



# R E G I O N E B A S I L I C A T A

DIPARTIMENTO INFRASTRUTTURE E MOBILITA'  
UFFICIO TRASPORTI  
P O T E N Z A



## **CICLOVIA DELL'ACQUEDOTTO PUGLIESE "TRATTO LUCANO"**

**DAL CONFINE CON LA REGIONE CAMPANIA (stazione ferroviaria di Rapone)**

**AL CONFINE CON LA REGIONE PUGLIA (Palazzo San Gervasio - Spinazzola)**

**Legge 27/12/2015, n. 208, art. 1, comma 640 - D.G.R. 851/2016**

## **PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA**

Codice Elaborato	Contenuto	
<b>RE.05</b>	ELABORATI DESCRITTIVI: Relazione idraulica e idrologica	
Scala	Revisione	Firma
	1	Ing. Dante LEONI - Ing. Sonia DE MARINO - Geol. Lucio GNAZZO

Progettazione

**EDILING** s.r.l.  
— SOCIETÀ DI INGEGNERIA —

Ing. Dante LEONI  
(direttore tecnico Ediling Srl)

Ing. Sonia DE MARINO

Geol. Lucio GNAZZO



## Sommario

0	Premessa .....	2
1	Descrizione degli interventi di progetto .....	2
2	Inquadramento dell'area di intervento nell'ambito del PAI della AdB Puglia.....	3
2.1	Ambito territoriale della AdB .....	3
2.2	Pericolosità idraulica e NTA del PAI.....	4
2.3	Compatibilità idraulica degli interventi .....	4
3	Descrizione dei bacini sottesi alle sezioni del reticolo idrografico attraversato da viabilità e linee elettriche interrato .....	5
3.1	Intersezioni con il reticolo idrografico esistente .....	5
3.2	Uso del suolo e permeabilità dei bacini studiati .....	5
4	Studio idrologico.....	6
4.1	Generalità .....	6
4.2	Analisi regionale delle piogge in Puglia .....	6
4.3	Determinazione delle curve di possibilità climatica .....	12
4.4	Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena .....	12
4.5	Stima della piena indice: modello empirico .....	13
4.6	Stima della piena indice: modello razionale.....	14
4.7	Valutazione del fattore probabilistico di crescita delle portate .....	15
4.8	Valutazione della piena indice e delle portate di piena nei bacini sottesi alle sezioni di calcolo ...	16
5	Verifiche idrauliche.....	19
6	Considerazioni conclusive .....	19
7	Allegati.....	19

## 0 Premessa

Il presente studio di fattibilità tecnico ed economica riguarda la realizzazione di un itinerario ciclabile denominato **CICLOVIA DELL'ACQUEDOTTO PUGLIESE "TRATTO LUCANO": DAL CONFINE CON LA REGIONE CAMPANIA (STAZIONE FERROVIARIA DI RAPONE) AL CONFINE CON LA REGIONE PUGLIA (PALAZZO SAN GERVASIO - SPINAZZOLA)**, con l'idea di realizzare un percorso integrato con l'ambiente circostante che ne valorizzi le qualità.

La realizzazione dell'itinerario ciclabile rappresenta un'opportunità di valorizzazione ambientale, una forma di fruizione "culturalmente evoluta" del territorio e un'occasione per mettere in rete le emergenze ambientali e culturali assieme alle attività commerciali e ricettive presenti, contribuendo così alla crescita complessiva del territorio attraversato. Il progetto persegue i seguenti obiettivi fondamentali:

1. Integrazione dell'infrastruttura nell'ambiente che attraversa;
2. Economicità: attivazione del maggior sviluppo chilometrico con impiego limitato di risorse finanziarie, in modo da sviluppare una rete ciclabile organica ed estesa e impiegare le risorse per la risoluzione di situazioni critiche (attraversamenti, messa in sicurezza, collegamenti, ...);
3. Scelte costruttive finalizzate alla massima fruizione ed accessibilità;
4. Sostenibilità in termini di durata, manutenibilità e ciclo di vita delle opere;
5. Semplicità costruttiva, qualità e riconoscibilità degli interventi.

La presente "Relazione idrologica e idraulica" costituisce elaborato al Progetto di fattibilità tecnico economica della Ciclovìa dell'Acquedotto Pugliese, nel tratto in questione andando ad analizzare e verificare la compatibilità della natura e della tipologia degli interventi in progetto con le caratteristiche idrauliche del territorio attraversato ed evidenziandone gli elementi di pericolosità idraulica tali da compromettere la realizzazione delle opere.

## 1 Descrizione degli interventi di progetto

Il contesto in cui si inseriscono gli interventi di realizzazione della CICLOVIA DELL'ACQUEDOTTO PUGLIESE "TRATTO LUCANO" è costituito sia da zone rurali che da zone urbane. La realizzazione dell'itinerario ciclabile rappresenta un'opportunità di valorizzazione ambientale, una forma di fruizione "culturalmente evoluta" del territorio e un'occasione per mettere in rete le emergenze ambientali e culturali assieme alle attività commerciali e ricettive presenti, contribuendo così alla crescita complessiva del territorio attraversato.

Di seguito descritto suddividendo l'intero tracciato in 2 tronchi:

- STAZIONE RAPONE - RUVO DEL MONTE (TRONCO 1)
- RUVO DEL MONTE – ATELLA (TRONCO 1)
- ATELLA - STAZIONE DI RIONERO (TRONCO 1)
- RIONERO- BARILE (TRONCO 1)
- STAZIONE RIONERO - RIPACANDIDA – GINESTRA (TRONCO 2 – Lotto 1)
- GINESTRA – VENOSA (TRONCO 2 – Lotto 1)
- VENOSA - PALAZZO SAN GERVASIO (TRONCO 2 – Lotto 1)
- COLLEGAMENTO A RIPACANDIDA (TRONCO 2 – Lotto 2)
- COLLEGAMENTO GINESTRA (TRONCO 2 – Lotto 2)
- COLLEGAMENTO PALAZZO S. GERVASIO (TRONCO 2 – Lotto 2)

Per le caratteristiche di dettaglio delle opere da realizzare si rimanda alla Relazione Tecnica illustrativa e agli elaborati grafici.

## 2 Inquadramento dell'area di intervento nell'ambito del PAI della AdB Puglia

### 2.1 Ambito territoriale della AdB

L'intervento progettato ricade nei comuni di Rapone (PZ), comune inserito nell'elenco dei comuni di competenza della AdB Distrettuale dell'Appennino Meridionale - UoM Regionale Puglia e interregionale Ofanto (Fig.1).

