

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34G18000150001

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA FERROVIARIA VERONA – BRENNERO

NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA”

ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

Bacino del Fiume Isarco

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

IB01 00 D 09 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C.Cesali 	Giugno 2020	F.Cabas 	Giugno 2020	C. Mazzocchi 	Giugno 2020	A. Vittozzi Giugno 2020

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri delle Provincie di Roma
N° A20783

File: IB0100D09RIID0001001A.doc

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	RIFERIMENTI NORMATIVI	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO	7
3	BACINO DEL FIUME ISARCO	8
3.1	BACINO DEL RIO DI TILLES	9
4	STUDIO IDROLOGICO	11
4.1	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI	11
4.1.1	<i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche</i>	<i>11</i>
4.1.2	<i>Analisi pluviometrica "sito specifica" condotta dalla Provincia Autonoma di Bolzano</i>	<i>15</i>
4.1.3	<i>Curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma ferroviaria ..</i>	<i>16</i>
4.2	STIMA DELLE PORTATE AL COLMO	16
4.2.1	<i>Metodi di trasformazione afflussi-deflussi</i>	<i>16</i>
4.2.2	<i>Fiume Isarco</i>	<i>24</i>
4.2.3	<i>Fiume Rienza</i>	<i>26</i>
4.2.4	<i>Rio di Tilles</i>	<i>28</i>
4.2.5	<i>Dati di portata forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano</i>	<i>29</i>
4.3	CONFRONTI TRA I VALORI DI PORTATA AL COLMO OTTENUTI CON DIFFERENTI METODOLOGIE	30
4.4	DETERMINAZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO	32
5	BIBLIOGRAFIA	33

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento dell’area di studio.	7
Figura 2 – Bacini idrografici dei fiumi Isarco e Rienza.	9
Figura 3 – Bacino idrografico del Rio di Tilles.	10
Figura 4 – Bacino del Fiume Isarco: stazioni pluviometriche di riferimento e relativi topoi.	12
Figura 5 – Metodo SCS: idrogramma unitario standard.	20
Figura 6 – Tabella dal VA.PI. del Triveneto: relazioni per il calcolo della portata di piena media annua.	24
Figura 7 – Fiume Isarco: ietogrammi di progetto per vari tempi di ritorno.	25
Figura 8 – Fiume Rienza: ietogrammi di progetto per vari tempi di ritorno.	27
Figura 9 – Fiume Isarco: confronto tra i valori di portata ottenuti con differenti metodologie.	30
Figura 10 – Fiume Rienza: confronto tra i valori di portata ottenuti con differenti metodologie.	30
Figura 11 – Rio di Tilles: confronto tra i valori di portata ottenuti con differenti metodologie.	31
Figura 12 – Fiume Isarco: idrogrammi di piena di riferimento.	32
Figura 13 – Fiume Rienza: idrogrammi di piena di riferimento.	32

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini dei fiumi Isarco e Rienza.	9
Tabella 2 – Caratteristiche morfometriche del bacino del Rio di Tilles.	10
Tabella 3 – Stazioni pluviometriche di riferimento: parametri a e n, per vari tempi di ritorno.	14
Tabella 4 – Superficie dei singoli topoi.	15
Tabella 5 – Superficie dei singoli topoi.	15
Tabella 6 – Rio di Tilles: parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica, per vari tempi di ritorno.	16
Tabella 7 – Dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma (ferroviaria e stradale): parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica di riferimento.	16

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

Tabella 8 - Valori del CN per le differenti coperture del suolo del CLC al 3° livello (Elaborazione AdB-Toolbox).	18
Tabella 9 – Gruppi idrologici (fonte: ISPRA).....	19
Tabella 10 – Fiume Isarco: valori di altezza di pioggia, ragguagliata all’area, per vari tempi di ritorno (da analisi statistica secondo distribuzione di Gumbel).....	25
Tabella 11 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Isarco di interesse, secondo la metodologia a).....	25
Tabella 12 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Isarco di interesse, secondo la metodologia b).....	26
Tabella 13 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Isarco di interesse, secondo la metodologia c) – VA.P.I. del Triveneto.	26
Tabella 14 – Fiume Rienza: valori di altezza di pioggia, ragguagliata all’area, per vari tempi di ritorno (da analisi statistica secondo distribuzione di Gumbel).....	27
Tabella 15 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Rienza di interesse, secondo la metodologia a).....	27
Tabella 16 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Rienza di interesse, secondo la metodologia b).....	28
Tabella 17 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Rienza di interesse, secondo la metodologia c) – VA.P.I. del Triveneto.	28
Tabella 18 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del Rio di Tilles.	29
Tabella 19 – Valori di portata al colmo, per vari tempi di ritorno, relativi al bacino del F. Isarco di interesse, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.....	29
Tabella 20 – Valori di portata al colmo, per vari tempi di ritorno, relativi al bacino del F. Rienza di interesse, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.....	29
Tabella 21 – Valori di portata al colmo, per vari tempi di ritorno, relativi al bacino del Rio di Tilles, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.	29

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo "Adeguamento del piano di stazione di Bressanone", intervento funzionale alla variante ferroviaria denominata "Variante di Val di Riga", che conetterà direttamente la linea *San Candido - Fortezza* alla direttrice *Verona - Brennero*, mediante la realizzazione di una bretella che si svilupperà, in direzione Sud, fra Rio Pusteria e Bressanone.

L'intervento in progetto si sviluppa all'interno del bacino del Fiume Isarco, in corrispondenza della confluenza del Fiume Rienza. Nello specifico, la linea ferroviaria oggetto di intervento di adeguamento della stazione di Bressanone si sviluppa in affiancamento al Fiume Isarco (in un tratto caratterizzato da aree di pericolosità idraulica), attraversando il Rio di Tilles, suo affluente in destra idraulica. Non sono presenti/previste nuove opere di attraversamento sul Fiume Isarco.

E' stata condotta quindi l'analisi idrologica dei bacini idrografici (maggiori e minori) di interesse, finalizzata alla determinazione delle portate al colmo, da imporre come condizione al contorno nei modelli idraulici sviluppati, nonché delle curve di possibilità pluviometrica da adottare nel dimensionamento del sistema di drenaggio della piattaforma ferroviaria.

Nel dettaglio, lo studio è stato effettuato secondo le seguenti fasi:

- perimetrazione dei bacini idrografici e valutazione delle relative caratteristiche morfometriche;
- raccolta ed elaborazione delle osservazioni/registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura ricadenti nei sottobacini idrografici in esame;
- valutazione delle portate al colmo nelle sezioni di chiusura considerate, sulla base dei risultati *i)* dell'elaborazione statistica dei dati pluviometrici disponibili e *ii)* della procedura di regionalizzazione sviluppata nell'ambito del progetto VA.PI. del Triveneto;
- confronto dei valori di portata di picco calcolati con i corrispondenti valori forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) e scelta della portata di piena di progetto per i differenti tempi di ritorno (T_r) considerati;
- determinazione degli idrogrammi di piena di riferimento.

Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto nell'ambito del *Piano delle zone di Pericolo* (2019) redatto dalla Provincia Autonoma di Bolzano nonché nel *Manuale di Progettazione Ferroviaria* (RFI, 2020) e nelle *Nuove NTC2018* (e relativa circolare esplicativa, n.7/2019).

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

1.1 Riferimenti normativi

Di seguito, la normativa nazionale e regionale di riferimento:

- Regio Decreto (R.D.) n. 3918/1877
- ***R.D. 27 luglio 1904, n. 523***
- R.D. 27 luglio 1904, n. 368
- R.D. n. 3267/1923
- R.D. 17 maggio 1926, n. 1126
- R.D. n. 215/1933
- ***Legge n. 183/1989, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"***
- ***D.M. del 14 febbraio 1997 "Direttive tecniche per l'individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico"***
- D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)
- ***Legge n. 365/2000 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile" (legge Soverato)***
- ***Piano delle zone di pericolo (PZP), Provincia Autonoma di Bolzano***
- ***Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021 – Relazione di piano ed Allegati, Autorità di Bacino delle Alpi Orientali.***
- ***D.Lgs. n. 152/2006 "Norma in materia ambientale"***
- Direttiva n. 2007/60/CE
- ***Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018) – D.M. 17 gennaio 2018***
- ***Circolare esplicativa delle NTC 2018 n. 7 del 21 gennaio 2019***

2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO

L'intervento in progetto si sviluppa all'interno del bacino del Fiume Isarco, in corrispondenza della confluenza del Fiume Rienza. Nello specifico, la linea ferroviaria oggetto di intervento di adeguamento della stazione di Bressanone si sviluppa in affiancamento al Fiume Isarco (in un tratto caratterizzato aree di pericolosità idraulica, come meglio descritto nella relazione idraulica annessa, rif. IB0100D09RIID0002001A), attraversando il Rio di Tilles o Tiles, suo affluente in destra idraulica. Nella figura seguente è evidenziato l'intervento in progetto, con indicati i corsi d'acqua oggetto di studio nella presente relazione.

La determinazione delle portate al colmo del Fiume Isarco e del Fiume Rienza è quindi finalizzata allo studio di compatibilità idraulica dell'intervento in progetto nel suo complesso; la valutazione delle portate al colmo del Rio di Tilles è invece finalizzata al dimensionamento e alla relativa verifica idraulica del manufatto idraulico denominato "IN01" (prolungamento del tombino esistente).



Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio.

3 BACINO DEL FIUME ISARCO

Il Fiume Isarco ("Eisack" in tedesco) nasce nell'Alta Vall'Isarco in Alto Adige, nei pressi del passo del Brennero, attraversa il paese di Vipiteno, prima di scendere lungo la val d'Isarco.

Dopo un corso di oltre 90 chilometri lungo l'omonima valle, confluisce nel Fiume Adige presso Bolzano, come suo principale tributario di sinistra, presentando portata maggiore del segmento superiore dell'Adige stesso.

I suoi principali affluenti sono:

- il rio Fleres, a Colle Isarco
- il Fiume Rienza, a Bressanone
- il rio Gardena, a Ponte Gardena
- il rio Bria, a Prato all'Isarco
- il Torrente Ega
- il Torrente Talvera, a Bolzano

Nel proprio percorso attraversa le seguenti località: Vipiteno, Bressanone, Chiusa, Bolzano.

Grazie ad una portata media di 78 m³/s (a valle della confluenza con il Fiume Rienza che ha una portata compresa fra le 10 e le 20 volte quella dell'Isarco) ed alla forte pendenza, sul fiume sono stati costruiti numerosi impianti idroelettrici, un esempio è il lago di Fortezza.

Di particolare interesse per l'intervento in progetto (poiché si sviluppa in corrispondenza della relativa confluenza) è il Fiume Rienza. Quest'ultimo ha una lunghezza di circa 90 chilometri e sorge nelle Dolomiti di Sesto a sud di Dobbiaco, precisamente alla base delle Tre Cime di Lavaredo, in Alto Adige. Nello specifico, alla base delle Tre Cime di Lavaredo si trovano tre piccoli laghetti alpini; da qui sgorga l'acqua che scende a valle lungo la valle della Rienza Nera (*Schwarze Rienz*), tra il monte Piana e il monte Rudo. In seguito il fiume entra nella val di Landro, passando per il lago di Landro e successivamente per il lago di Dobbiaco. Il Fiume Rienza entra così nella Val Pusteria presso Dobbiaco e scorre lungo tutta la vallata in direzione ovest attraversando i principali centri abitati della valle. Il corso d'acqua passa inoltre attraverso diversi sbarramenti artificiali come la diga di Valdaora e la diga di Vandoies. La principale località attraversata durante la sua discesa è Brunico. Il fiume termina il proprio corso a Bressanone, confluendo come anzidetto nel Fiume Isarco a quota 550 m s.l.m..

Nella figura seguente è riportata la delimitazione del bacino del Fiume Isarco e del Fiume Rienza, con sezione di chiusura in corrispondenza della confluenza di quest'ultimo. In Tabella 1 sono riportate invece le relative caratteristiche morfometriche.

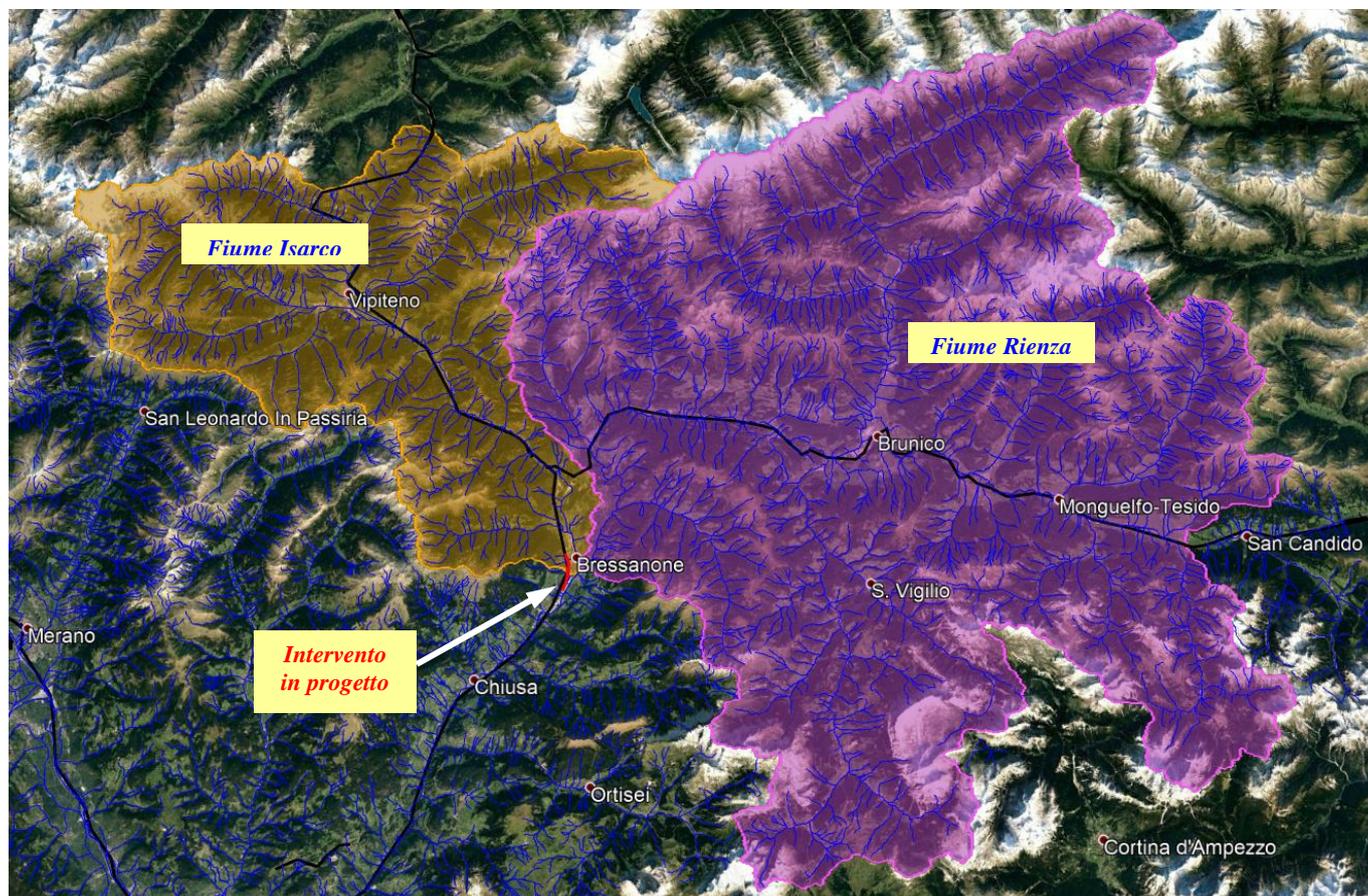


Figura 2 – Bacini idrografici dei fiumi Isarco e Rienza.

Bacino	Area (km ²)	Quota massima (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)	Lunghezza asta (km)	Pendenza media bacino (m/m)
<i>Fiume Isarco</i>	741.7	3500	559	1815.7	53.8	0.05
<i>Fiume Rienza</i>	2147.0	3482	560	1840.4	80.6	0.04

Tabella 1 – Caratteristiche morfometriche dei bacini dei fiumi Isarco e Rienza.

3.1 Bacino del Rio di Tilles

Il Rio di Tilles è un piccolo corso d'acqua, di una lunghezza complessiva di circa 3 km, affluente in destra idraulica del Fiume Isarco, dopo la confluenza del Fiume Rienza. Attraversa gli abitati di Tilles e Pinzago, e prima di confluire nel Fiume Isarco sotto-attraversa la linea ferroviaria sede dell'intervento in progetto, in corrispondenza dell'opera IN01.

Nella figura seguente è riportata la delimitazione del bacino del Rio di Tilles, con sezione di chiusura in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario. In Tabella 2 sono riportate invece le relative caratteristiche morfometriche.

