

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34H16000620009

## U.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE NORD

## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

### POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

#### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul Fiume Isonzo

#### IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

SCALA:

-

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

I Z 0 4 4 0 R 2 6 R H I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Cappellini <i>C. Cappellini</i>	Giugno 2021	S. Scafa <i>S. Scafa</i>	Giugno 2021	S. Lo Presti <i>S. Lo Presti</i>	Giugno 2021	A. Perego Giugno 2021

File: IZ0440R26RHID0001001A

n. Elab.

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>DISPOSIZIONI NORMATIVE.....</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....</b>	<b>10</b>
<b>4.1</b>	<b>IL BACINO DEL FIUME ISONZO .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2</b>	<b>IL BACINO DEL LEVANTE .....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1</b>	<b>CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....</b>	<b>16</b>
5.1.1	Dati analisi regionalizzata – Regione Friuli-Venezia Giulia.....	16
5.1.2	Dati annali idrologici – Analisi statistica con distribuzione di Gumbel .....	23
5.1.3	Confronto tra le metodologie di calcolo delle LSPP .....	27
5.1.4	Riepilogo dei valori adottati .....	29
<b>6</b>	<b>ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI .....</b>	<b>30</b>
<b>6.1</b>	<b>MORFOMETRIA DEI BACINI.....</b>	<b>30</b>
<b>6.2</b>	<b>STIMA DELLE PORTATE IDROLOGICHE: IL METODO DELLA CORRIVAZIONE .....</b>	<b>32</b>
6.2.1	Sintesi dei risultati .....	38
<b>7</b>	<b>EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI.....</b>	<b>43</b>
<b>7.1</b>	<b>I CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA .....</b>	<b>43</b>
<b>7.1</b>	<b>I CAMBIAMENTI CLIMATICI A SCALA DISTRETTUALE .....</b>	<b>46</b>
7.1.1	Metodologia impiegata .....	46
7.1.2	Le proiezioni climatologiche .....	48
<b>7.2</b>	<b>REVISIONE DEGLI INPUT PLUVIOMETRICI DI PROGETTO .....</b>	<b>48</b>

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1 INQUADRAMENTO AREA D'INTERVENTO.....	5
FIGURA 3-1 SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI .....	8
FIGURA 4-1 INQUADRAMENTO VARIANTE ISONZO.....	10
FIGURA 4-2 ESTENSIONE DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI.....	11
FIGURA 4-3 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI DI COMPETENZA DEL DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI .....	11
FIGURA 4-4 BACINO IDROGRAFICO DEL FIUME ISONZO .....	13
FIGURA 4-5 BACINO IDROGRAFICO DEL LEVANTE .....	15
FIGURA 5-1 OUTPUT APPLICATIVO RAINMAP FVG.....	18
FIGURA 5-2 RAINMAP FVG: LSPP PER DURATE > 1 ORA.....	19
FIGURA 5-3 RELAZIONE ALTEZZA-FREQUENZA PER 2, 25, 100 ANNI.....	21
FIGURA 5-4 ALTEZZE DI PIOGGIA AL VARIARE DEL TEMPO DI RITORNO, PER UNA DURATA PARI A 30 MINUTI .....	22
FIGURA 5-5 RAINMAP FVG: LSPP PER DURATE < 1 ORA.....	23
FIGURA 5-6 DATI STAZIONE PLUVIOMETRICA.....	24
FIGURA 5-7 POSIZIONAMENTO DEL PLUVIOMETRO RISPETTO AGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....	24
FIGURA 5-8 LSPP PER IL PLUVIOMETRO "CERVIGNANO DEL FRIULI", PER DURATE > 1 ORA.....	26
FIGURA 5-9 LSPP PER IL PLUVIOMETRO "CERVIGNANO DEL FRIULI", PER DURATE < 1 ORA.....	27
FIGURA 5-10 CONFRONTO LSPP < 1 ORA, TR 200 ANNI.....	28
FIGURA 5-11 CONFRONTO LSPP > 1 ORA, TR 200 ANNI.....	28
FIGURA 6-1 BACINI IDROGRAFICI .....	31
FIGURA 6-2 MODELLO CINEMATICO: IDROGRAMMA DI PIENA PER DIFFERENTI DURATE DI PRECIPITAZIONI.....	34
FIGURA 6-3 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN01.....	38
FIGURA 6-4 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN02.....	39
FIGURA 6-5 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN03.....	40
FIGURA 6-6 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN04, ALLA PROGR. 109+523.30 KM.....	41
FIGURA 6-7 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN05, ALLA PROGR. 109+707.45 KM.....	42
FIGURA 7-1 PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA (MM), SCENARIO RCP4.5. MAPPE DELLE VARIAZIONI PREVISTE DAI MODELLI CLIMATICI PER I TRE ORIZZONTI TEMPORALI 2021-2050 (PRIMA RIGA), 2041-2070 (SECONDA RIGA), 2061- 2090 (TERZA RIGA) .....	45
FIGURA 7-2 – PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA (MM), SCENARIO RCP8.5. MAPPE DELLE VARIAZIONI PREVISTE DAI MODELLI CLIMATICI PER I TRE ORIZZONTI TEMPORALI 2021-2050 (PRIMA RIGA), 2041-2070 (SECONDA RIGA), 2061- 2090 (TERZA RIGA) .....	45
FIGURA 7-3 RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO GLOBALE DEL CMCC.....	47

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1-1 STRALCIO ELENCO ELABORATI.....	6
TABELLA 3-1 SINTESI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....	9

TABELLA 5-1 VALORI PARAMETRI A,N PER DURATE DI PRECIPITAZIONE > 1 ORA.....	19
TABELLA 5-2 RAPPORTO TRA ALTEZZA DI PIOGGIA DI DURATA INFERIORE AD UN'ORA – U.S. WATER BUREAU .....	20
TABELLA 5-3 VALORI PARAMETRI A, N PER DURATE DI PRECIPITAZIONE < 1 ORA .....	22
TABELLA 5-4 DATI ANNALI IDROLOGICI ELABORATI CON METODO DI GUMBEL PER DURATE DI PIOGGIA > 1 ORA .....	25
TABELLA 5-5 VALORI DEI PARAMETRI A,N PER DURATE < 1 ORA.....	26
TABELLA 5-6 PARAMETRI IDROLOGICI PER VARIANTE ISONZO.....	29
TABELLA 6-1 RIEPILOGO CARATTERISTICHE TOMBINI .....	30
TABELLA 6-2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI SOTTOBACINI .....	31
TABELLA 6-3 TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	33
TABELLA 6-4 CURVE NUMBER CN2 AL VARIARE DELL'USO DEL SUOLO E DEL GRUPPO IDROLOGICO .....	36
TABELLA 6-5 RIEPILOGO GRANDEZZE PER CALCOLO COEFFICIENTE DI DEFLUSSO $\Psi$ .....	37
TABELLA 6-6 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN01 .....	38
TABELLA 6-7 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN02 .....	39
TABELLA 6-8 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN03 .....	40
TABELLA 6-9 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN04 .....	41
TABELLA 6-10 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN05 .....	42
TABELLA 7-1 VARIAZIONI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA PREVISTE NELL'AREA DI INTERVENTO (ISPRA, 2015) ....	49
TABELLA 7-2 VALORI DI PORTATA IDROLOGICA DERIVANTE DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	49

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento viene redatto nell'ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica del potenziamento della linea Venezia - Trieste. Il progetto comprende tutte le opere atte a consentire l'allaccio e l'interfaccia con le linee storiche esistenti e la risoluzione delle interferenze tra la parte di progetto stessa e l'esistente (viabilità, idrografia, ecc.).

