bacino 5)

Tab.XII Valori Bacino 4

| | Tr | Volume (mm) | Portata al colmo di piena(m ³ /s) |
|----------------------|-----|-------------|--|
| Bacino idrografico 5 | 30 | 42,80 | 19,3 |
| | 200 | 64,95 | 29,0 |
| | 500 | 75,78 | 33,6 |

6.0 ALLEGATI

1.0 - Inquadramento bacini su Cartografia IGM 1:25.000;

2.0 - Interferenze su Cartografia IGM.

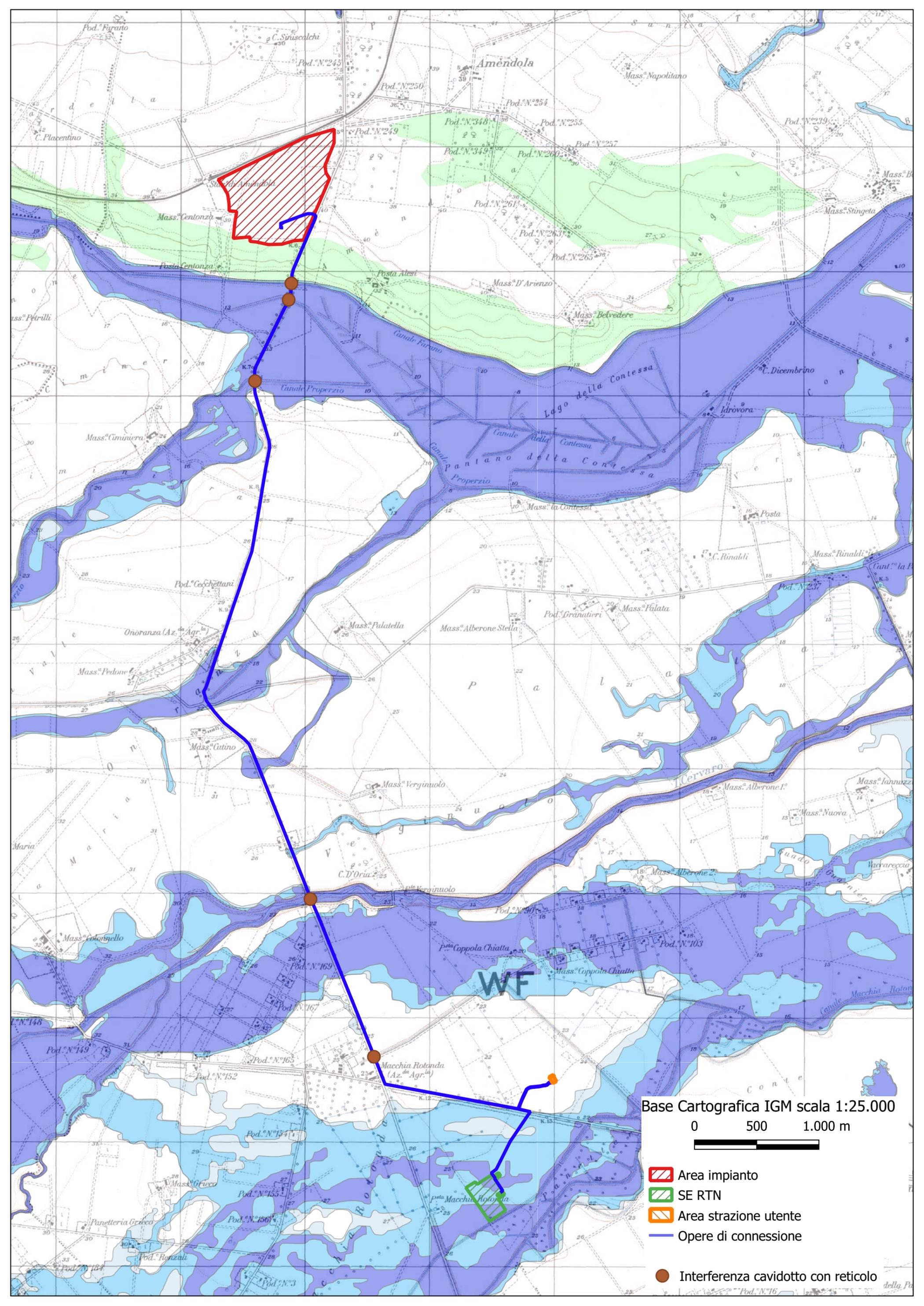
SITOGRAFIA:

- http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=/ms_ogc/WMS_v1.3/Vettoriali/Corine_Land_Cover2012.map;

- <https://www.adb.puglia.it/public/download.php?view.252>;

- *Regione Puglia- Assessorato all'Assetto del territorio. Piano Paesaggistico territoriale regionale*;

- http://www.sit.puglia.it/portal/portale_cartografie_tecniche_tematiche/ViewMenuPortletWindow?action=2&idsezione=322&nomesezione=Cartografie%20Tecniche%20e%20Tematiche&paginacms=/contents/schede-html/carte.html;



Base Cartografica IGM scala 1:25.000

0 500 1.000 m



 Area impianto

 SE RTN

 Area strazione utente

 Opere di connessione

 Interferenza cavidotto con reticolo