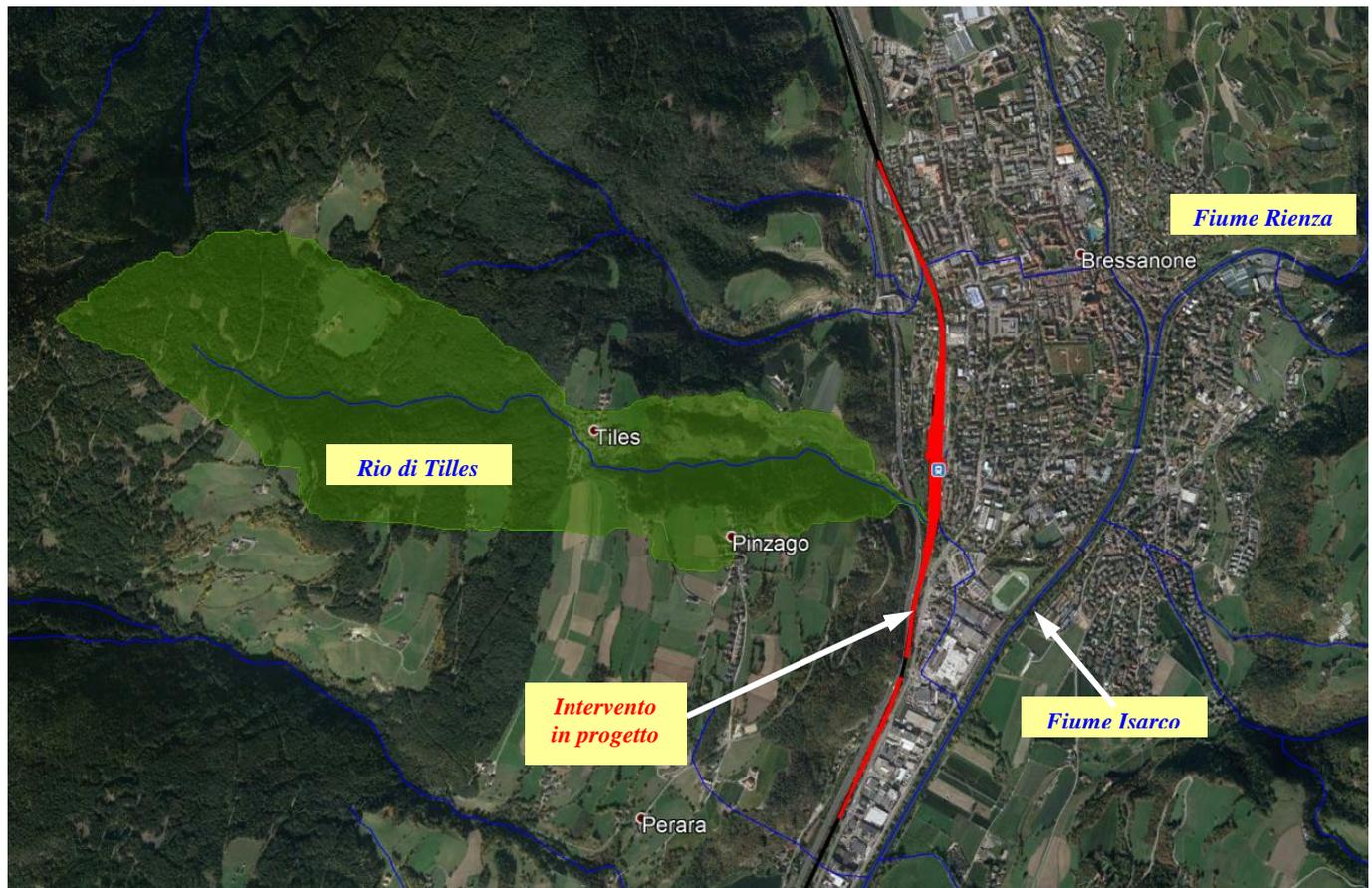


Figura 3 – Bacino idrografico del Rio di Tilles.

Bacino	Area (km ²)	Quota massima (m slm)	Quota minima (m slm)	Quota media (m slm)	Lunghezza asta (km)	Pendenza media bacino (m/m)	Pendenza media asta (m/m)
<i>Rio di Tilles</i>	2.3	1846.4	570.5	1142.7	3.9	0.45	0.30

Tabella 2 – Caratteristiche morfometriche del bacino del Rio di Tilles.

4 STUDIO IDROLOGICO

Ai fini della caratterizzazione idrologica dell'area di studio è stata condotta un'analisi delle precipitazioni sulla base dei dati forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Tramite l'elaborazione statistica di tali dati, ossia i valori massimi annuali di pioggia di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrate presso le stazioni meteo di interesse, sono stati ricavati i parametri delle curve CPP per i vari tempi di ritorno considerati (30, 50, 100, 200 e 300 anni); successivamente, tramite l'applicazione di differenti metodi di trasformazione *afflussi-deflussi*, si è proceduto al calcolo della portata al colmo in corrispondenza delle sezioni di chiusura di interesse, per i vari tempi di ritorno.

I valori così determinati sono stati confrontati con le corrispondenti portate di picco calcolate secondo la metodologia VA.PI. del Triveneto e con quelle fornite direttamente dalla Provincia Autonoma di Bolzano, determinate nell'ambito della redazione del Piano delle Zone di Pericolo, attualmente in vigore.

4.1 Analisi delle precipitazioni

4.1.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono stati esaminati i dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche ricadenti nei bacini idrografici oggetto di studio. Nello specifico, sono state analizzate statisticamente le serie storiche delle altezze di pioggia massime annuali per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore, misurate presso le stazioni di Bressanone, Bressanone Varna, Grassein-Le Cave, Terento, Valles, Vandoies di Sopra.

L'analisi statistica è stata condotta mediante l'applicazione del metodo di Gumbel, caratterizzato dalla seguente funzione di probabilità cumulata:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Nello specifico, introducendo la variabile ridotta y :

$$y = \alpha(x - u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri α e u sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

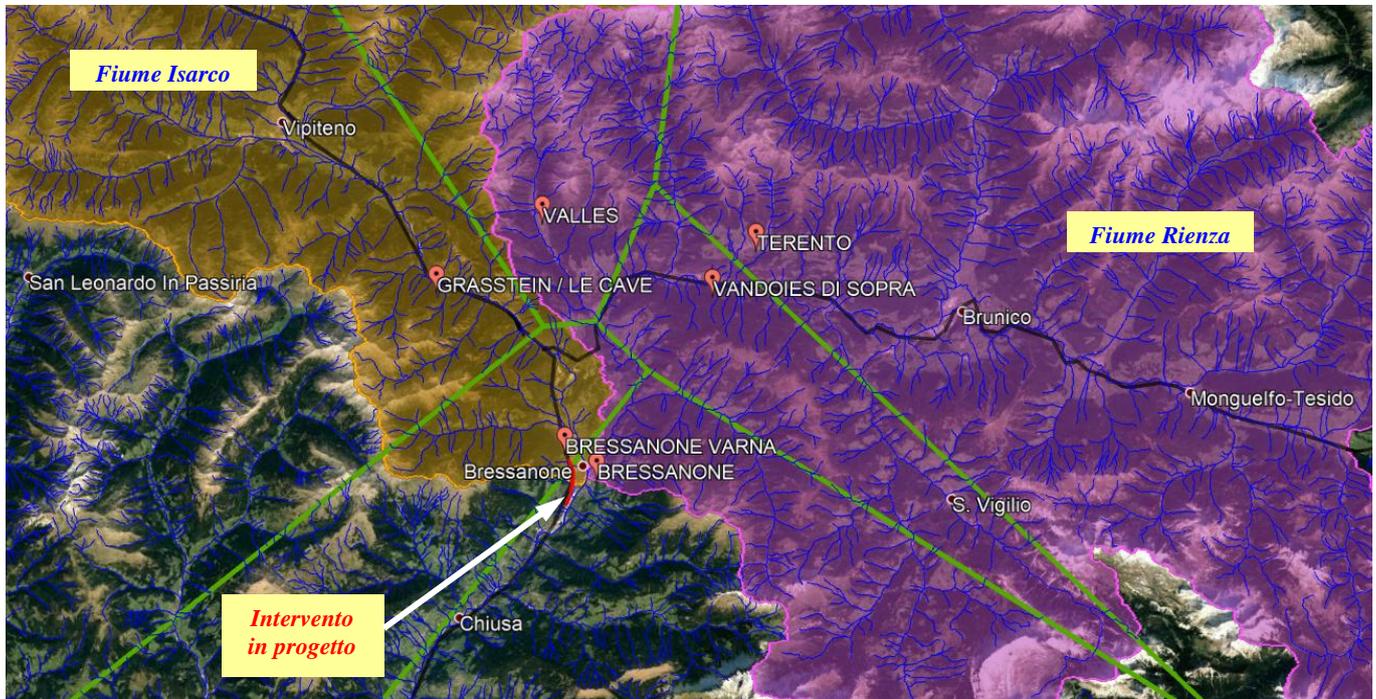


Figura 4 – Bacino del Fiume Isarco: stazioni pluviometriche di riferimento e relativi topoietai.

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare. Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si basa sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln \left[-\ln \left(\frac{i}{N+1} \right) \right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende soltanto da h (= precipitazione) secondo la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione.

Si ottengono quindi per α e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Richiamando il concetto di tempo di ritorno, T_r , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T_r(h) = \frac{1}{1 - F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(\frac{T_r - 1}{T_r} \right) \right]$$

E' stata quindi ricavata l'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di precipitazione (h) in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica). L'intensità di precipitazione $j(T_r, \tau)$ è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

Nella tabella seguente sono dunque riportati i valori a e n (per durate superiori all'ora), relativi alle stazioni pluviometriche di interesse sopra introdotte, per specifici tempi di ritorno (T_r), in accordo alla pianificazione di

bacino vigente (Piano delle zone di Pericolo della Provincia di Bolzano) e alla normativa nazionale di riferimento in materia di compatibilità idraulica (NTC 2018), nonché al manuale di progettazione ferroviaria (RFI, 2020).

