

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34G18000150001

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO
NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA”

VARIANTE VAL DI RIGA

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICA

Bacino del Fiume Isarco

SCALA:

| |
|---|
| - |
|---|

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

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | B | 0 | H | 0 | 0 | D | 0 | 9 | R | I | I | D | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | A |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

| Rev. | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Approvato | Data | Autorizzato Data |
|------|---------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------|
| A | Emissione Esecutiva | G. Giannetta <i>G. Giannetta</i> | giugno 2020 | C. Cesari <i>C. Cesari</i> | giugno 2020 | C. Mazzocchi <i>C. Mazzocchi</i> | giugno 2020 | Vittozzi giugno 2020 |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

ITALFERR S.p.A.
 U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
 Dott. Ing. Angelo Vittozzi
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Verona
 N° A.20783

File: IB0H00D09RIID0001001A.doc

INDICE

| | |
|---|----|
| PREMESSA | 5 |
| RIFERIMENTI NORMATIVI..... | 6 |
| 1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE..... | 7 |
| 2 STUDIO IDROLOGICO..... | 11 |
| 2.1 <i>Analisi delle precipitazioni.....</i> | 11 |
| 2.1.1 <i>Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche</i> | 11 |
| 2.1.2 <i>Analisi pluviometriche “sito specifiche” condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano.....</i> | 13 |
| 2.1.3 <i>Curve di possibilità pluviometrica per il dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma ferroviaria ..</i> | 15 |
| 2.2 <i>Stima delle portate al colmo.....</i> | 15 |
| 2.2.1 <i>Metodo Razionale.....</i> | 15 |
| 2.2.2 <i>Metodo dell’SCS.....</i> | 20 |
| 2.2.3 <i>Metodo VA.PI. del Triveneto</i> | 22 |
| 2.3 <i>Confronto tra le differenti metodologie adottate.....</i> | 27 |
| 3 BIBLIOGRAFIA | 28 |

INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Curva ipsografica del bacino di interesse..... | 7 |
| Figura 2 - Bacino idrografico del fiume Isarco, chiuso in corrispondenza del viadotto sulla variante di Val Riga..... | 8 |
| Figura 3 – Bacini idrografici minori interferenti con la “nuova” variante di Val Riga..... | 9 |
| Figura 4 - Stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino (spartiacque in rosso) nei relativi poligoni di Thiessen..... | 13 |
| Figura 5 – Individuazione su ortofoto del Rio di Scaleres, di riferimento per lo studio dei corsi d’acqua minori. | 14 |
| Figura 6 - Parametri di Input da immettere in HEC-HMS..... | 21 |
| Figura 7 – Ietogrammi di progetto per i vari tempi di ritorno. | 21 |
| Figura 8 – Fiume Isarco: idrogrammi di piena di progetto..... | 22 |
| Figura 9 – Tabella dal VA.PI. del Triveneto: relazioni per il calcolo della portata di piena media annua..... | 26 |
| Figura 10 - Fiume Isarco: portate al colmo per vari tempi di ritorno, secondo differenti metodologie..... | 27 |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|--|----|
| Tabella 1 – Parametri morfometrici del bacini idrografico di interesse. | 7 |
| Tabella 2 – Parametri morfometrici dei bacini idrografici minori. | 10 |
| Tabella 3 – Stazioni pluviometriche: parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati. | 12 |
| Tabella 4 – Superficie dei singoli topoi o poligoni di Thiessen ricadenti all’interno del bacino considerato. | 13 |
| Tabella 5 – Rio di Scaleres: parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica, per vari tempi di ritorno, di riferimento per i corsi d’acqua oggetto di studio. | 14 |
| Tabella 6 – Dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma (ferroviaria e stradale): parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica di riferimento. | 15 |
| Tabella 7 - Valori di altezza di pioggia, ragguagliata all’area, per vari tempi di ritorno (da analisi statistica secondo distribuzione di Gumbel). | 16 |
| Tabella 8 - Valori del CN per le differenti coperture del suolo del CLC al 3° livello (Elaborazione AdB-Toolbox). | 18 |
| Tabella 9 – Gruppi idrologici. | 18 |
| Tabella 10 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse, da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche (secondo Gumbel). | 19 |
| Tabella 11 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino afferente all’opera IN02. | 19 |
| Tabella 12 - Bacini afferenti alle opere IN01, IN03, IN04, IN05, IN06: portate al colmo, per vari tempi di ritorno. | 19 |
| Tabella 13 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse, da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche (secondo Gumbel) ed idrogramma dell’SCS. | 22 |
| Tabella 14 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse secondo la metodologia del VA.PI. del Triveneto. | 26 |
| Tabella 15 – Valori di portata di picco forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano. | 27 |

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

PREMESSA

La presente relazione espone i risultati degli studi idrologici condotti nell’ambito del progetto definitivo della variante ferroviaria, denominato “*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 completamente all’interno del bacino del Fiume Isarco, attraversando quest’ultimo, mediante il nuovo viadotto VI01, alla progressiva 1+780 circa. La nuova linea in progetto attraversa anche una serie di corsi d’acqua minori (per lo più piccole impluvi e scoli), affluenti del Fiume Isarco.

E’ stata condotta quindi l’analisi idrologica dei bacini idrografici interferenti, finalizzata alla determinazione delle portate al colmo, da imporre come condizione al contorno nei modelli (numerici) idraulici monodimensionali sviluppati.

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 e scelta della portata di piena di progetto per i differenti tempi di ritorno (T_r) considerati.

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

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

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***

1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE

L’area di studio è situata all’interno del bacino idrografico del fiume Isarco per il quale l’autorità competente in materia di pianificazione idraulica è la Provincia Autonoma di Bolzano.

L’ Isarco (Eisack) è il principale affluente in sinistra idraulica del Fiume Adige nel territorio della Provincia di Bolzano; ha una lunghezza di 95.5 km ed il relativo bacino imbrifero si estende su un’area di circa 4200 km² (compreso il bacino del Fiume Rienza). Il fiume nasce nelle vicinanze del Brennero ad un’altitudine di ca. 2000 m e sfocia nell’Adige a valle di Bolzano ad un’ altitudine di 235 m. Il massimo rilievo del suo bacino imbrifero è il Gran Pilastro con un altitudine di 3509 m. Gli affluenti più importanti dell’Isarco sono il Rio Fleres, il Rio di Vizze, il Rio Ridanna, la Rienza, il Rio di Funes, il Rio Gardena, il Rio Tires ed il Torrente Ega. Il territorio circostante l’Isarco superiore viene utilizzato per l’agricoltura, la parte inferiore del corso d’acqua scorre invece in una valle stretta, che viene occupata in gran parte dalla strada statale SS.12 , dall’autostrada A22 e dalla linea ferroviaria [fonte: Autorità di Bacino del fiume Adige].