Il fine ultimo dello studio idrologico è rappresentato dalla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno, che verranno assunte nelle successive verifiche idrauliche. La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici finalizzata al calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme Tecniche delle Costruzioni.

In particolare, nella presente relazione si procederà alla definizione dei dati pluviometrici che caratterizzano gli eventi estremi di precipitazione, da impiegare come supporto alla progettazione della cosiddetta "Variante Isonzo", il cui tracciato ferroviario si sviluppa all'interno dei comuni di Villa Vicentina, Ruda, Fiumicello, Turriaco, San Canzian d'Isonzo.

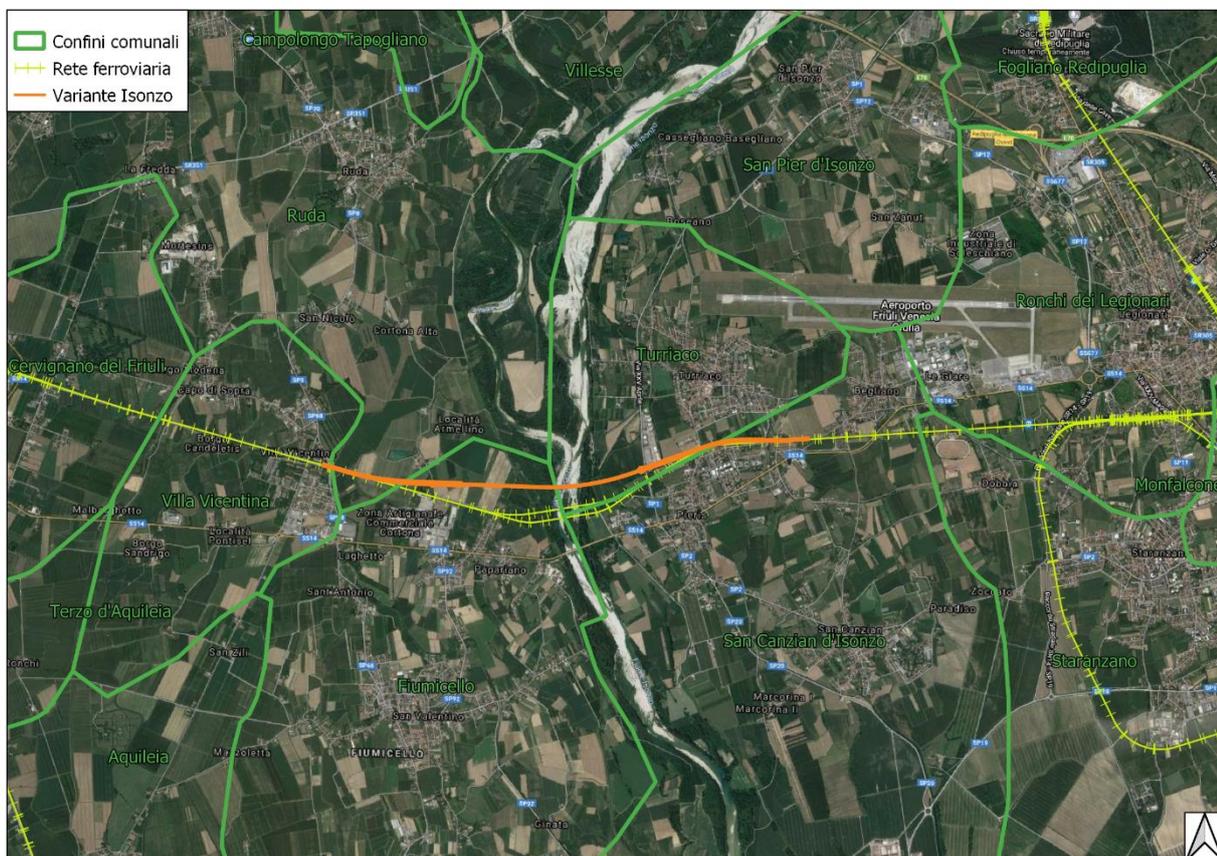


Figura 1-1 Inquadramento area d'intervento



## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello nazionale e/o europeo:

- R.D. 25/07/1904, n. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D. Lgs. 27 gennaio 1992, n. 132. "Attuazione della direttiva n. 80/68/CEE concernente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose".
- D.M. 14 Febbraio 1997 "Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione, da parte delle Regioni, delle aree a rischio idrogeologico".
- Direttiva 2000/60/CE, cosiddetta "Direttiva Acque".
- D. Lgs. n. 152/2006 – "Norme in materia ambientale".
- Direttiva 2007/60/CE, cosiddetta "Direttiva Alluvioni".
- L. 27 Febbraio 2009, n. 13 "Misure straordinarie in materia di risorse idriche e protezione dell'ambiente".
- D. Lgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- D. Lgs 23 Febbraio 2010, n. 49 "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione dei rischi di alluvioni".
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018) e relativa circolare (Circolare n. 7/2019).
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato al 2021.

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello regionale e/o a scala di distretto idrografico:

- L.R. 29 aprile 2015, n. 11 Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque.
- Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque).
- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione.
- Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante).
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali – I CICLO 2015-2021.

### 3 DISPOSIZIONI NORMATIVE

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 7 distretti idrografici, in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di Bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Figura 3-1 Suddivisione territoriale in distretti

Analizzando le opere in progetto secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, gli interventi ricadono principalmente nel bacino idrografico del fiume Isonzo, ma in parte anche nel bacino idrografico del Levante, entrambi di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali. Di conseguenza, l'analisi idraulica dovrà considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore nella zona in esame; in particolare, gli strumenti legislativi analizzati sono:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione.
- Piano stralcio per l'assetto idrogeologico dei bacini di interesse regionale (bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, ivi compresa la laguna medesima, del torrente Slizza e del levante).
- Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali – I CICLO 2015-2021.