BRESSANONE			BRESSANONE-VARNA			GRASSTEIN-LE CAVE		
<i>Tr</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>Tr</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>Tr</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
30	39.644	0.1933	30	52.767	0.1933	30	33.589	0.3638
50	43.420	0.1859	50	56.977	0.1896	50	36.017	0.3619
100	48.517	0.1776	100	62.652	0.1853	100	39.291	0.3597
200	53.601	0.1706	200	68.305	0.1818	200	42.554	0.3578
300	56.572	0.1671	300	71.606	0.1800	300	44.459	0.3568
TERENTO			VALS-VALLES			VANDOIES DI SOPRA		
<i>Tr</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>Tr</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>Tr</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
30	41.244	0.2934	30	32.003	0.3320	30	29.278	0.3773
50	44.643	0.2913	50	34.810	0.3260	50	31.309	0.3807
100	49.227	0.2890	100	38.593	0.3192	100	34.048	0.3845
200	53.794	0.2870	200	42.360	0.3135	200	36.778	0.3877
300	56.462	0.2860	300	44.559	0.3106	300	38.372	0.3893

Tabella 3 – Stazioni pluviometriche di riferimento: parametri *a* e *n*, per vari tempi di ritorno.

L'altezza di pioggia, ragguagliata all'area del bacino, è stata dunque valutata mediante l'applicazione del metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoieti). In particolare, il volume di pioggia (V_p) caduto all'interno di un poligono di Thiessen o topoieto (Figura 4) è uguale all'altezza di precipitazione misurata nella relativa stazione pluviometrica per l'area del poligono.

Il volume di pioggia caduto sull'intero bacino sarà quindi fornito dalla somma dei prodotti di cui prima con l'avvertenza che, per quei topoieti che parzialmente ricadono fuori dalla regione in esame, si dovrà considerare solo l'area della porzione del poligono o del topoieto che appartiene al bacino:

$$V_p = \sum_{i=1}^N h_i (\Omega_i \cap S)$$

in cui i è il generico topoieto/poligono di Thiessen; N , il numero dei topoieti; h_i , l'altezza di pioggia misurata nella stazione; Ω_i è l'area del topoieto; S , la superficie del bacino. Quindi, l'altezza di pioggia (h) ragguagliata all'area può essere dedotta come $h = V_p/S$. Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori dell'area dei poligoni di Thiessen, relativi alle stazioni pluviometriche considerate, "ritagliati" sull'estensione dei bacini oggetto di studio.

Bacino del Fiume Isarco	
Stazioni pluviometrica	Superficie topoieta (km²)
BRESSANONE	2.45
BRESSANONE VARNA	67.77
GRASSTEIN / LE CAVE	488.68
TERENTO	1.51
VALLES	181.28
VANDOIES	0.00
Somma	741.7

Tabella 4 – Superficie dei singoli topoieta ricadenti all'interno del bacino del Fiume Isarco.

Bacino del Fiume Rienza	
Stazioni pluviometrica	Superficie topoieta (km²)
BRESSANONE	339.05
BRESSANONE VARNA	9.10
GRASSTEIN / LE CAVE	0.00
TERENTO	1465.46
VALLES	140.11
VANDOIES	193.26
Somma	2147.0

Tabella 5 – Superficie dei singoli topoieta ricadenti all'interno del bacino del Fiume Rienza.

Per il bacino del Rio di Tilles, ricadente all'interno dei poligoni di Thiessen delle stazioni di Bressanone e Bressanone Varna, come meglio descritto nel sottoparagrafo seguente, si è fatto riferimento alle elaborazioni "sito specifiche" effettuate dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

4.1.2 Analisi pluviometrica "sito specifica" condotta dalla Provincia Autonoma di Bolzano

Come anzidetto, per la valutazione delle portate al colmo del Rio di Tilles si è fatto riferimento ai risultati delle analisi pluviometriche "sito specifiche" condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano, più cautelativi, soprattutto per durate inferiori all'ora (in ragione della modesta estensione del bacino in questione), rispetto alle curve di possibilità pluviometrica relative alle stazioni di Bressanone e Bressanone Varna, sopra determinate.

Nello specifico, sono state considerate i seguenti parametri delle curve di possibilità pluviometrica (del tipo $a \cdot t^n$), per i vari tempi di ritorno considerati.

RIO DI TILLES			
Tr	a	$n (< 1h)$	$n (> 1h)$
30	39.1	0.366	0.352
50	42.4	0.366	0.352
100	46.8	0.366	0.352
200	51.2	0.366	0.352

Tabella 6 – Rio di Tilles: parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica, per vari tempi di ritorno.

4.1.3 Curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma ferroviaria

Ai fini del dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma ferroviaria (e stradale), si è fatto riferimento (anche in questo caso) ai risultati delle analisi pluviometriche "sito specifiche" condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano per il Rio di Tilles. Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri della curva di possibilità pluviometrica (del tipo $a \cdot t^n$), per il tempi di ritorno di 25 (per la piattaforma stradale) e 100 anni (per la piattaforma ferroviaria), in accordo al Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2020).

Tr	a	$n (< 1h)$
25	37.65	0.366
100	46.80	0.366

Tabella 7 – Dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma (ferroviaria e stradale): parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica di riferimento.

4.2 Stima delle portate al colmo

4.2.1 Metodi di trasformazione afflussi-deflussi

4.2.1.1 Metodo razionale

Uno dei più comuni metodi per il calcolo della portata di piena è il metodo razionale; tale metodo si basa 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 valutata come:

$$Q_{\max} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui Q_{\max} = portata di piena [m³/sec]; φ = coefficiente di deflusso; h = altezza di pioggia, associata ad un particolare tempo di ritorno [m]; S = area del bacino [km²]; τ_c = tempo di corrivazione [ore]. La determinazione del tempo di corrivazione può effettuarsi mediante alcune classiche formule empiriche di uso comune; in particolare, per bacini dalla notevole estensione (> 100 km²), come quelli del Fiume Isarco e del Fiume Rienza, può essere applicata la ben nota formula di Giandotti:

$$\tau_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m - h_0}}$$

con S = area del bacino [km²]; L = lunghezza dell'asta principale [km]; h_m = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.m.m.]; h_0 = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.m.m.].

Per bacini dalla modesta estensione, come quello del Rio Tilles, si può ricorrere alla relazione di Ferro (2002):

$$\tau_c = 0.022 \left(\frac{L}{\sqrt{i_{asta}}} \right)^{0.8} \text{ [min]}$$

con i_{asta} = pendenza media dell'asta principale.

Il coefficiente di deflusso è valutato applicando il metodo del Curve Number CN (SCS method), sulla base della copertura del suolo (all'interno dei bacini in esame) riportata nel Corine Land Cover (CLC) al 3° Livello (Ispra, 2012): in particolare, ad ogni codice del CLC relativo ad una specifica copertura del suolo è stato assegnato il relativo CN (Tabella 8), dedotto da una tabella disponibile all'interno dell'applicativo GIS AdB-Toolbox, fruibile dal Geoportale Nazionale, di seguito riportata.

Classe CLC	Descrizione	Categoria di Suolo/ Gruppo idrologico			
		A	B	C	D
111	Zone residenziali a tessuto continuo	92	94	96	98
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	84	86	88	90
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	92	94	96	98
122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	98	98	98	98
123	Aree portuali	98	98	98	98
124	Aeroporti	98	98	98	98
131	Aree estrattive	75	77	84	86

Classe CLC	Descrizione	Categoria di Suolo/ Gruppo idrologico			
		A	B	C	D
132	Discariche	75	77	84	86
133	Cantieri	75	77	84	86
141	Aree verdi urbane	84	86	88	90
142	Aree ricreative e sportive	84	86	88	90
211	Seminativi in aree non irrigue	65	72	78	84
212	Seminative in aree irrigue	65	72	78	84
213	Risaie	65	72	78	84
221	Vigneti	38	45	60	70
222	Frutteti e frutti minori	38	45	60	70
223	Oliveti	38	45	60	70
231	Prati stabili (foraggiere permanenti)	41	47	65	76
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	65	72	78	84
242	Sistemi colturali e particellari complessi	65	72	78	84
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	65	72	78	84
244	Aree agroforestali	65	72	78	84
311	Boschi latifoglie	29	38	54	61
312	Boschi di conifere	25	35	50	57
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	25	35	50	57
321	Aree a pascolo naturale e praterie	37	50	68	75
322	Brughiere e cespuglieti	37	50	68	75
323	Aree a vegetazione sclerofila	37	50	68	75
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	33	45	64	72
331	Spiagge, dune e sabbie	75	77	84	86
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	80	87	93	96
333	Aree con vegetazione rada	75	77	84	86
334	Aree percorse da incendi	75	77	84	86
335	Ghiacciai e nevi perenni	95	95	95	95
411	Paludi interne	90	90	90	90
412	Torbiere	90	90	90	90
421	Paludi salmastre	90	90	90	90
422	Saline	90	90	90	90
423	Zone intertidiali	90	90	90	90
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	99	99	99	99
512	Bacini d'acqua	99	99	99	99
521	Lagune	99	99	99	99
522	Estuari	99	99	99	99
523	Mari e oceani	99	99	99	99

Tabella 8 - Valori del CN per le differenti coperture del suolo del CLC al 3° livello (Elaborazione Adb-Toolbox).

Per determinare le categorie di suolo si utilizza la mappa in formato shapefile dei Complessi Idrogeologici della Rete del Sistema Informativo Nazionale Ambientale di ISPRA (<http://www.sinanet.isprambiente.it/it>). All'interno dell'area di interesse sono stati individuati i complessi idrogeologici, indicati nella tabella seguente, a cui è stata assegnata la corrispondente classe di categoria di suolo sulla base di una tabella di conversione sempre consultabile all'interno dell'applicativo GIS AdB-Toolbox.

