

REGIONE
BASILICATA



COMUNE DI FORENZA (PZ)



Provincia
Potenza



**PROGETTO DEFINITIVO RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO EOLICO COSTITUITO DA 11 AEROGENERATORI E
DALLE RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA R.T.N.**

RELAZIONE IDRAULICA

ELABORATO

A.3

PROPONENTE:

BLUE STONE
renewable I

P.I. 1530401108
Via Vincenzo Bellini,
22 00198 Roma



PROGETTO E SIA:

TECH
SOCIETÀ DI INGEGNERIA &
SERVIZI PER L'INGEGNERIA

Via della Resistenza, 48 - 70125 Bari - tel. 080 3219948 - fax. 080 2020986

Il DIRETTORE TECNICO
Dott. Ing. Orazio Tricarico



CONSULENZA:

EM./REV.	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	DESCRIZIONE
0	APRILE 2021	B.B.	A.A. - O.T.	A.A. - O.T.	Progetto definitivo

INDICE

PREMESSA	2
1 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO	9
2 CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI	15
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DEL BACINO DI STUDIO	17
4 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI RICADENTI NEL VAPI BASILICATA	18
4.1 Analisi regionale delle piogge in Basilicata	19
4.2 Curve di possibilità climatica	27
4.3 Valutazione delle portate di piena	32
5 STUDIO IDROLOGICO DEI BACINI RICADENTI NEL VAPI PUGLIA	36
5.1 Curve di possibilità climatica	41
5.2 Valutazione delle portate di piena	42
6 MODELLAZIONE IDRAULICA	52
6.1 Scabrezza di Manning	52
6.2 Condizioni al contorno e condizioni iniziali	53
6.3 Profili di moto permanente	53
6.4 Sezioni di calcolo e profilo longitudinale	54
6.5 Risultati delle simulazioni IN MOTO PERMANENTE	54
7 CONCLUSIONI	59



Premessa

Il presente documento costituisce lo **Studio di Compatibilità Idrologica ed Idraulica**, redatto ai sensi delle NTA del PAI del Distretto dell'Appennino Meridionale – Regione Basilicata, relativamente al progetto di un **parco eolico di potenza complessiva pari a 49,5 MW e relative opere di connessione alla RTN da realizzare nei comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (Provincia di Potenza, in Regione Basilicata)**.

In particolare, il progetto è costituito da:

- - **n° 11 aerogeneratori della potenza di 4,5 MW** (denominati "WTG 1-11") e delle rispettive piazzole di collegamento;
- tracciato dei cavidotti di collegamento (tra gli aerogeneratori e la cabina di raccolta MT e tra la cabina MT e la sottostazione elettrica di trasformazione utente MT-AT);
- nuova viabilità di progetto (o la ristrutturazione di quella esistente);
- nuova Stazione Elettrica Utente 150/30 Kv;
- collegamento in antenna a 150 kV su una futura Stazione Elettrica (SE) di Smistamento a 150 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea 150 kV "Genzano – Palazzo San Gervasio – Forenza Maschito" da realizzarsi nel Comune di Palazzo San Gervasio, previa realizzazione di:
- una nuova SE di trasformazione RTN a 380/150 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN 380 kV "Genzano 380 – Melfi 380", da realizzarsi nel Comune di Montemilone;
- un nuovo elettrodotto RTN a 150 kV di collegamento tra le future SE suddette, che interessa i Comuni di Palazzo San Gervasio, Maschito, Venosa e Montemilone.

La società proponente è la **BLUE STONE RENEWABLE I S.r.l.**, con sede legale in via V. Bellini n.22 – 00198 Roma (ITA).

Tale opera si inserisce nel quadro istituzionale di cui al D.Lgs 29 dicembre 2003, n. 387 "Attuazione della direttiva 2001/77/CE relativa alla promozione dell'energia elettrica prodotta da fonti energetiche rinnovabili nel mercato interno dell'elettricità" le cui finalità sono:

- *promuovere un maggior contributo delle fonti energetiche rinnovabili alla produzione di elettricità nel relativo mercato italiano e comunitario;*



- *promuovere misure per il perseguimento degli obiettivi indicativi nazionali;*
- *concorrere alla creazione delle basi per un futuro quadro comunitario in materia;*
- *favorire lo sviluppo di impianti di microgenerazione elettrica alimentati da fonti rinnovabili, in particolare per gli impieghi agricoli e per le aree montane.*

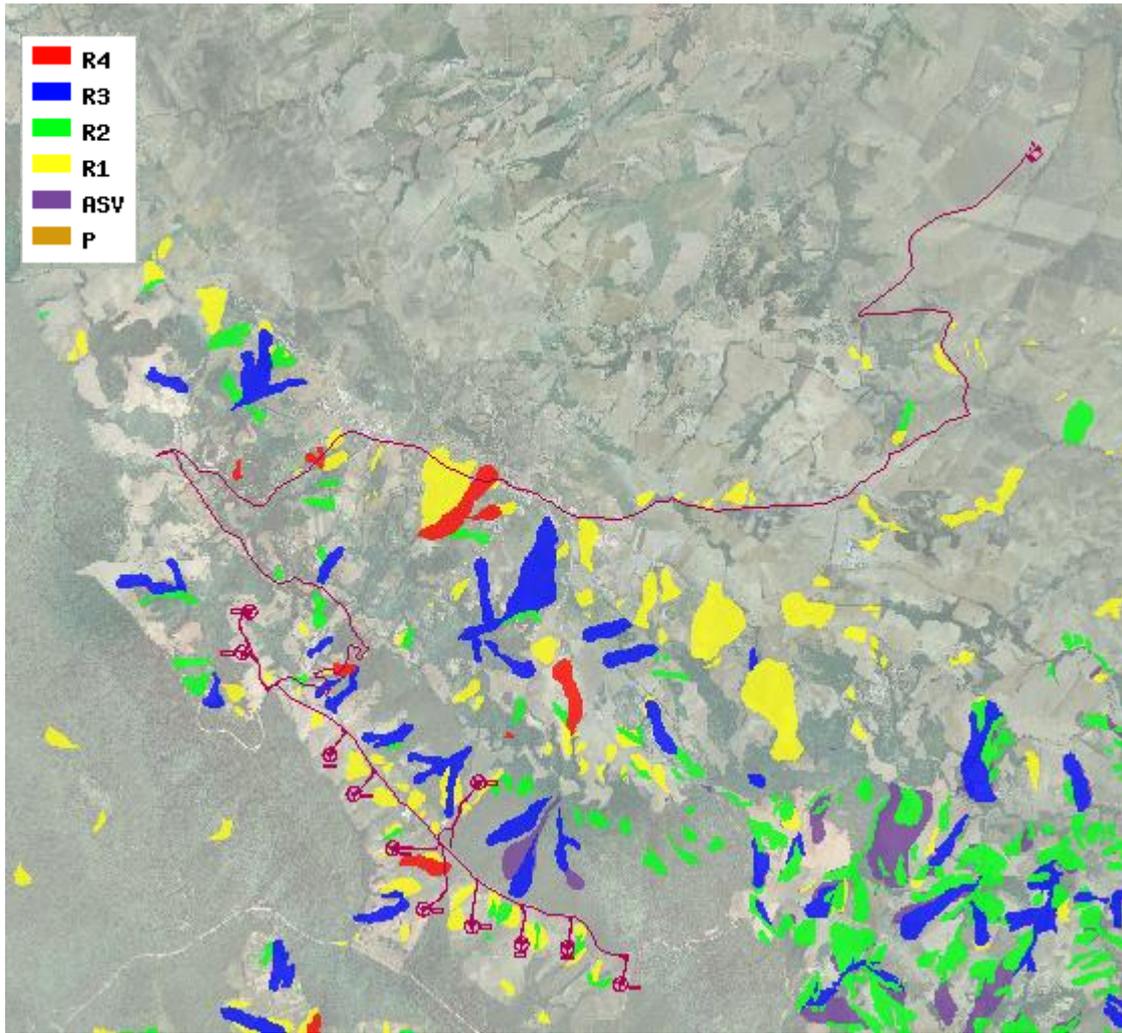
L'area su cui insisteranno le opere in argomento rientrano nel settore di territorio dell'Appennino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, a cavallo di territori su cui vige il Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico (PAI), dei territori dell'ex Autorità di Bacino Interregionale Basilicata, approvato dal Comitato Istituzionale il 05/12/2001, e dell'ex Autorità di Bacino della Puglia (per ciò che concerne la solo Stazione di Smistamento e Stazione Utente).

Dalla consultazione della cartografia PAI redatta dall'Autorità di Bacino della Basilicata, sulle aree interessate dall'installazione delle WGT, non vi sono segnalazioni di alcun tipo di Rischio Idrogeologico, né di Frana né di Inondazione.

Dalla consultazione della cartografia PAI redatta dall'Autorità di Bacino della Puglia, sulle aree interessate dall'installazione della Stazione di Smistamento e Stazione Utente, non vi sono segnalazioni di alcun tipo di Pericolosità e Rischio Idrogeologico.

Per quel che riguarda il cavidotto interno al parco eolico vi è solo un'interferenza con un'area a rischio R4 del cavidotto di collegamento alla WGT05, mentre il cavidotto esterno, lungo il suo percorso sino al raggiungimento della SE di smistamento e della Stazione Utente, incontra diverse interferenze con aree a rischio R1, R2, R3 e R4 del Pai Frane Basilicata.





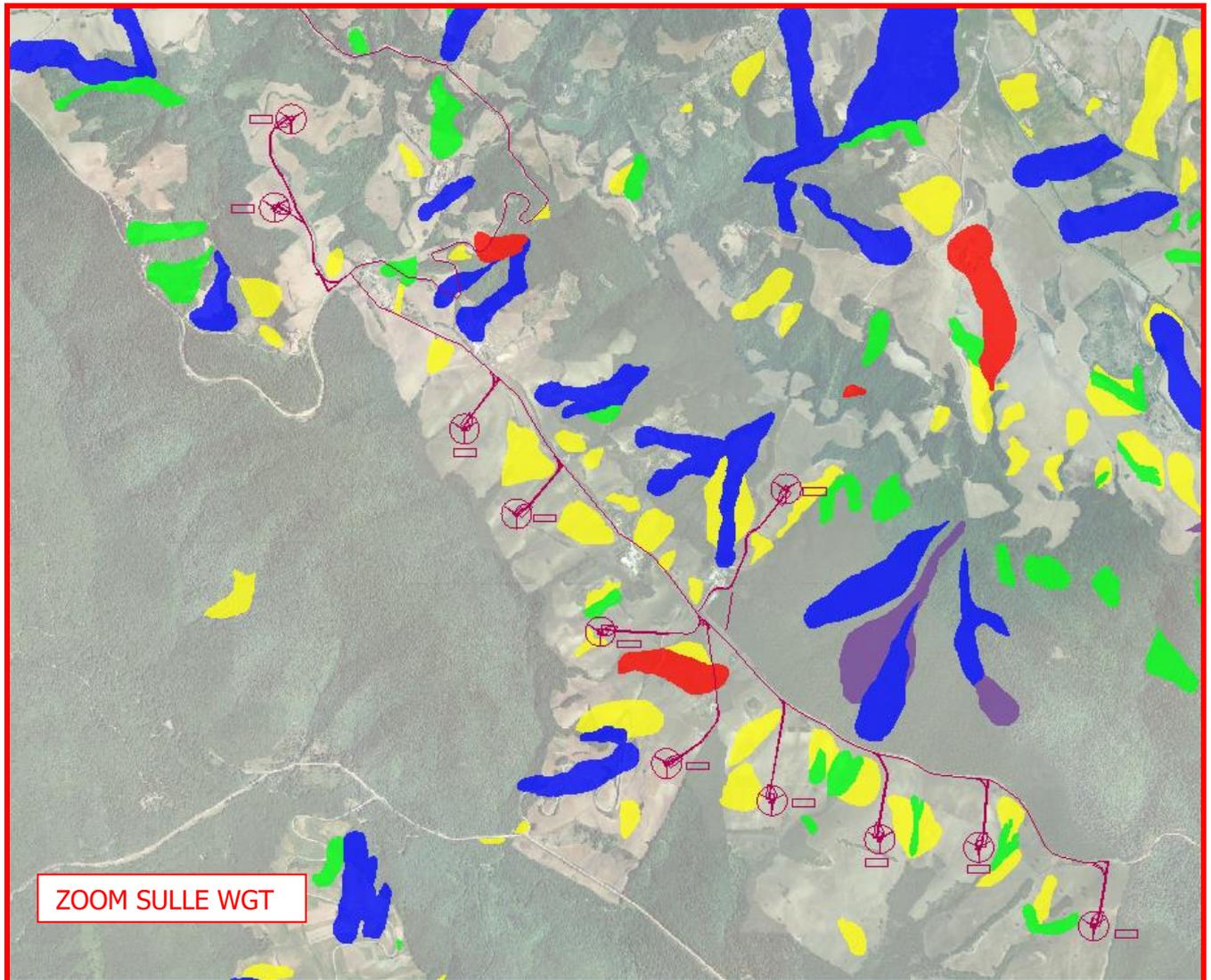


Figura 1: Inquadramento dell'area di intervento su "Carta del PAI" redatta dall'AdB Basilicata.

Pertanto, al presente relazione, è redatta, ai sensi degli art.5-6-10 delle NTA del PAI Basilicata, al fine di studiare:

- le aree contermini alle WGT site a meno di 150 m da un'asta del reticolo idrografico della Regione Basilicata e non posizionate a quota superiore rispetto ad un'asta di testa del reticolo;
- le soluzioni progettuali da adottare per gli attraversamenti del cavidotto interrato di collegamento con il reticolo idrografico;

e ai sensi degli art.6-10 delle NTA del PAI Puglia per la sola Stazione di Smistamento e Stazione Utente.



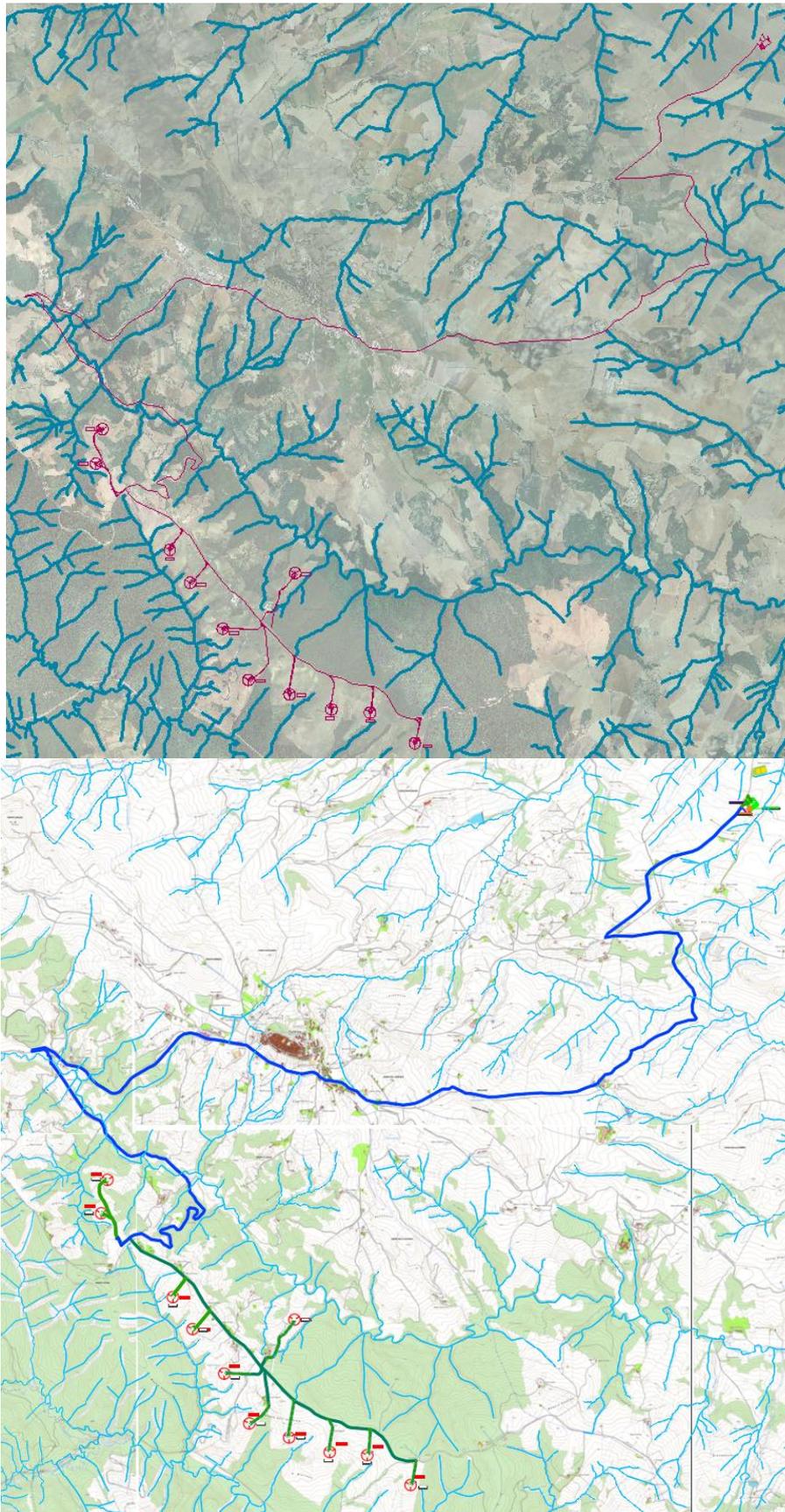


Figura 2: Inquadramento dell'area di intervento con reticolo idrografico, con ortofoto e CTR.