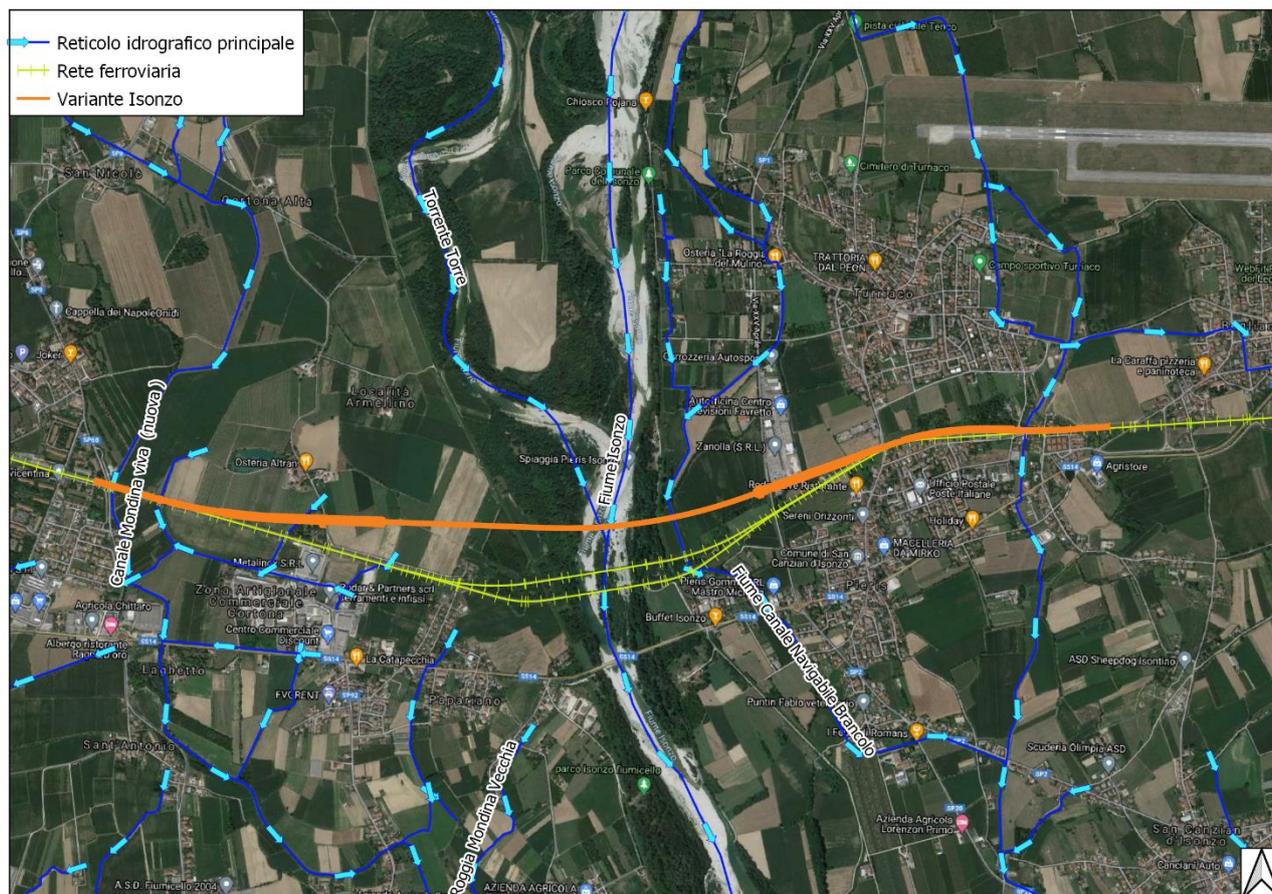
Di seguito si riporta una tabella di sintesi delle condizioni di pericolosità in cui si trovano attualmente gli interventi in progetto; per maggiori dettagli, si rimanda alle relazioni di compatibilità idraulica di ciascun intervento.

**Tabella 3-1 Sintesi delle condizioni di pericolosità degli interventi in progetto**

<b>INTERVENTO</b>	<b>PAI - ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE E BRENTA-BACCHIGLIONE</b>	<b>PAIR - Bacini idrografici dei tributari della laguna di Marano - Grado, del torrente Slizza e del levante</b>	<b>PGRA – I Ciclo</b>
Variante Isonzo	P3 dentro l'alveo del fiume Isonzo; P2 esternamente.	P2 ad est Isonzo	P2 ad ovest Isonzo; P1 ad est Isonzo.

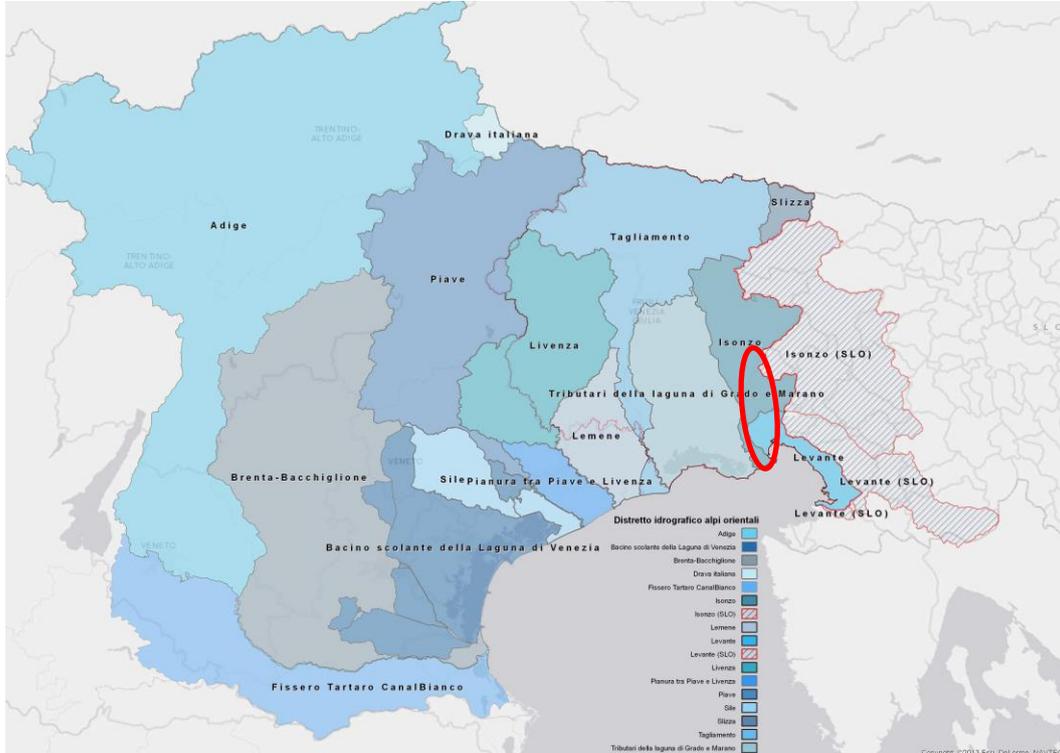
## 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Come anticipato nell'introduzione, nell'ambito della progettazione del potenziamento della linea Venezia - Trieste, è prevista la realizzazione della variante di tracciato denominata "Variante Isonzo", la cui estensione va dalla progr. 0+000 Km alla progr. 4+745.16 Km.