	Gruppo Idrologico
COMPLESSO CALCAREO-DOLOMITICO	C
COMPLESSO DEI DEPOSITI ALLUVIONALI DEI GRANDI CORSI D ACQUA	A
COMPLESSO DELLE PIROCLASTITI LAVI E VULCANITI IN GENERE	D
COMPLESSO DELLE ROCCE CRISTALLINE	B
COMPLESSO DELLE SABBIE	A
COMPLESSO DELLE ROCCE IMPERMEABILI	D

Tabella 9 – Gruppi idrologici (fonte: ISPRA).

Attraverso un processo di overlay tra la mappa del CLC e quella dei complessi idrologici, assumendo una classe di umidità media (II), si è ottenuto il valore medio di CN per i bacini oggetto di studio. Quindi con riferimento al metodo del Soil Conservation Service (SCS), il coefficiente di deflusso (φ) può essere valutato come segue:

$$\varphi = \frac{P_e}{P}$$

con P = altezza di pioggia di progetto corrispondente ad un tempo di ritorno Tr e una durata t_c , $P = a \cdot t_c^n$; $P_e = (P - 0.1 \cdot S) / (P + 0.9 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$.

4.2.1.2 Metodo SCS

La portata $Q(t)$, in generale, si può calcolare per mezzo dell'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau) * u(t - \tau) * d\tau$$

dove τ rappresenta l'istante in cui cade la pioggia $p(\tau)$ e t l'istante in cui si intende valutare la portata $Q(t)$. La funzione u rappresenta, invece, l'idrogramma istantaneo unitario (IUH), ossia l'idrogramma per unità di area del bacino generato da una pioggia (netta e raggugliata) di altezza unitaria e durata istantanea ($t \rightarrow 0$).

L'integrale, nel caso oggetto di studio, è stato risolto con l'ausilio del software HEC-HMS, il quale richiede una serie di dati di input, nello specifico *i)* le informazioni relative al bacino, *ii)* il metodo per il calcolo della pioggia netta e *iii)* il metodo per la determinazione dell'onda di piena.

Nel caso oggetto di studio si è scelto, in analogia alle analisi condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano, il metodo del Curve Number e l'idrogramma unitario istantaneo (IUH) del Soil Conservation Service, come raffigurato nella figura seguente, come metodi rispettivamente per il calcolo della pioggia netta e per la determinazione dell'onda di piena.

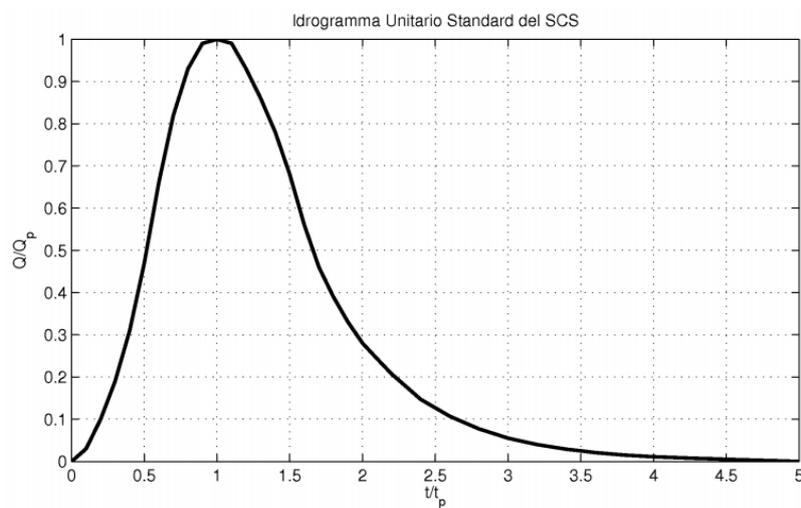


Figura 5 – Metodo SCS: idrogramma unitario standard.

I metodi adottati, sopra specificati, richiedono l'inserimento dei valori del CN e del tempo di ritardo (*Lag Time*), definito come:

$$t_r = 0.6 \cdot \tau_c$$

Per quanto concerne la tipologia di ietogramma di progetto (ossia in HEC-HMS il modello meteorologico), nel presente studio si è fatto riferimento allo ietogramma di tipo Chicago, determinabile mediante la seguente formulazione:

$$\begin{cases} i(t) = n * a * \left(\frac{r * t_p - t}{r} \right)^{n-1} & t < r * t_p \text{ (prima del picco)} \\ i(t) = n * a * \left(\frac{t - r * t_p}{1 - r} \right)^{n-1} & t > r * t_p \text{ (dopo il picco)} \end{cases}$$

in cui r rappresenta la posizione del picco e t_p il tempo di pioggia. In particolare, è stato considerato uno ietogramma Chicago con picco centrale ($r=0.5*t_p$) e tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione.

4.2.1.3 Metodologia VA.P.I. del Triveneto

Nell'ambito del progetto VAPI-CNR dello studio del GNDCI (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), gli afflussi naturali sono stati determinati, per assegnati tempi di ritorno, tramite l'impiego di piogge estreme regionalizzate con il modello probabilistico che adotta la distribuzione TCEV (Two-Component Extreme Value).

L'adozione di tale metodo d'indagine idrologica garantisce risultati già ampiamente testati e quindi ritenuti sufficientemente cautelativi rispetto a quelli desumibili dai metodi tradizionali di elaborazione.

Distribuzione TCEV

La legge di distribuzione probabilistica per la variabile casuale X è la Two Component Extreme Value (TCEV), secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (outliers), legati a differenti fenomeni meteorologici.

Tale distribuzione ha la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (log-normale, Gumbel, Fréchet, ecc.) riescono a rendere conto.

La funzione di distribuzione di probabilità della X è funzione di quattro parametri: $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$, $\Lambda_{s,d}$ e $\Theta_{s,d}$, che esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni ($\Lambda_{b,d}$ e $\Lambda_{s,d}$) e il loro valore medio ($\Theta_{b,d}$ e $\Theta_{s,d}$) con $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$ relativi ad una componente base contenente i valori medi e bassi e $\Lambda_{s,d}$, $\Theta_{s,d}$ relativi ad una componente straordinaria contenente i valori più elevati.

$$P(X) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\frac{X}{\Theta_{b,d}}} - \Lambda_{s,d} e^{-\frac{X}{\Theta_{s,d}}} \right)}$$

Se si pone $\Theta^* = \Theta_{s,d} / \Theta_{b,d}$ e $\Lambda^* = \Lambda_{s,d} / \Lambda_{b,d}^{1/\Theta^*}$, si può considerare la quaterna di parametri Λ^* , Θ^* , $\Lambda_{b,d}$ e $\Theta_{b,d}$. La funzione di distribuzione di probabilità della variabile casuale X è espressa come segue:

$$P(X) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\frac{X}{\Theta_{b,d}}} - \Lambda^* \Lambda_{b,d}^{1/\Theta^*} e^{-\frac{X}{\Theta^* \Theta_{b,d}}} \right)}$$

Si può dimostrare che il coefficiente d'asimmetria $\zeta(X)$ dipende soltanto dai parametri Λ^* e Θ^* , il coefficiente di variazione $\gamma(X)$ dipende dai parametri Λ^* , Θ^* e $\Lambda_{b,d}$ e la media $\mu(X)$ dipende dai parametri Λ^* , Θ^* , $\Lambda_{b,d}$, $\Theta_{b,d}$ che si esprime con:

$$\mu(X) = \left[\ln \Lambda_{b,d} + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right] \Theta_{b,d}$$

dove posto:

$$\beta = \left[\ln \Lambda_{b,d} + 0,5772 - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda^{*j}}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\Theta^*}\right) \right]$$

si ha:

$$P(X) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\frac{\beta X}{\mu(X)}} - \Lambda^* \Lambda_{b,d} \Theta^* e^{-\frac{\beta X}{\Theta^* \mu(X)}} \right)}$$

Sostituendo nella precedente espressione il coefficiente di crescita $K_T = X/\mu(X)$ si ottiene:

$$P(X) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\beta K_T} - \Lambda^* \Lambda_{b,d} \Theta^* e^{-\frac{\beta K_T}{\Theta^*}} \right)}$$

che in forma implicita fornisce la curva di crescita $K(Tr)$ della variabile X , dove Tr è il tempo di ritorno di X :

$$Tr = \frac{1}{1 - P(K_T)} \quad [*]$$

Leggi di variazione dei coefficienti di crescita con il periodo di ritorno

IDROMETRIA – PORTATE ISTANTANEE

L'intero territorio del Triveneto viene considerato come un'unica zona omogenea sia al primo livello che al secondo livello di regionalizzazione. I parametri della distribuzione di probabilità delle portate per il Triveneto sono:

Λ_*	Θ_*	Λ_1	η
0.894	2.018	16	4.547

Fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata (DPC) resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno Tr e valore del coefficiente di crescita K_T , prima derivata (equazione [*]), che nel caso in esame (sulla base della simbologia dei parametri adottata nella Regione del Triveneto) può essere riscritta come segue:

$$Tr = \frac{1}{1 - e^{-\left[-\Lambda_1 e^{-K_T Tr} - \Lambda_2 \Lambda_1^{\frac{1}{\delta}} e^{-\frac{1}{\delta} K_T Tr} \right]}} \quad [**]$$

Più utile è la forma inversa, per cui, fissato un valore di T_r del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T .

Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito i valori di K_T ottenuti numericamente dalla relazione precedente ([**]) per alcuni valori del periodo di ritorno.

Tr (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T	0.93	1.33	1.63	1.93	2.02	2.23	2.33	2.64	2.95	3.36	3.67

Allo scopo di semplificare l'applicazione del modello, è stata ricavata un'espressione esplicita di K_T in funzione del logaritmo del tempo di ritorno T_r dell'evento, espresso in anni:

$$K_T = 0.5444 + 0.4396 * \ln(T_r)$$

Stima del valor medio

PORTATA DI PIENA MEDIA ANNUA

Per poter pervenire alla stima della distribuzione di probabilità delle X in una generica sezione fluviale, l'unico parametro che rimane da ricavare è il valor medio della distribuzione del massimo annuale della portata al colmo di piena, $m(Q)$, da cui

$$Q_{c,Tr} = K_T m(Q)$$

con $Q_{c,Tr}$ portata al colmo corrispondente al tempo di ritorno Tr .

Per le varie zone del Triveneto sono state stimate le relazioni interpolari di seguito riportate.

Nel caso oggetto di studio, essendo l'Isarco un affluente dell'Alto Adige, vale la relazione:

$$m(Q) = 5.5 \cdot A^{0.52}$$

con A superficie del bacino considerato.

Mentre per il Fiume Rienza, si ricorre alla relazione:

$$m(Q) = (10.4 \cdot 10^{-2}) \cdot A$$

Noto quindi $m(Q)$, si procede al calcolo della portata di colmo per i vari tempi di ritorno, applicando le relazioni sopra esposte.

BACINO	Sottobacini	Relazione interpolare	Limiti di validità	Note
ADIGE	Alto bacino fino a Tel e Rienza fino alla confluenza	$m(Q) = 10.4 \cdot 10^{-2} A$	$200 \leq A \leq 2000 km^2$	
	Affluenti dell'alto Adige e della Rienza	$m(Q) = 5.5 A^{0.52}$	$70 \leq A \leq 800 km^2$	1)
	Affluenti medio bacino dell'Adige da Merano a Rovereto	$m(Q) = 10.63 A^{0.40}$	$70 \leq A \leq 1200 km^2$	2)
	Asta principale da Merano a Rovereto	$m(Q) = 44.44 \cdot 10^{-2} A^{0.844}$		
BRENTA e PIAVE	Parte montana	$m(Q) = 56.08 \cdot 10^{-2} A^{0.88}$	$20 \leq A \leq 500 km^2$	3)
	Bassa valle del Piave, del Brenta e affluenti	$m(Q) = 1.76 \cdot A^{0.78}$		4)
TAGLIAMENTO	Valle del Tagliamento Fella	$m(Q) = 0.67 A$	$50 \leq A \leq 2000 km^2$	5)
LIVENZA	Parte montana	$m(Q) = 10.19 A^{0.45}$	$40 \leq A \leq 300 km^2$	6)
BACCHIGLIONE	Intero bacino	$m(Q) = 13.58 A^{0.42}$	$100 \leq A \leq 1400 km^2$	7)

Figura 6 – Tabella dal VA.PI. del Triveneto: relazioni per il calcolo della portata di piena media annua.

4.2.2 Fiume Isarco

Il calcolo delle portate al colmo del Fiume Isarco alla sezione di chiusura considerata (in corrispondenza della confluenza del Fiume Rienza) è stato effettuato secondo le seguenti metodologie:

- curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo Gumbel e metodo razionale
- curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo Gumbel e metodo SCS (HEC-HMS)
- VA.P.I. del Triveneto

Si è proceduto dapprima al calcolo del tempo di corrivazione τ_c (tramite la relazione di Giandotti) e del CN, secondo la procedura sopra descritta. Nello specifico, $\tau_c = 6.7$ ore e $CN = 52$.

Successivamente è stata valutata l'altezza di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione τ_c , per ogni stazione pluviometrica e per ogni tempo di ritorno considerato, utilizzando le CPP derivanti dall'elaborazione statistica secondo Gumbel delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura di riferimento. Applicando quindi il metodo dei topoieti descritto in precedenza, sono state determinate le altezze di pioggia per i vari tempi di ritorno, ragguagliate all'intera area del bacino di interesse (Tabella 10).

Tr [anni]	30	50	100	200	300
h [mm]	66.17	70.83	77.11	83.37	87.02

Tabella 10 – Fiume Isarco: valori di altezza di pioggia, ragguagliata all'area, per vari tempi di ritorno (da analisi statistica secondo distribuzione di Gumbel).

Di seguito, i valori di portata al colmo, per i vari tempi di ritorno considerati, secondo la metodologia *a)* ("CPP da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche secondo Gumbel e metodo razionale"), in corrispondenza della sezione di chiusura di interesse.

<i>Tr [anni]</i>	<i>P</i>	<i>P_e</i>	<i>φ</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	66.17	6.59	0.10	202.92
50	70.83	7.97	0.11	245.47
100	77.11	10.00	0.13	308.00
200	83.37	12.20	0.15	375.83
300	87.02	13.56	0.16	417.85

Tabella 11 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Isarco di interesse, secondo la metodologia *a)*.

Per l'applicazione della metodologia *b)* ("CPP da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche secondo Gumbel e metodo SCS"), sono stati dapprima valutati il tempo di ritardo ($t_r = 0.6 \cdot \tau_c = 241 \text{ min}$) e gli ietogrammi di progetto (**tipo Chicago**), in forma discreta con un passo temporale pari a $\Delta t = 0.25 \text{ h} = 15 \text{ min}$ (Figura 7).

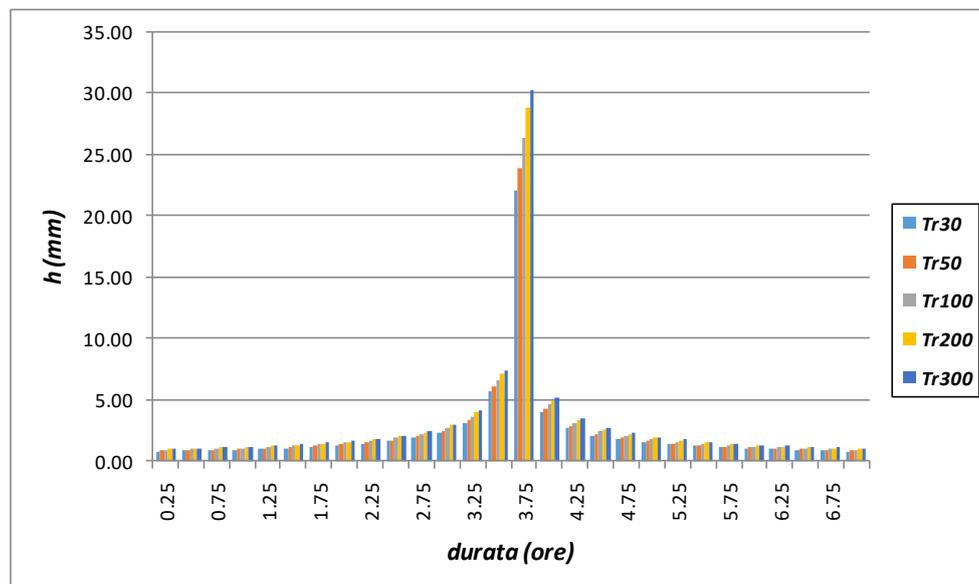


Figura 7 – Fiume Isarco: ietogrammi di progetto per vari tempi di ritorno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IB01	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

I valori di portata al colmo (per i tempi di ritorno considerati) degli idrogrammi di output di HEC-HMS in uscita dalla sezione di chiusura del bacino sono riportati nella tabella seguente.

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	226.80
50	273.70
100	342.60
200	417.70
300	464.30

Tabella 12 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Isarco di interesse, secondo la metodologia b).

Applicando invece la metodologia VA.P.I. del Triveneto (c), si ottengono per il bacino del F. Isarco in esame, i seguenti valori di portata al colmo (con $m(Q) = 170.95 \text{ mc/s}$).

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	348.67
50	387.06
100	439.15
200	491.24
300	521.71

Tabella 13 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Isarco di interesse, secondo la metodologia c) – VA.P.I. del Triveneto.

4.2.3 Fiume Rienza

In analogia al Fiume Isarco, il calcolo delle portate al colmo del Fiume Rienza alla sezione di chiusura considerata (in corrispondenza della confluenza nel Fiume Isarco) è stato effettuato secondo le seguenti metodologie:

- curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo Gumbel e metodo razionale*
- curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo Gumbel e metodo SCS (HEC-HMS)*
- VA.P.I. del Triveneto*

Si è proceduto dapprima al calcolo del tempo di corrivazione τ_c (tramite la relazione di Giandotti) e del CN, secondo la procedura sopra descritta. Nello specifico, $\tau_c = 10.7 \text{ ore}$ e $\text{CN} = 45$.