Le WGT, sono soggette alle **NTA del PAI Basilicata art. 10** "Realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le fasce fluviali" chiariscono che sono possibili interventi di realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti gli alvei fluviali e le fasce di pertinenza fluviale di cui agli articoli 6 e 7 previo parere dell'AdB e previo presentazione di uno STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO che attesti che l'intervento non determina in alcun modo, incrementi delle condizioni di pericolosità idrogeologica, né può determinare alcun pregiudizio alla realizzazione di interventi di rimozione e/o riduzione delle condizioni di pericolosità preesistenti.

Anche la Stazione di Smistamento e la Stazione Utente **risulta essere non delocalizzabile** e sostanzialmente si configura come *"...l'ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino"* rientrando pertanto tra le opere assentibili ai sensi dell'**articolo 6** "Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali" **comma 4 delle NTA del PAI Puglia.**

Pertanto, al **comma 7**, si richiede *"in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata."* ed al **comma 8** si definisce che *"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."*

Le **NTA del PAI Puglia all' art. 10** "Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale", chiariscono che sono possibili interventi di realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti gli alvei fluviali e le fasce di pertinenza fluviale definite dal **comma 3** *"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."

Pertanto, è stato effettuato uno studio idraulico, previa determinazione delle portate a mezzo di uno studio idrologico, finalizzato alla determinazione dei profili in moto permanente degli alvei interessati, al variare del tempo di ritorno a 30, 200 e 500 anni, per i bacini idrografici con sezioni di chiusura poste a valle del punto di intervento.

Lo studio di compatibilità idrologica e idraulica è stato organizzato secondo i seguenti punti:

- analisi e descrizione delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrografici relativi alle aree di studio;
- studio idrologico dei bacini di interesse, previa caratterizzazione del regime climatico delle aree;
- studio idraulico delle aste fluviali di interesse e determinazione dei livelli idrici e delle aree inondabili al variare del tempo di ritorno;
- analisi e valutazione della compatibilità idraulica delle aree oggetto di autorizzazione.

Per lo studio delle portate di piena sono state utilizzate le indicazioni fornite dal VAPI della Basilicata o Puglia, per la simulazione delle piene è stato utilizzato un software che opera in moto permanente (HEC-RAS 3.1.3).

Inoltre, sono state effettuate elaborazioni cartografiche prodotte mediante un Sistema Informativo Territoriale in ambiente GIS, coadiuvato da elaborazioni in ambiente CAD, sulla base di cartografie tecniche e tematiche georeferenziate.



1 Descrizione delle opere di progetto

Il parco eolico ricade nel territorio comunale di Forenza, in provincia di Potenza, Basilicata.

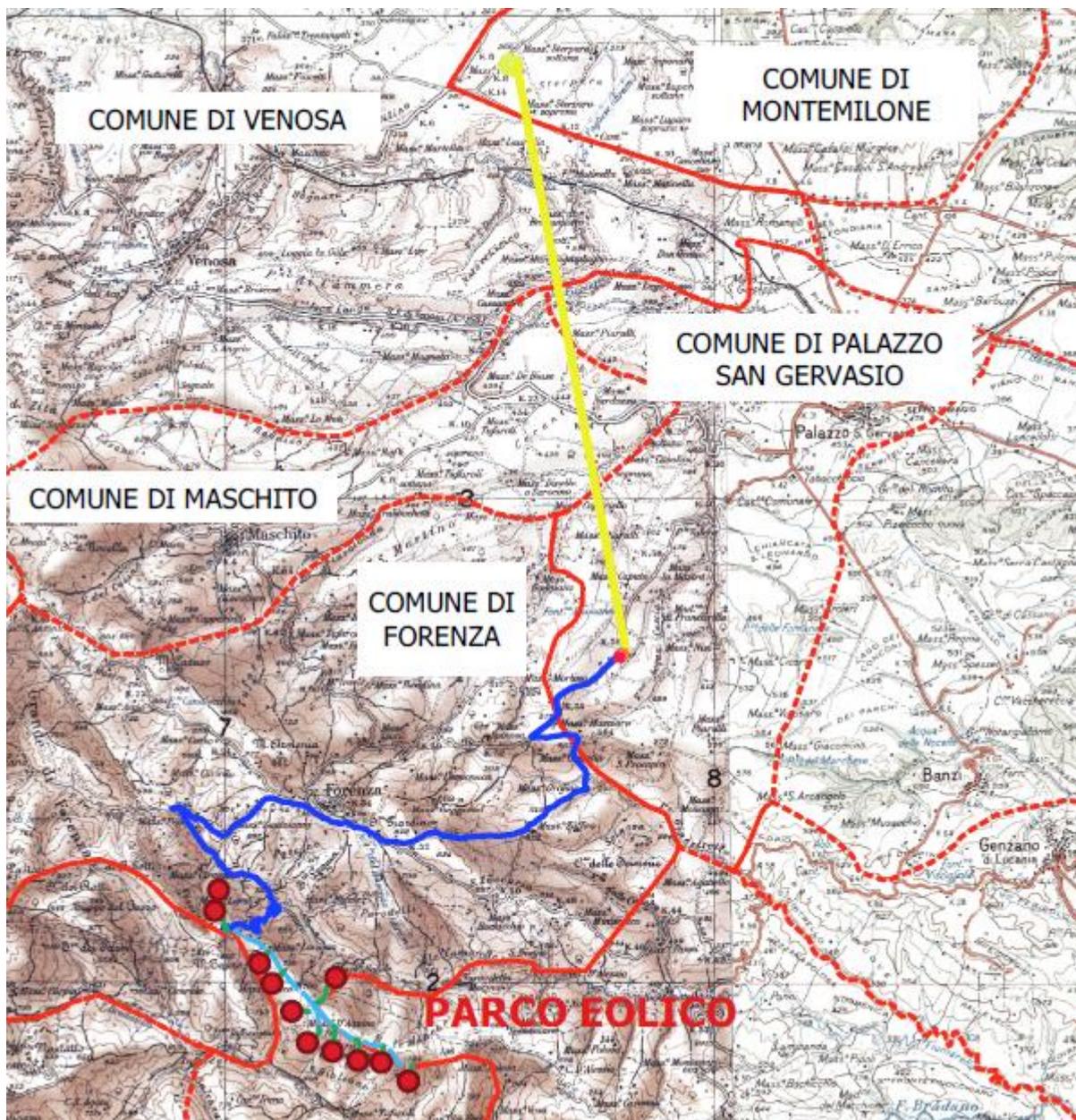


Figura 1-1: Inquadramento intervento di area vasta

Il sito di intervento è situato nell'area a sud ovest del centro abitato di Forenza, a circa 3 km, mentre ad est, dista circa 6 km da centro abitato del comune di Acerenza, a sud, dista circa 7 km dal centro abitato di Pietragalla, ad ovest dista circa 11 km dal centro abitato di Filiano.

È raggiungibile a nord, direttamente dalla SP 8 del Vulture, a sud percorrendo la SS658, successivamente imboccando la SP San Giorgio.



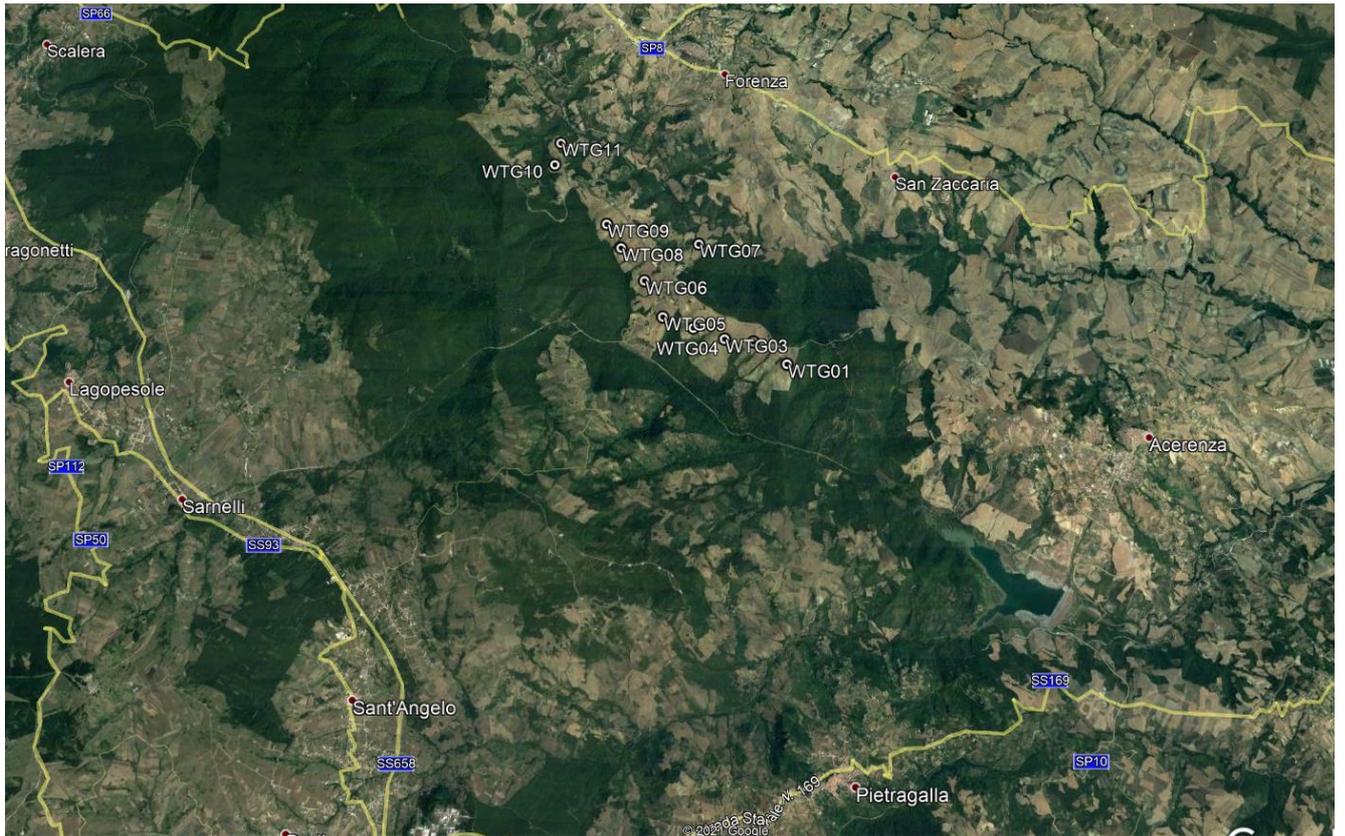


Figura 1-2: Inquadramento intervento di area vasta

Nelle immagini seguenti sono riportate gli inquadramenti di dettaglio del layout su base CTR e ortofoto.

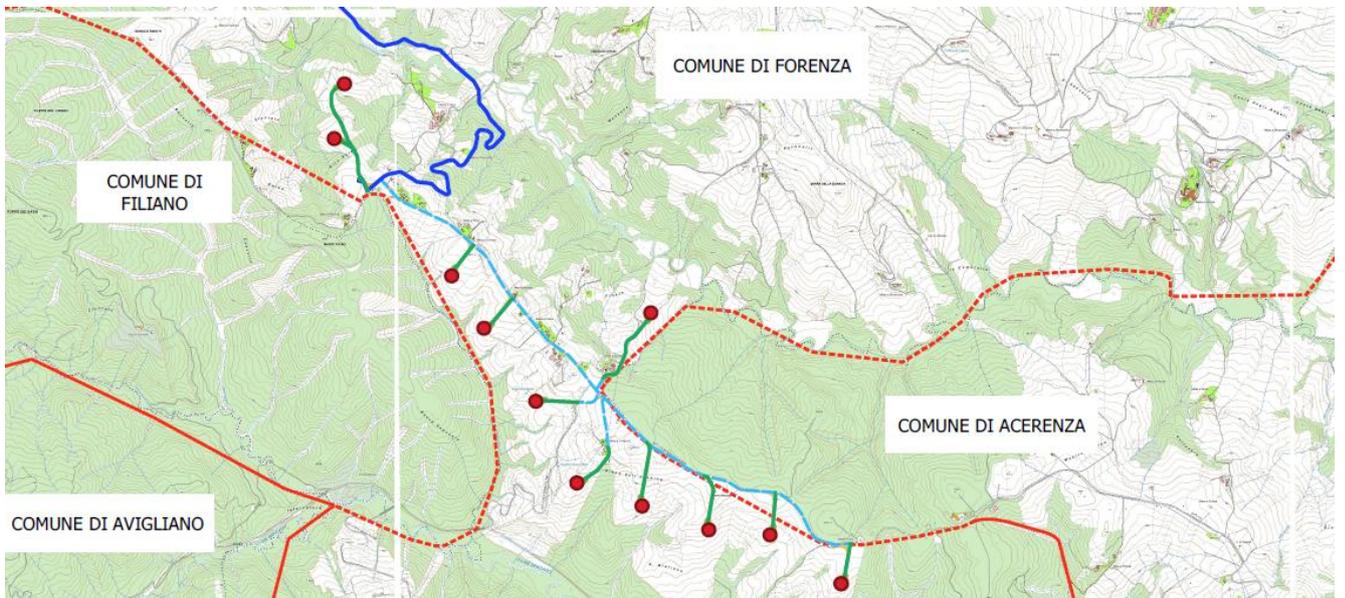


Figura 1-3: Area di intervento su base CTR



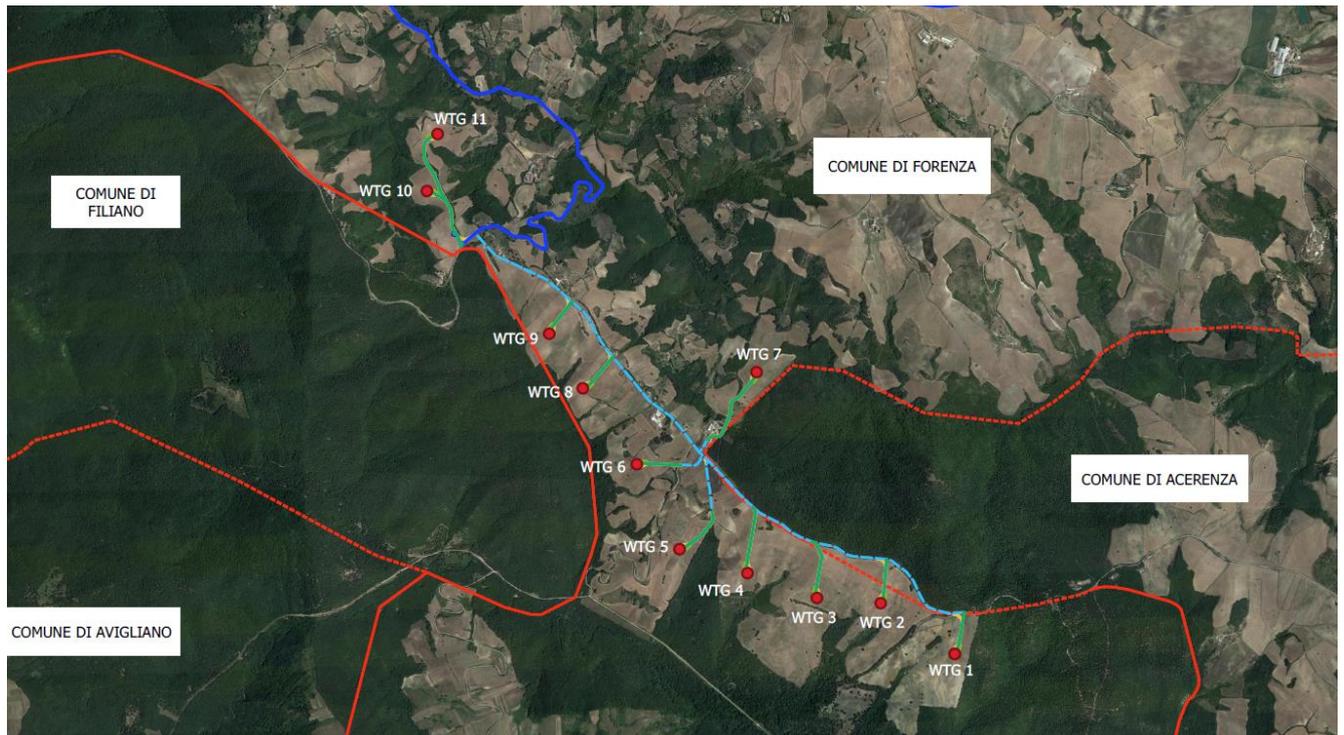


Figura 1-4: Area di intervento: dettaglio layout di progetto su ortofoto

Facendo riferimento agli elaborati grafici di inquadramento allegati, segue una tabella con indicazione delle coordinate degli aerogeneratori che costituiscono l'impianto eolico:

ID TURBINA	UTM WGS84 33N Est (m)	UTM WGS84 33N Nord (m)
WTG01	573678 m E	4517778 m N
WTG02	573120 m E	4518163 m N
WTG03	572639 m E	4518203 m N
WTG04	572116 m E	4518392 m N
WTG05	571604 m E	4518574 m N
WTG06	571282 m E	4519219 m N
WTG07	572185 m E	4519919 m N
WTG08	570875 m E	4519796 m N
WTG09	570622 m E	4520211 m N
WTG10	569700 m E	4521295 m N
WTG11	569780 m E	4521728 m N



Per ciò che concerne la posa del cavidotto, necessario alla realizzazione della connessione elettrica dell'impianto, si sono numerate, da ovest a est, le interferenze con il reticolo idrografico presente sul territorio.