L’ interazione tra la variante ferroviaria della Val Riga in progetto ed il fiume Isarco avviene in corrispondenza del nuovo viadotto in progetto (VI01), posto immediatamente a monte dell’attuale ponte sulla statale della Pusteria (SS 49). In questo punto il bacino sotteso ha un’area di circa 670 km², con una lunghezza dell’asta principale (L) di circa 43 km. La quota massima (Z_{max}) del bacino è pari a circa 3500 m s.l.m. in corrispondenza del Gran Pilastro, un rilievo delle Alpi Orientali sulla linea di confine tra Italia ed Austria; quella minima (Z_{min}), in corrispondenza della sezione di chiusura pari a 643 m s.l.m. ed, infine, la quota media (Z_{media}) è pari a 1855 m s.l.m. Nella tabella seguente sono riportati i dati morfometrici del bacino mentre in Figura 1 e Figura 2 sono rappresentate, rispettivamente, la curva ipsografica del bacino e la perimetrazione dello stesso.

| Area | Z_{media} | Z_{min} | Z_{max} | L |
|--------------------|--------------|--------------|--------------|-------|
| [km ²] | [m s.l.m] | [m s.l.m] | [m s.l.m] | [km] |
| 670.76 | 1854.40 | 643.00 | 3500.00 | 43.62 |

Tabella 1 – Parametri morfometrici del bacini idrografico di interesse.

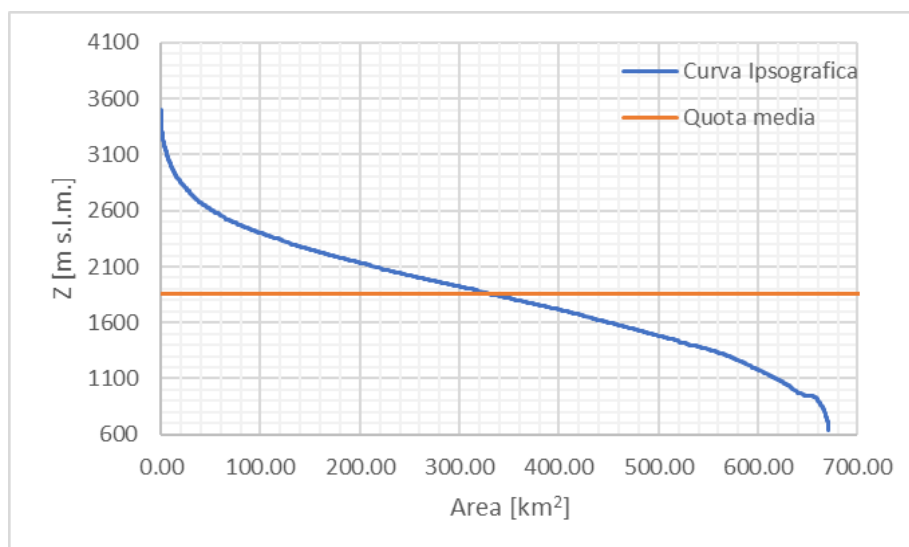


Figura 1 - Curva ipsografica del bacino di interesse.

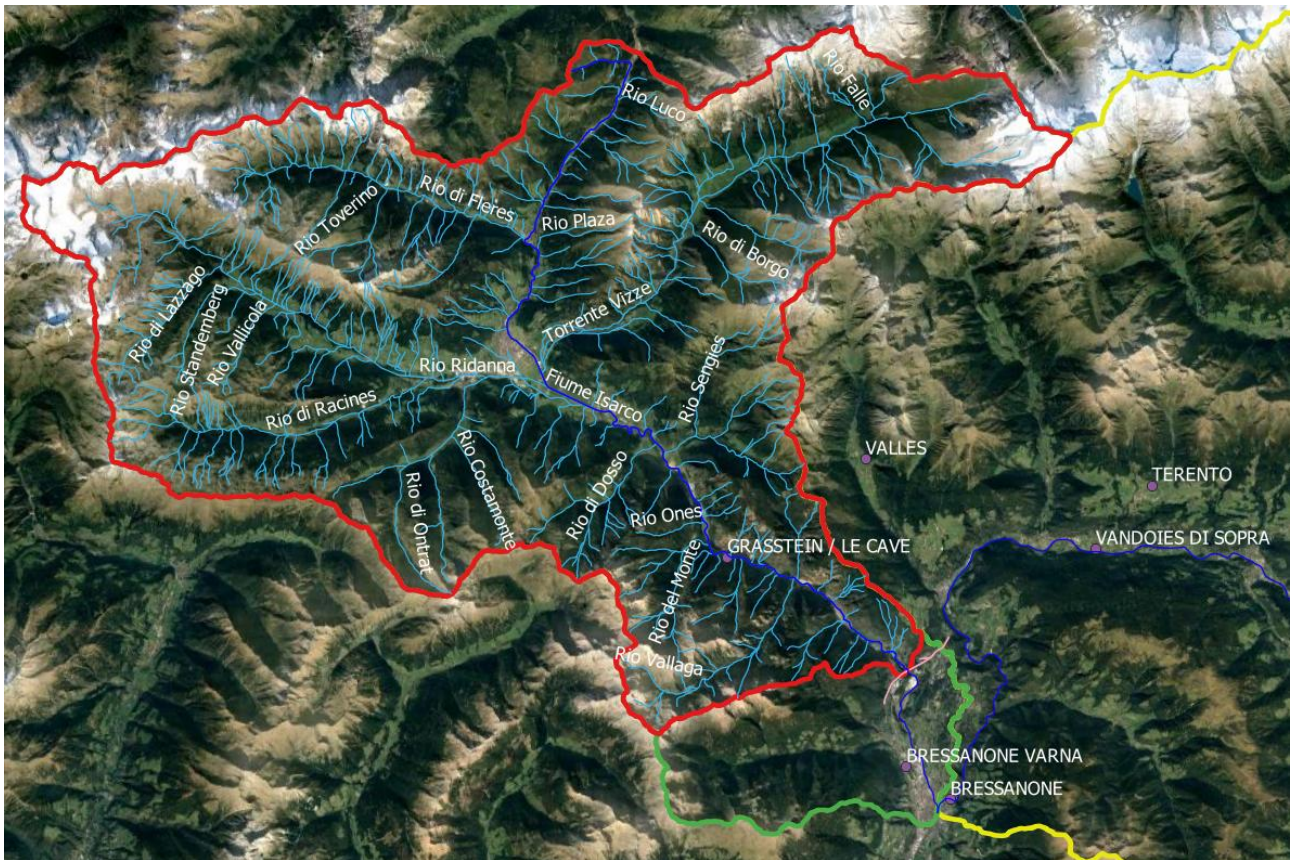


Figura 2 - Bacino idrografico del fiume Isarco, chiuso in corrispondenza del viadotto sulla variante di Val Riga.

Oltre al Fiume Isarco, la linea ferroviaria in progetto attraversa anche una serie di corsi d’acqua minori (per lo più piccoli impluvi e/o incisioni), tributari del Fiume Isarco stesso, i cui bacini imbriferi (o aree scolanti) sono indicati in Figura 3. In corrispondenza di tali corsi d’acqua minori è prevista la realizzazione delle seguenti opere idrauliche:

IN01 – LS Verona-Brennero - Km 193+445.42

L’IN01 è un tombino scatolare di trasparenza, di dimensioni 2.00 x 2.00 m, situato al km 193+445.42. È stato inserito per dare trasparenza al lato binario pari della linea, raccogliendo i contributi del versante di monte. Trova recapito nel bacino di laminazione/dispersione IN21. Il bacino afferente all’IN01 è un area scolante priva di ben definita canalizzazione delle acque.