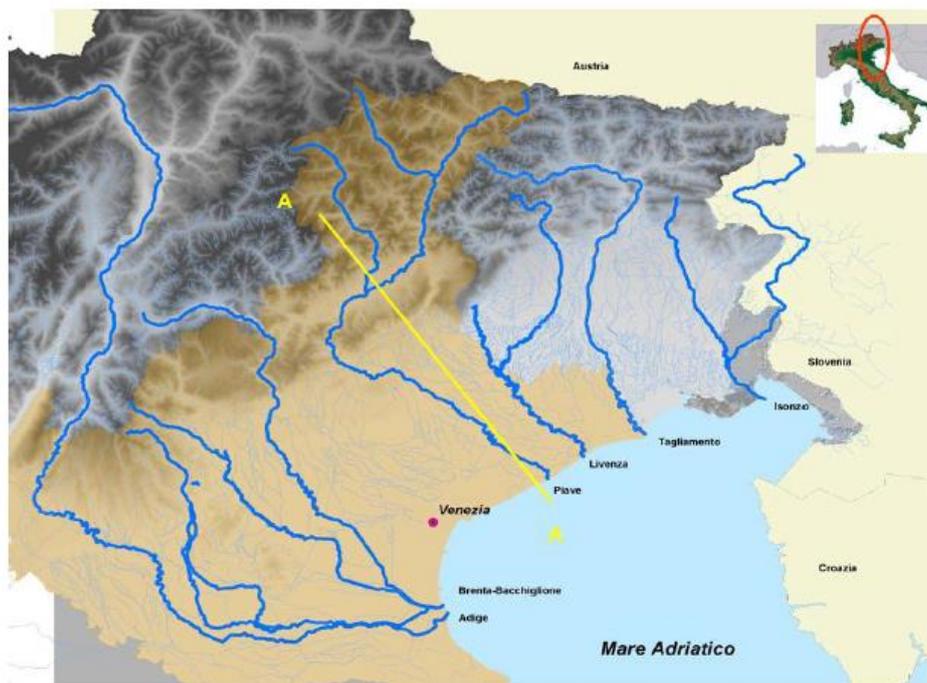


**Figura 4-1 Inquadramento Variante Isonzo**

Dal punto di vista dell'idrografia, la "Variante Isonzo" ricade principalmente nel bacino idrografico del fiume Isonzo, ma in parte anche nel bacino idrografico del Levante, entrambi di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali.



**Figura 4-2 Estensione Distretto idrografico Alpi orientali**



**Figura 4-3 Corsi d'acqua principali di competenza del distretto idrografico alpi orientali**



## POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 12 di 49
------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

#### 4.1 IL BACINO DEL FIUME ISONZO

Il fiume Isonzo nasce in Val di Trenta con sorgenti a quota 935 msm e sfocia nell'Adriatico, presso Monfalcone, ove forma un delta che tende, nel tempo, a spostarsi da occidente verso oriente.

Il bacino imbrifero dell'Isonzo sottende complessivamente una superficie di circa 3400 Km<sup>2</sup> dei quali circa 1150 Km<sup>2</sup>, cioè circa un terzo, in territorio italiano; di carattere prettamente torrentizio, il fiume Isonzo raccoglie e scarica le acque del versante meridionale delle Alpi Giulie, che separano questo bacino da quello della Sava. Gli affluenti principali di destra sono il Coritenza, in territorio sloveno, ed il Torre, che invece, scorre quasi totalmente in territorio italiano; a sinistra l'Isonzo è alimentato dall'Idria e dal Vipacco, con i rispettivi bacini compresi totalmente e quasi totalmente in territorio sloveno.

Per quanto riguarda le criticità idrauliche rilevate, il Fiume Isonzo, nel primo tratto in territorio italiano, fra il confine e la località di Straccia in comune di Gorizia, dove il fiume scorre incassato tra pareti rocciose, il fondo dell'alveo è costituito a tratti da materiali ghiaiosi mobili. Rilievi compiuti alla fine degli anni 60 indicavano un abbassamento dell'alveo presso il confine dell'ordine di 35 cm circa, rispetto alle quote rilevate nel 1960.

Tale situazione potrebbe pregiudicare la stabilità delle opere di derivazione e dei ponti situati in Comune di Gorizia. Il fenomeno è dovuto presumibilmente alla ritenuta di materiali effettuata dai serbatoi di Sottosella e Canale, in Repubblica di Slovenia.

Tra l'abitato di Gorizia e la foce, l'Isonzo scorre su fondo ghiaioso e pianeggiante, diviso in varie ramificazioni tra banchi di materiali ghiaiosi più o meno stabilizzati.

Il carattere eminentemente torrentizio del corso d'acqua provoca lo spostamento dei filoni con conseguenti corrosioni delle sponde costituite da materiali friabili e minaccia la stabilità degli argini che accompagnano tutto il corso inferiore ad eccezione del tratto in sponda sinistra tra Gorizia e Sagrado.

Alcuni tratti di arginatura, e precisamente il tratto in destra tra il ponte di Sagrado e Villesse ed il tratto in sinistra a valle del ponte di Pieris presentano fenomeni di infiltrazioni durante le piene, con formazione di fontanazzi pericolosi per la stabilità delle arginature.

Il territorio collocato in destra idrografica dell'Isonzo, nel territorio del comune di Gorizia, è interessato da diverse situazioni di dissesto con conseguenti allagamenti periodici della carreggiata stradale che corre parallela al corso d'acqua, nonché da movimenti franosi causati dal deflusso non regolato delle acque provenienti dal Monte Calvario e allagamenti del cimitero di Piedimonte e di Piuma.





## POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 14 di 49
------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

#### 4.2 IL BACINO DEL LEVANTE

Il bacino del Levante ha un'estensione complessiva di circa 1.280 km<sup>2</sup> dei quali 950 ricadenti in territorio sloveno; è formato da due zone geomorfologicamente molto diverse: l'estremo lembo orientale della pianura friulana ad est dell'Isonzo, dove scorrono una serie di canali artificiali, e la zona del Carso.

La zona del Carso è attraversata da tre corsi d'acqua principali: il fiume Timavo, il rio Osopo ed il torrente Rosandra.

Si tratta di un sistema idrografico ed idrogeologico composito che raccoglie una serie di bacini di rilievo regionale con caratteristiche molto diverse tra loro, che ricadono nel territorio compreso tra il corso dell'Isonzo, il confine italo-sloveno ed il Mare Adriatico.

Questi bacini, pur avendo estensione limitata, sono molto importanti per la delicatezza degli ambienti idrogeologici ma anche perché su di essi insistono i principali porti della Regione dei grossi centri urbani ed industriali di Trieste e Monfalcone. Il territorio tra il fiume Isonzo ed il Carso goriziano è la cosiddetta pianura alluvionale isontina, mentre la restante parte dei bacini a scolo superficiale ricade nel complesso arenaceo-marnoso del Flysch in provincia di Trieste. L'area del Carso goriziano e triestino, pur essendo caratterizzata da un deflusso superficiale nullo o estremamente limitato, è invece interessata da una ricca, complessa e solo parzialmente conosciuta circolazione idrica sotterranea.

Nel bacino regionale del Levante, i fenomeni di dissesto idrogeologico si concentrano in quei territori costituiti da litologie marnoso-arenacee, che imprimono al paesaggio una morfologia di tipo erosivo e presentano caratteristiche molto diverse dall'adiacente territorio carsico, più stabile e compatto. In questi territori, che comprendono la fascia costiera di Trieste e Muggia ed in parte i solchi vallivi del Torrente Rosandra e del Rio Osopo, l'abbandono dei coltivi e la conseguente assenza di manutenzione delle zone terrazzate costituisce un'ulteriore aggravante a suddetti fenomeni di instabilità. Numerosi sono i solchi di ruscellamento che tagliano i pendii e che durante gli episodi piovosi più intensi presentano portate notevoli; le pendenze maggiori si riscontrano sotto il "ciglione carsico", il cui innalzamento contrasta nettamente con le quote e le pendenze delle aree a substrato marnoso-arenaceo e con le alluvioni della pianura isontina.