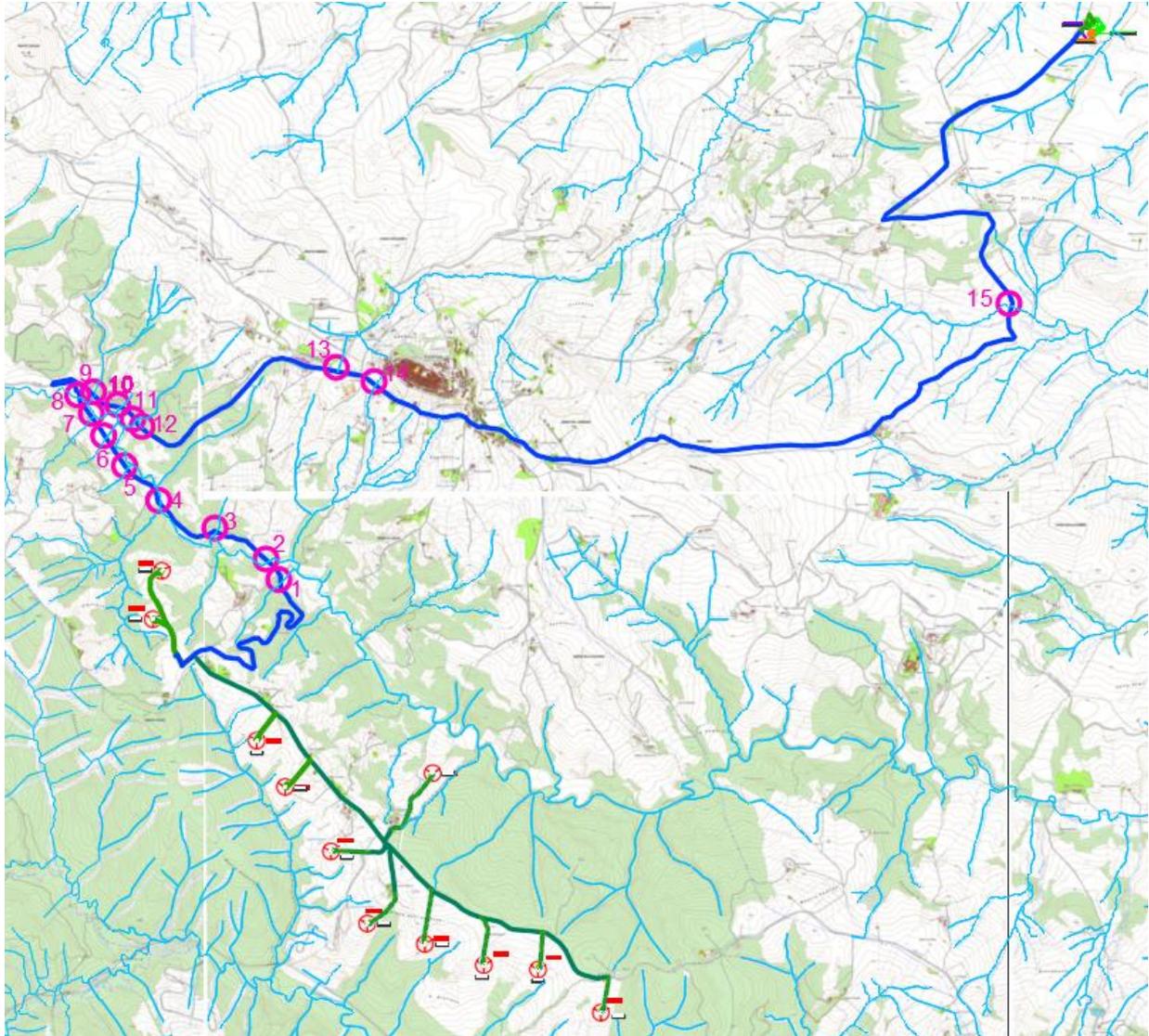


Figura 5: Individuazione degli attraversamenti del cavidotto con il reticolo idrografico.

Si sono stati individuati n.15 attraversamenti del solo cavidotto esterno, tutti su strada asfaltata esistente (ad eccezione dell'attr. n.15 su sede non asfaltata esistente), che saranno caratterizzati dalla seguente tipologia di intervento:

- **Trivellazione orizzontale controllata (TOC)**

Tali scelte progettuali garantiscono che, nella sezione di attraversamento:

- non venga alterata la conformazione fisica e geologica del canale;
- non venga ristretta la sezione libera del canale;



- non venga alterato in alcun modo il naturale deflusso delle acque.

Le intersezioni che avvengono su strade esistenti asfaltate, saranno risolte con l'utilizzo della **trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.)**, ad una **profondità minima di 1,5 m** rispetto al fondo alveo, in maniera da non interferire minimamente sia con il deflussi superficiali che degli eventuali scorrimenti in subalvea.

Tale tecnica consente di posare, per mezzo della perforazione orizzontale controllata, linee di servizio sotto ostacoli quali strade, fiumi e torrenti, edifici e autostrade, con scarso o nessun impatto sulla superficie.

Questo tipo di perforazione consiste essenzialmente nella realizzazione di un cavidotto sotterraneo mediante il radio-controllo del suo andamento plano-altimetrico. Il controllo della perforazione è reso possibile dall'utilizzo di una sonda radio montata in cima alla punta di perforazione, questa sonda dialogando con l'unità operativa esterna permette di controllare il percorso della trivellazione e correggere in tempo reale gli eventuali errori.

L'esecuzione della trivellazione orizzontale controllata (T.O.C.) consta essenzialmente di due fasi di lavoro:

In una prima fase, dopo aver piazzato la macchina perforatrice, si realizza un foro pilota, infilando nel terreno, mediante spinta e rotazione, una successione di aste che guidate opportunamente dalla testa, crea un percorso sotterraneo che va da un pozzetto di partenza a quello di arrivo; nella seconda fase si prevede che il recupero delle aste venga sfruttato per portarsi dietro un alesatore che, opportunamente avvitato al posto della testa, ruotando con le aste genera il foro del diametro voluto ($\varphi = 200 \div 500\text{mm}$). Insieme all'alesatore, o successivamente, vengono posati in opera i tubi camicia che ospiteranno il cavidotto. Infine si effettuerà il riempimento delle tubazioni con bentonite.

Il tracciato realizzato mediante tale tecnica consente in genere, salvo casi particolari, inclinazioni dell'ordine dei 12÷15 gradi.



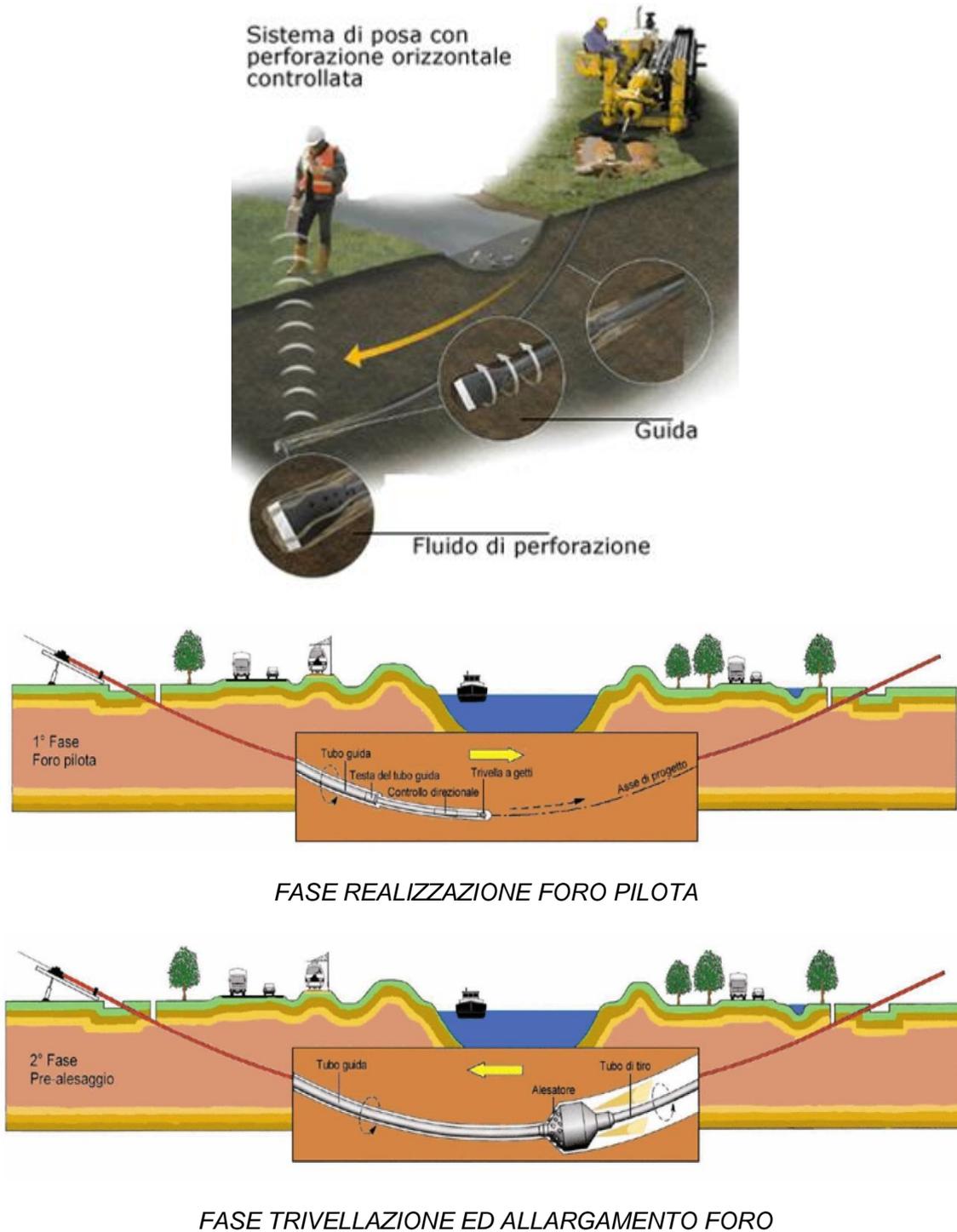


Figura 6: Sistema di trivellazione orizzontale controllata (TOC).

2 Caratteristiche dei bacini idrografici

Sono stati individuati i bacini idrografici in corrispondenza delle WGT site ad una distanza inferiore a 150 m da un corso d'acqua e non posizionate a quota superiore rispetto ad un'asta di testa del reticolo.

Si è calcolata la portata duecentennale e modellato il comportamento idraulico del corso d'acqua in caso di piena duecentennale.

I parametri geomorfologici caratteristici dei bacini idrografici sono indicati nelle tabelle seguenti:

Bacino WGT 02		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	0.20
<i>H media del bacino</i>	<i>[m]</i>	709.50
<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	702.00
<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	717.00
<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	0.151
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	<i>[m/m]</i>	0.075
Bacino WGT 10		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	0.28
<i>H media del bacino</i>	<i>[m]</i>	710.00
<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	670.00
<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	750.00
<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	0.088
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	<i>[m/m]</i>	0.286
Bacino SE Smistamento e Staz Utente		
<i>Lungh. dell'asta princ.</i>	<i>[Km]</i>	1.88
<i>H media del bacino</i>	<i>[m]</i>	540.00
<i>H sezione chiusura</i>	<i>[m]</i>	500.00
<i>H monte dell'asta</i>	<i>[m]</i>	580.00
<i>Superficie del Bacino</i>	<i>[Kmq]</i>	0.988
<i>Pendenza media dell'asta principale</i>	<i>[m/m]</i>	0.042

Tabella 1 - Parametri geomorfologici dei bacini idrografici



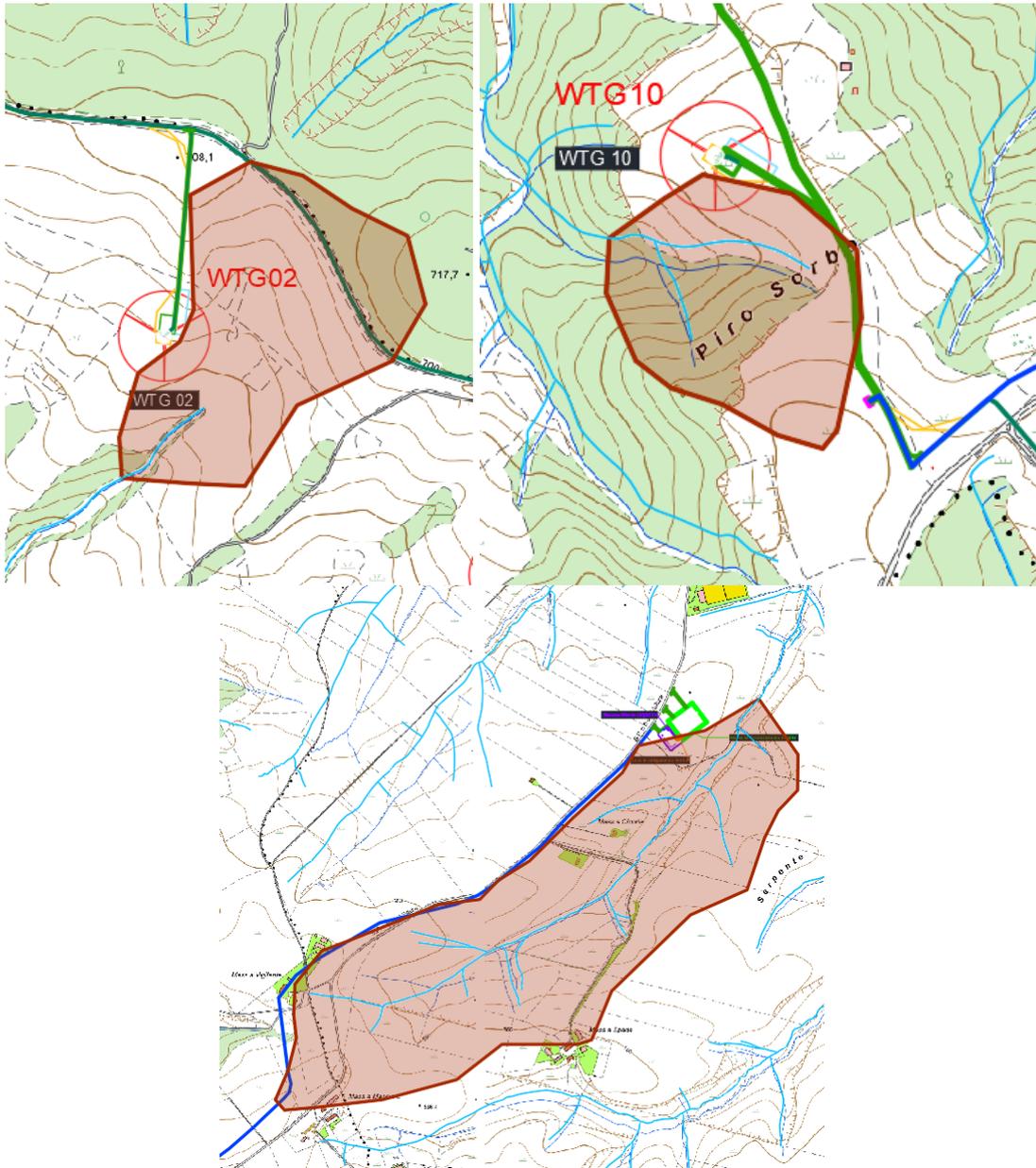


Figura 7: Inquadramento dei bacini idrografici su CTR.