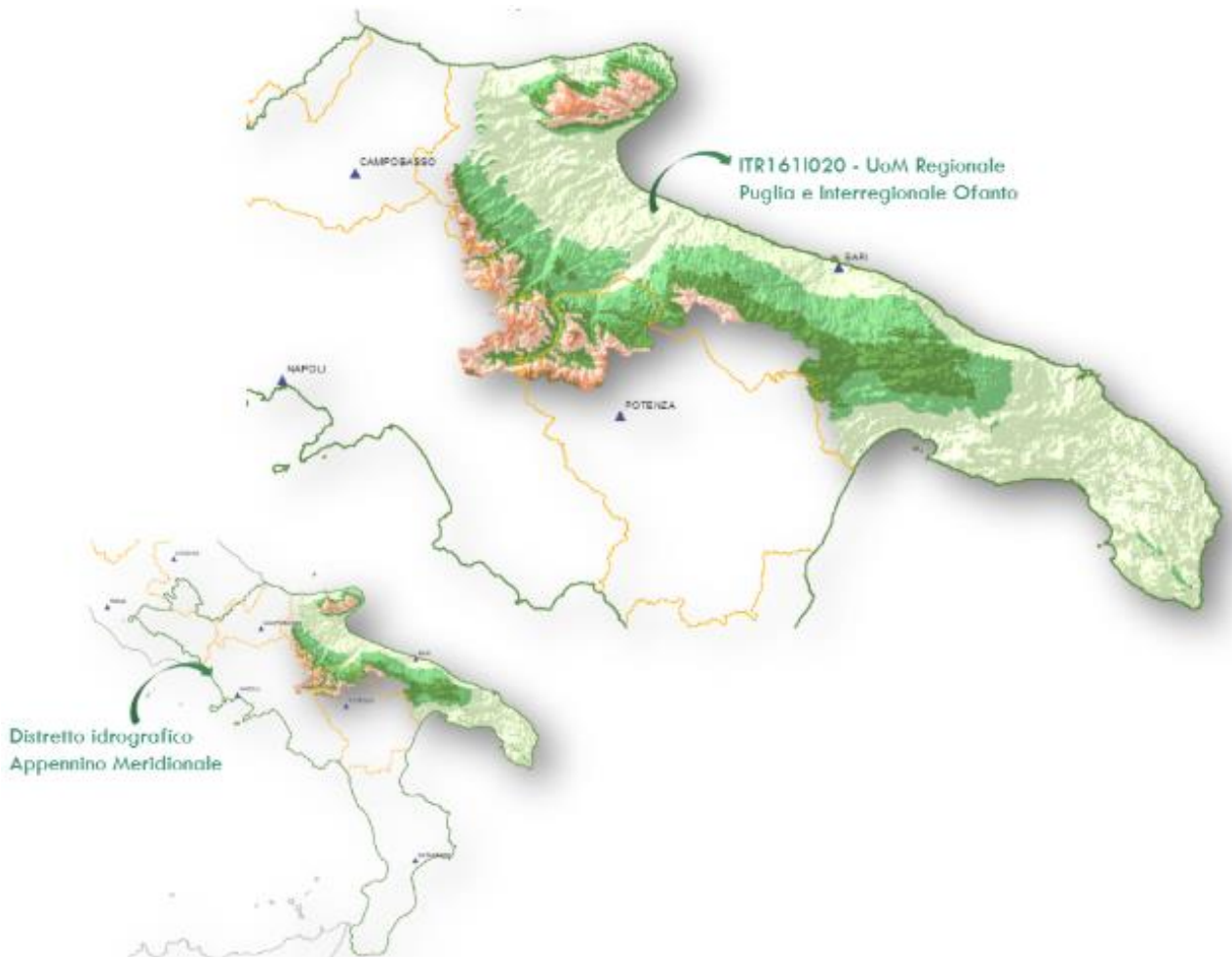


Fig.1 - Unit of Management Regionale Puglia e interregionale Ofanto.

Il reticolo idrografico oggetto di studio ricade tra quelli minori del fiume Ofanto (Fig.2); in particolare risultano oggetto di studio l'asta fluviale del Torrente Liento, quale affluente in destra idraulica del Fiume Ofanto, con sezione di chiusura posta in corrispondenza della Masseria Rapone, e l'asta fluviale che proviene dal Monte Rapone e caratterizza il Vallone Silla nel territorio comunale di Rapone e che confluisce nel Torrente.

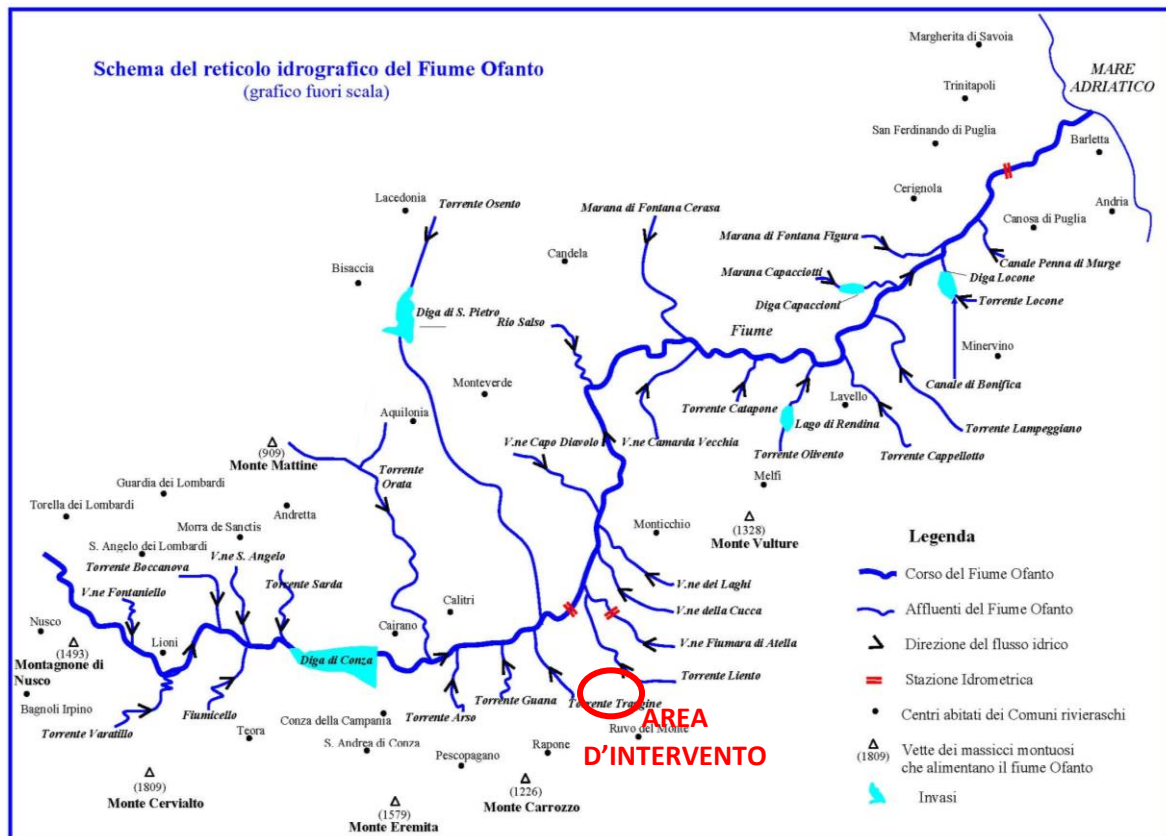


Fig.2 – Bacino del Fiume Ofanto con individuazione dell’area di intervento.

## 2.2 Pericolosità idraulica e NTA del PAI

Nella perimetrazione della AdB le aree oggetto di intervento non sono perimetrare né come a rischio idraulico, né come area a pericolosità idraulica.

## 2.3 Compatibilità idraulica degli interventi

Ai sensi delle NTA della su richiamata AdB ed in particolare dell’art. 10 “Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale” è necessario verificare la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica; il comma 2 dell’art. 10 così recita:

*2. All’interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all’art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell’Autorità di Bacino.*

L’art. 36 delle NTA definisce la sicurezza idraulica come:

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

**A vantaggio di sicurezza, nel presente studio idraulico si assumerà quali condizione di sicurezza minima il raggiungimento di un franco minimo di un metro al di sopra del tirante idrico corrispondente alla piena T=200 anni.**

### 3 Descrizione dei bacini sottesi alle sezioni del reticolo idrografico attraversato da viabilità e linee elettriche interrato

#### 3.1 Intersezioni con il reticolo idrografico esistente

Il tracciato di progetto della ciclovia, in corrispondenza del Sottotratto 4.2b-5 prosegue sulla strada a servizio dell'Acquedotto Pugliese in località Pagliarone, e interseca in due punti il reticolo idrografico del torrente Liento. In questi punti di intersezione, l'attraversamento dell'alveo fluviale è stato risolto tramite l'installazione di un ponte in legno lamellare, in modo tale da ridurre al minimo l'impatto ambientale per migliorarne l'integrazione. Lo studio idraulico in oggetto è stato realizzato considerando le sezioni di chiusura dei bacini idrografici sottesi posti in corrispondenza di tali intersezioni. La verifica è stata condotta allo scopo di verificare la compatibilità idraulica dei manufatti di progetto con il reticolo idrografico, alle condizioni precedentemente esposte.

Nel dettaglio le intersezioni sono rappresentate nello stralcio planimetrico di cui all'allegato A della presente relazione, dove sono anche riportati i bacini imbriferi sottesi alle sezioni di intersezione con il reticolo idrografico. Di seguito si riporta una tabella sintetica dei bacini sottesi alle sezioni di interesse del presente studio; nella tabella sono indicati per ciascuna interferenza l'estensione del bacino sotteso, la quota massima, minima e media del bacino. Per la verifica idraulica della sezione è stato ipotizzato una dimensione dei manufatti di progetto come quelli riportati nella tabella successiva e per i quali si rimanda, per maggiori approfondimenti, ai successivi livelli di progettazione.