Nel tratto costiero le precipitazioni annue presentano valori compresi tra 850 e 1100 mm con un andamento crescente da sud a nord; mentre sull'altopiano carsico tali quantità salgono a 1400 mm nel settore più settentrionale, seguendo un gradiente da SE a NO.

L'elevato grado di urbanizzazione del territorio, che comprende il grande conurbamento di Trieste, costituisce fattore predisponente ai fenomeni di dissesto.

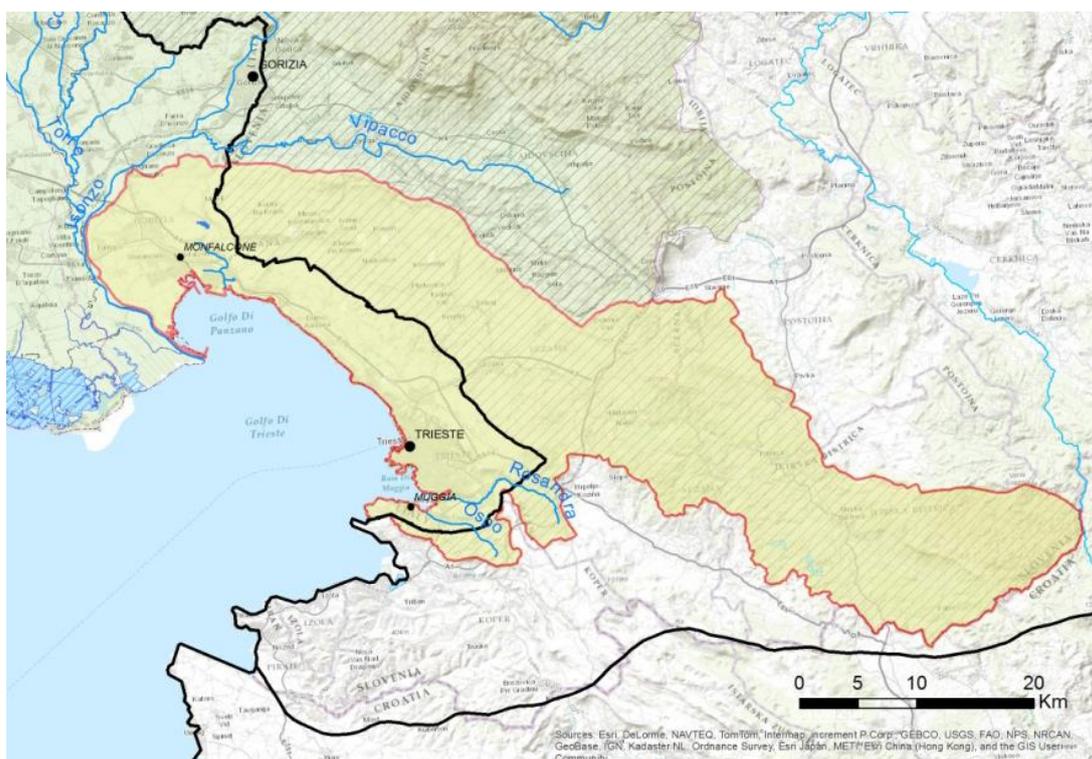
Considerate le specificità dell'idrografia superficiale, il bacino regionale del Levante da un punto di vista strettamente idraulico non presenta complessivamente (a scala di bacino) situazioni di grave pericolosità: infatti, l'elevata permeabilità della compagine carbonatica del territorio carsico determina l'assenza di corsi

d'acqua superficiali, con l'eccezione dei torrenti Rosandra e Ospio e di una serie di rii minori. In particolare, i torrenti Rosandra ed Ospio evidenziano alcuni tratti che sono in stato di sofferenza idraulica per la scarsa manutenzione e per il notevole incremento degli afflussi meteorici dovuti all'elevato grado di urbanizzazione.

Tuttavia, una particolare attenzione deve essere posta a quella miriade di piccoli bacini idrografici che interessano localmente soprattutto il territorio triestino e muggesano e che, estendendosi sui ripidi versanti costieri, a bassa permeabilità causata dai litotipi presenti, scaricano repentinamente le loro acque direttamente verso il mare.

Un'altra importante porzione del bacino di Levante è quella ubicata ad est del fiume Isonzo, in particolare nei comuni di Monfalcone, Staranzano, Ronchi dei Legionari e S. Canzian d'Isonzo.

Si tratta di territori prevalentemente di bonifica il cui carattere umido (paludoso) è da sempre noto. In particolare, si vuole citare il canale Branco ed il reticolo idrografico afferente che entra in grande sofferenza nel caso di piene concomitanti con l'alta marea. Alcuni dei territori citati si trovano al di sotto del livello medio del mare. Inoltre, il medesimo territorio è interessato da un importante reticolo idrografico sotterraneo che emerge in superficie (ad esempio il fiume Timavo ed il sistema dei laghetti Sablici). Anche in questi territori l'alta marea può provocare esondazioni (es. presso Villaggio del Pescatore), sia per quanto riguarda una effettiva insufficienza delle arginature a mare, sia per quanto riguarda fenomeni di rigurgito della rete di scolo e drenaggio in concomitanza con la stessa.



**Figura 4-5 Bacino idrografico del Levante**

## 5 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro *tempo di ritorno*), indispensabili per la determinazione delle portate di piena che verranno assunte nelle successive verifiche idrauliche, così da progettare degli interventi che siano normativamente compatibili con quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme Tecniche delle Costruzioni.

In generale, lo studio idrologico deve fornire l'inquadramento dell'area d'interesse sulla base dei dati idroclimatici ufficiali (Servizio Idrografico), delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo e di eventuali altri studi disponibili.

### 5.1 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

In generale, per la stima delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica, è preferibile utilizzare analisi già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle LSPP dell'area in esame; nel presente progetto sono state confrontate:

1. le Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica elaborate e fornite dalla Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia che ha effettuato una *“Analisi statistica su scala regionale per la progettazione di interventi di difesa e la zonizzazione del rischio”*.
2. le Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica che si ottengono eseguendo un'opportuna analisi statistica (con distribuzione di Gumbel) sui massimi di precipitazione, per diverse durate di pioggia, su una stazione pluviometrica ARPA-FVG localizzata nelle vicinanze delle opere in progetto.

Le elaborazioni sono state sviluppate come di seguito descritte.

#### 5.1.1 Dati analisi regionalizzata – Regione Friuli-Venezia Giulia

La regionalizzazione del regime pluviometrico che interessa il Friuli-Venezia Giulia è restituita direttamente dalla regione mediante l'applicativo *RainMap FVG*. Tale applicativo fornisce le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) e la rappresentazione tabellare delle precipitazioni massime orarie attese, in funzione della durata e del tempo di ritorno per una determinata località.