3 Inquadramento geologico e geomorfologico del bacino di studio

L'area interessata dalla realizzazione delle opere in progetto ricade nel foglio 187 della Carta Geologica d'Italia (Melfi), scala 1:100.000.

Dal punto di vista geologico, in relazione a quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia, il territorio è interessato dalle seguenti formazioni geologiche:

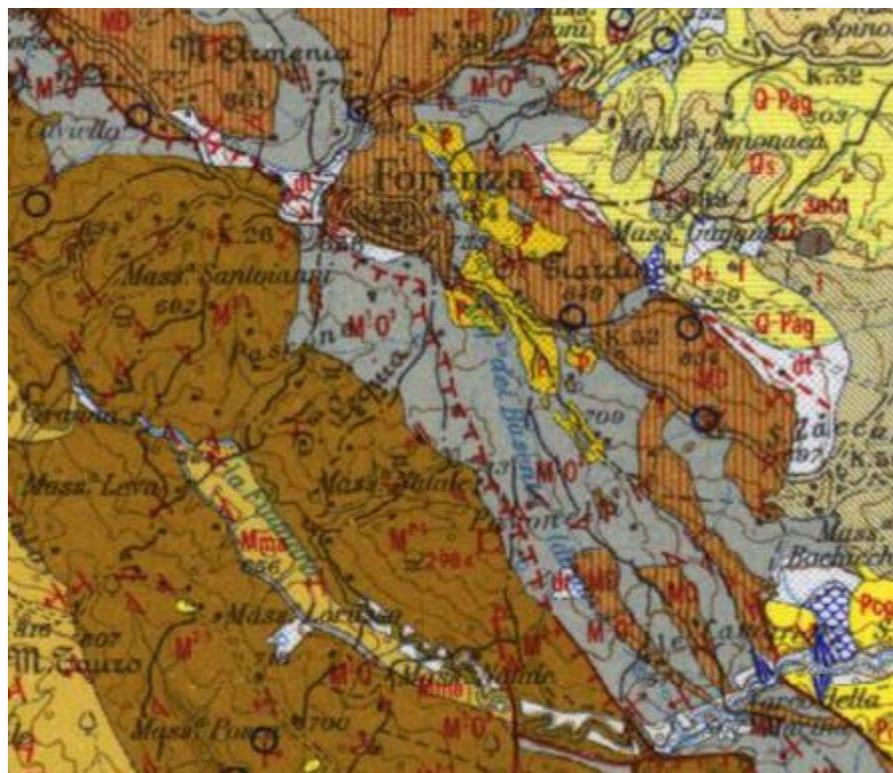
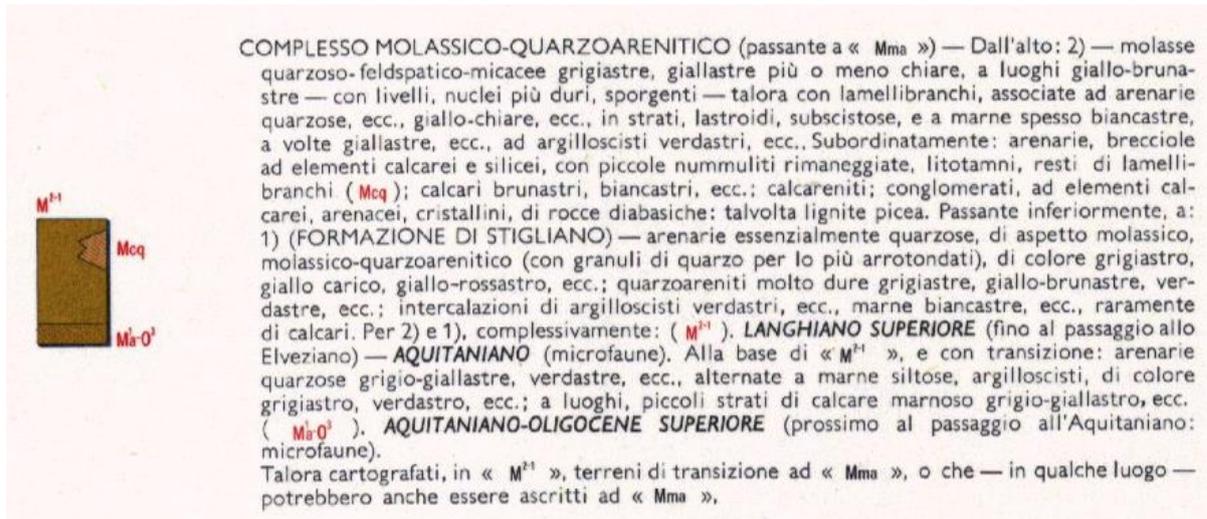


Figura 8: Stralcio della carta geologica d'Italia (F.187, scala 1:100.000).



4 Studio idrologico dei bacini ricadenti nel VAPI Basilicata

Lo studio idrologico dell'area in esame è stato condotto determinando le curve di possibilità climatica applicando il metodo VAPI Basilicata.

In particolare, la valutazione di dette curve al variare del tempo di ritorno è stata condotta rifacendosi alle procedure individuate dal Gruppo Nazionale Difesa della Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per l'Analisi regionale delle piogge brevi in Basilicata (a cura di Claps e Straziuso Dipartimento di Ingegneria e Fisica dell'Ambiente dell'Università degli Studi della Basilicata, 1996) e del Rapporto di Valutazione delle Piene in Basilicata (1999), nel seguito denominato VAPI Basilicata.

Oltre a tale approccio, è stata utilizzata anche la procedura tradizionale mediante la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica mediante il metodo di Gumbel.

La procedura adoperata e i risultati dei calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi. 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 procedura ormai consolidata e nota nella pratica tecnica.

Per quanto concerne, invece, la valutazione dei deflussi naturali nelle sezioni di interesse si è fatto ricorso alla formula razionale e alle procedure di valutazione del valore della piena indice $E(Q)$ e dell'espressione asintotica del fattore di crescita delle portate $KT(Q)$, in ottemperanza a quanto richiesto dall'Autorità di Bacino della Basilicata (PAI 2010).

Va, 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 Basilicata definisce per la valutazione delle aree ad alta, media e bassa probabilità di inondazione.

In particolare, essi sono per le aree a:

- | | |
|---|-----------------------|
| 1. Alta Probabilità di Inondazione (AP) | TR = 30 anni. |
| 2. Media Probabilità di Inondazione (MP) | TR = 200 anni. |
| 3. Bassa Probabilità di Inondazione (BP) | TR = 500 anni. |



4.1 Analisi regionale delle piogge in Basilicata

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 che sono 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, dopo una breve indicazione circa i dati disponibili per lo studio, si procede a fornire i risultati delle varie fasi della procedura di regionalizzazione dei bacini dell'arco ionico della Basilicata, territorio nel quale ricade il bacino oggetto di studio.

I dati pluviometrici utilizzati sono quelli pubblicati sugli annali idrologici dei compartimenti di Catanzaro, Bari e Napoli del S.I.M.N, 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 55 stazioni pluviografiche ognuna delle quali presenta almeno 15 anni di funzionamento. Alcune stazioni sono situate all'esterno dei limiti di bacino allo scopo di migliorare le stime dei parametri areali



relativi ai bacini idrografici. L'ubicazione delle stazioni all'interno della regione è mostrata nella Figura 9.



Figura 9: Ubicazione delle stazioni pluviometriche considerate (da Claps e Straziuso, 1996).

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 ed 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^* . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 55 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri θ^* e Λ^* , osservando come si abbia, al primo livello di regionalizzazione, la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione, mentre al secondo livello si definiscono due sottozone omogenee nord (A) e sud-ovest (B) nelle quali risulta costante anche il valore del parametro Λ_1 .

Nella tabella a seguire si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per lo studio (cfr Tabella 2), mentre in figura 8 si riporta la rappresentazione territoriale delle due aree di interesse.

	θ^*	Λ^*	Λ_1	η
Basilicata_ zona A	2.632	0.104	20.64	3.841
Basilicata_ zona B	2.632	0.104	55.23	4.825

Tabella 2: Parametri del primo livello di regionalizzazione.



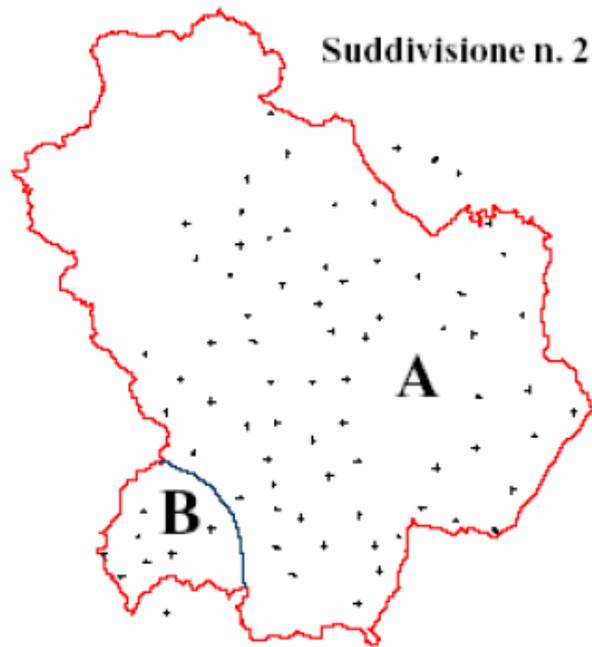


Figura 10: Suddivisione in zone omogenee al II livello di regionalizzazione (VAPI, 1999).

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata $X_{d,T}$ viene espressa in funzione di una quantità K_T , detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e indipendente dalla durata. Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno T ed è definito dal rapporto seguente:

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

avendo indicato con $X_{d,T}$ il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno.

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto riportato in precedenza ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della $X_{d,T}$. 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 ed il fattore di crescita K_T , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. L'espressione di seguito riportata, è quella indicata nel VAPI Basilicata. In realtà non viene fornita l'espressione diretta di K_T in funzione di T , ma l'espressione inversa, nella forma:

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

dove θ_* , Λ_* e Λ_1 sono i parametri di forma e di scala della TCEV che assieme al valore del parametro η , assumono i valori riassunti nella tabella riportata in precedenza.



Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della relazione precedente in cui, fissato un tempo di ritorno T , si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T . Tale risultato tuttavia non è ricavabile immediatamente con la TCEV, per cui si può ricorrere ad espressioni approssimate che hanno la seguente forma:

$$K_T = \left(\frac{\theta_* \ln \Lambda_*}{\eta} + \frac{\ln \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \ln T$$

Nel seguito si riportano i valori di K_T (Tabella 3) ottenuti numericamente dalle equazioni precedenti per le due zone omogenee denominate rispettivamente A e B.

TR (anni)	5	10	25	30	50	100	200	500
K(T) Zona A	1.25	1.49	1.83	1.89	2.14	2.49	2.91	3.50
K(T) Zona B	1.10	1.20	1.34	1.36	1.46	1.61	1.78	2.02

Tabella 3: Valori del fattore probabilistico di crescita (KT).

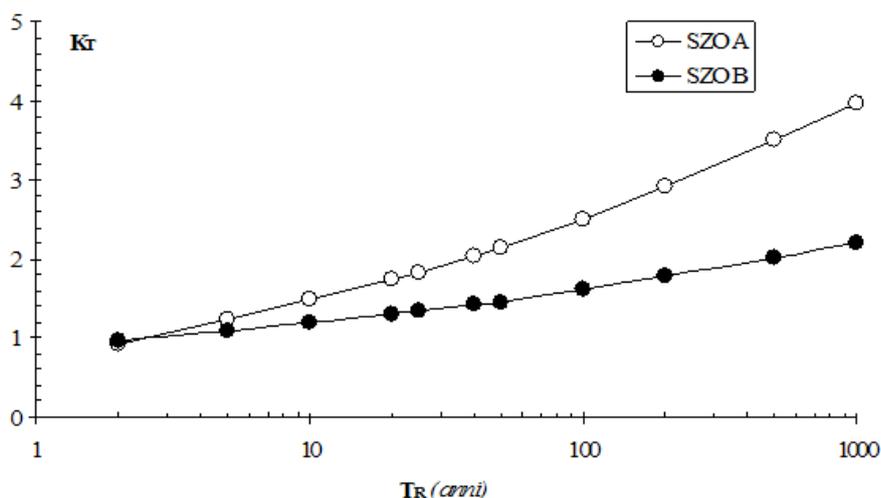


Figura 11: Andamento del fattore probabilistico di crescita (VAPI, 1999).

Obiettivo del terzo livello di regionalizzazione dei massimi annuali delle piogge brevi è la definizione di relazioni utili alla valutazione di un parametro di posizione della distribuzione di probabilità (generalmente la media) in un generico sito o come valore caratteristico di un'area.

Nel caso specifico, l'analisi delle medie delle piogge brevi è stata valutata nell'identificazione delle isoiete alle diverse durate, utilizzando un metodo geostatistico, il kriging, in analogia a quanto proposto da altri autori (Franchini e Galeati, 1994 e Gabriele e Iiritano, 1994). Tale metodo, a differenza di altri, consente di interpolare i dati tenendo conto della relazione fra la varianza campionaria e la varianza spaziale, secondo un approccio di tipo stocastico.



Attraverso l'analisi geostatistica dei dati osservati, è quindi possibile la stima delle grandezze utili alla valutazione delle curve di possibilità climatica, nella formulazione a due parametri $\mu(X_d) = a \cdot D^n$, che descrivono l'andamento con la durata delle altezze di precipitazione delle medie degli eventi massimi annuali.

I parametri ottenuti dalla procedura di interpolazione geostatistica su descritta, e in particolare la media delle precipitazioni massime di durata oraria a e l'esponente n , sono stati definiti sull'intero territorio lucano attraverso una rappresentazione ad isolinee, che è riportata graficamente nelle successive Figura 12 e Figura 13.

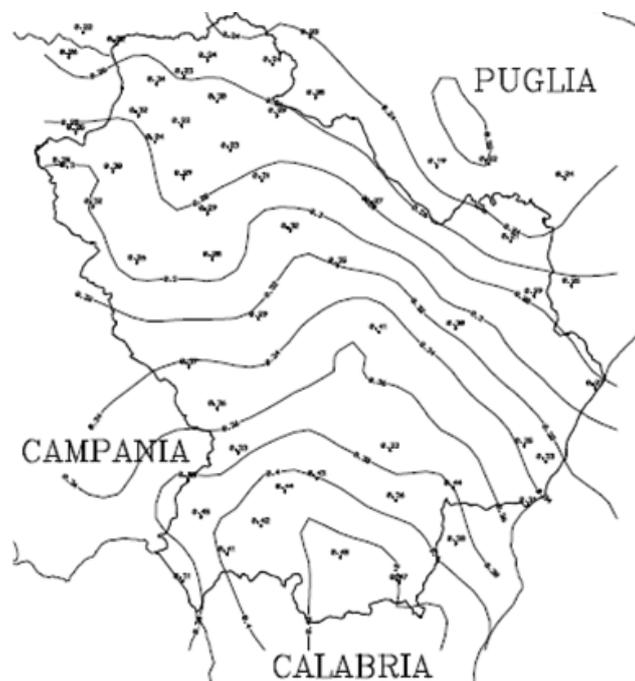


Figura 12: Isolinee del coefficiente a (da Claps e Straziuso, 1996).



Figura 13: Isolinee dell'esponente n (da Claps e Straziuso, 1996).

Una valutazione più precisa dei due parametri delle curve di possibilità climatica riferite ai valori medi areali delle precipitazioni massime osservate è disponibile nel rapporto VAPI Basilicata. In tale rapporto (Claps e Straziuso, 1996, VAPI Basilicata, 1999), attraverso una rappresentazione grafica a celle quadrate di lato pari a 10 Km, sono tabellati i valori medi del $\log(a)$ e di n . La suddivisione per celle utilizzata nel territorio lucano è riportata nella successiva Figura 14.

Usando i valori medi di $\log(a)$ e di n relativi alle celle, si può ottenere l'espressione della legge di pioggia riferita ad un'area attraverso una media pesata dei suddetti valori tra le celle che ricoprono l'area stessa.

