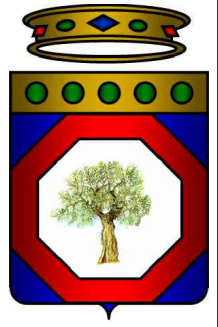


Comune di : SANT'AGATA di PUGLIA

Provincia di : FOGGIA

Regione : PUGLIA



PROPONENTE



S2SE TRE srl
Via di Selva Candida, 452 - 00166 ROMA (RM)

OPERA

PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA ELETTRICA DA FONTE RINNOVABILE AGRIVOLTAICA DI POTENZA NOMINALE PARI A 59.347,44 kWp CON SISTEMA DI ACCUMULO INTEGRATO E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RETE RTN

"SOLARE SANT'AGATA DI PUGLIA - S2S"

OGGETTO

TITOLO ELABORATO :

RELAZIONE IDROLOGICA E IDROGEOLOGICA

DATA : 27 novembre 2023

N°/CODICE ELABORATO :

SCALA : ---

Tipologia : REL (RELAZIONI)

REL 009

I TECNICI

PROGETTISTI:



S2S ENERGY s.r.l.
Via di Selva Candida, 452
00166 ROMA
Ing. Fernando Sonnino
Project Manager

TIMBRI E FIRME:



00	202202436	Emissione per Progetto Definitivo - Istanza di VIA e AU	S2SE TRE srl	Ing. Fernando Sonnino	Ing. Fernando Sonnino
N° REVISIONE	Cod. STMG	OGGETTO DELLA REVISIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE

Proprietà e diritto del presente documento sono riservati - la riproduzione è vietata

Sommario

1	PREMESSA	2
2	LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO	4
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE.....	4
2.2	INTERVENTI DI PROGETTO.....	6
2.2.1	COMPONENTI PRINCIPALI.....	6
3	GEOLOGIA REGIONALE.....	8
4	GEOMORFOLOGIA E AMBIENTE IDRICO.....	9
5	INDIVIDUAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI.....	10
6	STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI.....	13
6.1	CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (METODO VAPI)	13
6.2	CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA - METODO DI GUMBEL	20
6.3	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	23
6.4	CONSIDERAZIONI FINALI SULLE CPP	25

1 PREMESSA

La società S2SE TRE s.r.l., con sede in Via di Selva Candida n. 452 – 00166 Roma (RM), realizzare, su un area agricola della estensione di 130,225 ettari ubicata in agro del Comune di SANT'AGATA DI PUGLIA (FG), un impianto agrivoltaico a terra denominato "SANT'AGATA DI PUGLIA-S2S". Il parco esprime una di potenza nominale in DC di **59,347 MWp**, a cui corrisponde una potenza massima in immissione in AC di **55,968 MW**, come da preventivo STMG di Terna codice pratica 202202436. L'insediamento è completato da un Sistema di Accumulo integrato da **17,1 MW** di potenza e **70 MWh** di capacità, ripartito in due lotti di terreno agricolo.

L'impianto in oggetto realizzato in area agricola può essere definito "agrivoltaico" in quanto si tratta di un impianto fotovoltaico che adotta soluzioni volte a preservare la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, e rispetta i requisiti minimi **A, B e D2** introdotti dalla Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici alla Parte II art. 2.2, 2.3 e 2.4, pubblicati dal MITE nel giugno 2022.

La presente **relazione** ha lo scopo di inquadrare dal punto di vista idrologico e idrogeologico l'area di interesse sulla base dei dati idroclimatici ufficiali (Servizio Idrografico) e delle caratteristiche orografiche del suolo.

Come illustrato nella figura che segue, l'area interessata dall'intervento è ubicata nella Regione Puglia e ricade nei limiti territoriali dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia.

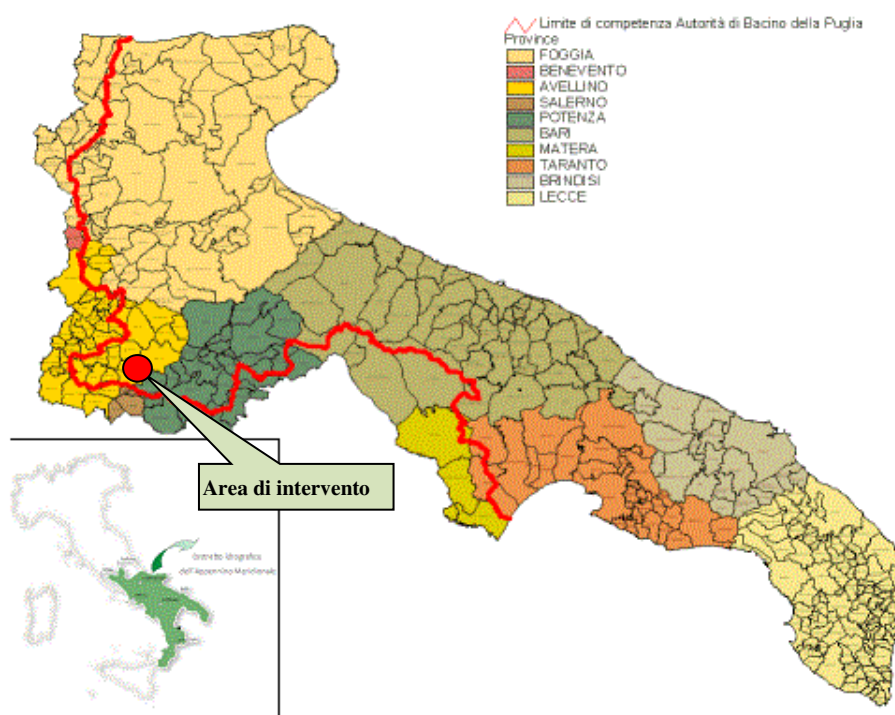


Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio

Lo studio idrologico è articolato su due direttrici principali:

- analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi all'area di intervento;
- caratterizzazione del regime climatico dell'area, determinando le curve di possibilità climatica

secondo due distinti approcci:

- Il metodo VAPI, elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, 2001).
- Il metodo classico di Gumbel, verificando l'adattabilità della serie campionaria alla relativa distribuzione di probabilità dei valori estremi della stazione pluviometrica di Sant'Agata di Puglia;

Gli elementi di base sono stati ricavati adottando il seguente approccio:

- la ricostruzione dell'orografia dell'area di intervento è stata effettuata elaborando i files vettoriali disponibili (DTM della Regione Puglia con risoluzione a terra di 8 m) in ambiente GIS, per poi trasferirli in ambiente CAD;
- le curve di possibilità climatica sono state ricostruite elaborando i dati di pioggia della stazione pluviometrica di Sant'Agata di Puglia;

Alla presente Relazione sono allegati:

- Allegato 1 – Corografia dei bacini idrografici;
- Allegato 2 - Inquadramento dei bacini idrografici su Carta Tecnica Regionale.

2 LOCALIZZAZIONE DEL PROGETTO

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

L'area interessata dall'intervento è ubicata nella parte Nord della Regione Puglia, in Provincia di Foggia, in agro del Comune di SANT'AGATA di PUGLIA, in località Monte Rotondo, ad una quota media sul livello del mare di 350 metri.



Figura 2 – Inquadramento Geografico

L'area di intervento è suddivisa in 2 lotti, che interessano una superficie totale di 130,225 ettari, tutti in agro del Comune di SANT'AGATA di Puglia (FG), circa 5,3 km a Nord Est del centro abitato e circa 7,3 km a Nord Ovest del comune di Candela.

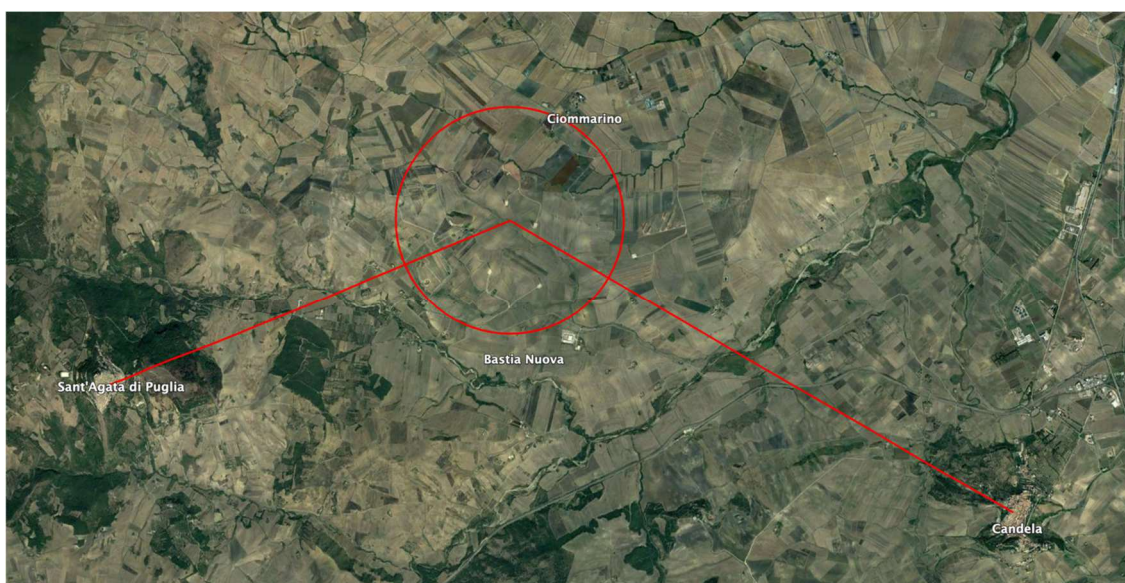


Figura 3 – Inquadramento su ortofoto

Il sito è raggiungibile dall'Autostrada dei due mari (A16) ed anche grazie ad una fitta rete di strade di vario ordine presenti in zona; tra queste le Strade Provinciali SP119 ed SP101.