La base dati utilizzata dall'applicativo è stata realizzata nell'ambito del progetto INTERREG IIIB Alpine Space *Mitigation of hydro-geological risk in alpine catchments - Catchrisk*; in particolare, nello studio che ha portato alla realizzazione della regionalizzazione degli eventi di precipitazione massimi della regione Friuli-Venezia Giulia sono stati utilizzati i dati relativi alle precipitazioni orarie di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore provenienti da 62 stazioni pluviometriche ricadenti nella regione in esame e nella regione Veneto in prossimità del confine regionale. Il periodo temporale di acquisizione dati è compreso tra il 1920 ed il 1997 per la maggior parte delle



## POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 17 di 49
------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

stazioni, con integrazione di dati fino al 2003 quando disponibili. La numerosità campionaria minima è pari a 15 anni ed il valore medio è pari a 51 anni.

Il modello utilizzato per la determinazione delle altezze di pioggia massime è di tipo *scala-invariante* (ovvero a fattore di scala costante, cioè non funzione del tempo di ritorno dell'evento), è basato sulla distribuzione GEV (*Generalized Extreme Value*) ed è riassumibile nella seguente equazione:

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

dove:

- $h$  altezza della precipitazione attesa
- $a$  coefficiente pluviometrico orario dipendente dal tempo di ritorno
- $n$  coefficiente di scala, assunto scala-invariante nel modello utilizzato
- $t$  durata di precipitazione

A sua volta, il parametro  $a$  è legato al tempo di ritorno  $T_r$  da un'equazione del tipo:

$$a = f(a_1, cv, T_r)$$

dove:

- $a_1$  coefficiente pluviometrico orario
- $cv$  coefficiente di variazione

In sintesi, quindi, la funzione dell'applicativo RainMap FVG sarà quella di fornire, in ogni punto del territorio della regione Friuli-Venezia Giulia, i valori dei parametri  $a$ ,  $n$  delle LSPP necessari per il calcolo delle precipitazioni massime attese.

Nel dettaglio, la stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata per le durate da 1 a 24 ore con passo orario, definendo i parametri  $a$  ed  $n$  per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni.

Per gli interventi in progetto, i risultati ottenuti dall'applicativo inserendo il Comune, la zona o le coordinate di interesse, sono riportati nella seguente figura.

Coordinate Gauss-Boaga Fuso Est		
	E	N
Input	2395581	5074497
Baricentro cella	2395750	5074250

Parametri LSPP							
n	0,29						
Tempo di ritorno (Anni)							
	2	5	10	20	50	100	200
a	31.8	41.3	48.2	55.2	65.0	72.9	81.2

Precipitazioni (mm)							
Durata (Hr)	Tempo di ritorno (Anni)						
	2	5	10	20	50	100	200
1	31.8	41.3	48.2	55.2	65.0	72.9	81.2
2	38.8	50.5	58.9	67.5	79.5	89.1	99.2
3	43.7	56.8	66.3	75.9	89.4	100.2	111.6
4	47.5	61.8	72.0	82.5	97.2	108.9	121.3
5	50.7	65.9	76.9	88.1	103.6	116.2	129.4
6	53.4	69.5	81.0	92.8	109.3	122.5	136.5
7	55.8	72.7	84.7	97.1	114.3	128.1	142.7
8	58.1	75.5	88.1	100.9	118.8	133.1	148.3
9	60.1	78.2	91.1	104.4	122.9	137.8	153.5
10	61.9	80.6	94.0	107.7	126.7	142.0	158.3
11	63.7	82.8	96.6	110.7	130.3	146.0	162.7
12	65.3	84.9	99.1	113.5	133.6	149.7	166.8
13	66.8	86.9	101.4	116.2	136.7	153.3	170.8
14	68.3	88.8	103.6	118.7	139.7	156.6	174.5
15	69.7	90.6	105.7	121.1	142.5	159.8	178.0
16	71.0	92.3	107.7	123.4	145.2	162.8	181.4
17	72.2	94.0	109.6	125.6	147.8	165.7	184.6
18	73.4	95.5	111.4	127.7	150.3	168.4	187.7
19	74.6	97.1	113.2	129.7	152.6	171.1	190.6
20	75.7	98.5	114.9	131.6	154.9	173.6	193.5
21	76.8	99.9	116.5	133.5	157.1	176.1	196.2
22	77.8	101.3	118.1	135.3	159.3	178.5	198.9
23	78.8	102.6	119.6	137.1	161.3	180.8	201.5
24	79.8	103.9	121.1	138.8	163.3	183.1	204.0

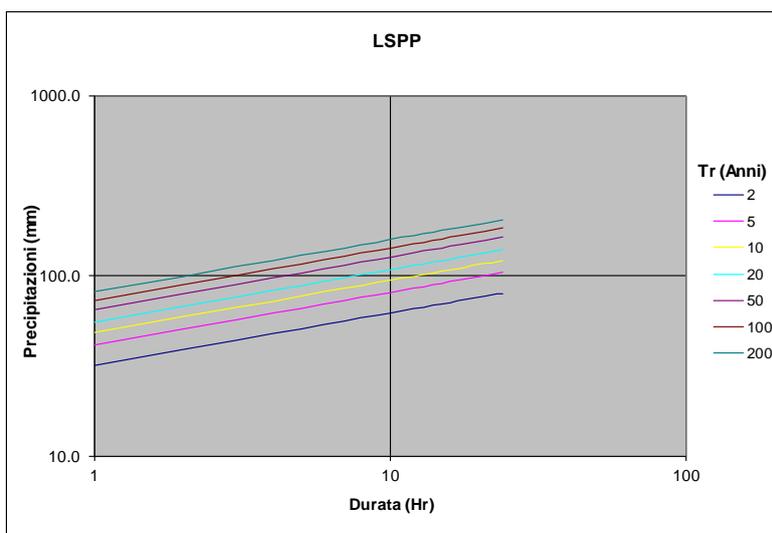


Figura 5-1 Output applicativo RainMap FVG

Di seguito, si riportano in una tabella di sintesi, i valori dei parametri a,n delle LSPP derivanti dall'utilizzo dell'applicativo RainMap FVG; ai tempi di ritorno già elencati sopra, è stato aggiunto quello di 25 anni (tramite interpolazione logaritmica), che potrà tornare utile per il dimensionamento delle smaltimento idraulico di viabilità a servizio della piattaforma ferroviaria, così come indicato dal Manuale di Progettazione di RFI:

Drenaggio della piattaforma (cunetta, tubazioni, ecc.):

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

In particolare, per le durate di precipitazione > 1 ora, sono stati utilizzati direttamente i valori forniti come output dall'applicativo RainMap FVG:

Tabella 5-1 Valori parametri a,n per durate di precipitazione > 1 ora

Tempo di ritorno [anni]							
25		50		100		200	
a [mm/h]	n	a [mm/h]	n	a [mm/h]	n	a [mm/h]	n
58.206	0.290	65.000	0.290	72.860	0.290	81.180	0.290