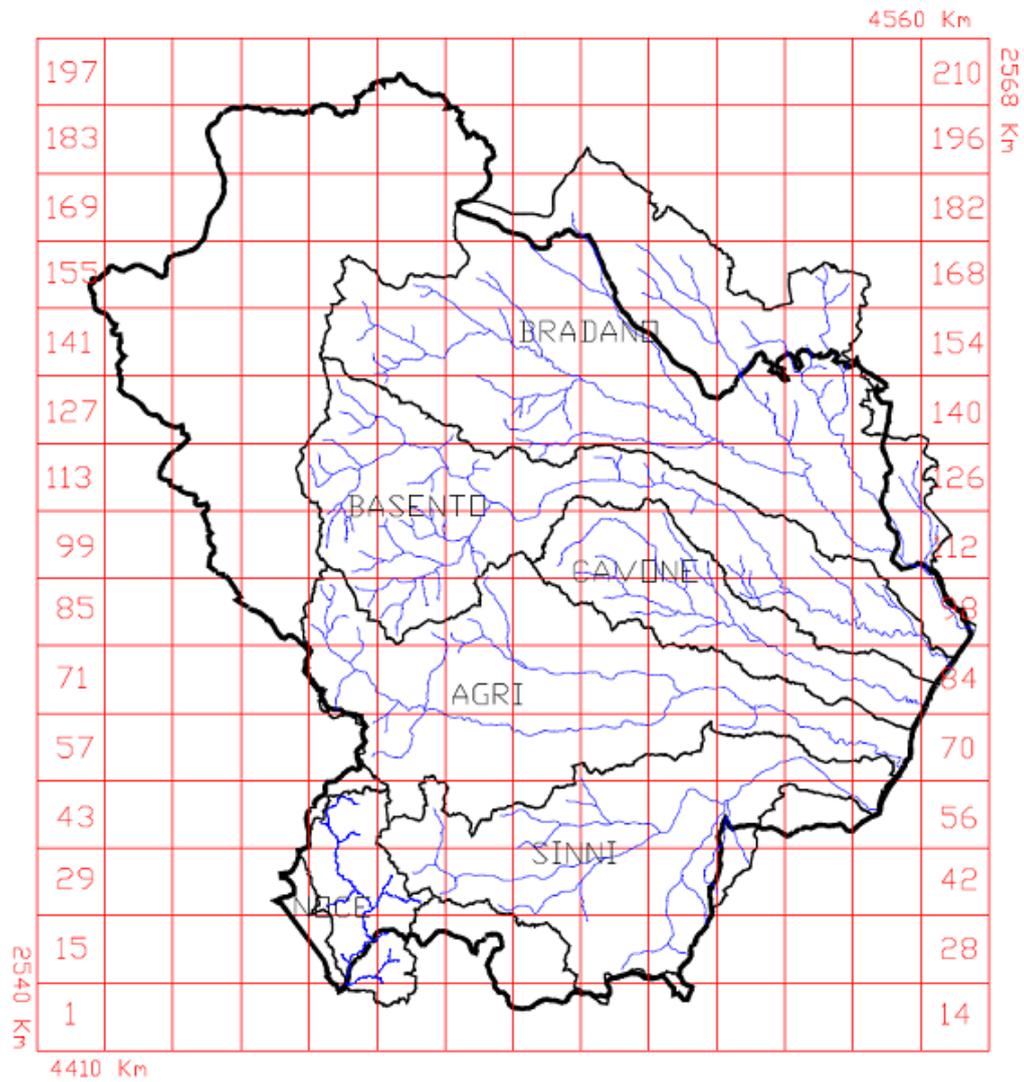


Figura 14: Suddivisione della regione in celle di lato di 10 km (da Claps e Straziuso, 1996).

4.2 Curve di possibilità climatica

Lo studio idrologico condotto ha, quindi, consentito la determinazione delle curve di possibilità climatiche a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni) in corrispondenza delle sezioni di chiusura dei bacini oggetto del presente studio.

Le curve di possibilità climatica sono state definite utilizzando sia il VAPI Basilicata, attraverso le stime puntuali dei parametri a ed n riferiti alle stazioni pluviometriche (cfr. Figura 15), sia utilizzando il metodo statistico di Gumbel.

Stazione	a	n	Stazione	a	n
Acerenza	19.96	0.31	Monticchio Bagni	23.77	0.32
Altamura	27.25	0.22	Muro Lucano	22.91	0.32
Anzi	19.20	0.29	Nova Siri Scalo	32.40	0.31
Atella	24.06	0.24	Oriolo	29.14	0.38
Calitri	24.48	0.25	Palazzo San Gervasio	20.88	0.29
Castel Lagopesole	23.70	0.29	Pescopagano	24.59	0.35
Castelsaraceno	22.06	0.44	Picerno	20.97	0.26
Cogliandrino	24.68	0.42	Policoro	24.69	0.33
Diga Rendina	22.49	0.23	Potenza	22.51	0.28
Ferrandina	22.62	0.30	Recoleta	20.87	0.35
Forenza	26.29	0.23	Ripacandida	26.30	0.22
Ginosa	30.27	0.26	Rocchetta S. Antonio	26.13	0.22
Gravina in Puglia	34.16	0.19	Rocchetta S. A. scalo	25.58	0.22
Irsina	23.06	0.27	S. Arcangelo	20.50	0.33
Isca di Tramutola	18.99	0.36	S. Chirico Raparo	16.52	0.43
Lacedonia	26.23	0.26	S. Fele	22.42	0.30
Lagonegro	29.35	0.45	S. Mauro Forte	21.35	0.41
Lauria inferiore	32.43	0.41	S. Nicola di Avigliano	18.76	0.29
Lavello	24.68	0.24	S. Severino Lucano	20.15	0.45
Maratea	31.51	0.31	Santeramo in Colle	29.02	0.24
Marsico Nuovo	20.09	0.37	Senise	22.22	0.36
Matera	28.35	0.21	Spinazzola	24.62	0.25
Melfi	23.17	0.34	Terranova del Pollino	22.80	0.47
Metaponto	28.20	0.27	Tolve	19.62	0.32
Minervino	30.66	0.23	Tricarico	19.66	0.35
Moliterno	23.48	0.33	Valsinni	25.26	0.44
Montemilone	25.03	0.24	Venosa	21.49	0.30
Montescaglioso	26.77	0.29			

Figura 15: Valore dei parametri puntuali della curva di possibilità climatica.

Quindi, dalla valutazione della tabella precedente, per ottenere i parametri a ed n per la costruzione delle curve di possibilità climatica, è stata utilizzata la stazione di **Forenza**, in quanto più prossima all'intervento in oggetto. La curva di possibilità climatica ottenuta attraverso il VAPI Basilicata è la seguente:

$$x(h,t) = 26,29 * t^{0,23}$$



La curva su definita qualora moltiplicata per il valore del coefficiente probabilistico di crescita riferito alla zona A (Tabella 4) consente, quindi, la definizione delle curve di possibilità climatica riferite all'area di intervento al variare del tempo di ritorno dell'evento considerato.

Le curve di possibilità climatiche sono state anche determinate applicando il metodo statistico di Gumbel ai massimi annuali di precipitazione oraria disponibili dalla stazione pluviografica di

Spinazzola (1951-2014) per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Stazione di:	Spinazzola				
anni	durate [ore]				
	1	3	6	12	24
1936	26.0	28.0	28.2	29.4	35.8
1937	12.4	19.4	26.8	33.2	36.0
1938	12.0	13.2	18.2	25.2	35.0
1942	27.6	35.4	35.4	35.4	48.4
1951	25.4	29.8	29.8	39.2	60.8
1952	18.6	21.0	27.8	46.6	64.6
1953	17.2	29.2	35.8	52.0	57.4
1954	15.4	29.2	43.0	58.4	84.8
1955	40.0	42.4	42.4	58.2	85.4
1956	17.6	28.2	30.6	44.0	60.0
1957	18.2	29.2	47.4	58.0	94.8
1958	24.4	35.2	42.8	48.2	53.2
1962	25.0	37.6	38.8	42.8	44.0
1963	37.4	37.4	51.2	51.2	51.2
1964	33.8	36.2	37.4	37.6	50.0
1966	23.0	39.8	39.8	41.2	61.4
1967	30.0	35.6	35.8	35.8	46.2
1968	27.8	28.4	36.4	41.2	43.4
1969	29.0	31.8	31.8	34.4	36.0
1970	19.8	42.8	54.0	71.4	102.6
1972	42.8	59.0	63.0	69.0	108.6
1973	29.2	64.8	72.0	75.8	78.0
1974	33.6	34.0	34.0	47.0	48.8
1975	25.8	25.8	33.8	35.6	45.8
1976	24.0	42.8	54.0	75.2	110.2
1977	20.2	20.8	22.8	26.6	33.0
1978	19.8	22.6	24.2	30.2	32.6
1979	16.6	21.8	34.0	36.8	47.2
1980	15.8	16.8	26.8	37.8	46.0
1981	22.6	25.6	39.0	39.0	40.0
1982	38.6	46.6	49.6	49.6	49.6
1984	26.0	31.4	40.2	40.6	43.2
1985	15.6	19.8	24.6	32.4	42.4
1986	25.8	28.8	31.6	32.0	53.8
1988	23.4	30.6	40.8	45.0	56.2
1989	26.4	31.8	35.8	36.0	36.0
1990	19.6	24.2	36.4	65.0	79.2



1991	>>	>>	>>	>>	>>
1992	>>	>>	>>	>>	>>
1993	32.6	36.4	38.6	38.8	38.8
1994	67.4	73.8	74.4	74.4	74.4
1995	>>	>>	>>	>>	>>
1996	23.2	24.4	35.4	47.6	54.6
1998	19.0	22.4	25.4	30.8	53.4
1999	33.8	36.0	36.2	36.2	36.2
2000	13.8	20.6	36.0	22.6	30.8
2001	25.4	30.6	31.0	31.0	35.4
2002	27.4	29.0	29.0	31.8	41.2
2003	23.6	31.8	36.0	41.6	70.8
2004	51.8	53.2	53.2	60.4	64.8
2005	18.6	26.4	26.4	33.4	33.4
2006	11.0	14.0	18.2	30.0	53.8
2007	21.6	26.6	29.8	37.8	43.6
2008	>>	>>	>>	>>	>>
2009	26.8	27.8	30.8	35.4	41.2
2010	36.2	36.2	59.8	89.8	114.2
2011	23.0	28.6	48.6	66.2	78.2
2012	19.0	22.4	28.0	38.0	48.2

Tabella 4: Massimi annuali di precipitazione della stazione pluviografica di Spinazzola

L'elaborazione dei dati pluviometrici, ha condotto alla determinazione delle curve di possibilità climatiche per i differenti tempi di ritorno; si riportano di seguito i dati caratterizzanti tali curve:

- Con un tempo di ritorno $Tr = 30$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando la distribuzione di Gumbel) è la seguente:

$$h = 45.078 * t^{0.234}$$

- Con un tempo di ritorno $Tr = 30$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando il metodo VAPI) è la seguente:

-

$$h = 46.688 * t^{0.23}$$

- Con un tempo di ritorno $Tr = 200$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando la distribuzione di Gumbel) è la seguente:

-

$$h = 58.828 * t^{0.232}$$



- Con un tempo di ritorno $Tr = 200$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando il metodo VAPI) è la seguente:

$$h = 76.504 * t^{0.23}$$

- Con un tempo di ritorno $Tr = 500$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando la distribuzione di Gumbel) è la seguente:

-

$$h = 65.428 * t^{0.231}$$

- Con un tempo di ritorno $Tr = 500$ anni l'equazione della curva di possibilità climatica (utilizzando il metodo VAPI) è la seguente:

$$h = 92.015 * t^{0.23}$$

Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive relative alle altezze di pioggia ricavate utilizzando la metodologia **VAPI Basilicata** e quella della distribuzione probabilistica di **Gumbel**:

GUMBEL	h (mm) t = 1 ora	h (mm) t = 3 ore	h (mm) t = 6 ore	h (mm) t = 12 ore	h (mm) t = 24 ore
Tr = 30 anni	47.490	57.191	63.995	77.287	102.690
Tr = 200 anni	62.417	74.480	81.937	99.614	134.600
Tr = 500 anni	69.584	82.781	90.552	110.334	149.921

Tabella 5: Massimi annuali di precipitazione.

VAPI	h (mm) t = 1 ora	h (mm) t = 3 ore	h (mm) t = 6 ore	h (mm) t = 12 ore	h (mm) t = 24 ore
Tr = 30 anni	49.688	63.972	75.029	87.996	103.205
Tr = 200 anni	76.504	98.497	115.520	135.486	158.903
Tr = 500 anni	92.015	118.467	138.942	162.956	191.120

Tabella 6: Massimi annuali di precipitazione.

Il confronto tra le due metodologie adottate, ha evidenziato come le altezze di pioggia derivate utilizzando la **metodologia VAPI Basilicata** siano risultate, per tutti i tempi di ritorno, maggiori di quelle derivate dall'utilizzo della distribuzione probabilistica di **Gumbel** soprattutto al crescere della durata di pioggia.



Nelle figure seguenti si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate dalla metodologia VAPI in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per i bacini in analisi.

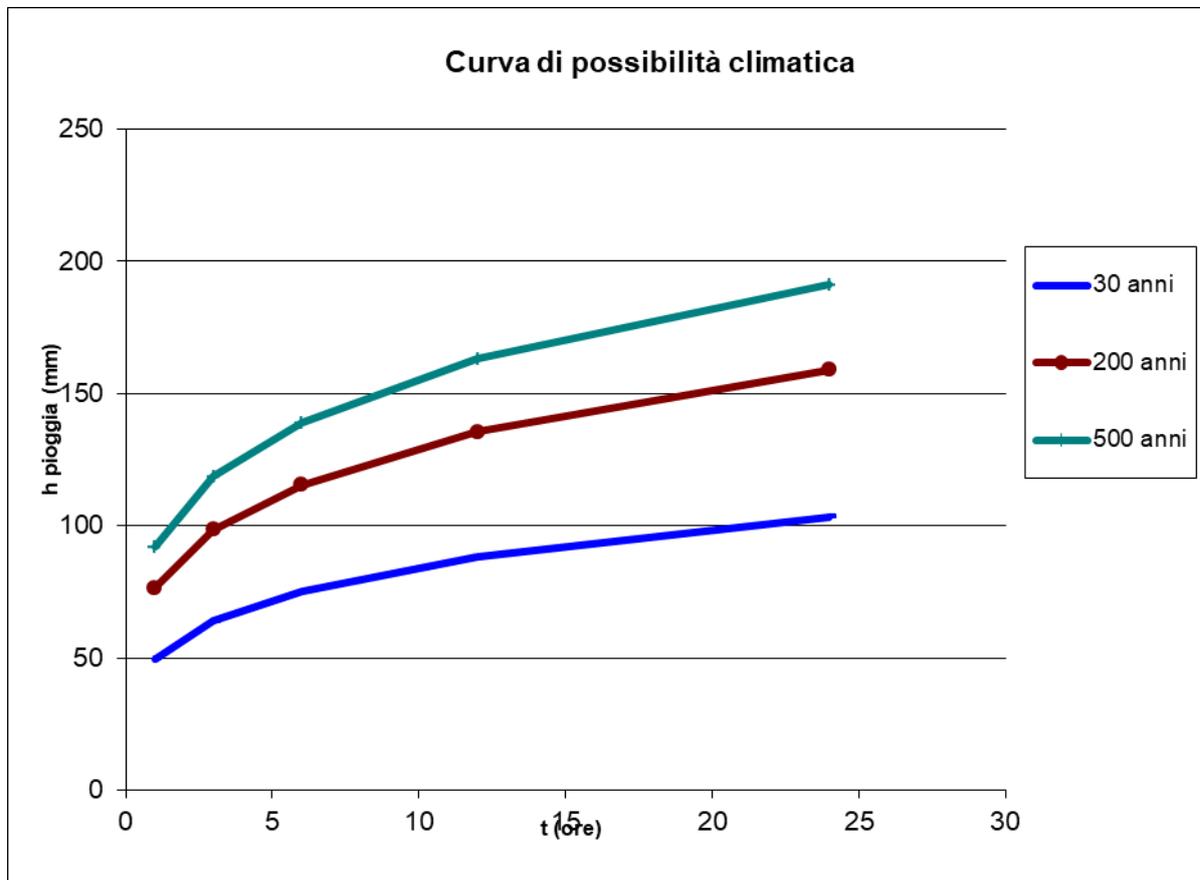


Figura 16: Curva di possibilità climatica con tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni.

Si è inoltre valutato un **tempo di corrivazione**, per ciascun bacino di:

BACINO WGT 02 0,07 h

BACINO WGT 10 0,06 h



4.3 Valutazione delle portate di piena

La stima delle massime portate al colmo di piena per assegnati periodi di ritorno è stata condotta avvalendosi delle tecniche di regionalizzazione dei deflussi come disponibili nel succitato rapporto VAPI Basilicata.

I dati utilizzati sono stati ottenuti da quelli originari disponibili presso il SIMN tramite regolarizzazione per mezzo di scale di deflusso di piena appositamente tarate, operazione che ha eliminato numerose incongruenze emerse dal confronto tra i dati di più stazioni relativamente agli stessi eventi (VAPI Basilicata, 1999).

Nel processo di regionalizzazione delle portate di piena, per la Basilicata, si sono ipotizzati validi i parametri θ^* e Λ^* già definiti a scala nazionale fatta eccezione per la Sardegna. I valori assunti sono:

$$\theta^* = 2.564 \qquad \Lambda^* = 0.350$$

Al secondo livello di regionalizzazione, l'analisi condotta facendo riferimento ad ogni singolo sito idrometrografico ha permesso la definizione la stima del parametro regionale Λ_1 della distribuzione TCEV (Two-Component Extreme Value, Rossi, Fiorentino & Versace, 1984). Tale stima, condotta adottando il criterio della massima verosimiglianza, è stata effettuata nell'ipotesi di vincolare la distribuzione TCEV al valore dei parametri θ^* e Λ^* già definiti a scala nazionale.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella che segue ed evidenziano, nella regione Basilicata, la presenza di tre sottozone omogenee rispetto al parametro Λ_1 (Tabella 7).