Successivamente è stata valutata l'altezza di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione τ_c , per ogni stazione pluviometrica e per ogni tempo di ritorno considerato, utilizzando le CPP derivanti dall'elaborazione statistica

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

secondo Gumbel delle registrazioni pluviometriche presso le stazioni di misura di riferimento. Applicando quindi il metodo dei topoieti descritto in precedenza, sono state determinate le altezze di pioggia per i vari tempi di ritorno, ragguagliate all'intera area del bacino di interesse (Tabella 14).

Tr [anni]	30	50	100	200	300
h [mm]	77.72	83.68	91.72	99.72	104.4

Tabella 14 – Fiume Rienza: valori di altezza di pioggia, ragguagliata all'area, per vari tempi di ritorno (da analisi statistica secondo distribuzione di Gumbel).

Di seguito, i valori di portata al colmo, per i vari tempi di ritorno considerati, secondo la metodologia *a*) ("CPP da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche secondo Gumbel e metodo razionale"), in corrispondenza della sezione di chiusura di interesse.

Tr [anni]	P	P_e	φ	Q[m ³ /s]
30	77.72	6.10	0.08	340.08
50	83.68	7.63	0.09	425.39
100	91.72	9.92	0.11	553.00
200	99.72	12.44	0.12	693.66
300	104.40	14.02	0.13	781.70

Tabella 15 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Rienza di interesse, secondo la metodologia *a*).

Per l'applicazione della metodologia *b*) ("CPP da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche secondo Gumbel e metodo SCS"), sono stati dapprima valutati il tempo di ritardo ($t_r = 0.6 \cdot \tau_c = 385 \text{ min}$) e gli ietogrammi di progetto (tipo Chicago), in forma discreta con un passo temporale pari a $\Delta t = 0.25 \text{ h} = 15 \text{ min}$ (Figura 8).

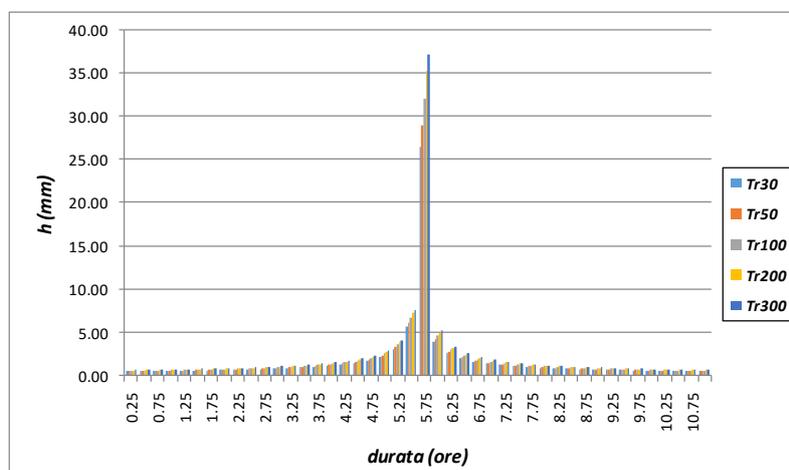


Figura 8 – Fiume Rienza: ietogrammi di progetto per vari tempi di ritorno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

I valori di portata al colmo (per i tempi di ritorno considerati) degli idrogrammi di output di HEC-HMS in uscita dalla sezione di chiusura del bacino sono riportati nella tabella seguente.

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	378.60
50	473.10
100	614.40
200	771.40
300	869.30

Tabella 16 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Rienza di interesse, secondo la metodologia b).

Applicando invece la metodologia VA.P.I. del Triveneto (c), si ottengono per il bacino del F. Isarco in esame, i seguenti valori di portata al colmo (con $m(Q) = 223.29 \text{ mc/s}$).

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	455.40
50	505.55
100	573.58
200	641.62
300	681.42

Tabella 17 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del F. Rienza di interesse, secondo la metodologia c) – VA.P.I. del Triveneto.

4.2.4 Rio di Tilles

Per la valutazione delle portate al colmo del Rio di Tilles, è stato applicato il metodo razionale considerando i parametri delle CPP riportati in Tabella 6, derivanti dalle analisi sito-specifiche condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Si è proceduto quindi al calcolo del tempo di corrivazione τ_c (operando la media aritmetica tra i valori ottenuti tramite le relazioni di Giandotti e proposta da Ferro) e del CN, secondo la procedura sopra descritta. Nello specifico, $\tau_c = 0.487 \text{ ore}$ e $\text{CN} = 69.5$.

Nella tabella seguente sono riportati i valori di portata al colmo così ottenuti.

<i>Tr [anni]</i>	<i>P</i>	<i>P_e</i>	<i>φ</i>	<i>Q[m³/s]</i>
200	39.4	2.30	0.10	5.1
100	36.0	1.50	0.10	4.7
50	32.6	0.90	0.10	4.2
30	30.1	0.51	0.10	3.9

Tabella 18 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino del Rio di Tilles.

4.2.5 *Dati di portata forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano*

Con riferimento ai tre corsi d'acqua oggetto di studio (Fiume Isarco, Fiume Rienza, Rio Tilles), la Provincia Autonoma di Bolzano fornisce i seguenti valori di portata al colmo.

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	238.14
50	270.91
100	316.79
200	370.32
300	412.92

Tabella 19 – Valori di portata al colmo, per vari tempi di ritorno, relativi al bacino del F. Isarco di interesse, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	517.4
50	567.4
100	634.2
200	698.2
300	748.2

Tabella 20 – Valori di portata al colmo, per vari tempi di ritorno, relativi al bacino del F. Rienza di interesse, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

<i>Tr [anni]</i>	<i>Q[m³/s]</i>
30	2.46
100	4.61
200	6.05
300	7.86

Tabella 21 – Valori di portata al colmo, per vari tempi di ritorno, relativi al bacino del Rio di Tilles, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

4.3 Confronti tra i valori di portata al colmo ottenuti con differenti metodologie

Nelle figure seguenti è riportato il confronto tra i valori di portata al colmo ottenuti con le metodologie sopra esposte, per i tre corsi d'acqua oggetto di studio.

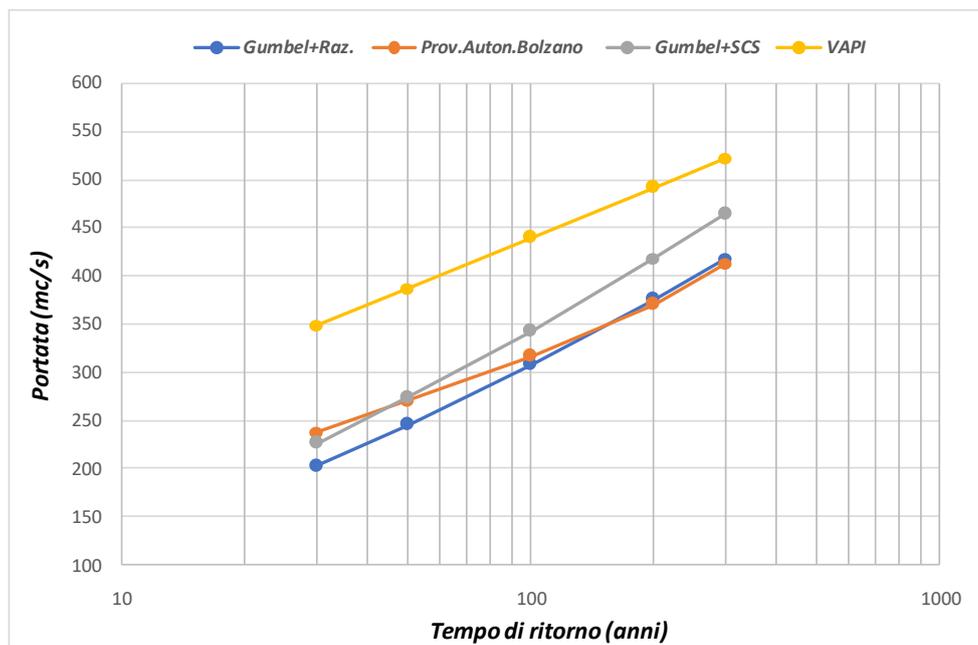


Figura 9 – Fiume Isarco: confronto tra i valori di portata ottenuti con differenti metodologie.

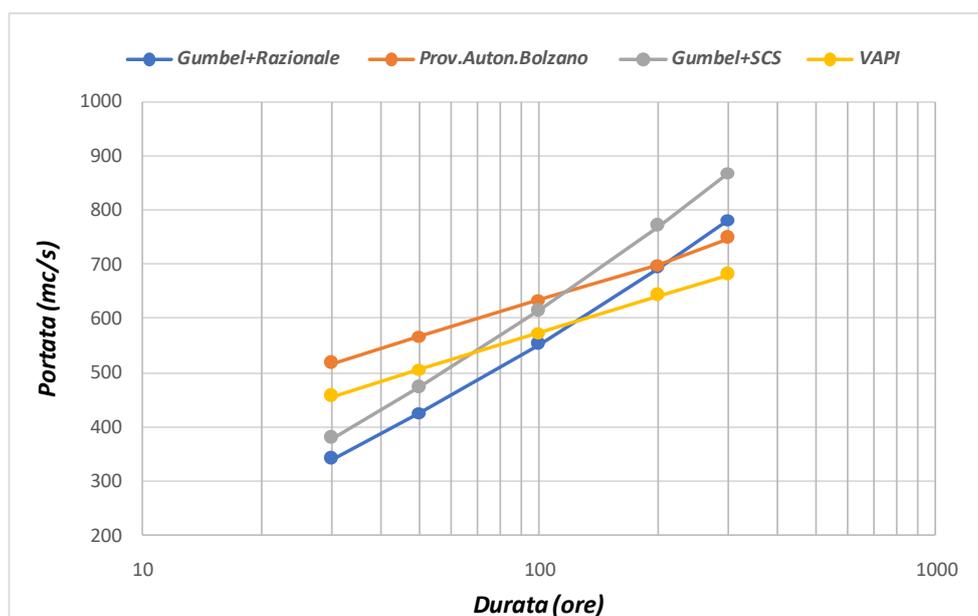


Figura 10 – Fiume Rienza: confronto tra i valori di portata ottenuti con differenti metodologie.