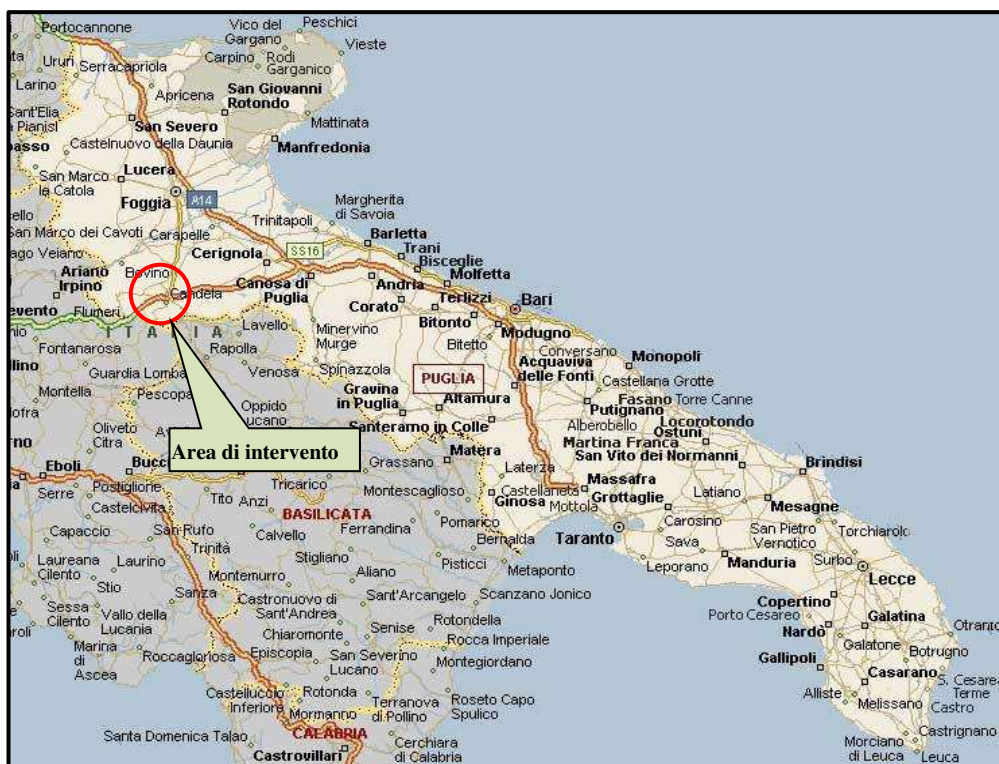


Figura 2: Inquadramento regionale

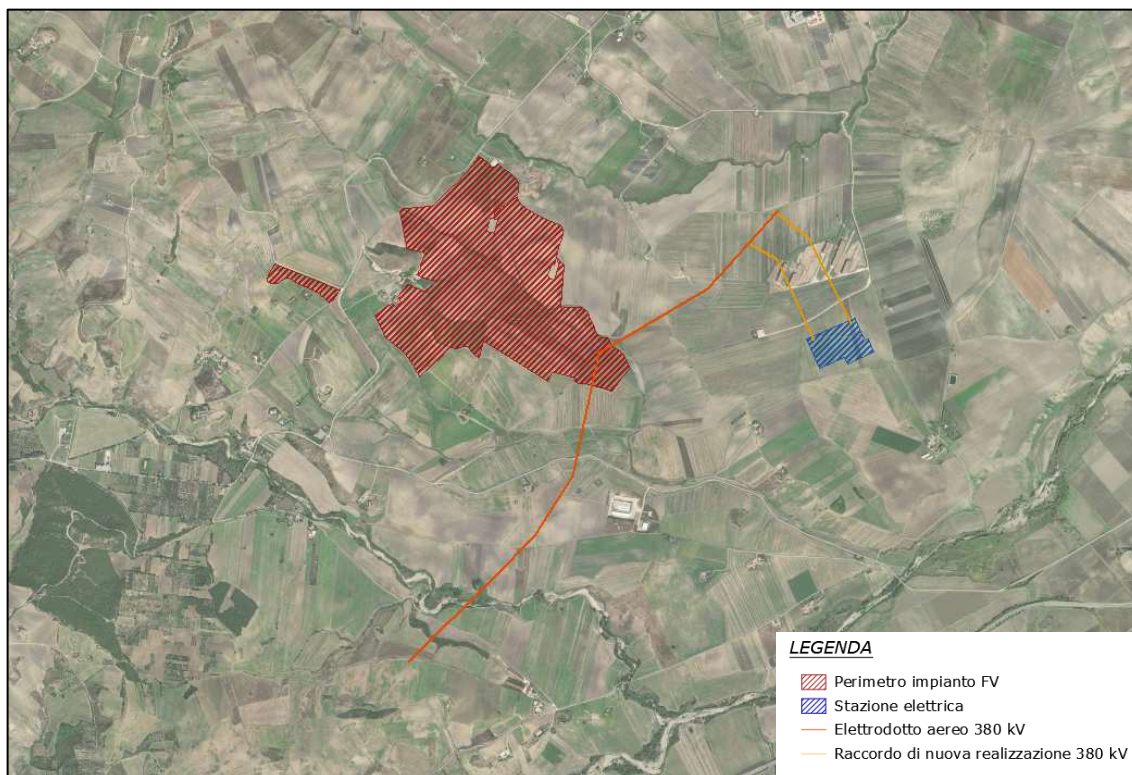


Figura 4 - Inquadramento delle aree di intervento su base ortofoto

2.2 INTERVENTI DI PROGETTO

L'impianto agrivoltaico a terra denominato "SANT'AGATA DI PUGLIA-S2S" interessa i suoli catastalmente individuati come segue :

Lotto	Comune	Località	Area (ha)	Potenza nominale (kWp)	Latitudine	Longitudine	Altitudine media (m)
1	Sant'Agata di Puglia (FG)	Monte Rotondo	126,5758	57.512,64	41,169444	15,437778	325
2	Sant'Agata di Puglia (FG)	Monte Rotondo	3,6492	1.834,80	41,168611	15,425	387
		TOTALE	130,225	59.347,44			

2.2.1 COMPONENTI PRINCIPALI

INSEGUITORI SOLARI:	1.891 Tracker Valmont Solar CONVERT-2P single axis solar tracker di cui 1.667 in configurazione 2P24 e 224 in configurazione 2P12
MODULI FOTOVOLTAICI:	85.392 moduli marca CANADIAN SOLAR modello CS7N-695TB-AG TOPBiHiKu7 con una potenza unitaria di 695 Wp , bifacciali in silicio monocristallino, montati in configurazione bifilare 2P24 e 2P12 con Pitch = 12,00 m su strutture ad inseguimento solare monoassiale, con stringa elettrica da 24 moduli.
INVERTER:	I 159 convertitori statici sono INVERTER distribuiti marca SUNGROW modello SG350HX con Potenza Max 352 kVA
CABINE DI CAMPO:	12 Cabine prefabbricate con 12 trasformatori BT/MT 30kV da 5.000 MVA– dimensioni 5,0x3,0x3,1 m
CABINE DI SMISTAMENTO:	3 Cabine prefabbricate– dimensioni 6,78x2,5x3,1 m
CONTROL ROOM:	2 Cabine prefabbricate– dimensioni 3,25x2,5x2,7 m
CABINA DI CONSEGNA:	1 Cabina prefabbricata – dimensioni 6,0x2,5x3,1 m
SISTEMA DI ACCUMULO:	3.600 mq recintati, 15 container della capacità di 5.184 kWh con 6 PC STATION con trasformatori da 3.150 kVA

L'impianto FV è esercito in MT a 30 kV tra le Cabine di Campo, di smistamento e di consegna, fino alla SSEE Utente 30/36 kV dove viene trasformata la tensione in AT per la connessione con la RTN nella Nuova SE Terna 36/150/380 kV Rocchetta Sant'Antonio.

La STMG emessa da TERNA prevede che l'impianto agrivoltaico oggetto della presente relazione venga collegato in antenna a 36kV su una Nuova Stazione Elettrica (SE) 380/150/36 kV della RTN denominata "Rocchetta di Sant'Antonio", da inserire in entra-esce all'elettrodotto 380 kV "Bisaccia-Deliceto". La NUOVA SE è prevista nel comune di SANT'AGATA di PUGLIA (FG), al Foglio 12

Particella 318, 347, 319 in località Masseria Palino ad un'altitudine media di circa 305 slm, Latitudine 41,164722° N - Longitudine 15,463333° E.

La connessione con la RTN sarà realizzata con un cavidotto interrato a 30kV della lunghezza di **1.780 m** tra la Cabina di Consegna e la SSEE Utente 30/36 kV, quindi da un cavidotto interrato di **110 m** a 36 kV dalla SSEE Utente 30/36 kV fino alla sezione a 36 kV della Nuova SE "Rocchetta di Sant'Antonio".

Il percorso del cavidotto di connessione si sviluppa interamente su aree agricole private: i primi **400 m** all'interno dell'area di progetto, poi per **1.490 m** nelle particelle 324, 224, 508, 299 e 318 del Foglio n. 12 del catasto di Sant'Agata di Puglia, ai cui proprietari sarà riconosciuta un'indennità di asservimento per una fascia di 5 m (Vedi REL023 Piano particellare descrittivo esproprio).

3 GEOLOGIA REGIONALE

L'evoluzione geologica strutturale del Subappennino Dauno si può fare partire dalla deposizione del flysch miocenico al di sopra della serie basale. La trasgressione miocenica ha comportato lo sviluppo di una fossa nella quale si sono accumulati i depositi terrigeni provenienti dalle vicine aree emerse. Un nuovo abbassamento, avvenuto in età pliocenica, ha permesso la sedimentazione trasgressiva sul flysch miocenico di terreni più recenti.