Sottozona	θ^*	Λ^*	Λ_1	η
Zona A	2.654	0.350	3.56	2.598
Zona B	2.654	0.350	7.30	3.316
Zona C	2.654	0.350	20.80	4.363

Tabella 7: Valori dei parametri della distribuzione TCEV.

In particolare:

- la zona A si identifica con l'intero bacino del Bradano. L'area è caratterizzata da un alto valore di aridità se comparata con gli altri bacini regionali e questa peculiarità induce i bassi valori di Λ_1 . Il più delle volte, il suolo che caratterizza tale bacino si presenta pressoché asciutto prima dell'occorrenza delle piene.



- la zona B comprende il medio e il basso bacino del Basento, le cui caratteristiche geomorfologiche e climatiche sono comparabili con quelle della sottozona A, anche se il numero di eventi di piena osservati è leggermente superiore.
- la zona C comprende l'Agri, il Sinni e l'alto bacino del Basento, ovvero la zona a nord di Potenza. In questa sottozona il numero di eventi di piena significativi è molto maggiore di quello che caratterizza le altre due sottozone.
-

La rappresentazione cartografica delle tre sottozone è riportata in Figura 17.

II LIVELLO - ZONE OMOGENEE

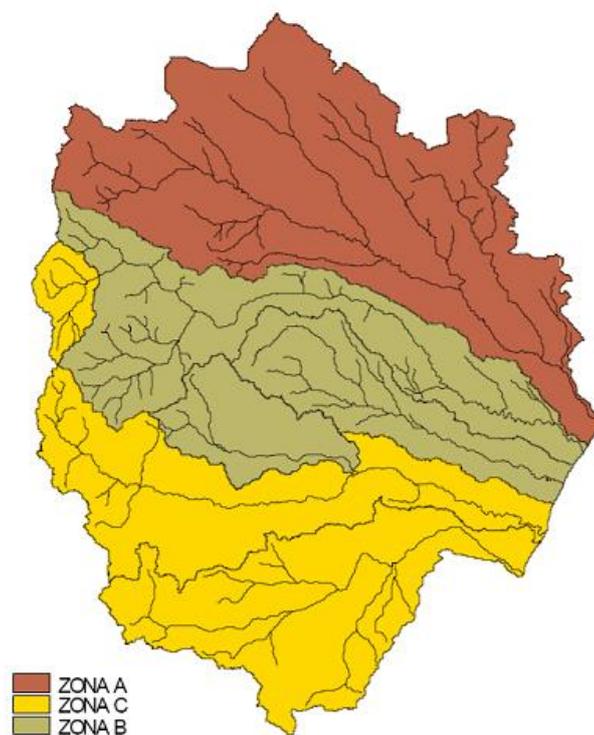


Figura 17: Sottozone omogenee al II livello di regionalizzazione delle piene.

Alla stregua di quanto già condotto in merito alle precipitazioni, è necessario al fine di valutare le portate di piena al variare del tempo di ritorno, stimare il valore assunto dal fattore probabilistico al variare dei parametri individuati nella stima dei due primi livelli di regionalizzazione. È quindi necessaria la definizione del fattore KT o fattore probabilistico di crescita, i cui valori numerici, per le tre sottozone omogenee, sono riportati a seguire in funzione del periodo di ritorno TR (Tabella 8).

T_R (anni)	2	5	10	20	25	30	50	100	200	500	1000
K_T (SZO A)	0.81	1.44	1.96	2.55	2.76	2.89	3.43	3.12	4.83	5.76	6.47
K_T (SZO B)	0.85	1.34	1.75	2.21	2.38	2.48	2.90	3.45	4.00	4.73	5.29
K_T (SZO C)	0.89	1.26	1.57	1.92	2.05	2.13	2.45	2.86	3.28	3.84	4.26

Tabella 8: Valori del fattore probabilistico di crescita (KT).

Nella successiva Figura 18, i valori di K_T su riportati sono rappresentati graficamente in funzione del tempo di ritorno dell'evento considerato.

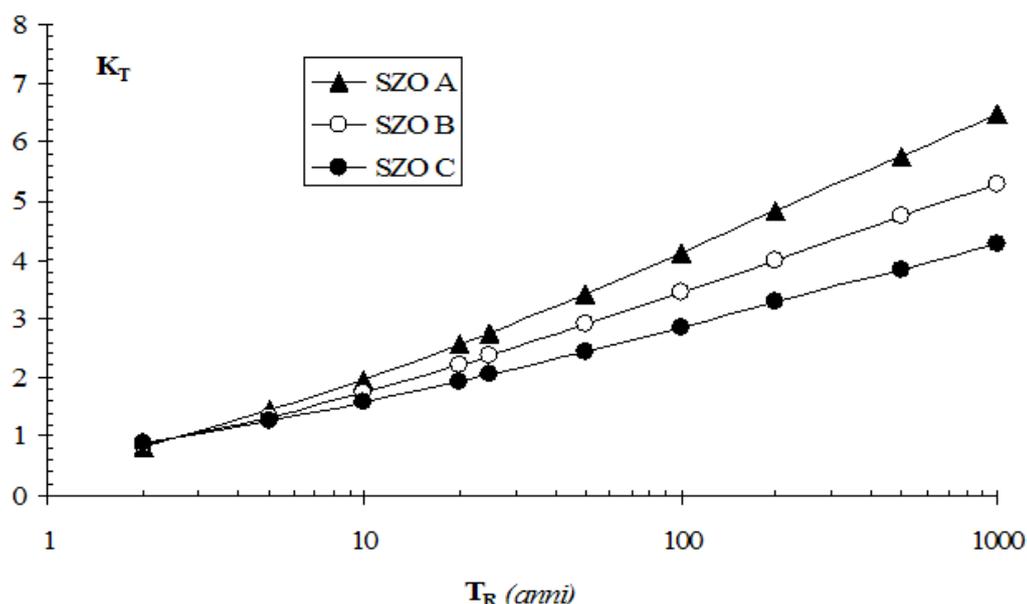


Figura 18: Andamento del fattore probabilistico di crescita delle piene.

La stima del valor medio della distribuzione dei massimi annuali delle portate al colmo di piena o piena indice $E(Q)$ in una generica sezione fluviale è stata condotta, nell'ambito degli studi condotti per la redazione del VAPI Basilicata, con modelli empirici che relazionano tale valore all'estensione del bacino sotteso.

La ricerca di una relazione empirica che leghi il valore della piena indice $E(Q)$ all'area del bacino è il passo preliminare e fondamentale nell'ambito delle analisi condotte al terzo livello di regionalizzazione e, di solito, risulta ben definita da una relazione del tipo:

$$E(Q) = K_T m(Q)$$

dove $m(Q)$ è il valor medio della distribuzione del massimo annuale della portata al colmo di piena.

Gli studi condotti sui bacini lucani al fine di definire, al terzo livello di regionalizzazione delle piene, la relazione che lega la piena indice con l'area sottesa hanno evidenziato la presenza di



due zone omogenee denominate rispettivamente Zona Omogenea 1 e Zona Omogenea 2 per le quali valgono le relazioni sotto riportate:

- Area Omogenea 1 che comprende i bacini del Bradano, Basento, Cavone ed Agri

$$m(Q) = 2.13 \cdot A^{0.766}$$

- Area Omogenea 2 che comprende i bacini del Sinni, Lao e Noce

$$m(Q) = 5.98 \cdot A^{0.645}$$

Si rileva che l'area di studio è associabile all'**area omogenea 1**.

L'applicazione delle relazioni descritte in precedenza ha, quindi, consentito la determinazione dei valori delle portate di piena con assegnato tempo di ritorno (30, 200 e 500 anni) dei bacini.

La **portata** afferente alla sezione di chiusura dei bacini, utilizzata nella successiva modellazione idraulica, è risultata:

Q(m ³ /sec)	Alta Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica	Bassa Pericolosità idraulica
	Tr = 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
Bacino WGT 02	1.45	2.42	2.89
Bacino WGT 10	0.95	1.59	1.90



5 Studio idrologico dei bacini ricadenti nel VAPI Puglia

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, 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 oggetto di studio.

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.

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 sottoregioni 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^* . 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 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.



1.	θ^*	Λ^*	Λ_1
Puglia centro meridionale	2.121	0.353	17.55

Tabella 9- Parametri d'interesse.

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:

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

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 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 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 TR 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. 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 l'intera regione pugliese si hanno le seguenti zone omogenee di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 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	$\mu(h,t) = at^{(ch+D+\ln a - \ln a)/\ln 24}$
ZONA 2-4	$\mu(h,t) = at^n$

Tabella 10- 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 VAPI fornisce l'individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota sul livello medio mare per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione.

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, in continuità con quanto visto in Puglia Settentrionale.



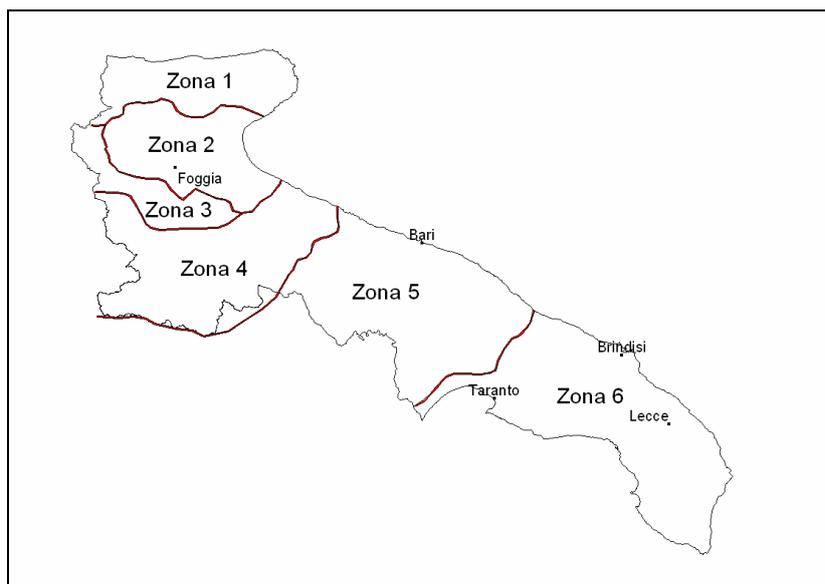


Figura 19 - Regione Puglia: zone omogenee al 3° livello.

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:

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

in cui a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\bar{\cdot}(X_d)$ relativi alle serie con $N \geq 10$ anni ricadenti in ciascuna zona omogenea e $\alpha = \bar{x}_g/\bar{x}_{24}$ 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 (cfr. Tabella 11).

Zona	$\bar{\cdot}$	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 11 - 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:



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

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometriche con il metodo VAPI si è verificato che l'area d'intervento si trova per la maggior parte nella **zona 4** (cfr. immagine seguente). Pertanto, si è applicata la relazione (4) e utilizzando i valori della Tabella 11 relativi alla zona 4. Quindi, per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica si utilizza la seguente relazione:

$$x(t,z) = 24.70 t^{0.256} \quad (5)$$

5.1 Curve di possibilità climatica

L'elaborazione dei dati pluviometrici ha condotto alla determinazione delle curve di possibilità climatica per i differenti tempi di ritorno.

Si riportano di seguito delle tabelle riassuntive relative alle altezze di pioggia ricavate utilizzando la metodologia VAPI e quella della distribuzione probabilistica di Gumbel (cfr. tabelle seguenti):

Tr = 30 anni					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	47.490	57.191	63.995	77.287	102.690
VAPI	48.815	64.668	77.225	92.219	110.124

Tabella 12 – Tr = 30 anni - Altezze di pioggia (mm).

Tr = 200 anni					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	62.417	74.480	81.937	99.614	134.600
VAPI	68.261	90.431	107.989	128.956	153.995

Tabella 13 – Tr = 200 anni - Altezze di pioggia (mm).

Tr = 500 anni					
Distribuzioni probabilistiche	DURATE				
	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
GUMBEL	69.584	82.781	90.552	110.334	149.921

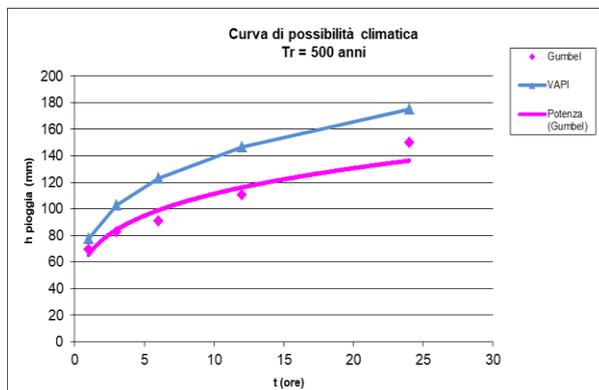
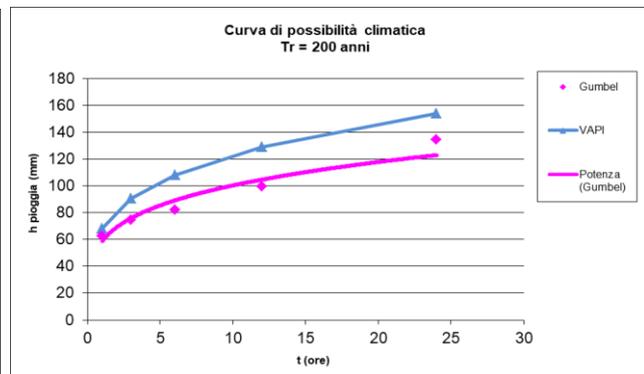
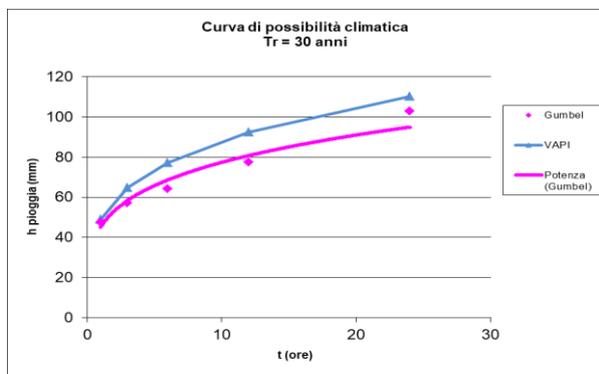


VAPI	77.653	102.874	122.848	146.700	175.184
-------------	--------	---------	---------	---------	---------

Tabella 14 – Tr = 500 anni - Altezze di pioggia (mm).

Confrontando le due metodologie adottate si evince che **le altezze di pioggia determinate utilizzando il metodo VAPI siano quasi sempre maggiori di quelle derivate dall'utilizzo della metodologia GUMBEL. Pertanto, nel presente studio è utilizzata la curva di possibilità climatica determinata dall'applicazione del metodo che ha fornito i valori più elevati delle altezze di pioggia.**

Nelle figure seguenti (cfr. figure seguenti) si riportano le curve di possibilità climatiche ricavate in corrispondenza dei diversi tempi di ritorno adottati, per il bacino in analisi. Tali curve sono quelle utilizzate successivamente per la valutazione delle portate di piena in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino di interesse.



5.2 Valutazione delle portate di piena

L'analisi idraulica, necessaria al calcolo della portata di massima piena per i bacini individuati nell'area in questione, può essere condotta secondo vari metodi, tra i quali possono essere considerati:



- i metodi empirici, che si basano unicamente su parametri morfologici del bacino in esame, senza tenere in considerazione alcuna misura pluviometrica o idrometrica;
- i metodi semiempirici (utilizzati nel presente studio), che valutano la portata anche in funzione dell'altezza di pioggia;
- i metodi analitici, che si basano sull'ipotesi di una correlazione diretta tra afflussi deflussi.

Il metodo da utilizzare dipende innanzitutto dal tipo di verifica idraulica che si intende condurre, in quanto, se si affronta un'analisi in moto permanente o addirittura uniforme, la portata massima può essere calcolata con metodi semplificati tipo il cinematico o razionale; quando la situazione morfologica ed idrografica diventa alquanto complessa, può rendersi indispensabile una verifica in moto vario e, di conseguenza, diventa necessario conoscere la forma dell'idrogramma di piena attraverso l'applicazione di metodi analitici.

In generale, nei casi di regolarità dell'asta fluviale e del bacino idrografico di pertinenza, è generalmente impiegato uno studio in moto permanente ricorrendo al metodo razionale per la determinazione della portata di massima piena.