Sezione	Superficie bacino		Z <sub>MAX</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>MIN</sub> [m s.l.m.]	Z <sub>MEDIA</sub> [m s.l.m.]	Tipologia sezione di progetto	Dimensione sezione	
	[km <sup>2</sup> ]	[ha]					H	B
	[m]	[m]						
<b>S1</b>	11,47	1147	1240	412	826	RETTANGOLARE	5	5
<b>S2</b>	12,12	1212	1125	410	767,5	RETTANGOLARE	10	20

#### 3.2 Uso del suolo e permeabilità dei bacini studiati

Dalla corografia riportata in allegato A è stato possibile evidenziare si evidenzia l'attuale uso del suolo di tipo agricolo, prevalentemente seminativo; i terreni proprio in ragione della attuale destinazione d'uso presentano una buona permeabilità e capacità di laminazione anche se limitata allo strato superficiale coltivato.

In ragione delle caratteristiche geologiche dei suoli (sabbie limose e argillose dello spessore di 1-4 m su unità conglomeratiche) e dell'uso agricolo del suolo, si ritiene che la permeabilità dei bacini studiati possa definirsi tra mediamente permeabile e permeabile ( $\varphi = 0.60-0.75$ ).

## 4 Studio idrologico

### 4.1 Generalità

Il presente studio idrologico è stato condotto rifacendosi alle procedure individuate dal Gruppo Nazionale Difesa della Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche nell'ambito degli studi per la "Valutazione delle Piene in Puglia" (a cura di Vito Antonio Copertino e Mauro Fiorentino, 1994), nel seguito, denominato "VAPI Puglia", che, nella sua stesura originaria, era concentrato al territorio a nord del fiume Ofanto e che, in fase successiva, è stato allargato all'intero territorio regionale nell'ambito degli studi per l'**Analisi regionale dei massimi annuali delle precipitazioni in Puglia centro-meridionale** (a cura del Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica del Politecnico di Bari, 2001). La procedura adottata e i calcoli effettuati sono ampiamente descritti nei paragrafi successivi.

Per quanto concerne, invece, la valutazione dei deflussi naturali del corso d'acqua in esame si è fatto ricorso all'analisi comparata dei risultati derivati dall'applicazione di alcuni modelli di trasformazione afflussi-deflussi. In particolare si sono utilizzate i risultati rivenienti dall'applicazione a scala regionale di due diversi approcci che si sono sinteticamente definiti con il nome di *modello empirico* e *modello razionale* e le cui peculiarità e limiti di applicabilità saranno dettagliatamente illustrati nel seguito.

I valori derivati dall'applicazione delle due metodologie su descritte sono stati successivamente confrontati con i risultati ottenuti dall'applicazione di formule semplificate basate sulla stima, di carattere geomorfologico, dei tempi di concentrazione propri del bacino.

### 4.2 Analisi regionale delle piogge in 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 che sono noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson,1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace,1982; Rossi et al. 1984). Questa 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 comporta che il fatto che in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

Il progetto VAPI sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha proposto una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali. Tale progetto fornisce uno strumento atto a comprendere i fenomeni coinvolti nella produzione delle portate di piena naturali e ad effettuare previsioni sui valori futuri delle piene in una sezione di un bacino naturale con il minimo possibile di incertezza. Il progetto VAPI della



regione Puglia rivolge particolare attenzione all'analisi regionale delle precipitazioni estreme e delle portate al colmo di piena. La distribuzione utilizzata per l'analisi regionale delle piogge, rispettando una certa omogeneità di procedura per tutti i rapporti regionali VAPI, è la TCEV. Questa procedura ha mostrato una buona adattabilità alle serie storiche delle massime altezze di pioggia di durata variabile, anche in altre regioni meridionali, quali la Basilicata (Fiorentino et al., 1987; Gabriele e Iritano, 1994), la Campania (Rossi e Villani, 1994), la Calabria (Versace, Ferrari, Gabriele e Rossi, 1989) e la Sicilia (Cannarozzo e Ferro, 1991).

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

Le osservazioni pluviometriche interessano il periodo dal 1916 al 1994 in tutte le stazioni di studio con almeno quindici anni di misure dei massimi annuali delle precipitazioni giornaliere ed orarie. L'incertezza della stima derivante dagli errori di misura ha indotto una preliminare osservazione sul tipo di strumento di misura adoperato e su eventuali cessazioni di funzionamento di alcune stazioni. Occorre specificare l'assenza di dati disponibili per un arco temporale dal 1940 al 1950. Tuttavia si è potuto disporre di serie, variabili da un minimo di 19 ad un massimo di 47 dati, per un numero totale di stazioni pari a 129 con una distribuzione spaziale all'interno della regione che appare omogenea su tutto il territorio.

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  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$  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  $\Lambda_1$  che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione). Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di aree più piccole, 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  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ . Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 129 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  $\theta^*$  e  $\Lambda^*$ .

comprensiva di tutte le stazioni della regione. Analogamente alla procedura operata al I° livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle CDF 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  $\Lambda_1$ .

Alla luce di tali risultati ottenuti è stato possibile evidenziare come l'intero territorio di competenza del compartimento di Bari del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale risulta diviso, al primo e secondo livello, in due sottozone. La prima (Copertino e Fiorentino, 1994), nel seguito definita Puglia Settentrionale, comprende la Capitanata, il Sub-appennino Dauno, il Gargano e l'Alta Murgia, mentre la seconda (Dipartimento di Ingegneria delle Acque e di Chimica del Politecnico di Bari, 2001), definita Puglia Centro Meridionale, include la restante parte del Tavoliere e della Murgia e la Penisola Salentina.

Nelle due tabelle a seguire sono riepilogati i risultati ottenuti in tutta la regione.

	$\theta^*$	$\Lambda^*$	$\Lambda_1$	$\eta$
<b>Puglia Settentrionale</b>	2.351	0.772	44.63	5.662
<b>Puglia Centro-meridionale</b>	2.121	0.353	17.55	

**Tabella 1.** Parametri regionali della TCEV di I° e II° livello.

	$C_a$	$\sigma^2(C_a)$	<b>CV</b>	$\sigma^2(CV)$
<b>Puglia Settentrionale</b>	1.66	0.52	1.31	0.554
<b>Puglia Centro-meridionale</b>	1.31	0.50	0.45	0.007

**Tabella 2.** Asimmetria ( $C_a$ ) (cfr. equ. 32) e coefficienti di variazione (**CV**) osservati.

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata  $X_{d,T}$  viene espressa in funzione di una quantità  $KT$ , 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:

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T})} \quad (1)$$

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 Puglia. In realtà non viene fornita l'espressione diretta di  $K_T$  in funzione di T, ma l'espressione inversa, nella forma:

$$T = \frac{1}{1 - F_K(k)} = \frac{1}{1 - \exp(-\Lambda_1 e^{-\eta k_T} - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} e^{-\eta k_T / \theta_*})} \quad (2)$$

dove  $\theta_*$ ,  $\Lambda_*$  e  $\Lambda_1$  sono i parametri di forma e di scala della TCEV che assieme al valore del parametro  $\eta$ , assumono i valori riassunti nella tabella 1 riportata in precedenza.

La risoluzione dell'equazione (2) può essere ottenuta per via numerica e nel seguito si riportano i valori di  $K_T$  ottenuti numericamente dalle equazioni precedenti.