Venendo alla litostratigrafia del territorio di Sant'Agata, negli immediati dintorni dell'abitato affiorano, dalla più antica alla più recente, le seguenti formazioni geologiche:

- **Complesso indifferenziato:** complesso di argille varicolori con intercalazioni di calcari, brecciole e arenarie, del Paleogene-Cretaceo;
- **Complesso marnoso (Mm):** di età miocenica, è costituito da marne e argille siltose, associate a brecciole calcaree e calcari bianchi; dalle osservazioni eseguite sui vari affioramenti sembrerebbe potersi ammettere che questo complesso sia in prevalenza sottostante alla Formazione della Daunia, anche se in alcune zone potrebbe essere considerato una variazione laterale della parte basale di detta formazione, in quanto in esso si trovano associazioni litologiche simili a quelle di detta formazione.
- **Formazione della Daunia (bcD):** costituisce un complesso entro la serie del Flysch della Daunia e si estende per decine di chilometri lungo il margine orientale dell'appennino abruzzese e apulo-campano; di età miocenica, esso è costituito da una alternanza di litotipi diversi (breccie, calcareniti, marne ed argille di vario colore, calcari, arenarie e puddinghe poligeniche) associati tra loro in modo vario; nella zona di Sant'Agata prevalgono calcareniti e brecciole associate a calcari marnosi e arenarie con interstrati di argilloscisti.
- **Puddinghe poligeniche (Pp):** di età pliocenica, sono formate da puddinghe poligeniche variamente cementate, associate a orizzonti e lenti sabbiose sempre ben stratificate, di colore variabile dal bruno al giallastro; il deposito è particolarmente potente nella zona di Sant'Agata ove occupa le aree più orientali dei contrafforti appenninici; in discordanza angolare sulle argille varicolori e sul Flysch di Faeto, presenta uno spessore considerevole (< 50 m); i ciottoli si presentano sub arrotondati, di dimensioni da 2 a 15 cm e sono dati da calcari, calcari marnosi, calcareniti, calciruditi, arenarie, selce, silt;
- **Sabbie e arenarie plioceniche (Ps):** sono costituite da sabbie e arenarie con lenti e strati di conglomerati poligenici ed argille sabbiose; nell'area di interesse esse si ritrovano nella parte più alta degli affioramenti pliocenici;
- **Argille plioceniche (Pa):** trattasi di sedimenti argilloso-siltosi di colore grigiastro in cui si alternano strati sabbioso-argillosi e sabbiosi sia grigi che giallastri; si rinvengono in corrispondenza di aree in cui la serie dei terreni pliocenici è piuttosto potente, poggiando a volte senza evidenti segni di trasgressione e di discordanza sui sedimenti del Miocene superiore.

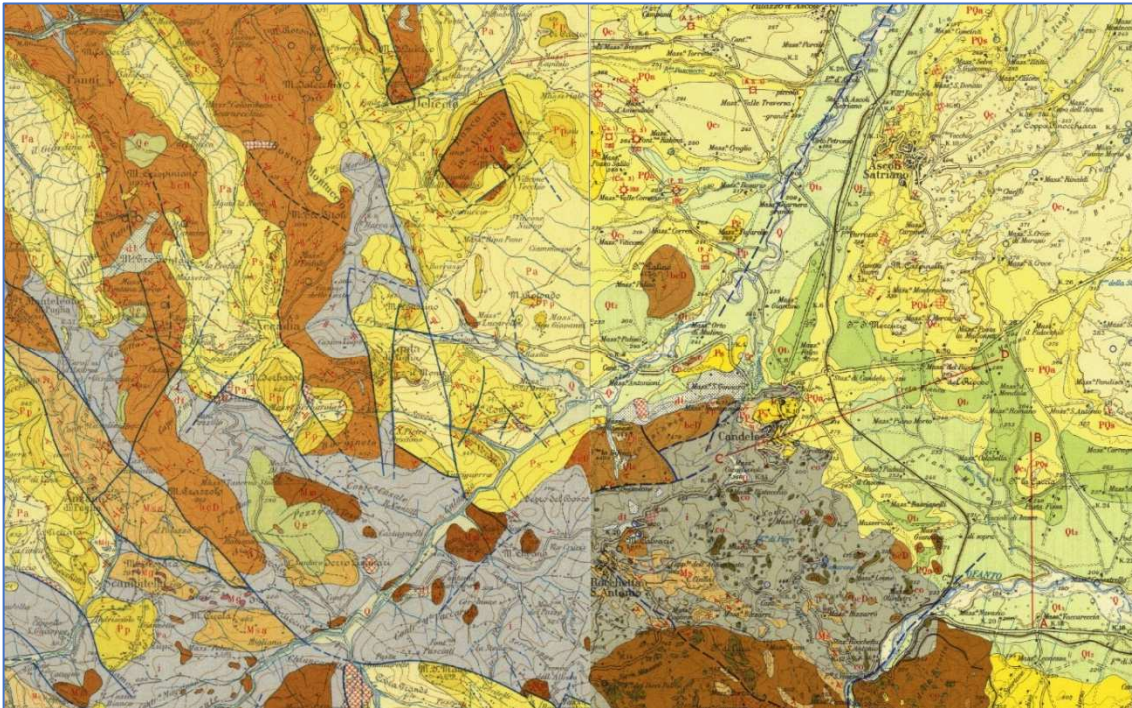


Figura 5 - Stralci (uniti) dei Fogli 174 Ariano Irpino e 175 Cerignola della Carta Geologica d'Italia 1:100.000

4 GEOMORFOLOGIA E AMBIENTE IDRICO

Le aree interessate dal progetto, così come quelle vicine, sono caratterizzate da rilievi collinari dolci, modellati nei sedimenti argillosi. Le quote sono comprese tra i 400 ed i 300 m s.l.m.m. . Le pendenze non sono mai eccessive e solo in alcuni piccoli tratti superano i 15 gradi. Esternamente, in adiacenza all'area di progetto è presente un rilievo caratterizzato da versanti più accentuati a causa dell'affioramento di litotipi maggiormente resistenti. Questo rilievo denominato "M.te Rotondo" dà il nome alla vicina e omonima Masseria. Centralmente all'area del lotto più grande, con direzione SE-NW, è presente un canale con due piccoli tributari minori, quasi perpendicolari al primo, che vi confluiscono. L'incisione creata dal canale ha creato una zona maggiormente depressa chiamata Vallone di Monterotondo.

Dal punto di vista idrogeologico l'area è caratterizzata dalla presenza del complesso Argilloso riferibile ai cicli sedimentari pliocenici e pleistocenici. Il complesso, permeabile per porosità, mostra un grado di permeabilità molto basso, costituendo un limite di permeabilità definito. Esso consente un modestissimo accumulo di acqua sotterranea negli strati più superficiali. Nell'area si rinvencono piccole falde discontinue, dalla potenzialità variabile e molto legata alla stagionalità.

5 INDIVIDUAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

Prima di delimitare i bacini idrografici sottesi alle aree di intervento, si è provveduto a verificare la coerenza planimetrica tra il reticolo rappresentato sulla cartografia IGM 25.000 e quello deducibile dal DTM della Regione Puglia.

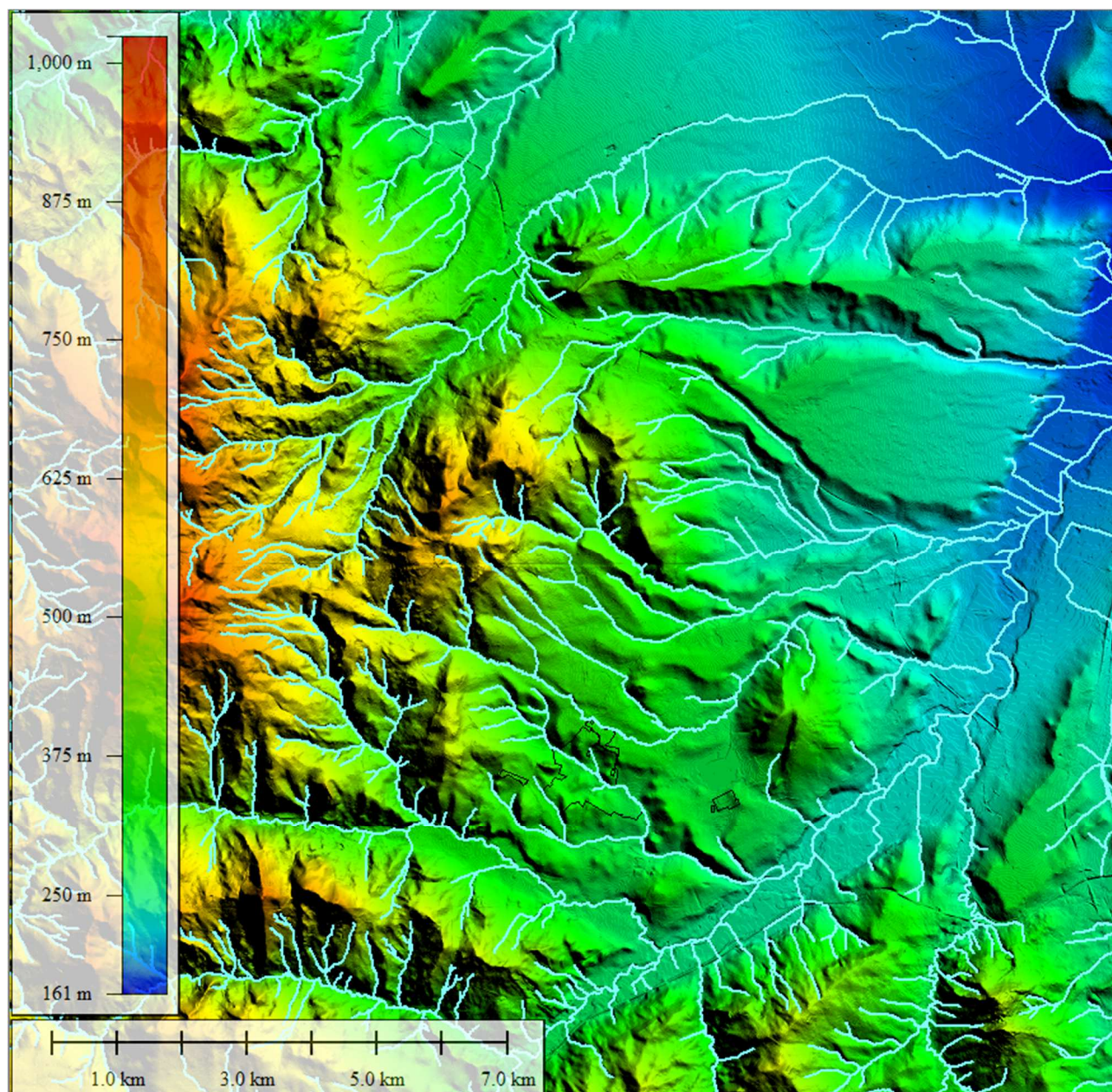


Figura 6 - Modello digitale del terreno della Regione Puglia con risoluzione a terra di 8 m.