Valutazione portate di piena

La stima delle portate di piena è stata effettuata applicando metodi analitici di tipo semplificato, in grado di definire, su base geomorfologica, un parametro chiave nel processo di generazione dei deflussi di piena, quale il tempo di corrivazione del bacino (t_c).

In particolare, è stato applicato, a diversi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni), il metodo di razionale e il metodo del Curve Number (CN).

Metodo Razionale

Per la determinazione della massima piena temibile è stato utilizzato il metodo razionale, che rappresenta un metodo indiretto basato sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

1. la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
2. la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
3. il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

La portata di piena, in funzione del tempo di ritorno, è pari ha:

$$Q = \frac{c * h * A * k}{t_c}$$

Q = portata di piena [m³/sec]

c = coefficiente di deflusso



h = pioggia netta [mm]

A = area del bacino [km²]

t_c = tempo di corrivazione [ore]

$k = 0.2777$ (fattore che tiene conto della non uniformità delle unità di misura).

Il valore di h rappresenta l'altezza di precipitazione che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione t_c : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t_c solo una parte del bacino A 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.

Il tempo di corrivazione, che è un parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Il tempo di corrivazione di un bacino 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:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}} \quad (6)$$

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:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_a}} \quad (7)$$

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.

$$t_c = 0.00325 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.77} \quad (10)$$

Il complesso dei valori determinabili con le succitate equazioni 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:

$$t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.8} \quad (11)$$

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

Applicando le relazioni succitate, con riferimento ai parametri geomorfologici del bacino di interesse, si sono ottenuti i seguenti risultati:

	P-C-W-K (h)	Giandotti (h)	Pezzoli (h)	Kirpich (h)
BACINO SE Smist e Staz Utente	0.546	1.344	0.502	0.364

La valutazione successiva di stima della portata di piena di calcolo è stata eseguita facendo riferimento al tempo di corrivazione valutato dalla media tra le suddette relazioni.

Il valore del tempo di corrivazione desunto dalla media è riportato nella tabella seguente:

	Tc (h)
BACINO SE Smist e Staz Utente	0.471

Per ciò che concerne il coefficiente di deflusso ϕ , esso è stato stimato effettuando una media pesata dei valori stimati per le differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di tipo di terreno, dal punto di vista della geologia e dell'uso del suolo, sulla base dei valori consigliati in letteratura; i pesi sono stati calcolati in funzione delle sotto aree sull'area totale del bacino individuato.



Tra le numerose indicazioni esistenti nella letteratura tecnico-scientifica per la valutazione del coefficiente di deflusso, sono stati utilizzati i valori indicati dal Manuale di Ingegneria Civile riportati nella tabella seguente:

Tipo di terreno	Coltivato	Pascolo	Bosco
Molto permeabile: sabbia o ghiaia	0.20	0.15	0.30
Permeabile: limo	0.40	0.35	0.30
Poco permeabile: argilla o substrato roccioso	0.50	0.45	0.40
Tipologia urbanistica		ϕ	
Costruzioni dense		0.80	
Costruzioni Spaziate		0.60	
Aree con ampi cortili e giardini		0.50	
Zone a villini sparsi		0.30-0.40	
Giardini, prati e zone non edificabili né destinate a strade		0.20	
Parchi e boschi		0.05-0.10	

Effettuando una media pesata per i bacini di interesse si ottiene un coefficiente di deflusso pari a 0,300.

Applicando i valori precedenti nella formula razionale sono stati ottenuti i seguenti valori per le portate di piena:

Tr	a	n	tc [h]	h [mm]	ic [mm]	Q [mc/s]
30 anni	45.078	0.234	0.471	37.787	80.274	6.607
200 anni	58.828	0.232	0.471	49.408	104.963	8.639
500 anni	65.428	0.231	0.471	54.987	116.815	9.614

Valori delle portate di piena con il metodo razionale del BACINO SE Smist e Staz Utente

Metodo del Curve Number

Una metodologia per la stima delle precipitazioni efficaci che trova ampia applicazione è quella proposta dal Soil Conservation Service (1972). Il metodo, detto Metodo Curve Number ("Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method", detto comunemente Curve Number),



si basa sulla assunzione che il volume specifico (altezza) di pioggia netta (efficace) P_{net} risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda P (pioggia effettiva) caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$P_{net} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizione di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno senza che si abbia creazione di deflusso; il parametro S corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale dopo l'istante in cui si ha $P > I_a$; fino all'istante in cui non si ha $P > I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente. In realtà con l'introduzione della perdita iniziale I_a si vuole tenere conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale. In mancanza di adeguate osservazioni utili, per la stima di I_a si può fare ricorso alla seguente relazione:

$$I_a = 0,2 S$$

che risulta verificata in buona approssimazione.

La valutazione del valore di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN (Curve Number), cui esso risulta legato dalla relazione:

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

S_0 è un fattore di scala pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm.

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso fra 0 e 100, funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico.

Il Soil Conservation Service (SCS), sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D):

- GRUPPO A: Suoli aventi scarsa permeabilità di deflusso; capacità di infiltrazione in condizioni di saturazione molto elevata.
- GRUPPO B: Suoli aventi moderata potenzialità di deflusso; elevate capacità di infiltrazione anche in condizioni di saturazione.



- GRUPPO C: Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione.
- GRUPPO D: Potenzialità di deflusso molto elevata; scarsissima capacità di infiltrazione e saturazione.

Per tali gruppi si riportano i valori del parametro CN corrispondenti a diverse tipologie di utilizzo del suolo.

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

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

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

Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC).

I valori del CN riportati nella tabella 3 si riferiscono ad una condizione di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico di tipo standard, precisamente quella intermedia indicata come AMC II (Antecedent Moisture Condition II).



Per condizioni iniziali differenti, vengono utilizzate delle relazioni di trasformazione del valore CN (II), relativo a AMC I, CN (I), ed in quello relativo a AMC III, CN (III).

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}} \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)}$$

Nella fattispecie, 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 non completamente urbanizzate.

Nel caso in esame, quindi, sono stati sovrapposti i bacini idrografici sulla carta di uso del suolo e sulla carta geologica e ricavate le superfici specifiche in base alla qualità colturale e tipo di suolo.

Il valore del CN è stato stimato effettuando una media pesata dei valori corrispondenti alle differenti sub-aree isoparametriche caratterizzate da un determinato valore di uso del suolo e di tipo di suolo; i pesi sono stati calcolati in funzione delle aree delle singole parcelle sull'area totale del bacino individuato.

Per quanto riguarda la tipologia di terreno, è stato utilizzato, a vantaggio di sicurezza, il GRUPPO C (***Suoli aventi potenzialità di deflusso moderatamente alta; scarsa capacità di infiltrazione e saturazione***).

Dalla media pesata in funzione della superficie sono stati ricavati i valori relativi al CN, riportati nella tabella seguente:

	CN _{II}	CN _{III}
BACINO DI PROGETTO	78.00	89.18

Tale procedimento ha reso possibile la stima dei due parametri S ed I_a a partire dalle caratteristiche litologiche e di uso del suolo del bacino e quindi la valutazione della pioggia netta.

Altro "tempo 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 pluvigramma 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 stima del tempo di ritardo del bacino, nel caso in esame, si è utilizzata la formula di Mockus:



$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in %, L la lunghezza dell'asta principale prolungata fino alla displuviale espressa in Km.

Per il calcolo della portata al colmo Q_p (m^3/s) si considera un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume, espresso in m^3 , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}$$

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

Poiché 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:

$$t_b = 2.67 t_a$$

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:

$$Q_p = 0.208 \frac{VA}{t_a}$$

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:

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

È stato scelto come evento che massimizza il calcolo della portata di piena un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino, utilizzando come " t_c " i risultati ottenuti in base al calcolo effettuato al paragrafo precedente (cioè tempo di corrivazione calcolato con il metodo Pezzoli, Chow, Watt & Chow, Kirpich P-C-W-K, in quanto tale relazione è quella che meglio si adatta alle dimensioni dei bacini oggetto del presente studio).

I risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

T_R	P [mm]	P_{net}	T_L [h]	V [mm]	t_a [h]	Q_p [m^3/s]
30 anni	40.251	17.908	0.482	17.908	0.718	5.126
200 anni	56.286	31.045	0.482	31.045	0.718	8.886



500 anni	64.031	37.766	0.482	37.766	0.718	10.810
-----------------	--------	--------	-------	--------	-------	--------

Valori delle portate di piena con il metodo del Curve Number del BACINO SE Smist e Staz Utente

Il confronto tra le due metodologie adottate ha evidenziato come le portate derivate utilizzando il metodo Curve Number (CN), per il bacino idrografico di interesse siano risultate, al variare del tempo di ritorno, quasi sempre maggiori di quelle derivate dall'utilizzo del metodo Razionale.

Si è scelto, pertanto, di utilizzare i valori derivanti dalla metodologia che ha restituito i valori di portata maggiori, tra metodo Razionale e del CN, a vantaggio di sicurezza:

Q (m³/sec)	Alta Pericolosità idraulica	Media Pericolosità idraulica	Bassa Pericolosità idraulica
	Tr= 30 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
BACINO SE Smist e Staz Utente	6.61	8.89	10.81



6 Modellazione idraulica

Il tracciamento dei profili di corrente è stato condotto utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS versione 3.1.3, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers.

HEC-RAS è l'abbreviazione di Hydrologic Engineering Center's River Analysis System. Questo software consente la simulazione di flussi idrici, nell'ipotesi di monodimensionalità della corrente, sia in moto permanente che in moto vario.

Il sistema comprende una interfaccia grafica, componenti separate per le analisi idrauliche dei due diversi tipi di moto, possibilità di analisi e memorizzazione dati, possibilità di esportazione e graficizzazione dei risultati.

Elemento chiave è che entrambi i tipi di simulazione citati usano una comune rappresentazione geometrica dei dati (l'alveo e le sue caratteristiche fisiche, geometriche ed idrauliche), e una comune routine di calcolo geometrico ed idraulico preliminare.

HEC-RAS è progettato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per una rete completa di canali naturali ed artificiali.

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili di correnti lente, veloci ed anche miste quando richiesto o ritenuto opportuno automaticamente dal programma.

Il calcolo è stato svolto in condizioni di moto permanente utilizzando valori delle portate di piena, riportati in precedenza, corrispondenti a tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni, come richiesto dall'Autorità di Bacino della Basilicata per l'identificazione delle aree caratterizzate rispettivamente da alta (AP), media (MP) e bassa (BP) pericolosità idraulica.

6.1 Scabrezza di Manning

Le simulazioni sono state condotte utilizzando un valore del coefficiente di scabrezza n secondo Manning pari a 0.033 sulle sponde dell'alveo e per il letto dell'alveo. Il valore adottato è quello consigliato dal manuale Cremonese per alvei con presenza di vegetazione ed è cautelativo ai fini delle determinazioni idrauliche conseguenti.

Inoltre, il valore del coefficiente di Manning è stato scelto nell'ipotesi che l'alveo sia "*Clean, straight, full, no rifts or deep pools, but more stones and weeds*" (cfr tabella seguente), corrispondente ad alvei naturali interessati dalla presenza di pietre ed erbe, per meglio simulare il reale comportamento.

Trattandosi di corsi d'acqua naturali in cui non è evidente la differenza tra golena e savanella, a vantaggio di sicurezza è stato impiegato un coefficiente di scabrezza unico per l'intera sezione del canale.



1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040

Tabella 15: Valori del coefficiente di Manning ((Manning Table – Hec-Ras 3.1.3).

Tale scelta è stata altresì verificata e confermata anche mediante una analisi di sensibilità, attraverso la quale si è potuto rilevare che, facendo variare (aumentando o diminuendo) il coefficiente di Manning di un aliquota pari a 0,01 (restando nel range assimilabile alla tipologia dell'alveo in esame), si genera una variazione di livello idrico nell'ordine di qualche centimetro, quindi trascurabile ai fini della determinazione dei deflussi di piena.

6.2 Condizioni al contorno e condizioni iniziali

Le condizioni al contorno si distinguono in condizioni al contorno di tipo esterno e condizioni al contorno di tipo interno, ove per condizioni esterne si intendono le altezze idriche da assegnare nella sezione di calcolo posta a valle e in tutte le sezioni iniziali poste a monte del reticolo idrografico, mentre per condizioni interne sono intese quelle relative alle sezioni di confluenza di due o più rami dello stesso reticolo.

Nel caso specifico, si è fatto riferimento alle sole condizioni di tipo esterno. **Sia per la sezione di monte del corso d'acqua che per la sezione di valle si è fissata l'altezza di moto uniforme.**

Le condizioni al contorno assunte nelle sezioni di valle tengono conto del raggiungimento, in tali punti, della condizione di moto uniforme. Tale assunzione è cautelativa rispetto alla condizione di stato critico che, allo stesso modo, si può impostare come condizione al contorno nel software. Infatti, trattandosi di un alveo a debole pendenza, l'altezza di moto uniforme è maggiore di quella critica, quindi, impostando a valle (una corrente lenta è influenzata da valle) la condizione di moto uniforme, il profilo idraulico parte da valle con un valore di altezza maggiore quindi più sfavorevole rispetto alla condizione di stato critico.

6.3 Profili di moto permanente

Le simulazioni sono state condotte utilizzando valori di portata massimi lungo il percorso delle aste fluviali, ossia i valori di portata che si ottengono in corrispondenza delle sezioni di chiusura, per i diversi tempi di ritorno.



6.4 Sezioni di calcolo e profilo longitudinale

La valutazione dei profili in condizioni di moto permanente è stata effettuata avendo quale base di informazione topografica, le sezioni rilevate dal DTM della Regione Basilicata per definire il piano quotato dell'alveo e le relative sezioni trasversali.

Sulla base delle informazioni piano altimetriche disponibili è stato ricavato un modello geometrico, come base di input per il software HEC-RAS, costituito, come detto in precedenza, da un bacino formato da un alveo e un numero variabile di sezioni.

Le sezioni (numerate progressivamente da monte verso valle) sono poste a distanza variabile a seconda del diverso assetto morfologico dell'alveo.

6.5 Risultati delle simulazioni IN MOTO PERMANENTE

Nel seguito, si riportano e si commentano i risultati dello studio idraulico, effettuato in condizioni di moto permanente, in riferimento all'asta in oggetto fino alla sua sezione di sbocco.

In particolare, sono riportati i risultati delle simulazioni effettuate, in condizioni di moto permanente in corrispondenza di portate di piena caratterizzate da TR=200 anni.

Tali verifiche hanno consentito, grazie all'ausilio del software HEC RAS, di definire le caratteristiche proprie del deflusso e, in particolare, il massimo livello idrico raggiunto in ogni sezione, oltre che la pendenza della linea dell'energia, la velocità media della corrente, la larghezza del pelo libero, il numero di Froude della corrente, ecc..

Tutte queste informazioni sono indicate sottoforma numerica nelle tabelle riassuntive seguenti, nelle quali, al variare del tempo di ritorno e per ognuna delle sezioni, sono riportati i dati relativi ai principali parametri idraulici desunti dal calcolo al passaggio dell'onda di piena.

Le sigle riportate sono relative a:

- a)** Q total = Portata totale espressa in m^3/s ;
- b)** Min Ch El = Quote del fondo dell'alveo;
- c)** W.S. Elev = Quota del pelo libero;
- d)** Crit W.S. = Quota critica del pelo libero;
- e)** E.G. Elev = Quota della linea dell'energia;
- f)** E.G. Slope = Pendenza della linea dell'energia;
- g)** Vel Chnl = Velocità media della corrente nell'alveo;
- h)** Flow area = Area totale della sezione liquida effettiva;



- i) Top Width = Larghezza superficiale della sezione liquida;
- j) Froude = Numero di Froude dell'alveo.

I risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti:

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
WGT10	WGT10	5	Tr=200anni	1.59	717.54	717.69	717.78	718.08	0.260102	2.78	0.57	7.50	3.21
WGT10	WGT10	4	Tr=200anni	1.59	704.27	704.47	704.60	705.12	0.307061	3.57	0.45	4.51	3.63
WGT10	WGT10	3	Tr=200anni	1.59	696.00	696.15	696.23	696.41	0.109627	2.26	0.70	6.53	2.20
WGT10	WGT10	2	Tr=200anni	1.59	684.45	684.66	684.84	685.81	0.501395	4.77	0.33	3.16	4.68
WGT10	WGT10	1	Tr=200anni	1.59	674.05	674.35	674.48	674.81	0.119600	2.98	0.53	3.48	2.42
WGT02	WGT02	4	Tr=200anni	2.42	640.11	640.34	640.42	640.58	0.070017	2.16	1.12	7.98	1.84
WGT02	WGT02	3	Tr=200anni	2.42	636.74	637.00	637.08	637.27	0.062454	2.32	1.04	6.07	1.79
WGT02	WGT02	2	Tr=200anni	2.42	628.85	628.93	629.04	629.70	0.750372	3.88	0.62	10.95	5.19
WGT02	WGT02	1	Tr=200anni	2.42	619.47	619.67	619.76	619.95	0.085956	2.37	1.02	7.40	2.03
SE Smist & Staz	SE Smist & Staz	6	Tr=200anni	8.89	492.29	493.12	493.17	493.41	0.020000	2.39	3.71	8.72	1.17
SE Smist & Staz	SE Smist & Staz	5	Tr=200anni	8.89	491.18	491.77	491.88	492.17	0.030504	2.81	3.16	8.03	1.43
SE Smist & Staz	SE Smist & Staz	4	Tr=200anni	8.89	490.50	491.14	491.03	491.25	0.006998	1.50	5.94	12.94	0.71
SE Smist & Staz	SE Smist & Staz	3	Tr=200anni	8.89	490.00	490.56	490.56	490.75	0.015178	1.94	4.59	12.19	1.01
SE Smist & Staz	SE Smist & Staz	2	Tr=200anni	8.89	489.00	489.21	489.28	489.45	0.053337	2.21	4.03	22.72	1.67
SE Smist & Staz	SE Smist & Staz	1	Tr=200anni	8.89	488.00	488.55	488.55	488.74	0.015221	1.93	4.60	12.31	1.01

Tabella 16: Parametri idraulici relativi al calcolo in moto permanente (Tr=200 anni).