#### Puglia Settentrionale

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T$	0.91	1.26	1.53	1.81	1.90	2.10	2.19	2.48	2.77	3.15	3.43

#### Puglia Centro meridionale

T (anni)	5	10	20	30	40	50	100	500	1000
$K_T$	1.26	1.53	1.82	2.00	2.13	2.23	2.57	3.38	3.73

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della (2) 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 (Rossi e Villani, 1995):

$$K_T = \left( \frac{\theta_* \ln \Lambda_*}{\eta} + \frac{\ln \Lambda_1}{\eta} \right) + \frac{\theta_*}{\eta} \ln T \quad (3)$$

che, dati i valori assunti dai parametri della TCEV nelle due regioni omogenee della Puglia, assumono le seguenti espressioni:

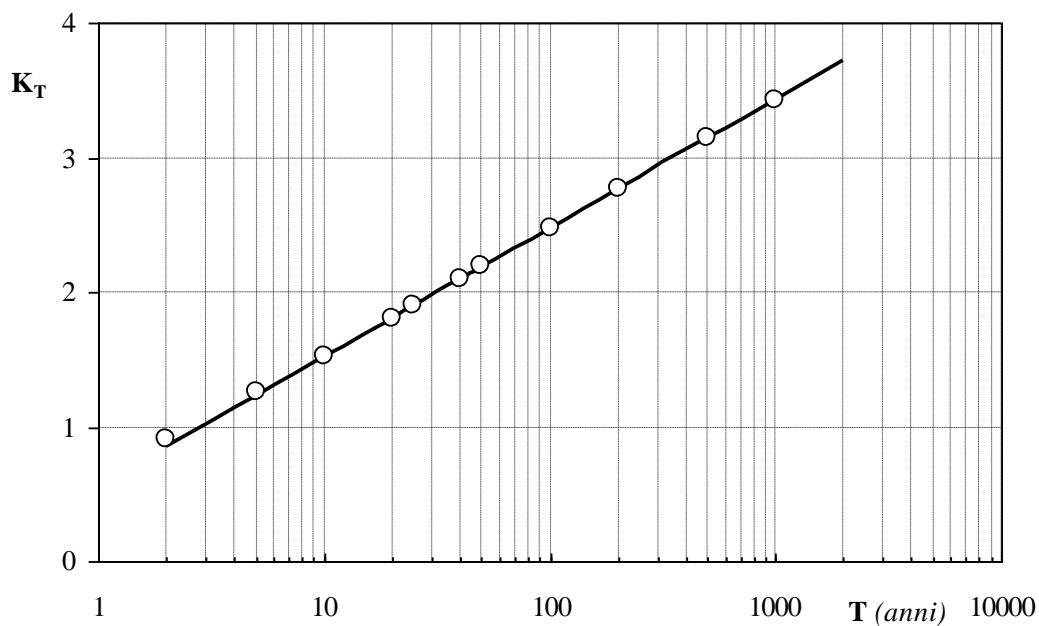
$$\text{Puglia Settentrionale} \quad K_T = 0.565 + 0.415 \ln T \quad (4)$$

$$\text{Puglia Centro meridionale} \quad K_T = 0.160 + 0.517 \ln T \quad (5)$$

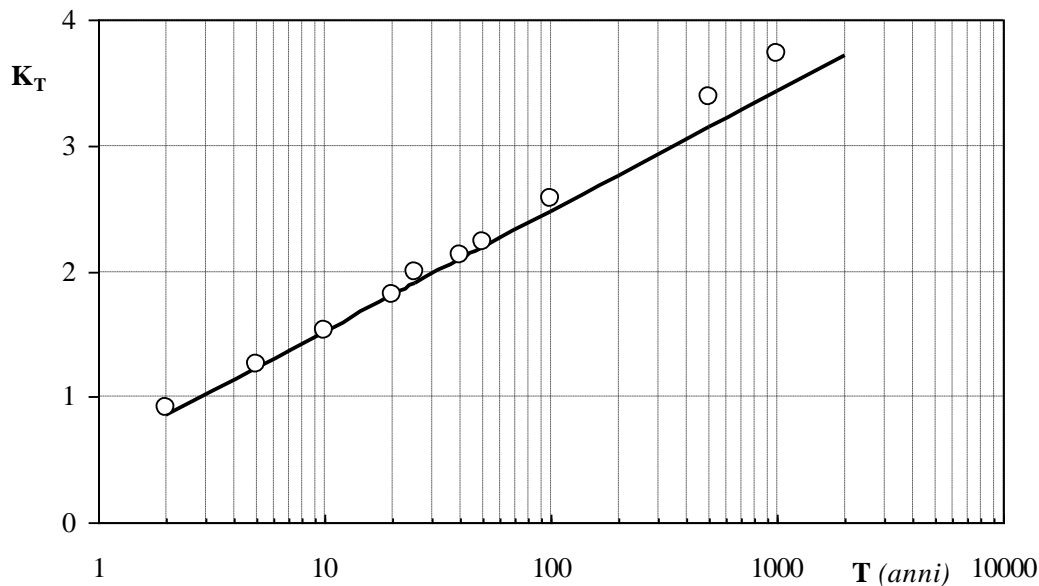
Va tuttavia osservato che l'uso delle equazioni (4) e (5) comporta alcune approssimazioni: in particolare la (4) determina per precipitazioni con tempo di ritorno superiore a 5 anni, un errore sempre inferiore al 3%, laddove la (5) comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per  $T < 50$  anni e superiori al 5% per  $T < 100$  anni.

In figura 1 i valori dei coefficienti di crescita  $K_T$  delle piogge, ottenuti dall'applicazione rigorosa della (2), sono confrontati con le espressioni analitiche definite dalla (4) e dalla (5).

### Puglia Settentrionale



### Puglia Centro Meridionale

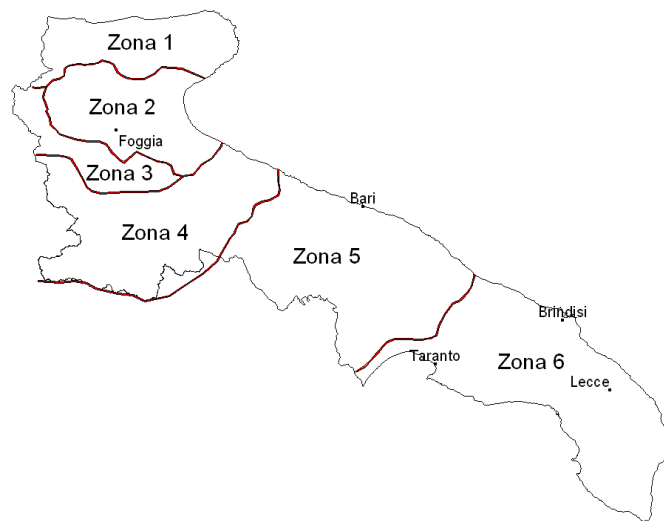


**Figura 1.** Coefficienti di crescita al variare del tempo di ritorno

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali. Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio  $\mu(X_d)$  dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n \quad (6)$$

essendo **a** ed **n** due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di *curva di probabilità pluviometrica*. Nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia (Copertino e Fiorentino, 1994) fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera  $\mu(X_g)$  e quota, mentre lo studio condotto nell'area centro-meridionale della Puglia (DIAC – Politecnico di Bari, 2001), determina 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. In figura 2 si riporta la regionalizzazione al III° livello ottenuta per la regione Puglia.



**Figura 2.** Regione Puglia: zone omogenee al III° livello

Ognuna di queste aree è caratterizzata da una correlazione lineare, con elevati valori dell'indice di determinazione, tra i valori  $\mu(X_g)$  e le quote *Z* delle stazioni pluviometriche:

$$\mu(X_d) = C * Z + D \quad (7)$$

in cui *C* e *D* sono parametri che dipendono dall'area omogenea. 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 diverse aree in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = a d^{(CZ+D+\log\alpha-\log a)/\log 24} \quad (8)$$

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

Per la Puglia il valore del coefficiente  $\alpha$  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 sei zone individuate, i valori dei parametri sono riportati nella tabella che segue.

<b>Zona</b>	$\alpha$	$a$	$C$	$D$	$n$
1	0.89	28.66	0.000503	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 3.** Parametri caratteristici delle zone omogenee al III° livello.

### 4.3 Determinazione delle curve di possibilità climatica

Le procedure di regionalizzazione descritte in precedenza hanno consentito, quindi, di determinare le curve di possibilità climatiche al variare del tempo di ritorno per il bacino imbrifero in esame.

In particolare l'area oggetto di studio ricade interamente nella Zona 4.

Il rapporto VAPI Puglia assegna alla Zona 4 la seguente legge di variazione dei valori medi delle altezze di pioggia dei massimi annuali in funzione della durata dell'evento:

$$\text{zona 4} \quad \mu(X_d) = 24.7 d^{0.256} \quad (9.1)$$

Il passaggio dal valore medio dei massimi annuali, ovvero dalla (9.1), al valore massimo dell'altezza di pioggia con prefissato tempo di ritorno si effettua utilizzando il *fattore probabilistico di crescita*  $K_T$ , descritto in precedenza e i cui valori numerici sono quelli riportati nella tabella relativa alla Puglia Settentrionale, ovvero rivenienti dall'applicazione dell'equazione (4).