IN02 – Val di Riga - Km 0+467.70

L’IN02 è una sistemazione idraulica situata al km 0+467.70, che prevede: sistemazione del tratto a monte del ponticello esistente, rifacimento del ponticello esistente, pulizia del tombino esistente sotto la linea storica, nuovo tombino scatolare 2.00 x 2.00m sotto la linea nuova, canale rettangolare ad U fino a ricongiungimento con sistemazione esistente. Il recapito è invariato rispetto l’esistente.

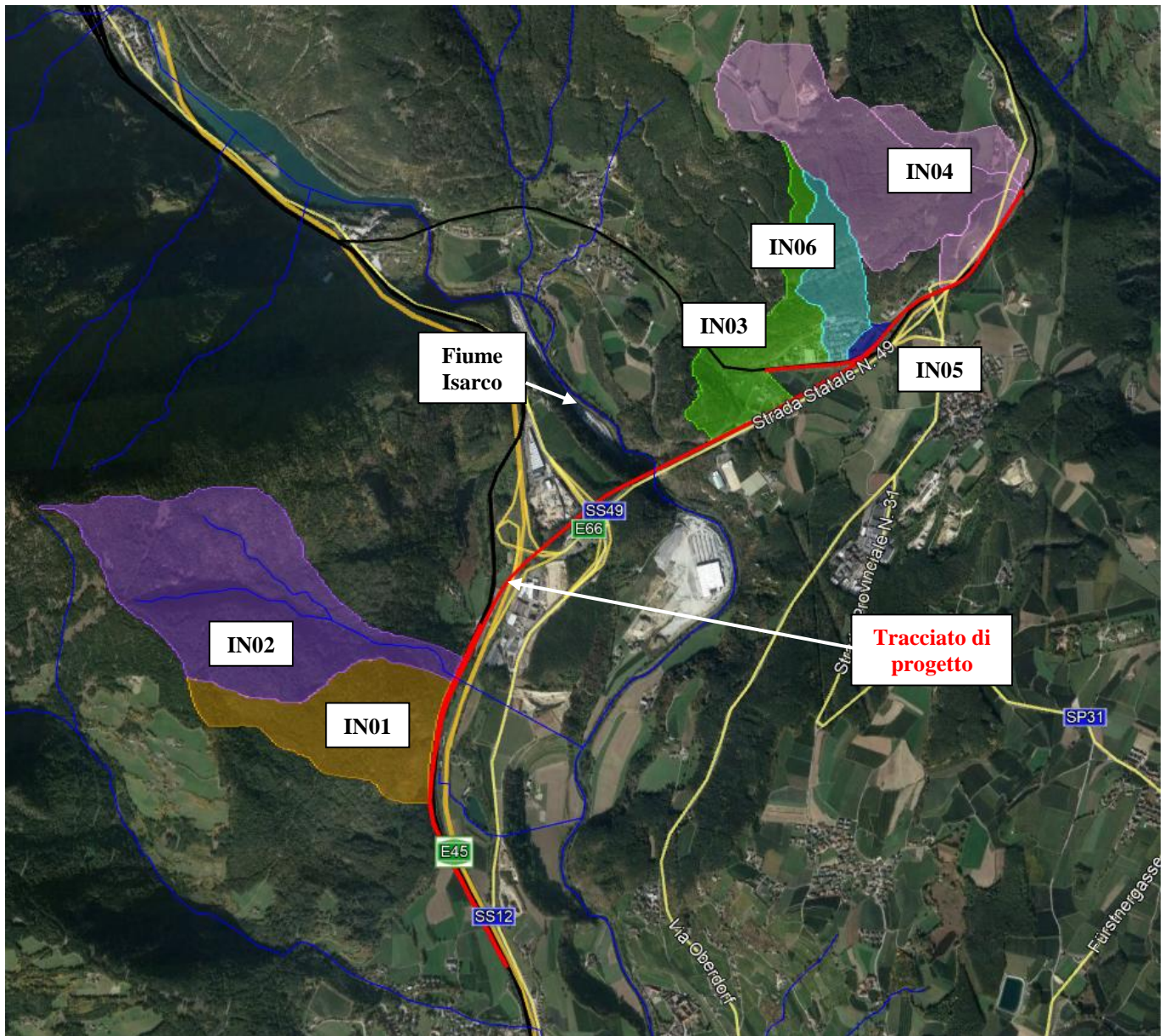


Figura 3 – Bacini idrografici minori interferenti con la “nuova” variante di Val Riga.

IN03 – Val di Riga - Km 2+325.00

L’IN03 è un tombino circolare di trasparenza, di dimensioni DN1500mm, situato al km 2+325.00. È stato inserito per dare trasparenza al lato binario pari della linea, raccogliendo i contributi della vabilità del nuovo svincolo della E66. Trova recapito nel fosso lato binario dispari della linea. Il bacino afferente all’IN03 è composto da parte delle viabilità e da un area scolante priva di ben definita canalizzazione delle acque.

IN04 – Naz-Sciaves - Km 4+250

L’IN04 è un tombino scatolare di trasparenza, di dimensioni 2.00 x 2.00 m, situato al km 4+250.00. È stato inserito per dare trasparenza al lato binario pari della linea, raccogliendo i contributi del versante di monte. Trova recapito nel bacino di laminazione/dispersione IN21. Il bacino afferente all’IN04 è composto da tre diverse aree scolanti prive di ben definita canalizzazione delle acque.

IN05 – LS Fortezza San Candido - Km 0+430.00

L’IN03 è un tombino circolare di trasparenza, di dimensioni DN1500mm, situato al km 0+430.00. È stato inserito con il duplice intento di dare trasparenza alla zona interclusa a monte, e soprattutto come recapito per le acque della linea in trincea e per eventuali acque derivanti dalla galleria. Trova recapito nella trincea drenante posta a valle.

Le caratteristiche morfometriche dei bacini afferenti a tali opere sono riportate in Tabella 2. Si precisa che soltanto per il bacino afferente all’opera denominata IN02 è possibile individuare una asta fluviale; i rimanenti bacini, relativi a piccoli impluvi e incisioni, si configurano come aree scolanti. Per quest’ultime, come meglio descritto in seguito, la valutazione delle portate al colmo è stata eseguita applicando un coefficiente idrometrico di riferimento, opportunamente valutato.

| Bacino | Area | Z_{media} | Z_{min} | Z_{max} | L | i_{asta} |
|---------------|--------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|----------|-------------------------|
| - | [km ²] | [m s.l.m] | [m s.l.m] | [m s.l.m] | [km] | [m/m] |
| IN01 | 0.45 | 958.5 | 674.0 | 1450 | - | - |
| IN02 | 1.0 | 1328.9 | 687.0 | 1917.1 | 2.4 | 0.545 |
| IN03 | 0.32 | 807.3 | 723.0 | 1033.0 | - | - |
| IN04 | 0.83 | 948.5 | 750.0 | 1107.0 | - | - |
| IN05 | 0.02 | 759.4 | 750.0 | 766.0 | - | - |
| IN06 | 0.20 | 872.1 | 750.0 | 1013 | - | - |

Tabella 2 – Parametri morfometrici dei bacini idrografici minori.