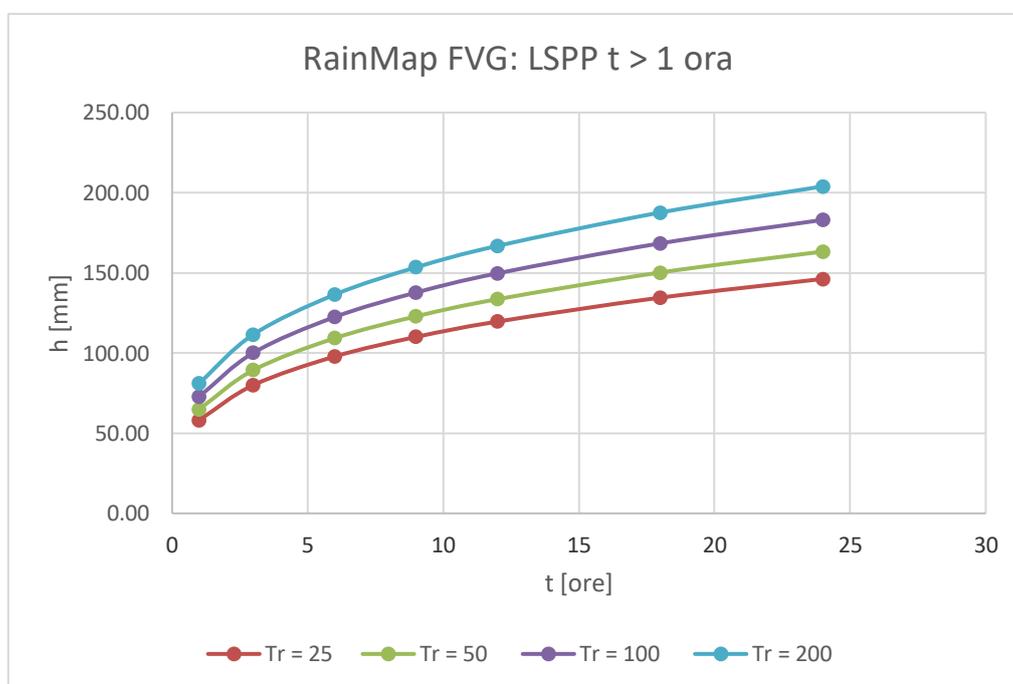


Figura 5-2 RainMap FVG: LSPP per durate > 1 ora

Nel caso di durate di precipitazione < 1 ora, l'utilizzo dei parametri riportati in Tabella 5-1 per il calcolo delle altezze di pioggia associate a durate dell'ordine dei minuti, risulta spesso troppo cautelativo.

Per ovviare a ciò, generalmente si procede al calcolo delle altezze di pioggia impiegando comunque la stessa formula ( $h = a t^n$ ) ma operando una correzione al parametro n, che in questo caso assume il nome di  $n'$ .

Per il calcolo del valore del parametro  $n'$ , si può procedere in due modi distinti:

- Seguendo le indicazioni presenti nella normativa regionale - *Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque)* -; a pag. 6 dell'Allegato 1, la normativa prescrive che << Nel caso di sistemi di drenaggio

nei quali, a causa della conformazione della rete drenante, si debbano considerare piogge di durata inferiore a quella oraria (scrosci), si procede estrapolando i necessari parametri dalle LSPP tarati sulle piogge di durata pari ad 1 ora: il coefficiente  $n$  va poi moltiplicato per il valore  $4/3$ , ovvero si ha  $n' = \frac{4}{3} n \gg$ . Nel nostro caso, si ottiene  $n' = 0.347$ .

b) Ricorrendo alla formula di Bell, di seguito descritta. Nel nostro caso, si ottiene  $n' = 0.4638$ .

### Formula di Bell

Lo U.S. Water Bureau raccomanda, per tempi di pioggia inferiori a mezz'ora, l'adozione di una relazione empirica derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che, a parità di tempo di ritorno, il rapporto tra l'altezza di pioggia relativa ad una durata dell'ordine dei minuti e l'altezza di pioggia relativa alla durata di 1 ora, rimane costante, come riportato in tabella seguente.

**Tabella 5-2 Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora – U.S. Water Bureau**

t [min]	5	10	15	30
$r_{\delta} = h_{\delta} / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969), sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che la relazione proposta da U.S. Water Bureau può essere estesa fino a valori di durata di pioggia pari a due ore; inoltre, egli ha riscontrato la costanza dei rapporti tra piogge di breve durata e piogge di durata pari ad un'ora anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico, come risulta dalla figura seguente.

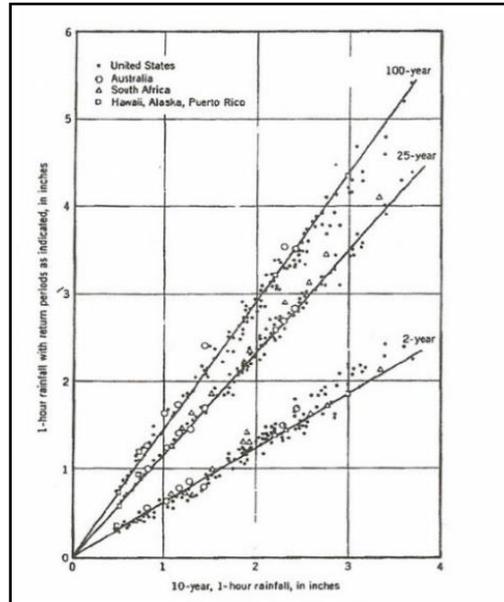


Figura 5-3 Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità-durata correlata al tempo di ritorno, Bell ha proposto la seguente relazione, che ben si adatta ai dati osservati:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per  $5 \leq t \leq 120$  minuti, dove:

- $P_T^t$  indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari al tempo  $t$ , riferita al periodo di ritorno  $T$
- $h_T^{60}$  è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, riferita al periodo di ritorno  $T$
- $t$  è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia  $h_t$  relativa all'evento di durata  $t$ , passando ai logaritmi, le coppie *altezza di pioggia-durata di pioggia* vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro  $a$  e il coefficiente angolare rappresenta proprio il parametro  $n'$ ; dunque, si ottiene:

$$h = a_{LSPP} t^{n'}$$

### Confronto tra le due metodologie

Per la definizione del parametro  $n'$  da impiegare per il calcolo delle altezze di pioggia associate a durate dell'ordine dei minuti, si effettua un confronto tra:

- Valore del parametro  $n'$  così come definito dalla Normativa Regionale sull'invarianza idraulica:  
 $n' = 4/3 n$ ;

- Valore del parametro  $n'$  così come ottenuto dal calcolo con la formula di Bell:  $n' = 0.4638$ .

A titolo di esempio, si riportano i valori di altezza di pioggia ottenuti con i due diversi valori di  $n'$ , per una durata di pioggia di 30 minuti.