Noti quindi i valori delle grandezze riportate in precedenza e quelli dei coefficienti di crescita è quindi possibile definire i valori delle grandezze idrologiche di interesse in corrispondenza di diversi tempi di ritorno.

### 4.4 Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena

Il rapporto VAPI Puglia (Copertino e Fiorentino, 1994) definisce altresì anche le procedure di stima delle portate al colmo in bacini che si presentano non monitorati, come il bacino oggetto della presente indagine. Detta indagine è stata condotta avvalendosi dei dati resi disponibili dalle stazioni di misura della portata presenti sul territorio regionale pugliese, e in particolare ci si riferisce a 20 stazioni, tutte contenute nel territorio settentrionale della Puglia, con una base di dati variabile tra un minimo di 7 e un massimo di 53 anni di osservazione. Si osserva che delle 20 stazioni utilizzate 9 appartengono al bacino dell'Ofanto, 9 a quello del Candelaro, mentre i bacini del Carapelle e del Cervaro sono monitorati con una sola stazione.

In tabella 4 si riportano, per tutte le stazioni utilizzate, oltre alla base dati utilizzata, i parametri statistici principali così riassunti: media  $E(x)$  dei massimi valori annuali, coefficiente di variazione (CV) e coefficiente di asimmetria ( $C_a$ ).

# sezione	Sezione	N. dati	E(x) m <sup>3</sup> /s	CV	C <sub>a</sub>
1.1	Ofanto a S. Samuele a Cafiero	47	517.6	0.432	0.37
1.2	Ofanto a Cairano	23	208	0.393	0.03
1.3	Atella a Ponte sotto Atella	45	61.3	0.574	0.92
1.4	Ofanto a Monteverde Scalo	52	436.7	0.584	0.51
1.5	Arcidiaconata a Ponte Rapolla-Lavello	32	44.9	0.649	0.80
1.6	Lapilloso a Ponte SS. 168	11	10.4	0.872	0.51
1.7	Venosa a Ponte Ferroviario	13	39.9	0.969	1.31
1.8	Venosa a Ponte S. Angelo	34	55.8	1.181	2.13
1.9	Locone a Ponte Brandi	10	43.3	1.413	2.16
2.1	Carapelle a Carapelle	36	283.7	0.568	1.27
2.2	Cervaro ad Incononata	53	215.8	0.578	0.62
3.1	Candelaro a Strada bonifica n. 24	7	140.7	0.407	0.39
3.2	Celone a S. Vincenzo	15	31.8	0.609	1.10
3.3	Celone a P.te Foggia-S. Severo	39	45.7	0.718	2.31
3.4	Vulgano a P.te Troia-Lucera	18	74.7	0.802	0.37
3.5	Casanova a P.te Lucera-Motta	15	27.5	0.806	1.06
3.6	Salsola a Casanova	18	45.5	0.737	1.09
3.7	Salsola a P.te Foggia-S. Severo	42	76.1	0.544	0.27
3.8	Triolo a P.te Lucera-Torremaggiore	15	36.5	0.698	0.29
3.9	S.Maria a P.te Lucera-Torremaggiore	14	18.9	0.920	0.76

**Tabella 4.** Parametri statistici principali delle stazioni idrometrografiche indagate

Nel seguito si fa riferimento alle procedure di stima della portata media dei massimi annuali, nel seguito denominata piena indice, la quale, alla stregua di quanto già fatto per le precipitazioni pluviometriche, rappresenta il fattore base a partire dal quale, attraverso la stima del fattore di probabilistico di crescita  $K_T(Q)$ , è possibile ottenere i valori della portata massima attesa al variare del tempo di ritorno.

Va preliminarmente osservato come la piena media annua presenta normalmente una varianza spaziale molto più elevata di quella campionaria, per cui occorre tener conto dell'incidenza dei fattori climatici e geomorfologici al fine di superare tale difficoltà. In particolare occorre costruire modelli concettuali che mettano in relazione alcune grandezze fisiche del bacino con la piena indice. L'identificazione della struttura di tale modello può essere ottenuta attraverso un certo numero di approcci (Hromadka & Whitley, 1989) che si possono essere ricondotti essenzialmente a due metodologie:

- approcci di tipo puramente empirico;
- approcci che si basano su modelli geomorfoclimatici, di cui un caso notevole è rappresentato dal tradizionale metodo razionale.

Nel seguito si daranno alcune informazioni in merito ai due differenti approcci (modello empirico e modello razionale) che nel seguito saranno utilizzati per stimare il valore della piena indice.

#### 4.5 Stima della piena indice: modello empirico

Ai fini della regionalizzazione della piena indice con modelli di regressione, per l'insieme delle 20 stazioni idrometriche pugliese, sono state prese in considerazione, oltre all'area, una serie di grandezze che descrivono le principali caratteristiche climatiche e fisiografiche del bacino. In particolare si sono considerate:

1. **grandezze altimetriche** (quota media, massima e minima ed acclività media dei versanti);
2. **grandezze geomorfologiche riguardanti il reticolo** (numero di aste, densità di drenaggio);
3. **grandezze geometriche riguardanti i canali di drenaggio**;

L'analisi condotta ha evidenziato una certa dipendenza del dato con l'area del bacino, anche se con una qualche incertezza, attraverso una relazione del tipo:

$$\mu(Q) = aA^b \quad (10)$$

nella quale  $\mu(Q)$  rappresenta la piena indice,  $A$  l'area del bacino e  $a$  e  $b$  due coefficienti stimati attraverso il processo di regressione. In particolare, la relazione che meglio individua il valore della piena indice nei corsi d'acqua pugliesi ha l'espressione seguente:

$$\mu(Q) = 1.556A^{0.71} \quad (11)$$

Sulla significatività della (11) occorre però fare qualche considerazione. Essa, infatti, pur mostrando che gran parte della variabilità spaziale di  $\mu(Q)$  è spiegata dalla superficie  $A$ , nulla esprime sul confronto tra la varianza dei residui del modello di regressione e la varianza campionaria di  $\mu(Q)$  che è generalmente piccola. Per poter eseguire tal confronto si sono analizzate le fasce di confidenza relative alla variabilità campionaria attesa di  $\mu(Q)$ , con un livello di significatività del 5%. Esse sono state valutate con riferimento alla dimensione media dei campioni di dati disponibili, evidenziando come gran parte dei dati osservati vada ben oltre i limiti attesi per lo scostamento di  $\mu(Q)$  dalla retta di regressione. Tale osservazione induce a ritenere come l'approccio definito dalla (11) possa essere utilizzato solo per valutazioni di prima approssimazione.

#### 4.6 Stima della piena indice: modello razionale

In genere ad eventi di pioggia brevi ed intensi corrispondono, di solito, deflussi di piena, nella sezione terminale del bacino, dovuti essenzialmente allo scorrimento delle acque sui versanti e nei canali della rete idrografica. Il bilancio idrologico del bacino, durante i fenomeni di piena, può pertanto essere schematizzato considerando che fra i volumi di ingresso e quelli di uscita si stabilisce una relazione per effetto della concomitante trasformazione subita dai due sottosistemi che costituiscono il bacino: sui versanti, un'aliquota delle precipitazioni totali viene persa a causa del fenomeno dell'infiltrazione; nella rete idrografica l'aliquota delle piogge efficaci derivanti dai versanti viene invasata e trasportata nella sezione di sbocco a costituire l'idrogramma di piena, che si manifesta con un certo ritardo nei confronti del pluviogramma che lo ha generato.

Il rapporto tra tali volumi (volume di piena e precipitazioni totali), in un prefissato intervallo di tempo, si definisce **coefficiente probabilistico di piena  $C^*$** . Tale coefficiente può essere assunto a caratterizzare la risposta del bacino nei riguardi delle perdite per infiltrazione nelle seguenti ipotesi:

- la formazione del deflusso superficiale avviene per eccesso di infiltrazione ovvero con prevalente meccanismo hortoniano, non lineare ma a soglia alla scala puntuale;
- la capacità di infiltrazione è fortemente variabile, in maniera casuale, da un punto all'altro del bacino; ciò rende la trasformazione globale del bacino, da pioggia totale a pioggia efficace più lineare;
- il coefficiente  $C^*$  schematizza, con una relazione di proporzionalità diretta, la relazione capacità di infiltrazione areale - intensità di pioggia areale, che viene linearizzata nel campo dei valori di intensità di pioggia di interesse.