Dall'analisi dell'orografia dell'area di intervento sono stati individuati quattro bacini idrografici, le cui sezioni di chiusura sono prossime alle aree di interesse. Questi si sviluppano nel territorio comunale di Sant'Agata di Puglia, all'interno del foglio 434 della cartografia I.G.M. 25.000.

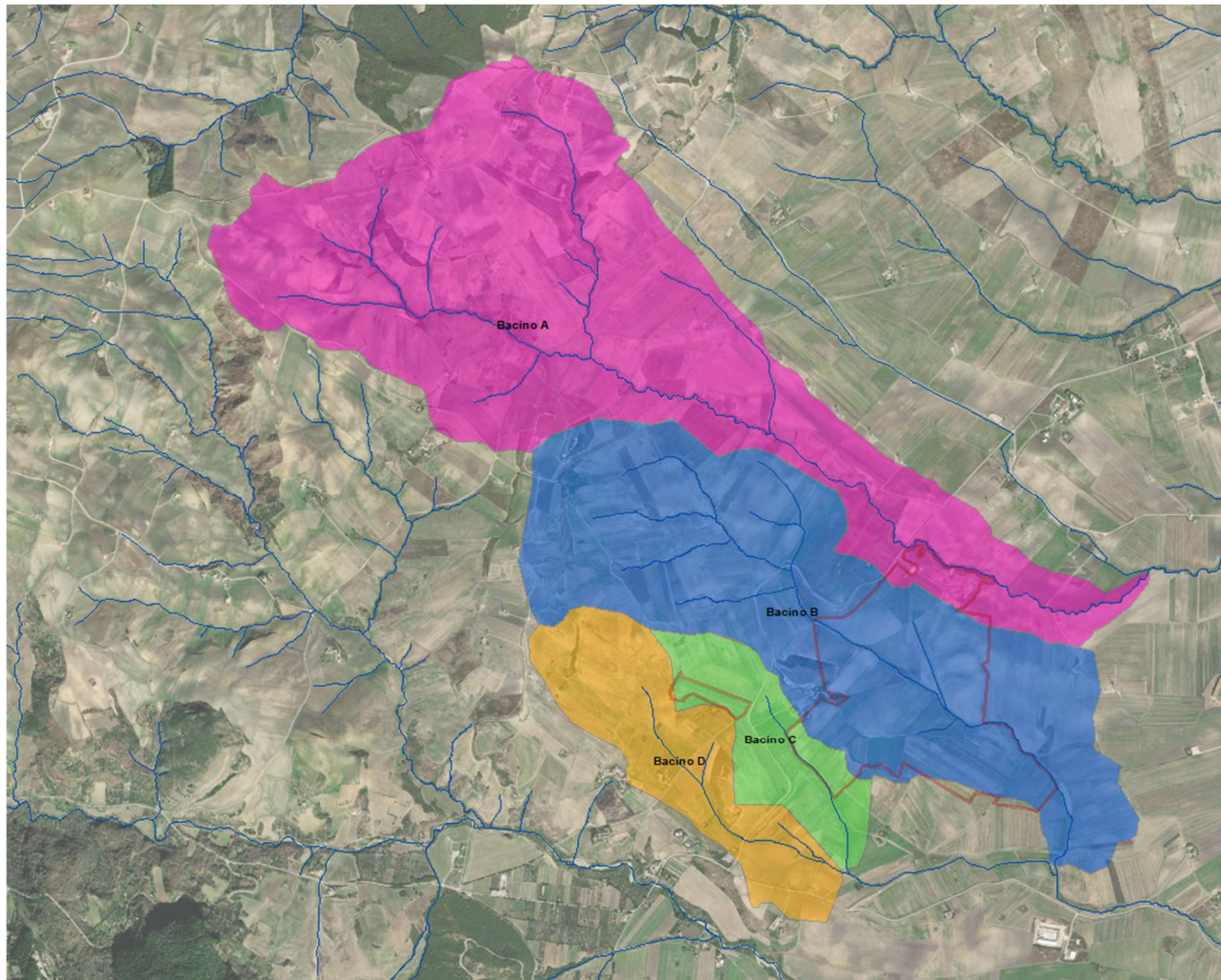


Figura 7 - Inquadramento del bacino idrografico su ortofoto.

I parametri geomorfologici caratteristici dei bacini idrografici sono indicati nella seguente tabella:

Bacino idrografico	Superficie	Lungh. asta principale	H massima del bacino	H minima del bacino	H media del bacino	H monte dell'asta principale	H media dell'asta principale	Pendenza media bacino	Pendenza media dell'asta principale
	S [km ²]	L [m]	H _{max} [m]	H _{min} [m]	H	H _m [m]	H _a [m]	i _m [%]	i _a [%]
A	5.44	6352.69	687.12	313.05	472.69	571.29	442.17	7.41%	4.99%
B	3.88	4088.17	535.83	292.00	384.49	424.78	358.39	5.96%	3.79%
C	0.68	1184.69	447.86	136.26	369.64	362.62	249.44	7.52%	4.06%
D	1.13	1760.15	526.62	316.68	395.96	394.63	355.66	8.21%	4.78%

Tabella 1 : Parametri geomorfologici dei bacini idrografici

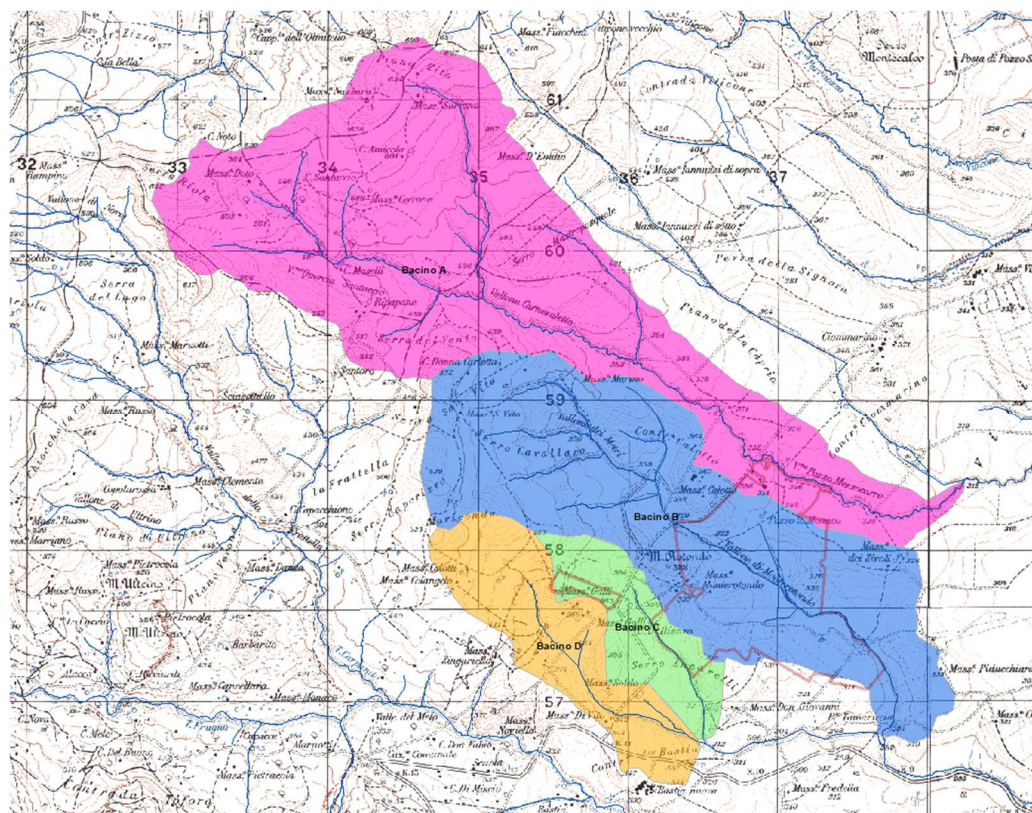


Figura 8 - Inquadramento del bacino idrografico su IGM.