2 STUDIO IDROLOGICO

Ai fini dello studio idrologico dell’area di interesse è stata condotta un’analisi delle precipitazioni sulla base dei dati forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano. Tramite l’elaborazione statistica di questi dati, ossia i valori massimi annuali di pioggia di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrate in alcune stazioni meteo del territorio, sono stati ricavati i parametri delle curve CPP per i vari tempi di ritorno considerati (30, 50, 100, 200 e 300 anni); successivamente, tramite dei metodi di trasformazione afflussi-deflussi, si è provveduto al calcolo della portata al colmo in corrispondenza della sezione di interesse e per i vari tempi di ritorno. I valori così determinati sono stati, infine, confrontati con le corrispettive portate di picco calcolate secondo le linee guida del VA.PI. del Triveneto e con quelle fornite direttamente dalla Provincia Autonoma di Bolzano, calcolate nell’ambito della redazione del piano delle zone di pericolo di Bressanone, attualmente in vigore.

2.1 Analisi delle precipitazioni

2.1.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono state considerate le curve di possibilità pluviometrica (CPP) ricavate tramite l’analisi statistica secondo Gumbel da campioni di dati registrati in alcune stazioni di misura ricadenti nelle vicinanze o all’interno del bacino idrografico in esame, elencate nella tabella seguente, forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

La funzione di probabilità di Gumbel è del tipo a doppio-esponenziale:

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

con α ed ε parametri della legge di Gumbel; di solito stimati attraverso il metodo dei momenti e legati alla media μ ed allo scarto quadratico medio σ dei dati campionari dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6} * \sigma}$$


$$\varepsilon = \mu - 0.45 * \sigma$$

Essendo $Tr=1/p$ la relazione esistente tra il tempo di ritorno T_r , ossia il numero di anni T in cui la variabile x è raggiunta o superata mediamente una sola volta, e la probabilità di superamento $p=P(X>x)$, vale la relazione:

$$T_r = \frac{1}{1 - F(X)} \rightarrow \frac{T_r - 1}{T_r} = F(X) = e^{-e^{-\alpha(x-\varepsilon)}}$$

Invertendo questa relazione, considerando le espressioni di α ed ε soprariportate e ponendo $x=h_{t,T_r}$ (altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T_r), si ottiene la relazione:

$$h_{t,T_r} = \varepsilon - \frac{1}{\alpha} * \ln \ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) = \mu(h_t) - \sigma(h_t) * \left[0.45 + 0.78 * \ln \ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right]$$

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

Tramite questa relazione, per ciascun valore di T_r , si ottengono n valori corrispondenti alle n durate considerate ($n=5$ essendo $t = 1, 3, 6, 12, 24$ h). Questi valori, in un piano bi-logartimico (t, h_t) individuano una curva detta curva di possibilità pluviometrica (CPP) che può essere rappresentata da un'equazione del tipo:

$$h_{t,T_r} = a * t^n$$

Dove i parametri a ed n possono essere stimati, per ciascun tempo di ritorno, tramite regressione lineare ai minimi quadrati.

In Tabella 3 sono riportati i valori di a ed n , calcolati con il metodo di Gumbel, secondo la metodologia appena descritta, per le stazioni meteo raffigurate spazialmente in Figura 4, i cui valori sono stati forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

| BRESSANONE | | | BRESSANONE-VARNA | | | GRASSTEIN-LE CAVE | | |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------------|
| T_r | a | n | T_r | a | n | T_r | a | n |
| 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 | | |
| T_r | a | n | T_r | a | n | T_r | a | n |
| 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: parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.

Per determinare poi l'altezza di pioggia ragguagliata all'area del bacino si è applicato il metodo dei poligoni di Thiessen o dei topoi.

Per prima cosa, quindi, si sono costruiti i poligoni; successivamente si è fatta l'intersezione tra i poligoni stessi e l'area del bacino in modo da ottenere la porzione di superficie di ciascun poligono ricadente all'interno del bacino considerato (v. Figura 4). Nel caso in oggetto si possono individuare all'interno del bacino quattro aree di “influenza” relative ad altrettante stazioni meteo, elencate nella tabella sottostante (v. Tabella 4).

L'altezza di pioggia ragguagliata sull'intera area del bacino sarà quindi pari alla media, pesata rispetto alle aree, delle altezze di pioggia relative a ciascuna stazione:

$$h = \frac{1}{S} \sum_i h_i * S_i$$

Dove S rappresenta la superficie totale del bacino mentre S_i la superficie del singolo topoieta ricadente all'interno del bacino stesso.

| Stazioni Meteo | Superficie [km ²] |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| BRESSANONE VARNA | 7.88 |
| GRASSTEIN / LE CAVE | 480.09 |
| TERENTO | 1.51 |
| VALLES | 181.28 |
| Totale Superficie del Bacino | 670.76 |

Tabella 4 – Superficie dei singoli topoieta o poligoni di Thiessen ricadenti all'interno del bacino considerato.

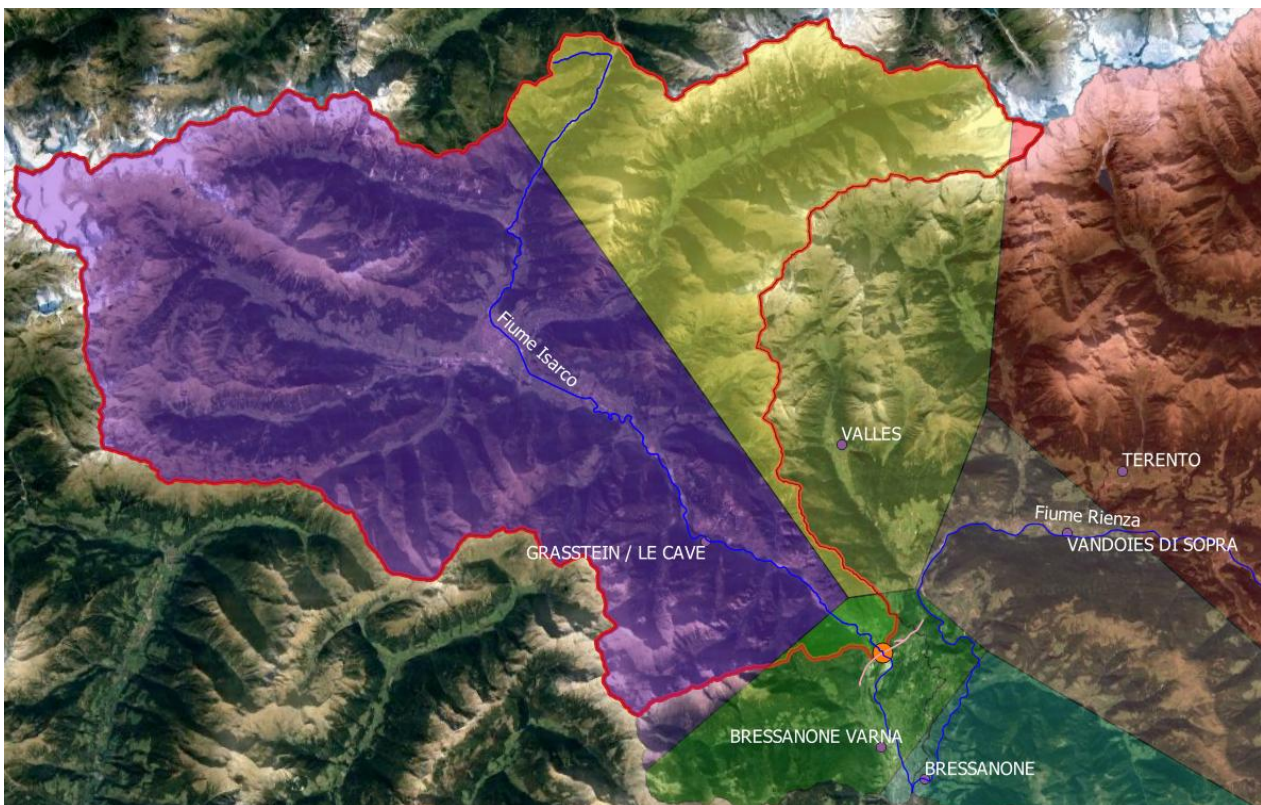


Figura 4 - Stazioni pluviometriche e suddivisione del bacino (spartiacque in rosso) nei relativi poligoni di Thiessen.