Il comportamento della rete idrografica, considerata alla stregua di un operatore lineare, è noto quando si conosca la risposta ad un ingresso impulsivo unitario detto anche IUH (*Instantaneous Unit Hydrograph*). Nell'ipotesi di adottare un pluviogramma rettangolare, l'idrogramma di piena corrispondente ha ordinata al colmo proporzionale all'intensità di pioggia per mezzo di un coefficiente di attenuazione di piena  $S(d)$  (Wood & Hebson, 1986) che ha la seguente espressione analitica:

$$S(d) = \int_{t_p-d}^d u(\tau) d\tau \quad (12)$$



ove  $u(\tau)$  è IUH del bacino, mentre  $t_p$  l'istante in cui avviene il picco, misurato a partire dal momento di inizio della pioggia.

La portata al colmo di piena per ciascuna unità di area risulta, quindi, proporzionale al prodotto tra il coefficiente di attenuazione della piena e il valore dell'intensità di pioggia al variare della durata  $d$ . Va evidenziato che, all'aumentare della durata  $d$ , mentre il valore dell'intensità di pioggia tende a diminuire, quello del coefficiente di attenuazione tende ad aumentare, per cui esiste un valore della durata che rende massimo tale prodotto e definisce il valore  $t_r$  che ha il significato di tempo di ritardo del bacino.

Il tempo di ritardo di un evento di piena rappresenta quindi la distanza temporale tra i baricentri dell'idrogramma di piena superficiale e lo ietogramma efficace che lo ha generato.

Ne rinviene che la piena indice può essere definita come segue:

$$\mu(Q) = \frac{C^* K_A(t_r) \mu[I_A(t_r)] A}{3.6} \quad (13)$$

ove  $A$  la superficie del bacino espressa in  $Km^2$  e il fattore 3.6 tiene conto delle unità di misura normalmente utilizzate nella valutazione delle grandezze di interesse.

I parametri del modello, cioè il coefficiente di piena  $C^*$  e il tempo di ritardo del bacino  $t_r$  possono essere valutati in base alle seguenti espressioni valide su base regionale:

$$C^* = 0.09 + 0.47 (1 - PE) \quad (14)$$

$$t_r = 0.344A^{0.5} \quad (15)$$

nelle quali  $PE$  è la percentuale di superficie del bacino caratterizzata da permeabilità medio-elevata.

La valutazione dell'intensità della pioggia media sull'intero bacino viene effettuata attraverso il coefficiente di riduzione areale  $K_A(d)$  che ha espressione:

$$K_A(d) = 1 - \left[ 1 - e^{-c_1 A} \right] e^{-c_2 d^{c_3}} \quad (16)$$

ove i coefficienti  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$  valgono rispettivamente 0.0021, 0.53 e 0.25.

#### 4.7 Valutazione del fattore probabilistico di crescita delle portate

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. Tale esigenza è legata all'applicazione della (1); in particolare per la Puglia, l'analisi regionale delle portate conduce all'individuazione di un'unica zona omogenea ai primi due livelli. Essa è caratterizzata dai seguenti valori dei parametri della TCEV:

$$\theta^* = 2.654$$

$$\Lambda^* = 0.350$$

$$\Lambda_1 = 5$$

$$\eta = 2.937$$

Tali valori permettono, attraverso la (2), di ottenere numericamente i valori dei coefficienti probabilistici di piena al variare del tempo di ritorno. Alcuni di essi sono riportati a seguire.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
$K_T(Q)$	0.83	1.39	1.85	2.37	2.55	2.95	3.15	3.76	4.39	5.22	5.84

Analogamente a quanto già effettuato con le piogge, il fattore probabilistico di crescita delle portate può essere approssimati con una relazione (cfr. equ. 3) avente espressione:

$$K_T(Q) = -0.4007 + 0.904 \ln T \quad (17)$$

che determina errori nella stima di  $K_T(Q)$  sempre inferiori al 10%. Un confronto tra la (17) e i valori numericamente derivati dalla applicazione della (2) è riportato in figura 3.

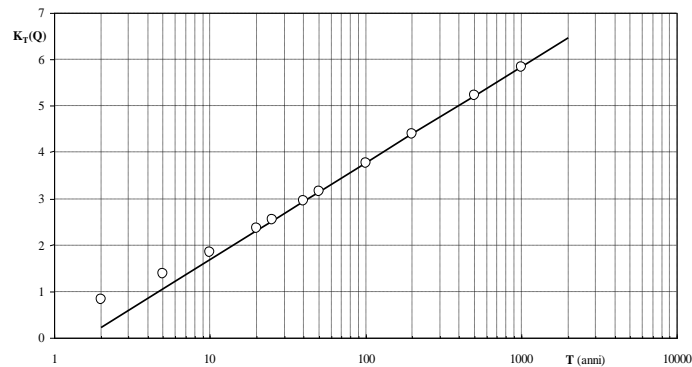


Figura 3. Fattore probabilistico di crescita delle portate

## 4.8 Valutazione della piena indice e delle portate di piena nei bacini sottesi alle sezioni di calcolo

A seguire sono riportati i valori delle portate massime che interessano il bacino in esame, calcolate con le metodologie illustrate in precedenza. Allo scopo si sono considerati tempi di ritorno di 200 anni, calcolando contestualmente il coefficiente udometrico (in  $l/s\ ha$ ), ottenuto dai valori delle suddette portate massime qualora divise per la superficie del bacino.

I valori delle portate massime così calcolate hanno costituito la base per le verifiche successive. In particolare, si è scelto di fare riferimento, nei calcoli idraulici, alla media aritmetica tra i valori ricavati dalle due metodologie. Va osservato che l'informazione geomorfologia del bacino in esame è stata derivata, in via informatica, avvalendosi della base cartografica CTR 5.000 attraverso sistema informativo territoriale. Di seguito si riporta un riepilogo sintetico delle formulazioni utilizzate e dei risultati dei due metodi:

### MODELLO RAZIONALE

$$Q_T = k_T Q_m$$

$$Q_m = C \cdot k_A(t_r) I(t_r) A/3,6 \quad [mc/s]$$

$$C = 0,09 + 0,47(1 - PE)$$

PE rapporto tra area ad elevata-media permeabilità e area totale del bacino

$t_r$  tempo di ritardo del bacino, valutato secondo la relazione

$$t_r = 0,344 A^{0,5}$$

A area del bacino in kmq

$k_A$  coefficiente di riduzione areale, variabile di A (kmq) e  $t_r$  (durata dell'evento di pioggia)