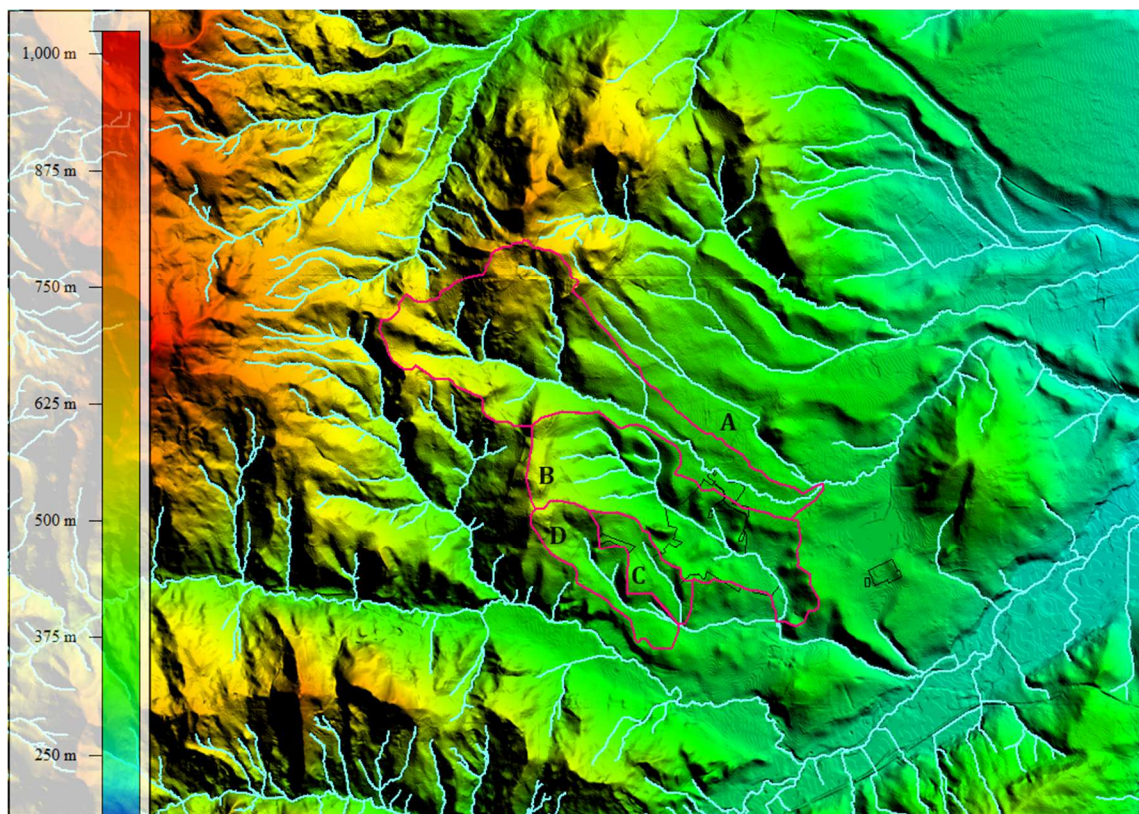


Figura 9 - Inquadramento dei bacini idrografici su DTM.

6 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI IDROGRAFICI

Lo studio idrologico dei bacini è stato condotto determinando le curve di possibilità climatica, come desunte dalle misure di precipitazione massime orarie riportate negli Annali Idrologici relative alla stazione pluviografica di Ascoli Satriano e Borgo Libertà (FG).

Come si è già detto nel paragrafo 1, la valutazione di dette curve è stata condotta secondo due distinti approcci:

- Il metodo VAPI elaborato dal Gruppo Nazionale Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'*Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale* (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque del Politecnico di Bari, 2001).
- Il metodo classico di Gumbel, verificando l'adattabilità della serie campionaria alla relativa distribuzione di probabilità dei valori estremi.

Le elaborazioni effettuate per giungere alla determinazione delle equazioni delle curve sono puntualmente descritte nei paragrafi che seguono, mentre si è omessa la descrizione dell'applicazione ai dati di precipitazione massima oraria delle analisi statistiche convenzionali (adattabilità delle serie campionarie a distribuzioni di probabilità), in quanto trattasi di procedura ormai consolidata e nota nella pratica tecnica.

I valori dei tempi di ritorno (T_R) utilizzati per la definizione delle curve di possibilità climatica e, di conseguenza, per la stima degli eventi di piena sono 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

6.1 CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA (METODO VAPI)

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.

In seguito, dopo una breve indicazione circa i dati disponibili per lo studio, si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione del territorio pugliese centro-meridionale, territorio nel quale ricade il bacino di interesse.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli pubblicati sugli annali idrologici del compartimento di Bari del S.I.I, le cui stazioni formano la rete di misura delle precipitazioni su tutto il territorio regionale con un'elevata densità territoriale.

Le osservazioni pluviometriche utilizzate per la regionalizzazione interessano il periodo dal 1960 al 2000 in tutte le stazioni di studio, con almeno quindici anni di misure dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie. Le serie sono variabili da un minimo di 19 ad un massimo di 47 dati, per un numero totale di stazioni pari a 66, tutte appartenenti alla Puglia centro-meridionale.

Come si è detto, 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 θ^* e Λ^* 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 θ^* e Λ^* . I risultati ottenuti dall'analisi del I° livello e II° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri θ^* e Λ^* .

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.

	θ^*	Λ^*	Λ_1
Puglia Settentrionale	2.351	0.7721	44.629

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 T_R e indipendente dalla durata.

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

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T_R})}$$

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 T_R 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 θ^* , Λ^* e Λ_1 , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia centro – meridionale, anche se tale fattore può essere calcolata in funzione di T_R attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita, che ha la seguente forma:

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

in cui i parametri a e b sono esprimibili in funzione dei valori regionali di θ^* , Λ^* e Λ_1 .

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

$$K_T = 0.5648 + 0.415 * \ln T_R \quad (1)$$

Per la Puglia centro-meridionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, invece, la seguente:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 * \ln T_R \quad (2)$$

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.

I valori di KT utilizzati nel caso in esame sono riportati nella tabella seguente:

Tempo di ritorno (anni)	1	5	10	20	30	50	100	200	500
K(T) Zona 1-2-3-4	0.565	1.233	1.520	1.808	1.976	2.188	2.476	2.764	3.144
K(T) Zona 5-6	0.160	0.991	1.349	1.707	1.917	2.181	2.539	2.897	3.370

Tabella 2 - Valori di KT al variare della zona e del tempo di ritorno

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 $\mu(X_d)$ 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.

Il VAPI individua le seguenti zone di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera $\mu(X_g)$ e quota. Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori $\mu(X_g)$ e le quote sul mare h:

ZONA 1-3	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln\alpha-\ln a)/\ln 24}$
ZONA 2-4	$\mu(h,t) = at^n$

Tabella 3 - Correlazione tra $\mu(X_g)$ e la durata di precipitazione.

in cui C e D sono parametri che dipendono dall'area omogenea;

- nell'area centro-meridionale della Puglia, il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee individuate dal Nord-Barese - Murgia Centrale e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, nelle quali la struttura dell'equazione della curva di pioggia è identica a quella delle zone 1 e 3.

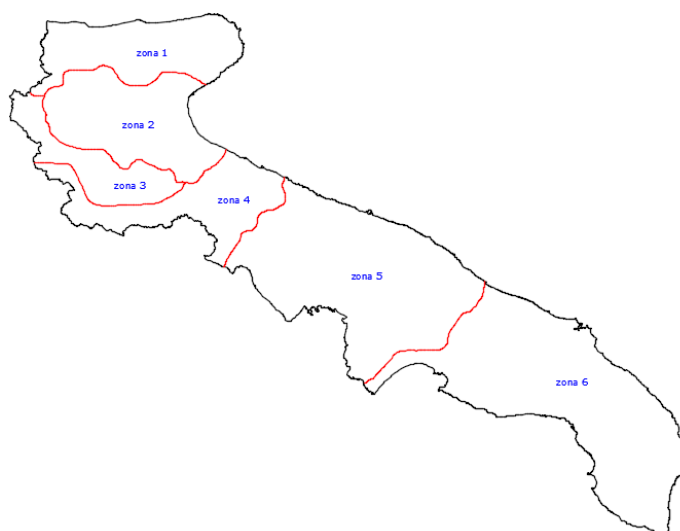


Figura 10 - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.

ZONA 4	$\mu(h,t)=at^n$
---------------	-----------------

Tabella 4 - Correlazione tra $\mu(Xg)$ e la durata di precipitazione.

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata ed alla quota del sito, per le due aree in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = ad^{(Ch+D+\ln \alpha - \ln a) / \ln 24} \quad (3)$$

in cui a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_d)$ relativi alle serie con $N \geq 10$ anni ricadenti in ciascuna zona omogenea e $\alpha = x_g/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e quelle di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità.

Per la Puglia il valore del coefficiente α è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D rappresentano invece i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare. Per le zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nel riquadro a seguire:

Zona	α	a	C	D	N
1	0,89	28,66	0,00503	3,959	-
2	0,89	22,23	-	-	0,247
3	0,89	25,325	0,000531	3,811	-
4	0,89	24,7	-	-	0,256
5	0,89	28,2	0,0002	4,0837	-
6	0,89	33,7	0,0022	4,1223	-

Tabella 5 : Coefficienti del 3° livello di regionalizzazione.

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita (KT) per la precipitazione media:

$$h = K_T \cdot \mu(X_d) \quad (4)$$

L'area d'intervento si trova nella Puglia settentrionale e, in particolare, nella zona 4 (cfr. figura seguente). Quindi per la determinazione delle curve di possibilità climatica si è applicata la relazione (4) e utilizzando i valori della Tabella 5 relativi alla zona 4 ottenendo così le curve di possibilità climatica relative alla zona di interesse.

$$\mu(X_d) = 33,70 \cdot t^{[(0.488+0.0022 \cdot z)/3.178]} \quad \mu(X_d) = 24,70 \cdot t^{0,256} \quad (5)$$

dove z è il parametro geomorfologico della quota assoluta sul livello del mare (espressa in metri).