2.1.2 Analisi pluviometriche “sito specifiche” condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano

Per la valutazione delle portate al colmo dei corsi d'acqua minori sopra descritti si è fatto riferimento ai risultati delle analisi pluviometriche “sito specifiche” condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano per il “vicino” Rio Scaleres (evidenziato nella figura seguente), in ragione della modesta estensione dei bacini in questione.

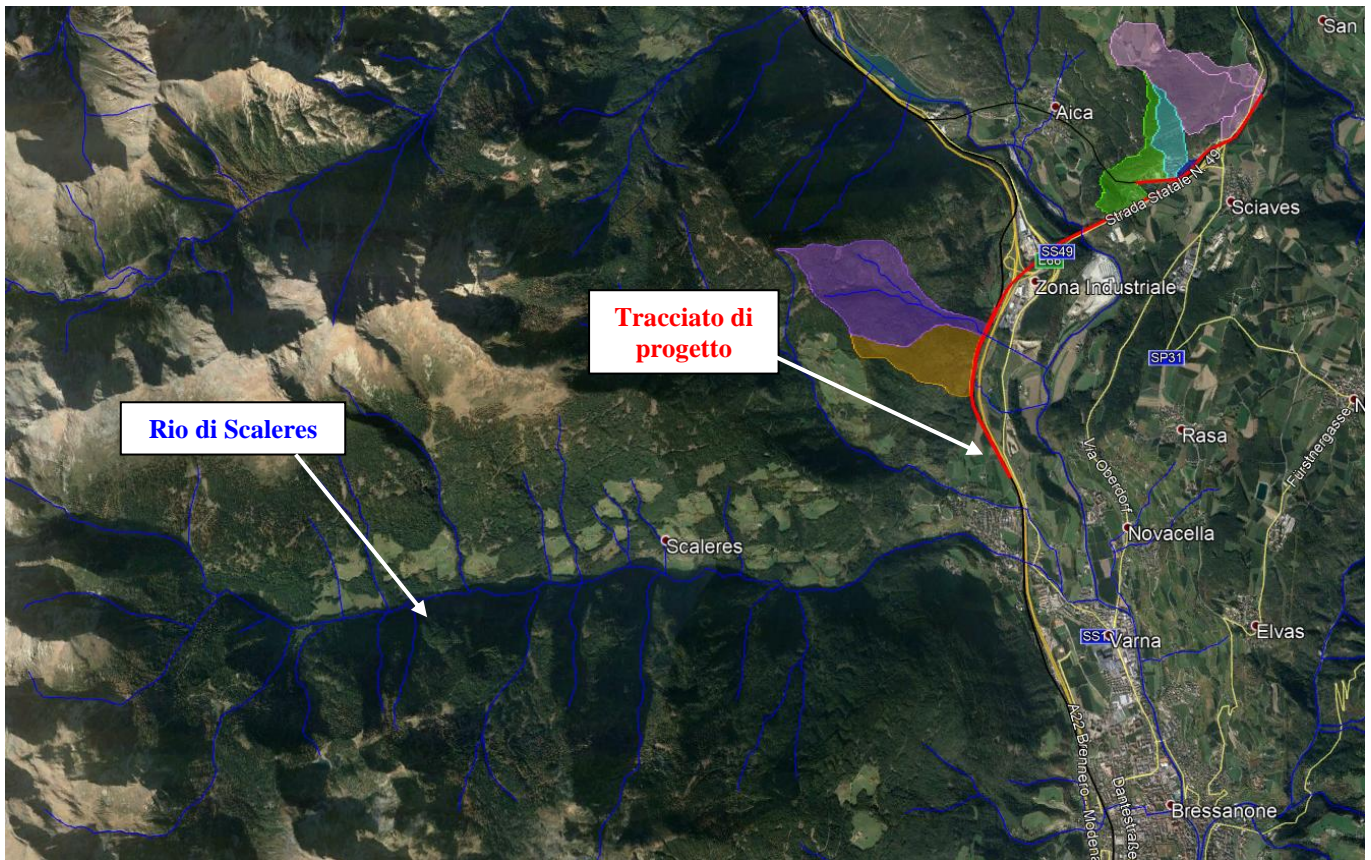


Figura 5 – Individuazione su ortofoto del Rio di Scaleres, di riferimento per lo studio dei corsi d’acqua minori.

Nello specifico, per il Rio Scaleres (non interferente con la nuova linea e quindi non oggetto di studio nel presente progetto) la Provincia Autonoma di Bolzano fornisce i seguenti parametri della curva di possibilità pluviometrica (del tipo $a \cdot \tau^n$), per durate sia superiori all’ora sia inferiori all’ora, per i vari tempi di ritorno considerati.

| RIO DI SCALERES | | | |
|-----------------|------|------------|------------|
| Tr | a | $n (< 1h)$ | $n (> 1h)$ |
| 30 | 41.8 | 0.37 | 0.35 |
| 50 | 45.4 | 0.37 | 0.35 |
| 100 | 50.4 | 0.37 | 0.35 |
| 200 | 55.3 | 0.37 | 0.35 |
| 300 | 58.2 | 0.37 | 0.35 |

Tabella 5 – Rio di Scaleres: parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica, per vari tempi di ritorno, di riferimento per i corsi d’acqua oggetto di studio.

Tali parametri sono più cautelativi di quelli precedentemente determinati per le stazioni pluviometriche di Grassein/Le Cave e Bressanone Varna, di riferimento per il Rio Scaleres (il relativo bacino ricade in parte nel topoieta della stazione di Grassein/Le Cave ed in parte in quello della stazione di Bressanone Varna). Sulla base di tali parametri sono state determinate le portate al colmo (per vari tempi di ritorno) relative al bacino afferente

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

all’opera IN02, nonché i corrispondenti valori del coefficiente udometrico (CU), applicati per la stima delle portate di progetto afferenti ai rimanenti corsi d’acqua minori. A tal proposito, per la verifica dell’attendibilità delle valutazioni riportate nel paragrafo successivo per tali corsi d’acqua, può essere preso come riferimento il coefficiente udometrico, per il tempo di ritorno di progetto $Tr = 200$ anni (in ottemperanza delle NTC2018 e del manuale di Progettazione Ferroviaria), relativo al Rio Scaleres, dedotto dalle analisi condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano; nello specifico, circa $3 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$.