$$k_A = 1 - (1 - e^{(-0,021A)}) e^{(-0,53tr^{0,25})}$$

$I(t_r)$  intensità di pioggia da ricavare come rapporto tra  $h(t_r)/t_r$

$h(t_r)$  legge di variazione pluviometrica valida per il bacino

$k_T$  fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena

$$k_T = -0,4007 + 0,904 \ln T$$

### MODELLO EMPIRICO

$$Q_T = k_T Q_m$$

$$Q_m = 1,556 A^{0,71}$$

A area del bacino in kmq

$k_T$  fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena secondo

$$k_T = -0,4007 + 0,904 \ln T$$

**SINTESI RISULTATI: sezione S1**

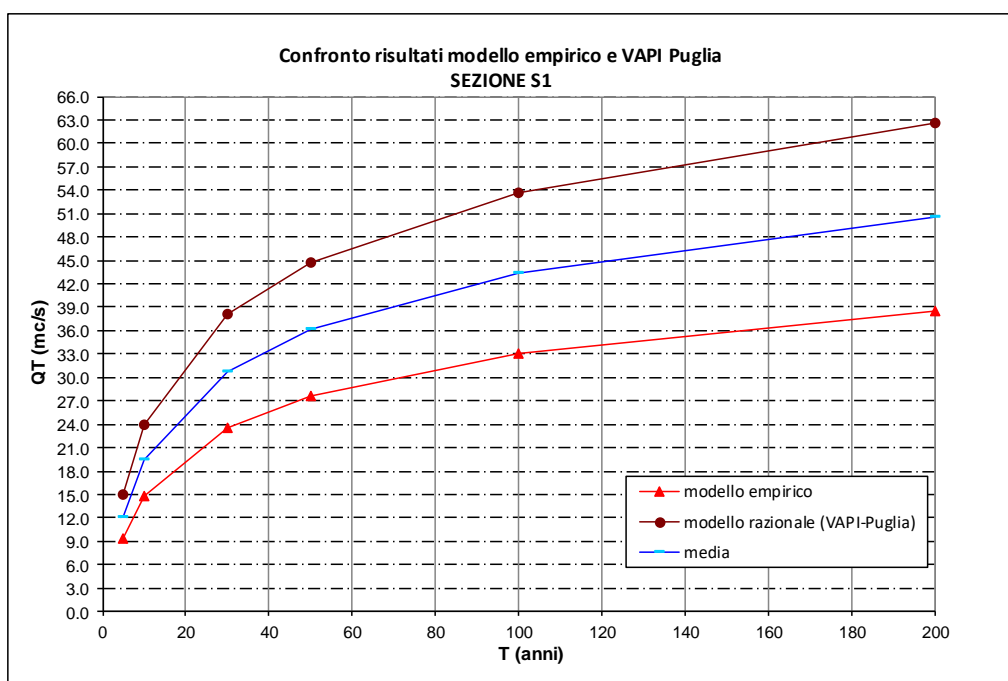
**MODELLO RAZIONALE**

A	11.470	area del bacino in kmq
PE	70%	rapporto tra area ad elevata-media permeabilità e area totale del bacino
C*	0.231	coefficiente di afflusso
t <sub>r</sub>	1.17	tempo di ritardo del bacino in ore
k <sub>A</sub>	0.879	coefficiente di riduzione areale, variabile di A (kmq) e tr (durata dell'evento di pioggia)
Z <sub>m</sub>	826	quota media del bacino sotteso alla sezione di chiusura oggetto di studio
a	24.70	coefficiente "a" della legge di pioggia [relazione (9.1)], in mm/h
n	0.256	esponente "n" della legge di pioggia [relazione (9.1)]
h(t <sub>r</sub> )	25.7	media dei valori massimi delle altezze di pioggia in mm calcolata con la <b>relazione (9.1)</b>
I(t <sub>r</sub> )	22.0	intensità di pioggia in mm/h
<b>Q<sub>m</sub></b>	<b>14.27</b>	<b>piena indice in mc/s</b>
T	200	anni
k <sub>T</sub>	4.39	fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena secondo
Q <sub>T</sub>	62.61	portata massima per fissato periodo di ritorno T in mc/s
u	55	coefficiente udometrico (l/s/ha)

**MODELLO EMPIRICO**

A	11.470	area del bacino in kmq
<b>Q<sub>m</sub></b>	<b>8.80</b>	<b>piena indice in mc/s</b>
T	200	anni
k <sub>T</sub>	4.39	fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena secondo
Q <sub>T</sub>	38.61	portata massima per fissato periodo di ritorno T in mc/s
u	34	coefficiente udometrico (l/s/ha)

T	K <sub>T</sub>	modello empirico			modello razionale (VAPI)			media	
		m(Q)	K <sub>T</sub> m(Q)	u	m(Q)	K <sub>T</sub> m(Q)	u	K <sub>T</sub> m(Q)	u
anni	-	mc/s	mc/s	l/s/ha	mc/s	mc/s	l/s/ha	mc/s	l/s/ha
5	1.054	8.80	9.27	8	14.27	15.04	13	12.16	10.6
10	1.681	8.80	14.79	13	14.27	23.98	21	19.38	16.9
30	2.674	8.80	23.52	21	14.27	38.15	33	30.83	26.9
50	3.136	8.80	27.58	24	14.27	44.73	39	36.16	31.5
100	3.762	8.80	33.09	29	14.27	53.67	47	43.38	37.8
<b>200</b>	<b>4.389</b>	<b>8.80</b>	<b>38.61</b>	<b>34</b>	<b>14.27</b>	<b>62.61</b>	<b>55</b>	<b>50.61</b>	<b>44.1</b>



**SINTESI RISULTATI: sezione S2**

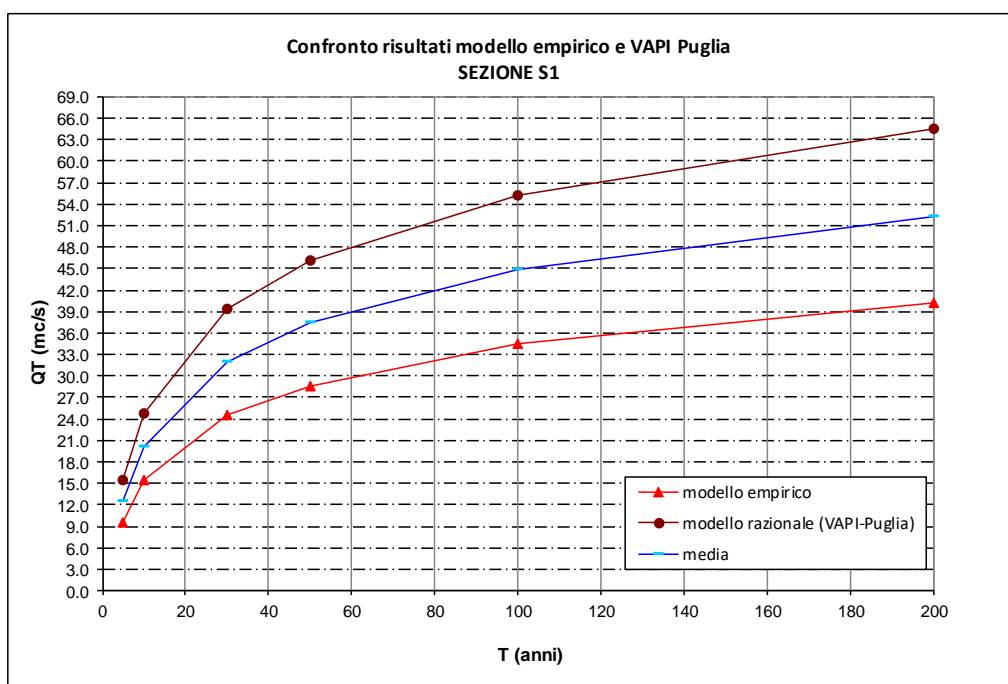
**MODELLO RAZIONALE**

A	12.120	area del bacino in kmq
PE	70%	rapporto tra area ad elevata-media permeabilità e area totale del bacino
C*	0.231	coefficiente di afflusso
t <sub>r</sub>	1.20	tempo di ritardo del bacino in ore
k <sub>A</sub>	0.874	coefficiente di riduzione areale, variabile di A (kmq) e tr (durata dell'evento di pioggia)
Z <sub>m</sub>	767.5	quota media del bacino sotteso alla sezione di chiusura oggetto di studio
a	24.70	coefficiente "a" della legge di pioggia [relazione (9.1)], in mm/h
n	0.256	esponente "n" della legge di pioggia [relazione (9.1)]
h(t <sub>r</sub> )	25.9	media dei valori massimi delle altezze di pioggia in mm calcolata con la <b>relazione (9.1)</b>
I(t <sub>r</sub> )	21.6	intensità di pioggia in mm/h
<b>Q<sub>m</sub></b>	<b>14.68</b>	<b>piena indice in mc/s</b>
T	200	anni
k <sub>T</sub>	4.39	fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena secondo
Q <sub>T</sub>	64.45	portata massima per fissato periodo di ritorno T in mc/s
u	53	coefficiente udometrico (l/s/ha)

**MODELLO EMPIRICO**

A	12.120	area del bacino in kmq
<b>Q<sub>m</sub></b>	<b>9.15</b>	<b>piena indice in mc/s</b>
T	200	anni
k <sub>T</sub>	4.39	fattore di crescita dipendente dal tempo di ritorno T dell'evento di piena secondo
Q <sub>T</sub>	40.15	portata massima per fissato periodo di ritorno T in mc/s
u	33	coefficiente udometrico (l/s/ha)