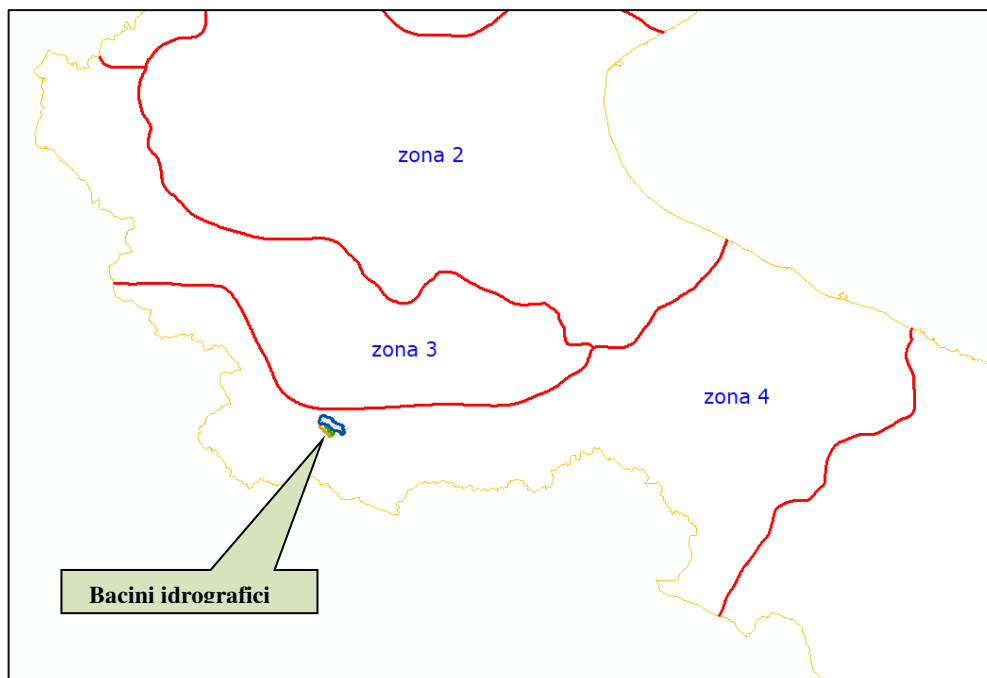


Figura 11 - Individuazione della zona del VAPI in cui ricadono i bacini idrografici.

Nelle tabelle che seguono si riportano i valori dei parametri a ed n (Tabella 6) le altezze di pioggia ricavate dalla (4) e (5) (Tabella 7), rappresentate graficamente in Figura 12.

T [anni]	a [mm/ore ⁿ]	n [-]
5	30.45	0.256
10	37.55	0.256
20	44.66	0.256
30	48.81	0.256
50	54.05	0.256
100	61.16	0.256
200	68.26	0.256
500	77.65	0.256

Tabella 6 - Parametri del VAPI ottenuti per diversi tempi di ritorno.

Tr anni	h				
	1	3	6	12	24
5	30.45	40.34	48.17	57.52	68.69
10	37.55	49.75	59.41	70.94	84.72
20	44.66	59.16	70.65	84.37	100.75
30	48.81	64.67	77.22	92.22	110.12
50	54.05	71.61	85.51	102.11	121.94
100	61.16	81.02	96.75	115.53	137.97
200	68.26	90.43	107.99	128.96	153.99
500	77.65	102.87	122.85	146.70	175.18

Tabella 7 : Distribuzione probabilistica: VAPI - Altezze di pioggia (mm).

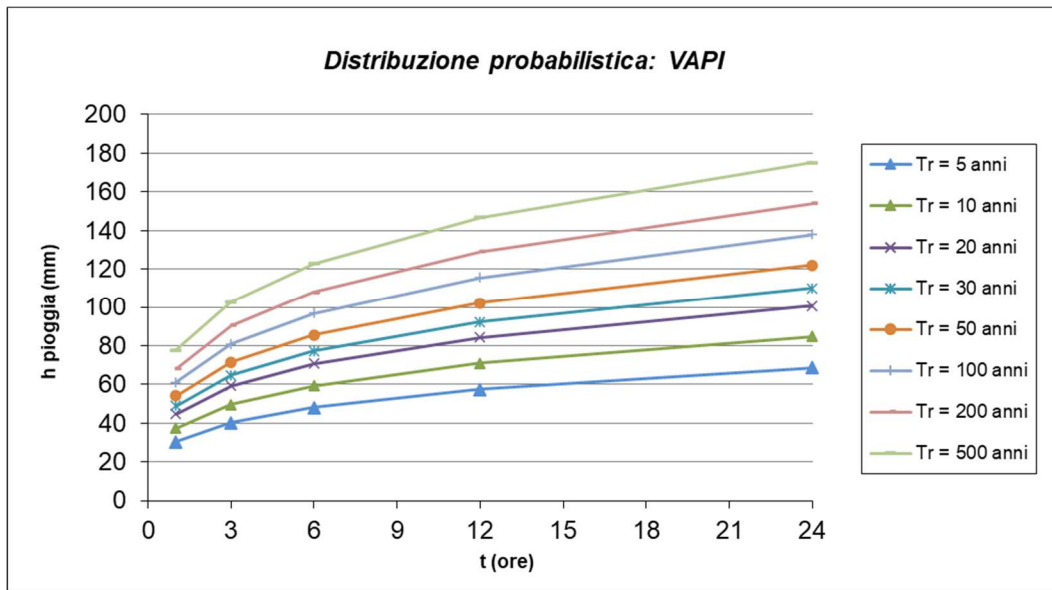


Figura 12 - Curve di possibilità climatica ricavate con la metodologia VAPI.

6.2 CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA - METODO DI GUMBEL

Per la determinazione delle curve di possibilità climatiche con il metodo di Gumbel si è fatto riferimento alle stazioni pluviometriche più prossime ai bacini idrografici di interesse, che ricadono all'interno del topoieto di Sant'Agata di Puglia.

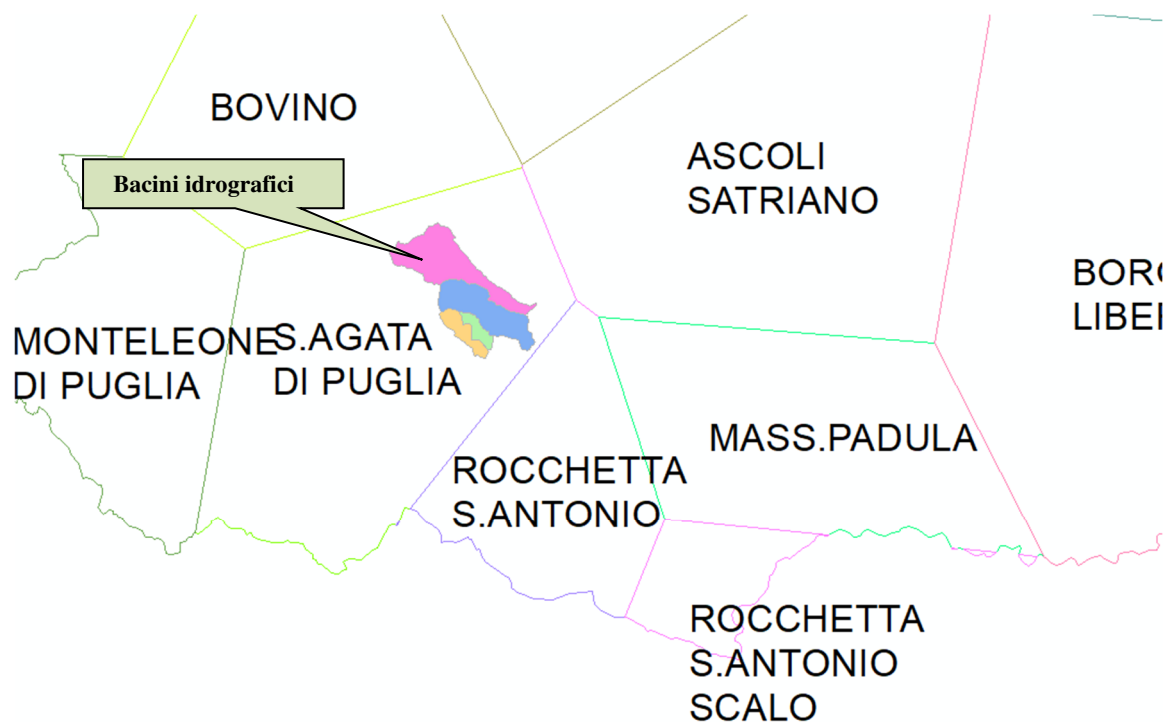


Figura 13 - Individuazione dei topoieti delle stazioni pluviometriche in cui ricadono i bacini idrografici.

Nelle tabelle seguenti si riportano la serie di eventi pluviometrici delle due stazioni.