Il calcolo è stato condotto considerando tutte le sezioni rilevate.

Nelle figure seguenti sono riportati il profilo longitudinale al passaggio dell'onda di piena duecentennale e le viste prospettive d'insieme dell'alveo nonché le sezioni trasversali rilevate.

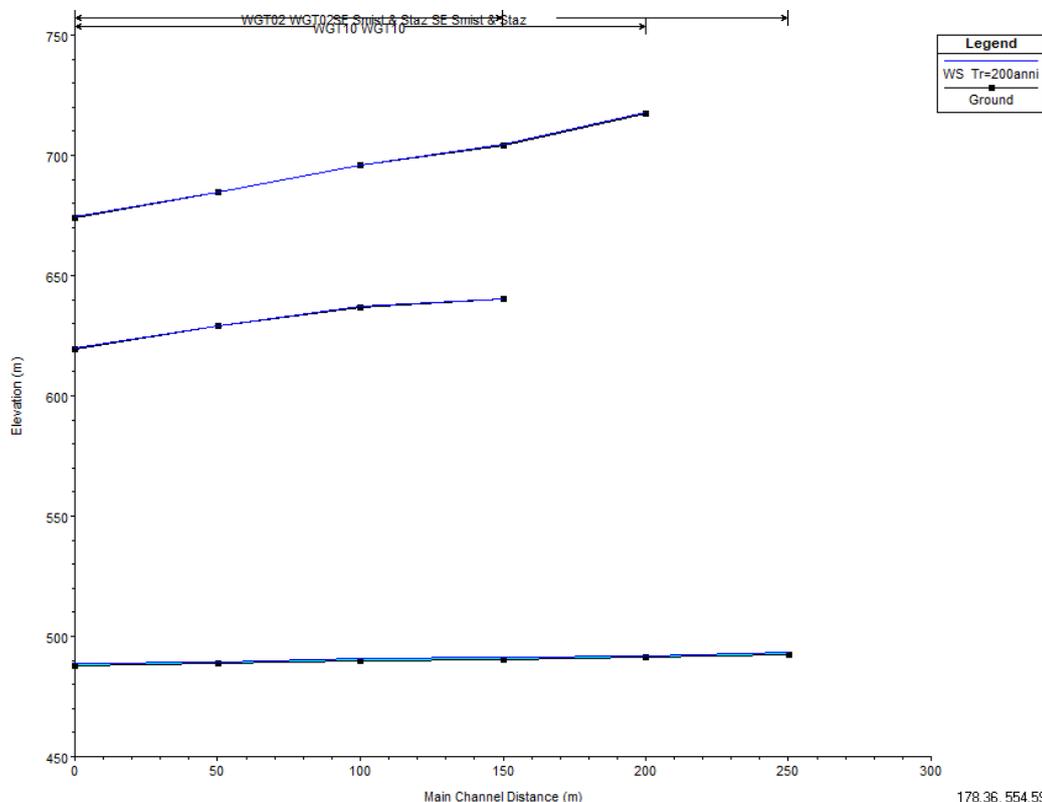
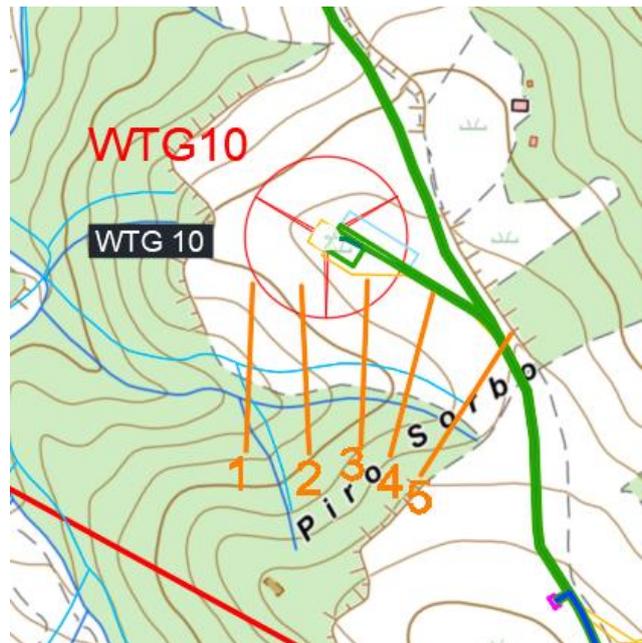
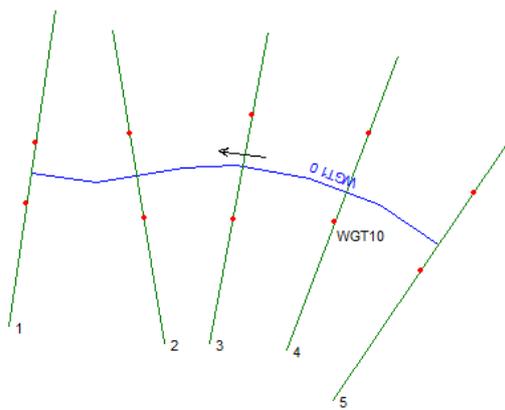
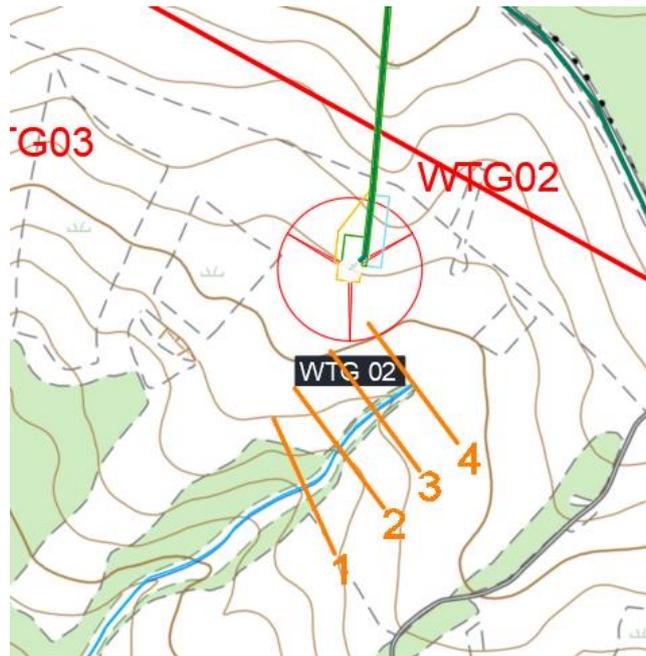
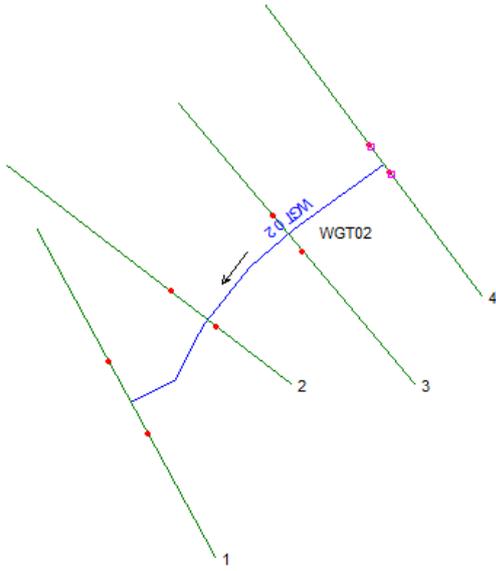


Figura 20: Profilo longitudinale di moto permanente.(è rappresentato graficamente il livello idrico corrispondente alla piena con Tr=200 anni)





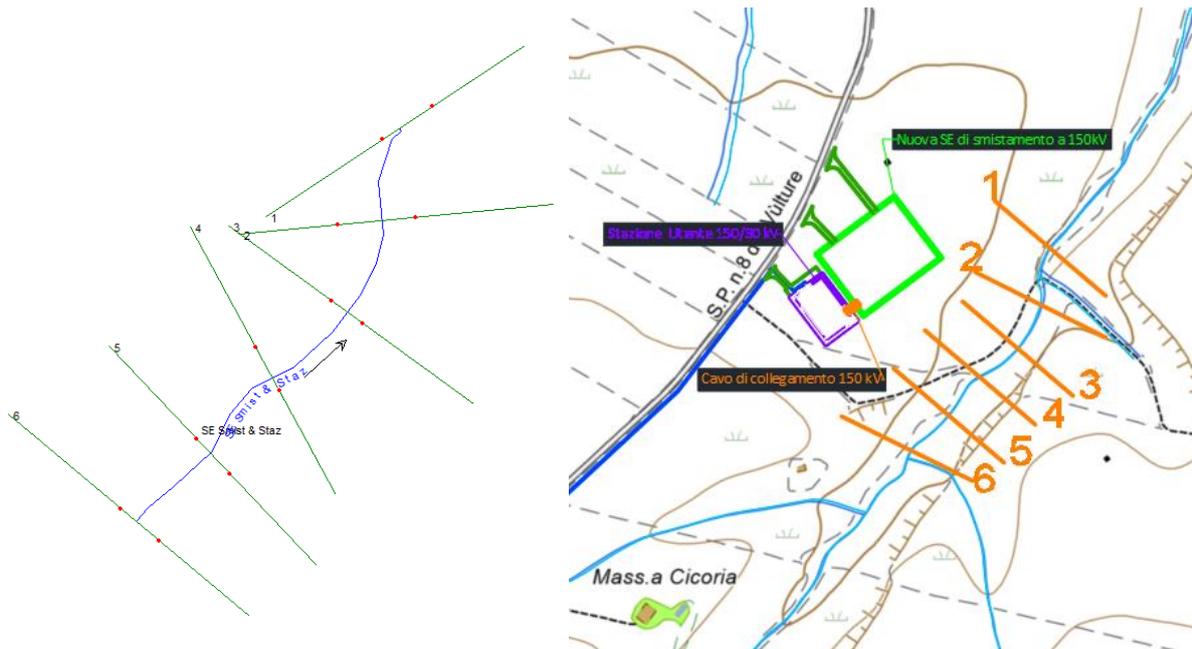


Figura 21: Viste planimetriche d'insieme.

Osservando gli output di HEC-RAS si evince come **i corsi d'acqua in esame siano sufficienti a contenere la portata di piena bi-centenaria, sempre contenuta in alveo o nelle sue aree golenali.** L'area di installazione delle WGT e relative piazzole non vengono interessate dal passaggio della piena duecentenaria.

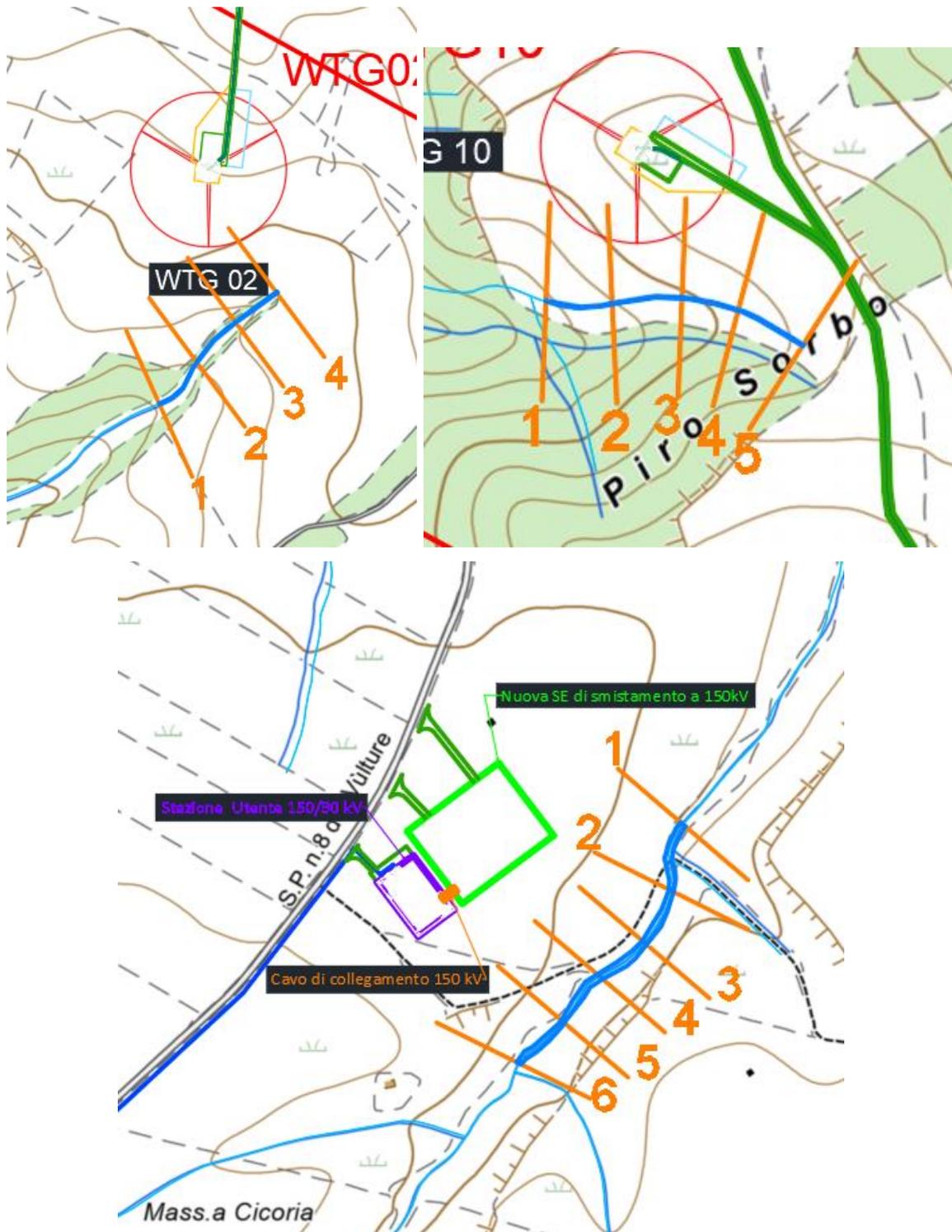


Figura 22 – Planimetria con indicazione delle aree inondabili duecentennali.

Tale risultato è possibile desumerlo anche dalla consultazione delle sezioni trasversali in allegato, dalle quali sono evidenti i livelli idrici di piena per ogni sezione.

7 CONCLUSIONI

Dai risultati desunti nel presente studio di compatibilità idrologica ed idraulica si è potuto rilevare il valore delle portate di interesse per i bacini idrografici di riferimento, corrispondenti a tutte le WGT site a meno di 150 m dal reticolo ufficiale della Regione Basilicata e non posizionate a quota superiore rispetto ad un'asta di testa del reticolo.

Considerata l'entità delle portate ricavate in precedenza per le aste fluviali di interesse e la destinazione d'uso del terreno posto nelle vicinanze dell'area in cui verranno realizzati gli attraversamenti in TOC del nuovo cavidotto, si può certamente affermare che il passaggio delle portate di piena non determina situazioni di pericolo per l'area e per le opere a farsi.

Stessa cosa è possibile affermare per la sicurezza idraulica delle WGT e Stazioni di progetto, esterne alle aree inondabili duecentennali.

Quindi la **realizzazione del parco eolico di potenza complessiva pari a 49,5 MW e relative opere di connessione alla RTN da realizzare nei comuni di Forenza e Palazzo San Gervasio (Provincia di Potenza, in Regione Basilicata),, oltre a non essere interessata dagli eventi di piena, non comporterà alcuna modifica al perimetro delle aree ad alta probabilità di inondazione (AP), media probabilità di inondazione (MP) e bassa probabilità di inondazione (BP) (corrispondenti rispettivamente al passaggio nella lama delle portate di piena aventi tempo di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni) e nessuna variazione del livello di sicurezza delle aree adiacenti.**