2.1.3 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 Scaleres. Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri della curva di possibilità pluviometrica (del tipo $a \cdot \tau^n$), 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 | 40.09 | 0.366 |
| 100 | 50.37 | 0.366 |

Tabella 6 – Dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma (ferroviaria e stradale): parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica di riferimento.

2.2 Stima delle portate al colmo

2.2.1 Metodo Razionale

Uno dei più comuni metodi per il calcolo della portata di piena è il metodo razionale.

La relazione che esprime la portata di piena in funzione del tempo di ritorno, per mezzo della pioggia critica, e delle caratteristiche del bacino è:

$$Q_{max} = \frac{\varphi * S * h}{3.6 * \tau_c}$$

In cui:

- Q_{max} è la portata di piena espressa in m^3/s ;
- φ è il coefficiente di deflusso;
- S è la superficie del bacino, espressa in km^2 ;
- h è l’altezza di pioggia critica in mm;
- τ_c è il tempo di corrivazione del bacino in ore.

Il tempo di corrivazione è il tempo necessario alla pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura dello stesso. L'altezza critica di pioggia si deduce dalla curva CPP, di assegnato tempo di ritorno T_r , ponendo $t=t_c$. In quest'istante, infatti, la pioggia possiede la durata minima tale per cui tutto il bacino contribuisce alla formazione del deflusso e l'intensità maggiore, poiché al crescere della durata la precipitazione diviene sempre meno intensa.

In letteratura esistono diverse formule empiriche per la determinazione del tempo di corrivazione; per il **Fiume Isarco**, essendo l'estensione del bacino considerevole ($> 100 \text{ km}^2$), è stata applicata la formula di Giandotti:

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

con S = area del bacino [km^2]; L = lunghezza dell'asta principale [km]; h_m = altitudine media del bacino imbrifero sotteso [m s.l.m.]; h_0 = quota della sezione di chiusura del bacino [m s.l.m.]. **In particolare, risulta $\tau_c=6.07 \text{ h}$.**

Per bacini dalla modesta estensione, come quelli dei corsi d'acqua minori oggetto di studio, 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. Nello specifico, per il **bacino afferente all'opera IN02, $\tau_c=0.26 \text{ h}$** (valutato come media aritmetica tra i valori ottenuti mediante l'applicazione delle relazioni di Giandotti e di Ferro).

Quindi, con riferimento al **Fiume Isarco** si è proceduto a calcolare 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 curve CPP i cui parametri sono riportati in Tabella 3. Successivamente, applicando il metodo dei topoieti descritto in precedenza (v. Tabella 4 – Superficie dei singoli topoieti o poligoni di Thiessen ricadenti all'interno del bacino considerato. Tabella 4) si sono determinate l'altezze di pioggia per i vari T_r ragguagliate all'intera area del sottobacino di interesse, riportate nella sottostante Tabella 7.

| Tr [anni] | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| h [mm] | 62.89 | 67.33 | 73.32 | 79.28 | 82.76 |

Tabella 7 - Valori di altezza di pioggia, ragguagliata all'area, per vari tempi di ritorno (da analisi statistica secondo distribuzione di Gumbel).

Mentre, per il **bacino afferente all'opera IN02**, si è proceduto al calcolo dell'altezza di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione τ_c , facendo riferimento ai parametri delle curve di possibilità pluviometrica riportate in Tabella 5.

Il coefficiente di deflusso è stato valutato applicando il metodo del Curve Number CN (SCS method), sulla base della copertura del suolo (all'interno del sottobacino 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 |
| 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 (foraggere 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 è utilizzata 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 LAVE E VULCANITI IN GENERE | D |
| COMPLESSO DELLE ROCCE CRISTALLINE | B |
| COMPLESSO DELLE SABBIE | A |
| COMPLESSO DELLE ROCCE IMPERMEABILI | D |

Tabella 9 – Gruppi idrologici

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 un CN (medio) pari a **52 per il sottobacino del F. Isarco** in esame, e **69.5 per il bacino afferente all’opera IN02**. 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 T_r e una durata t_c , $P = a \cdot t_c^n$; $P_e = (P - 0.1 \cdot S)^2 / (P + 0.9 \cdot S)$; $S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$.

Di seguito, i valori di portata al colmo per il Fiume Isarco e per il corso d’acqua afferente all’opera IN02, per i vari tempi di ritorno considerati, secondo la metodologia adottata (analisi statistica delle registrazioni pluviometriche secondo Gumbel e metodo razionale), in corrispondenza delle sezioni di chiusura di interesse.

| <i>Tr</i> | <i>P</i> | <i>P_e</i> | φ | <i>Q</i> [m ³ /s] |
|------------|----------|----------------------|-----------|------------------------------|
| 30 | 62.89 | 5.68 | 0.09 | 174.32 |
| 50 | 67.33 | 6.92 | 0.10 | 212.35 |
| 100 | 73.32 | 8.75 | 0.12 | 268.47 |
| 200 | 79.28 | 10.74 | 0.14 | 329.58 |
| 300 | 82.76 | 11.97 | 0.14 | 367.54 |

Tabella 10 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse, da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche (secondo Gumbel).


| <i>Tr</i> | <i>P</i> | <i>P_e</i> | φ | <i>Q</i> [m ³ /s] | <i>CU</i> [m ³ /s/km ²] |
|------------|----------|----------------------|-----------|------------------------------|---|
| 30 | 25.47 | 0.09 | 0.10 | 2.68 | 2.73 |
| 50 | 27.71 | 0.25 | 0.10 | 2.92 | 2.97 |
| 100 | 30.73 | 0.60 | 0.10 | 3.23 | 3.29 |
| 200 | 33.74 | 1.07 | 0.10 | 3.55 | 3.62 |

Tabella 11 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al bacino afferente all’opera IN02.

I valori di CU ottenuti per il corso d’acqua afferente all’opera IN02 sono conformi alle analisi condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano per il Rio Scaleres (vedi paragrafo precedente); applicando tali valori di CU (Tabella 11) sono state quindi determinate le portate al colmo afferenti ai rimanenti corsi d’acqua minori.

| <i>Tr (anni)</i> | <i>Portata (m³/s)</i> | | | | |
|------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | <i>IN01</i> | <i>IN03</i> | <i>IN04</i> | <i>IN05</i> | <i>IN06</i> |
| 200 | 1.64 | 1.17 | 2.99 | 0.06 | 0.62 |
| 100 | 1.49 | 1.07 | 2.72 | 0.05 | 0.57 |
| 50 | 1.34 | 0.96 | 2.45 | 0.05 | 0.51 |
| 30 | 1.23 | 0.89 | 2.26 | 0.04 | 0.47 |

Tabella 12 - Bacini afferenti alle opere IN01, IN03, IN04, IN05, IN06: portate al colmo, per vari tempi di ritorno.

| | | | | | | |
|--|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

2.2.2 Metodo dell’SCS

In analogia alle analisi condotte dalla Provincia Autonoma di Bolzano, per la stima della portate al colmo del **Fiume Isarco** è stato applicato anche il metodo SCS (*Soil Conservation Service*). Nello specifico, 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 vuole 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 ragguagliata) 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.