Stazione di:	SANT'AGATA DI PUGLIA				
	durate [ore]				
anni	1	3	6	12	24
1930	33.2	38.0	>>	>>	>>
1932	25.0	25.0	25.0	25.0	31.2
1934	24.0	25.6	29.8	41.0	52.4
1942	22.4	29.0	30.8	34.8	43.6
1943	20.0	30.8	34.0	45.0	53.6
1945	20.0	33.4	33.4	41.8	68.2
1946	20.4	24.6	29.6	43.0	56.8
1947	13.4	16.8	26.0	31.4	35.0
1951	18.0	26.0	29.2	29.2	31.8
1952	15.6	21.4	24.4	24.4	27.4
1953	28.0	31.2	31.2	36.2	39.6
1955	11.2	27.6	44.0	60.2	82.4
1956	11.2	20.8	33.4	45.4	74.2
1957	11.2	22.6	39.2	52.0	65.4
1958	9.6	17.2	30.6	37.8	38.2
1961	26.4	33.2	39.4	47.6	67.2
1962	16.6	22.0	25.2	25.6	35.0
1963	16.0	17.8	19.0	34.2	56.4
1964	42.0	42.2	42.2	42.2	46.4

Stazione di:	SANT'AGATA DI PUGLIA				
anni	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1968	23.4	23.4	29.0	46.6	52.8
1969	24.8	28.2	28.8	39.2	62.2
1970	13.0	24.4	33.0	37.6	51.2
1971	14.8	21.4	37.8	57.6	72.4
1976	20.2	30.8	32.8	43.6	48.2
1977	15.6	16.4	18.4	19.0	20.4
1979	10.0	16.0	24.4	32.2	36.0
1980	14.8	17.6	17.6	20.0	28.8
1981	15.2	31.8	34.2	34.2	34.2
1982	24.8	25.8	26.2	27.2	30.6
1987	>>	>>	>>	79.8	123.2
1989	29.4	29.4	>>	>>	>>
1990	>>	>>	27.6	42.2	52.2
1992	13.6	17.8	18.4	29.8	43.6
1993	18.4	24.2	24.6	31.2	47.6
1994	41.0	44.2	44.6	63.6	67.6
1996	20.4	27.6	32.6	36.4	37.6
1997	16.8	17.0	19.4	28.0	33.2
1998	23.8	26.6	31.2	37.2	38.6
2000	99.0	120.2	134.8	134.8	134.8
2001	39.6	44.4	50.4	50.4	50.4
2002	28.8	40.8	44.6	44.8	45.0
2003	40.4	41.4	41.4	47.4	76.4
2004	22.6	24.4	26.0	27.8	41.2
2005	35.2	43.2	45.8	46.2	47.2
2006	10.4	15.4	21.4	30.0	47.6
2007	7.4	8.6	12.6	14.6	25.0
2008	43.8	45.6	45.6	45.6	45.6
2009	>>	>>	>>	>>	>>
2010	18.6	25.6	25.6	30.0	32.2
2011	17.8	21.4	23.6	29.2	33.8
2012	23.2	25.6	26.8	30.4	36.6
2013	67.2	93.4	110.4	111.0	112.6
2014	35.6	57.8	70.4	70.4	70.4
2015	31.0	47.6	69.0	71.6	78.4
2016	31.4	37.0	37.0	46.8	64.2
2017	12.6	17.4	29.0	38.6	42.2
2018	33.8	43.4	44.0	44.0	56.2
2019	29.8	29.8	33.8	34.4	34.4
2020	11.4	24.8	38.6	55.0	65.6

Tabella 8 - Serie degli eventi pluviometrici – stazione di Sant'Agata di Puglia

L'elaborazione dei dati pluviometrici secondo le metodologie standard (minimi quadrati), ha condotto alla determinazione dei parametri a ed n della equazione:

$$h = a \times t^n$$

T [anni]	a [mm/ore ⁿ]	n [-]
5	34.97	0.208
10	43.93	0.193
20	52.53	0.183
30	57.49	0.179
50	63.68	0.174
100	72.04	0.169
200	80.37	0.165
500	91.37	0.161

Tabella 9 - Parametri di Gumbel ottenuti per diversi tempi di ritorno

Tr anni	h				
	1	3	6	12	24
5	34.97	43.93	50.73	58.59	67.65
10	43.93	54.30	62.07	70.95	81.11
20	52.53	64.24	72.93	82.81	94.01
30	57.49	69.96	79.18	89.62	101.44
50	63.68	77.10	86.99	98.14	110.72
100	72.04	86.73	97.51	109.63	123.25
200	80.37	96.33	107.99	121.07	135.73
500	91.37	108.99	121.82	136.16	152.19

Tabella 10 - Distribuzione probabilistica: GUMBEL - Altezze di pioggia (mm)

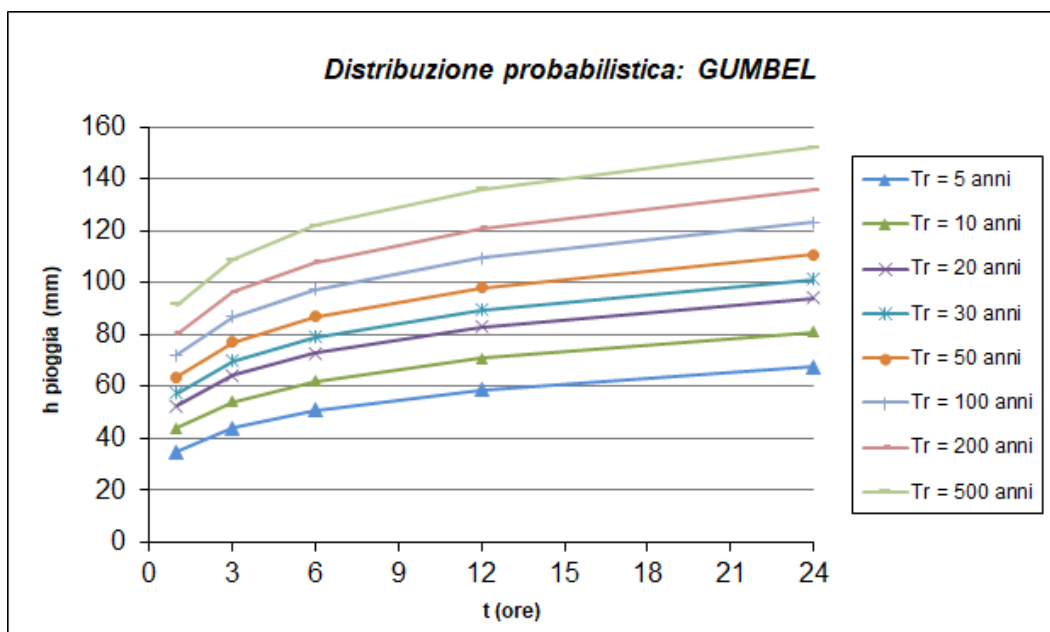


Figura 14 - Curve di possibilità climatica ricavate con la metodologia GUMBEL

6.3 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

La durata di pioggia più pericolosa è quella che coincide con il tempo di corrivazione t_c . Infatti, se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t_c solo una parte del bacino considerato contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa, se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena.

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 formula:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}} \quad (11)$$

nella quale t_c è espresso in ore, A in Km² mentre L, la lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua a partire dallo spartiacque, è espressa in Km e H_m , altitudine media del bacino, riferita alla sezione di chiusura, in metri sul livello del mare.

Pezzoli (1970), analizzando il comportamento di alcuni bacini piemontesi, ha proposto, invece, una diversa espressione del tempo di corrivazione che ha la seguente forma:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (12)$$

nella quale t_c è espresso in ore e L in Km. Il parametro i_a rappresenta la pendenza media (m/m) dell'asta principale.

Kirpich, infine, utilizzando i dati sperimentali di sei bacini americani, nel 1940, aveva proposto una correlazione grafica tra il tempo di corrivazione e il rapporto $\frac{L}{\sqrt{i_a}}$. Tale grafico, successivamente integrato dal contributo di altri dati sperimentali, ha condotto alla formulazione della seguente equazione, comunemente nota con il nome di equazione di Kirpich.

$$t_c = 0.00325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77} \quad (13)$$

Il complesso dei valori determinabili con le succitate equazioni (Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich) può essere ben rappresentato da un'unica espressione (Ferro, Sistemazione dei Bacini Idrografici, McGraw Hill, 2002), che integra tutti i contributi sperimentali derivanti dalle esperienze condotte, ed ha la seguente equazione, nel seguito denominata P-C-W-K:

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8} \quad (14)$$

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

Applicando le relazioni succitate, con riferimento parametri geomorfologici dei bacini idrografici di interesse, si sono ottenuti i seguenti risultati:

Bacino idrografico	P-C-W-K	Giandotti	Pezzoli	Kirpich	Chow	Watt-Chow
	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]	[ora]
A	1.354	10.173	1.564	0.874	0.822	1.076
B	1.062	11.032	1.155	0.692	0.677	0.847
C	0.384	2.849	0.323	0.260	0.300	0.310
D	0.493	6.329	0.443	0.331	0.367	0.397

Tabella 11 - Valori del tempo di corrivazione (tc) dei bacini idrografici di interesse con le diverse relazioni presenti in letteratura.

La valutazione della portata di piena è stata effettuata facendo riferimento al tempo di corrivazione calcolato con la relazione del P-C-W-K (14) in quanto è quella che meglio si adatta alle dimensioni dei bacini oggetto del presente studio.

I tempi di corrivazione utilizzati per i bacini idrografici sono i seguenti:

Bacino idrografico	P-C-W-K
	[ora]
A	1.354
B	1.062
C	0.384
D	0.493

Tabella 12 - Valori del tempo di corrivazione (tc) dei bacini idrografici di interesse.

6.4 CONSIDERAZIONI FINALI SULLE CPP

Nei precedenti paragrafi si sono ricavate le espressioni delle curve pluviometriche con l'approccio VAPI e con quello di Gumbel.

Nella Tabella 13 è riportato il confronto tra le altezze di pioggia ricavate con le due metodologie al variare della durata dell'evento e del tempo di ritorno.