T	K <sub>T</sub>	modello empirico			modello razionale (VAPI)			media	
		m(Q)	K <sub>T</sub> m(Q)	u	m(Q)	K <sub>T</sub> m(Q)	u	K <sub>T</sub> m(Q)	u
anni	-	mc/s	mc/s	l/s/ha	mc/s	mc/s	l/s/ha	mc/s	l/s/ha
5	1.054	9.15	9.64	8	14.68	15.48	13	12.56	10.4
10	1.681	9.15	15.38	13	14.68	24.68	20	20.03	16.5
30	2.674	9.15	24.46	20	14.68	39.27	32	31.86	26.3
50	3.136	9.15	28.68	24	14.68	46.05	38	37.37	30.8
100	3.762	9.15	34.42	28	14.68	55.25	46	44.83	37.0
<b>200</b>	<b>4.389</b>	<b>9.15</b>	<b>40.15</b>	<b>33</b>	<b>14.68</b>	<b>64.45</b>	<b>53</b>	<b>52.30</b>	<b>43.2</b>



## 5 Verifiche idrauliche

Al precedente paragrafo è stata condotta l'analisi idrologica sui due bacini di interesse adottando la modellazione suggerita dal rapporto VAPI Puglia (modello razionale) e confrontandolo con il modello empirico.

Il confronto dei due metodi evidenzia una notevole differenza tra i valori del metodo empirico (il metodo fa riferimento ai pochi dati reali sul deflusso disponibili) ed il metodo razionale (statistico) che notoriamente fornisce una sovrastima delle portate a vantaggio di sicurezza (il modello andrebbe calibrato con dati idrologici ed idrometrici propri di ciascun bacino).

Ai fini delle successive verifiche idrauliche delle sezioni S1 e S2, si considera la media aritmetica del valore di portata ricavato applicando i due modelli, e pertanto, per l'assegnato periodo di ritorno T, si farà riferimento ai valori riportati nella seguente tabella:

SEZIONE ALVEO	$Q_m$	$Q_{T200}$	$U_{T200}$	TIRANTE	FRANCO SICUREZZA
	(mc/s)	(mc/s)	(l/s/ha)	(m)	(m)
S1	<b>11.53</b>	<b>50.61</b>	<b>44.1</b>	<b>2.19</b>	<b>3.41</b>
S2	<b>11.92</b>	<b>52.30</b>	<b>43.2</b>	<b>1.41</b>	<b>9.19</b>

Le formulazioni utilizzate per la verifica delle sezioni sono le classiche dell'idraulica per correnti a pelo libero:

(18)  $Q = k' \sigma R^{2/3} i^{1/2}$  formula di Gaukler – Strickler

(19)  $H = h + v^2/2g$  carico idraulico totale

(20)  $1 - Q^2/g \sigma^3 I_m = 0$  equazione in stato critico

Da una valutazione delle sezioni ipotizzate, è stato possibile constatare che esse sono verificate per la condizione di stato critico, e rispettano il franco di sicurezza imposto dalle norme dell'Autorità di Bacino; tale schematizzazione si ritiene sufficientemente valida per ciascuna sezione di calcolo in ragione del fatto che il tratto di alveo oggetto di studio è caratterizzata da una forte pendenza tipica dei valloni a tempo e dei tratti iniziali degli alvei. Tuttavia, per ulteriori approfondimenti si rimanda ai successivi livelli di progettazione.

- **Sezione S1:** VERIFICHE SODDISFATTE; l'attraversamento con ponte in legno lamellare è compatibile con la piena  $Q_{T200}$ ; nessuna interferenza con la dinamica dell'alveo;
- **Sezione S2:** VERIFICHE SODDISFATTE; l'attraversamento con ponte in legno lamellare è compatibile con la piena  $Q_{T200}$ ; nessuna interferenza con la dinamica dell'alveo.

## 6 Considerazioni conclusive

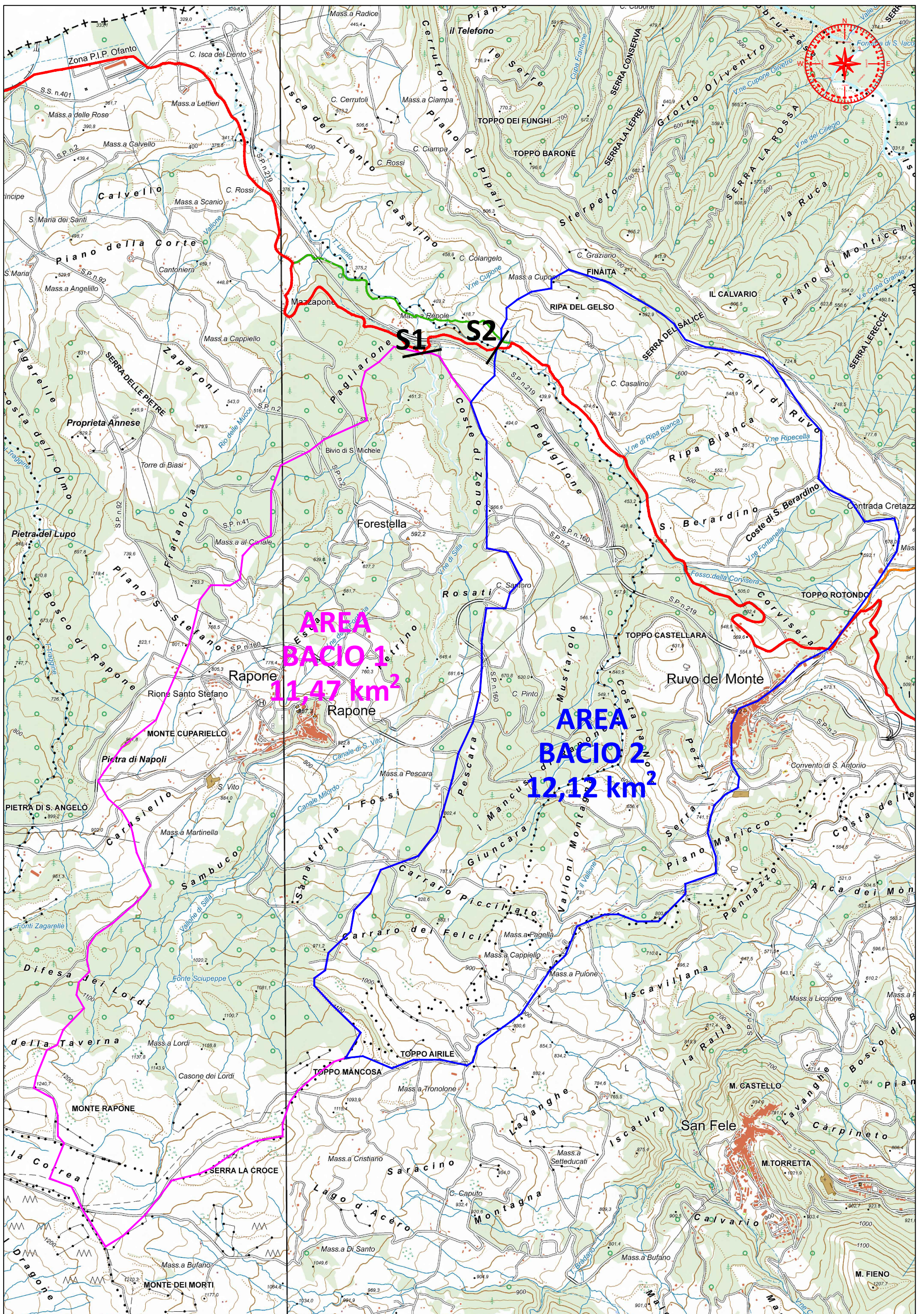
**Le risultanze dello studio evidenziano che le opere a realizzarsi non producono alcun effetto sul regime idraulico a monte e a valle delle sezioni di studio.**

**Ne consegue la piena compatibilità idrologica ed idraulica dell'intervento proposto.**

## 7 Allegati

Costituiscono parte integrante della presente relazione i seguenti allegati grafici:

- Allegato A – Inquadramento bacini idrografici – 1:25.000



**ALLEGATO A - INQUADRAMENTO BACINI IDROGRAFICI - Scala 1:25.000**