Per rima cosa vanno inserite le informazioni relative al bacino, il metodo da utilizzare per il calcolo della pioggia netta e quello da utilizzare per la formazione della piena; nel caso oggetto di studio si è scelto, rispettivamente, il metodo del Curve Number e l’idrogramma unitario istantaneo del Soil Conservation Service, come raffigurato in Figura 6.

I metodi scelti richiedono di inserire il valore del CN, determinato al paragrafo precedente, ed il valore del tempo di ritardo (Lag Time):

$$t_r = 0.6 * t_c = 218 \text{ min}$$

Successivamente va inserito lo ietogramma di progetto, ossia in HEC-HMS il modello meteorologico. Nel presente studio è stato considerato come ietogramma di progetto quello di tipo Chicago, ottenuto a partire dalle curve CPP i cui parametri sono riportati in Tabella 3 e ragguagliando le altezze di pioggia all’area del bacino tramite il metodo dei poligoni di Thiessen.

La relazione che caratterizza lo ietogramma Chicago, dove r rappresenta la posizione del picco e t_p il tempo di pioggia è:

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

In particolare, è stato considerato uno ietogramma Chicago con picco centrale ($r=0.5*t_p$) e tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione. HEC-HMS permette di inserire lo ietogramma in forma discreta.

Nel caso in oggetto si è scelto di discretizzare con un passo temporale pari a $\Delta t = 0.25 \text{ h} = 15 \text{ min}$. In Figura 7 sono raffigurati gli ietogrammi di progetto per i vari tempi di ritorno considerati.

| | |
|---|--|
| <p>Subbasin Loss Transform Options</p> <p>Basin Name: Basin 1 Element Name: Isarco_monte</p> <p>Description:</p> <p>Downstream: --None--</p> <p>*Area (KM2) 670.76</p> <p>Latitude Degrees: 46</p> <p>Latitude Minutes: 53</p> <p>Latitude Seconds: 56</p> <p>Longitude Degrees: 11</p> <p>Longitude Minutes: 26</p> <p>Longitude Seconds: 46</p> <p>Canopy Method: --None--</p> <p>Surface Method: --None--</p> <p>Loss Method: SCS Curve Number</p> <p>Transform Method: SCS Unit Hydrograph</p> <p>Baseflow Method: --None--</p> | <p>Subbasin LOSS Transform Options</p> <p>Basin Name: Basin 1 Element Name: Isarco_monte</p> <p>Initial Abstraction (MM) 23.45</p> <p>*Curve Number: 52</p> <p>*Impervious (%) 0.0</p> |
| | <p>Subbasin Loss Transform Options</p> <p>Basin Name: Basin 1 Element Name: Isarco_monte</p> <p>Graph Type: Standard (PRF 484)</p> <p>*Lag Time (MIN) 218</p> |

Figura 6 - Parametri di Input da immettere in HEC-HMS.

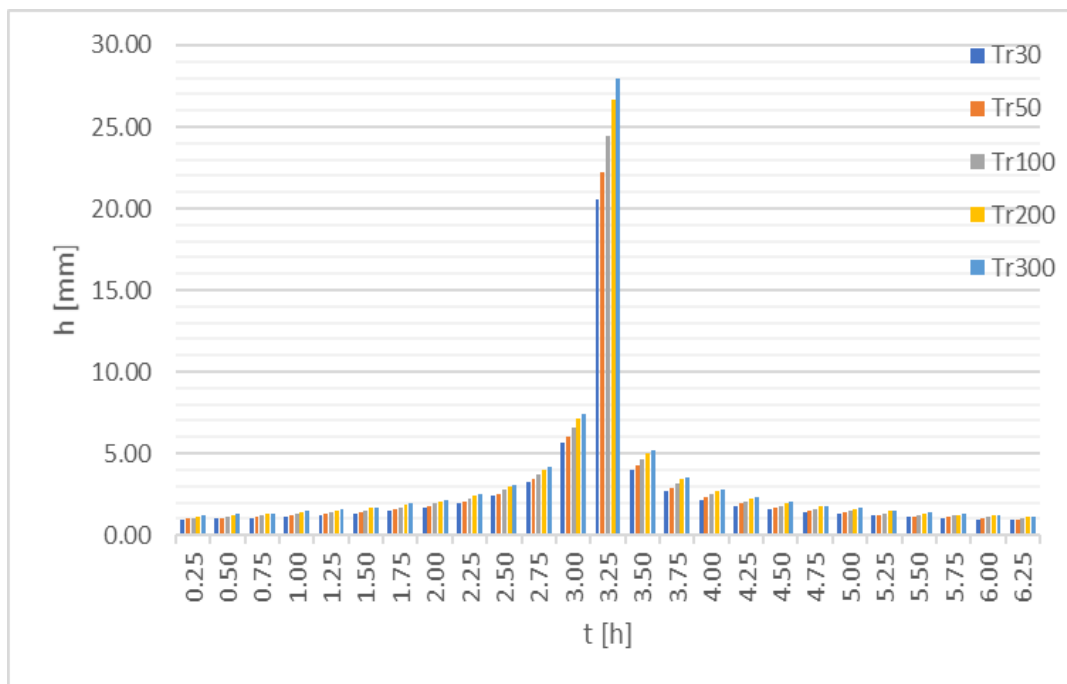


Figura 7 – Ietogrammi di progetto per i vari tempi di ritorno.

HEC-HMS restituisce come output gli idrogrammi di piena in uscita dalla sezione di chiusura del bacino, raffigurati in Figura 8.

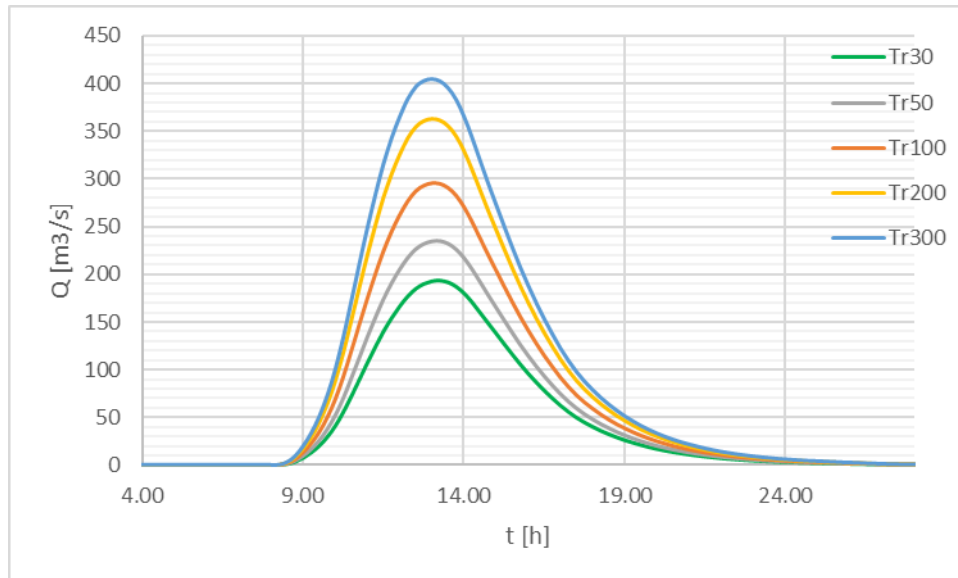


Figura 8 – Fiume Isarco: idrogrammi di piena di progetto.