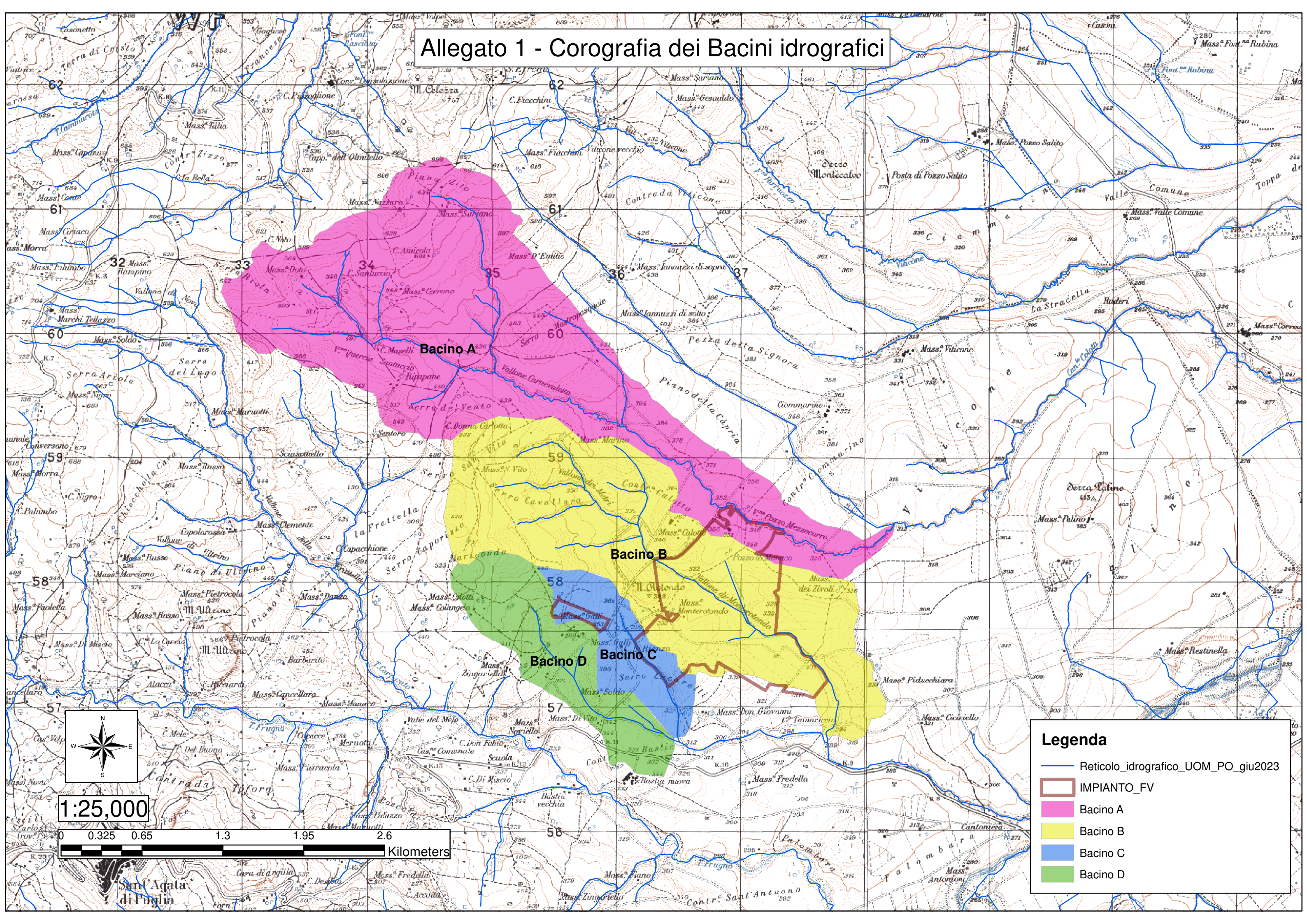
Tr anni	DURATE [ore]									
	1 h		3 h		6 h		12 h		24 h	
	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI	GUMBEL	VAPI
5	34.97	30.45	43.93	40.34	50.73	48.17	58.59	57.52	67.65	68.69
10	43.93	37.55	54.30	49.75	62.07	59.41	70.95	70.94	81.11	84.72
20	52.53	44.66	64.24	59.16	72.93	70.65	82.81	84.37	94.01	100.75
30	57.49	48.81	69.96	64.67	79.18	77.22	89.62	92.22	101.44	110.12
50	63.68	54.05	77.10	71.61	86.99	85.51	98.14	102.11	110.72	121.94
100	72.04	61.16	86.73	81.02	97.51	96.75	109.63	115.53	123.25	137.97
200	80.37	68.26	96.33	90.43	107.99	107.99	121.07	128.96	135.73	153.99
500	91.37	77.65	108.99	102.87	121.82	122.85	136.16	146.70	152.19	175.18

Tabella 13 : Confronto tra le altezze di pioggia ricavate con le due metodologie al variare della durata e del Tempo di Ritorno. In grassetto i valori maggiori per ciascuna delle durate analizzate

I bacini di interesse sono tutti caratterizzati da tempi di corrivazione dell'ordine di 1 ora. Pertanto le piogge più pericolose sono quelle di questa durata, per la quale **le altezze di pioggia ricavate utilizzando la distribuzione probabilistica di Gumbel risultano più elevate di quelle derivate dall'utilizzo della metodologia VAPI.**

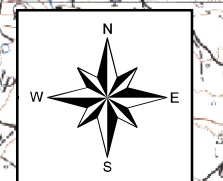
A seguito di ciò nei calcoli idraulici (cfr. REL008 Relazione Idraulica), si è fatto riferimento alle portate ricavate a partire dalle curve di probabilità pluviometrica costruite con la distribuzione probabilistica di Gumbel.

Allegato 1 - Corografia dei Bacini idrografici

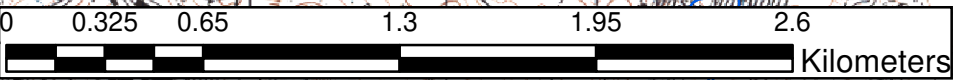


Legenda

- Reticolo idrografico_UOM_PO_giu2023
- IMPIANTO_FV
- Bacino A
- Bacino B
- Bacino C
- Bacino D

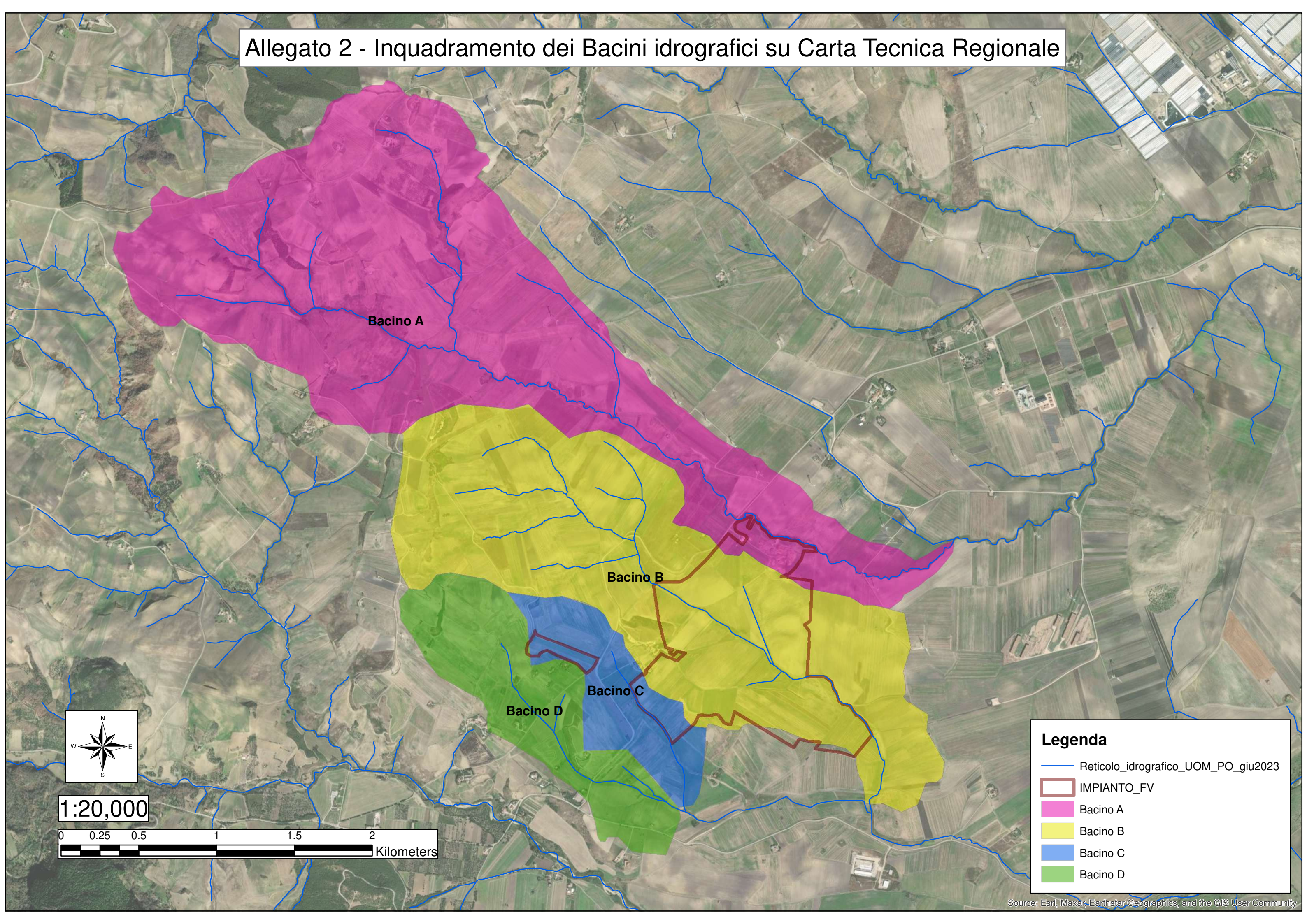


1:25,000



Sant'Agata di Puglia

Allegato 2 - Inquadramento dei Bacini idrografici su Carta Tecnica Regionale



1:20,000

0 0.25 0.5 1 1.5 2 Kilometers

Legenda

- Reticolo_idrografico_UOM_PO_giu2023
- IMPIANTO_FV
- Bacino A
- Bacino B
- Bacino C
- Bacino D