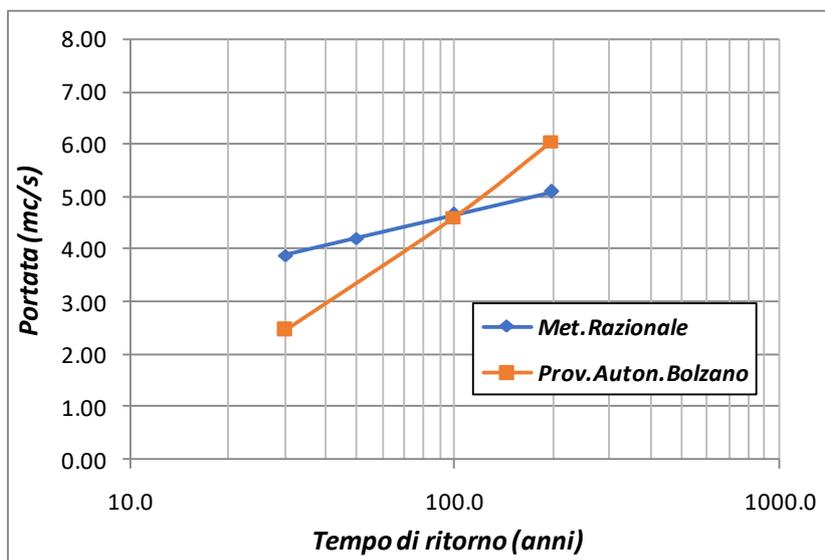


Figura 11 – Rio di Tilles: confronto tra i valori di portata ottenuti con differenti metodologie.

Con riferimento al Fiume Isarco, la metodologia più cautelativa risulta essere quella del VA.P.I. del Triveneto. Le rimanenti metodologie (formula razionale e metodo SCS, con CPP secondo Gumbel) forniscono valori di portata inferiori, ma più prossimi a quelli forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Nello specifico, per modesti tempi di ritorno (30 e 50 anni) i valori di portata forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano coincidono con quelli determinati mediante l'applicazione del metodo SCS; mentre per elevati tempi di ritorno (100, 200 e 300 anni) i valori di portata forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano (PAB) coincidono con quelli determinati mediante l'applicazione del metodo razionale, inferiori però a quelli ottenuti tramite il metodo SCS.

Per quanto concerne il Fiume Rienza, la metodologia più cautelativa, per elevati tempi di ritorno, risulta essere quella che prevede l'applicazione del metodo SCS, con le CPP secondo Gumbel.

Relativamente al Rio di Tilles, l'applicazione del metodo razionale considerando le CPP derivanti dalle analisi sito specifiche della PAB fornisce valori di portata più elevati di quelli forniti dalla PAB per modesti tempi di ritorno ed inferiori a quelli forniti dalla PAB per elevati tempi di ritorno ($Tr > 100$ anni).

In definitiva, sulla base delle considerazioni sopra esposte, per i bacini del Fiume Isarco e Fiume Rienza si è fatto riferimento alla metodologia che prevede l'applicazione del metodo SCS, con le CPP secondo Gumbel; mentre per il Rio di Tilles, ai valori di portata al colmo forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

4.4 Determinazione degli idrogrammi di progetto

Le simulazioni numeriche bidimensionali (in regime di moto vario) sviluppate per i fiumi Isarco e Rienza, descritte nella relazione idraulica annessa (rif. IB0100D09RIID0002001A), sono state quindi effettuate con riferimento agli idrogrammi di piena corrispondenti ai valori di portata riportati in Tabella 12 e Tabella 16, determinati applicando il metodo SCS e le CPP derivanti dall'elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche disponibili, riportati nelle figure seguenti.

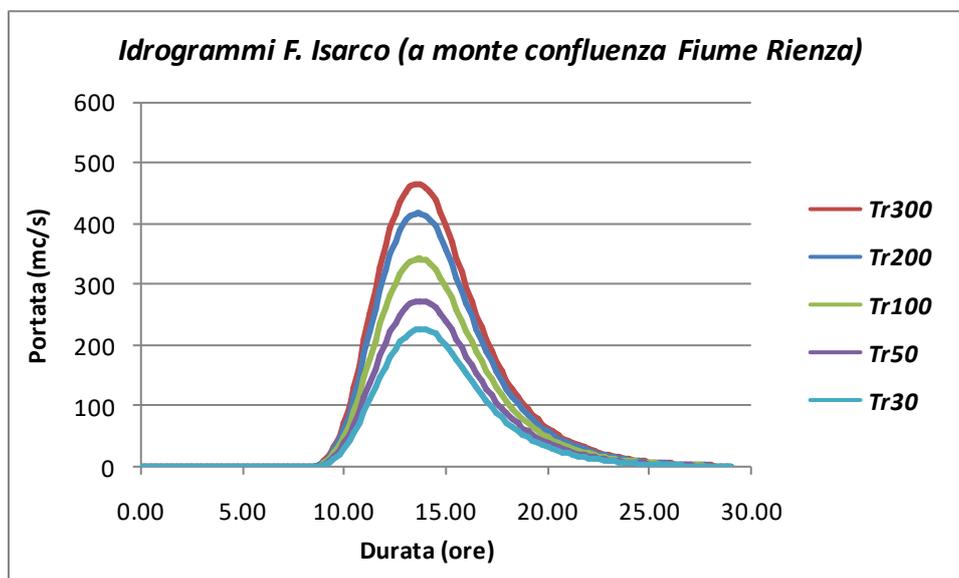


Figura 12 – Fiume Isarco: idrogrammi di piena di riferimento.

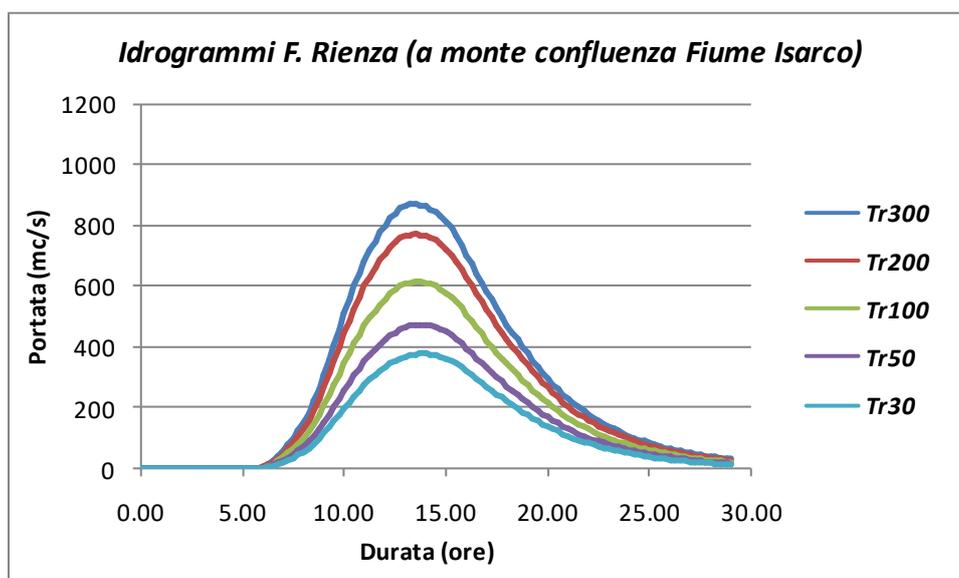


Figura 13 – Fiume Rienza: idrogrammi di piena di riferimento.

	LINEA FERROVIARIA VERONA - BRENNERO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IBOI	LOTTO 00	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 01 001	REV. A

5 BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

DM 2018 - Norme Tecniche sulle Costruzioni e relativa circolare esplicativa n.7/2019.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, 2002.

Manuale di Progettazione RFI, Sezione Corpo Stradale, 2020.

Ministero LL.PP., *Dati caratteristici dei corsi d'acqua italiani*, Pubblicazione n°17, Roma, 1980.

Piano delle zone di Pericolo, Provincia Autonoma di Bolzano, 2019.

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni 2015-2021 – Relazione di piano ed Allegati, Autorità di Bacino delle Alpi Orientali.

Piano Stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico (PAI), Bacino dell'Adige, Regione Veneto - Relazione tecnica e quadro giuridico, Autorità di Bacino Nazionale dell'Adige, 2006.

Viparelli C., *Ricostruzione dell'idrogramma di piena*, L'Energia Elettrica, 6, 421-428, 1963.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.