Di seguito, i valori di portata al colmo, per i vari tempi di ritorno considerati, secondo la metodologia adottata (analisi statistica delle registrazioni pluviometriche secondo Gumbel ed idrogramma dell’SCS), in corrispondenza della sezione di chiusura di interesse.

| <i>Tr</i> | <i>Q</i> [m ³ /s] |
|------------|------------------------------|
| 30 | 193.00 |
| 50 | 234.50 |
| 100 | 295.70 |
| 200 | 362.90 |
| 300 | 404.20 |

Tabella 13 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse, da analisi statistica delle registrazioni pluviometriche (secondo Gumbel) ed idrogramma dell’SCS.

2.2.3 Metodo VA.PI. 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, soprattutto per i grandi corsi d’acqua, 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:

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

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

$$P(X) = e^{\left(-\Lambda_{b,d} e^{-\beta K_T} - \Lambda^* \Lambda_{b,d} \frac{1}{\theta^*} e^{-\frac{\beta K_T}{\theta^*}} \right)}$$

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 – Regione Basilicata

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:

$$Tr = \frac{1}{1 - e^{\left[-\Lambda_1 e^{-\eta K_T} - \Lambda^* \Lambda_1^{\frac{1}{\theta^*}} e^{-\frac{\eta K_T}{\theta^*}} \right]}} \quad [**]$$

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

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.

| T_r (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 |

Illo 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

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

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 raffigurate, valide come indicato per elevate estensioni del bacino di interesse.

Nel caso oggetto di studio, tali formulazioni sono state quindi applicate soltanto al Fiume Isarco (non sono state applicate ai corsi d'acqua minori in ragione della loro limitata estensione). Nello specifico, essendo il Fiume Isarco un affluente dell'Alto Adige, vale la relazione:

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

con A superficie del bacino considerato.

Essendo A pari a 670.76 km^2 , si ottiene $m(Q) = 162.25 \text{ m}^3/\text{s}$.

| 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) |
| BRENTA e PIAVE | Asta principale da Merano a Rovereto | $m(Q) = 44.44 \cdot 10^{-2} A^{0.844}$ | | |
| | 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) |

Tabella 3.7 Parametri a e b delle relazione, $m(Q)=a A^b$, per i bacini del Triveneto (le aree sono espresse in $[km^2]$, le portate in $[m^3/s]$).

Figura 9 – Tabella dal VA.PI. del Triveneto: relazioni per il calcolo della portata di piena media annua.

Noto $m(Q)$, si è proceduto al calcolo della portata di colmo per i vari tempi di ritorno, applicando le relazioni sopra esposte, ottenendo i risultati riportati in tabella.

| <i>Tr</i> | <i>Q[m³/s]</i> |
|------------|---------------------------|
| 30 | 330.91 |
| 50 | 367.35 |
| 100 | 416.76 |
| 200 | 466.22 |
| 300 | 495.14 |

Tabella 14 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse secondo la metodologia del VA.PI. del Triveneto.

2.3 Confronto tra le differenti metodologie adottate

Di seguito si riporta il confronto tra i valori di portata al colmo, relativi al sottobacino di interesse del **Fiume Isarco**, ottenuti applicando le differenti metodologie sopra descritte.

I valori ottenuti sono stati, inoltre, confrontati con i corrispondenti valori forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano, in corrispondenza della sezione di chiusura di interesse (superficie bacino = 682 km²):

| <i>Tr</i> | <i>Q</i> [m ³ /s] |
|------------|------------------------------|
| 30 | 230.5 |
| 50 | 262.2 |
| 100 | 306.6 |
| 200 | 358.4 |
| 300 | 399.6 |

Tabella 15 – Valori di portata di picco forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

Si può notare la procedura del VA.PI. Triveneto fornisca valori di portata al colmo più cautelativi rispetto agli altri approcci. E’ da segnalare che le metodologie “*Gumbel + metodo SCS*” e “*Gumbel + metodo razionale*” restituiscono invece valori di portata al colmo più conformi a quelli forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano (soprattutto per elevati tempi di ritorno, con riferimento alla metodologia “*Gumbel + metodo SCS*”).

Sulla base di queste considerazioni, **si è ritenuto opportuno utilizzare, quale dato di base per la modellazione idraulica monodimensionale in regime di moto permanente, i valori più cautelativi di portata al colmo calcolati con il metodo VA.PI., riportati in Tabella 14 - Portate al colmo, per vari tempi di ritorno, relative al sottobacino del F. Isarco di interesse secondo la metodologia del VA.PI. del Triveneto.**

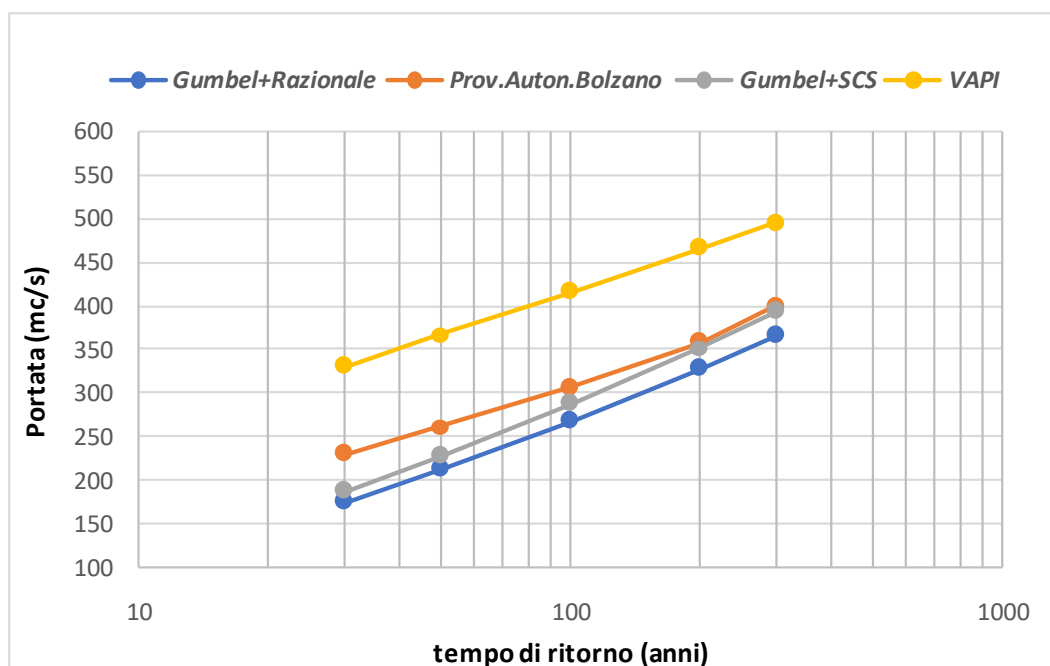


Figura 10 - Fiume Isarco: portate al colmo per vari tempi di ritorno, secondo differenti metodologie.

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA | | | | | |
| | RELAZIONE IDROLOGICA | COMMESSA IB0H | LOTTO 00 | CODIFICA D 09 RI | DOCUMENTO ID 00 01 001 | REV. A |

3 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.