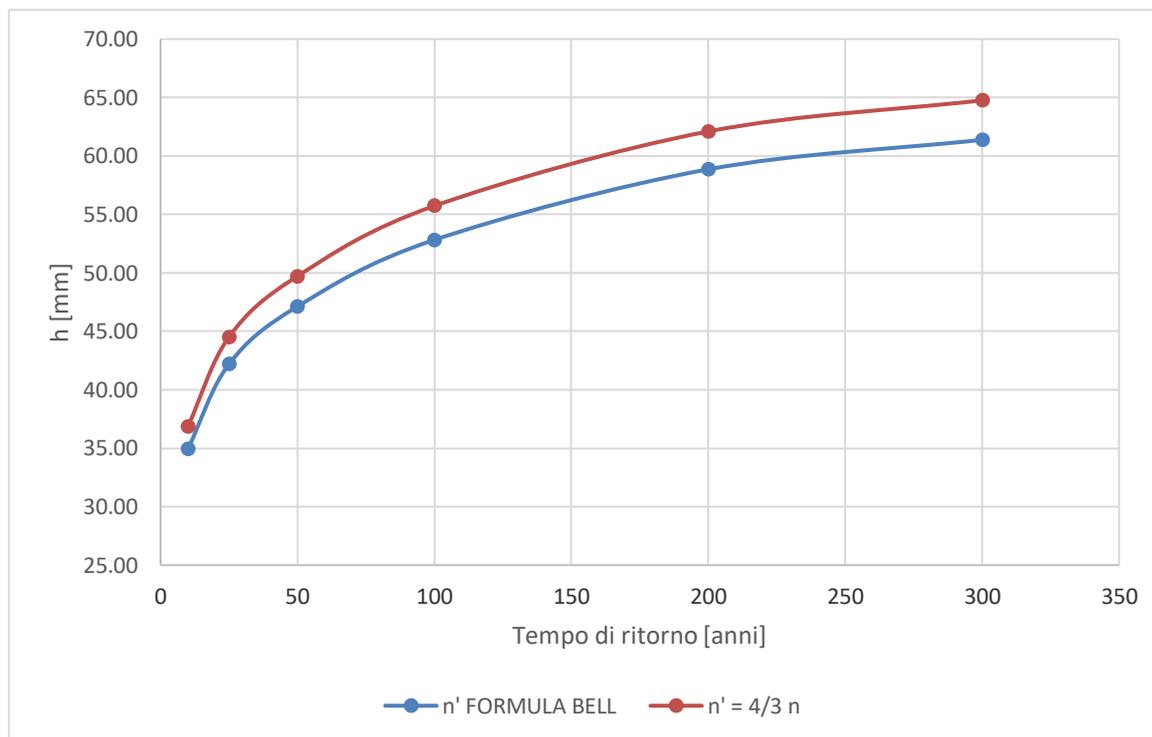


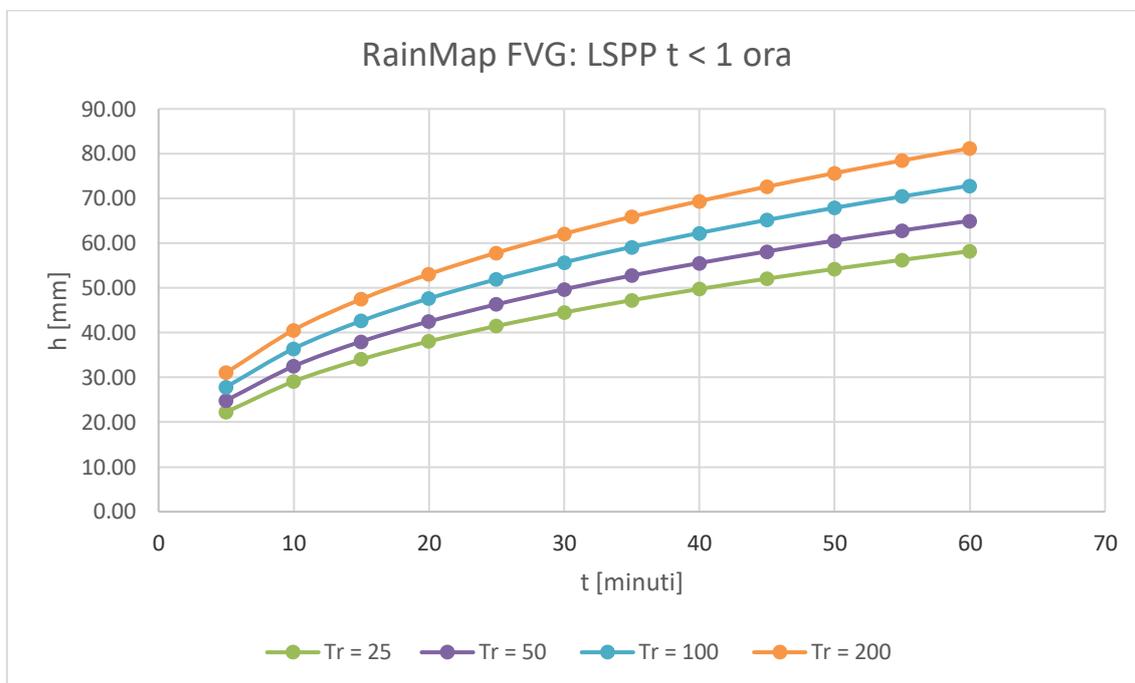
Figura 5-4 Altezze di pioggia al variare del tempo di ritorno, per una durata pari a 30 minuti

Come si evince dalla figura precedente, si hanno valori di  $h$  maggiori nel caso in cui  $n' = 4/3 n = 0.387$ .

Nella tabella seguente, si riportano i valori dei parametri per le durate di pioggia inferiori ad un'ora, nel caso in cui si ricorre all'uso della regionalizzazione del regime pluviometrico che interessa il Friuli-Venezia Giulia.

Tabella 5-3 Valori parametri  $a$ ,  $n$  per durate di precipitazione < 1 ora

Tempo di ritorno [anni]							
25		50		100		200	
a [mm/h]	n	a [mm/h]	n	a [mm/h]	n	a [mm/h]	n
58.206	0.387	65.000	0.387	72.860	0.387	81.180	0.387


**Figura 5-5 RainMap FVG: LSPP per durate < 1 ora**

### 5.1.2 Dati annali idrologici – Analisi statistica con distribuzione di Gumbel

Per disporre di un termine di paragone con i risultati riportati al paragrafo 5.1.1, sono stati considerati anche i dati del pluviometro più vicino agli interventi in progetto, ovvero la stazione di “Cervignano del Friuli”; ad onor del vero, la stazione pluviometrica più vicina in assoluto alla zona d’intervento è quella di “Ruda”, ma è stata scartata in quanto la serie di registrazioni disponibili copriva un arco temporale estremamente breve.

In generale, le registrazioni sono state reperite direttamente sul sito di ARPA Friuli-Venezia Giulia (<https://www.osmer.fvg.it/clima.php?ln=>) sotto forma di valori massimi di precipitazione al variare della durata di pioggia, dal 1992 al 2020 compresi. I dati degli Annali idrologici, per la stazione in esame, sono disponibili in formato standardizzato per durate orarie di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Di seguito si riportano i dati geografici del pluviometro d’interesse, il suo posizionamento rispetto agli interventi in progetto, e, a seguire, i dati degli annali idrologici, elaborati con il metodo di Gumbel.

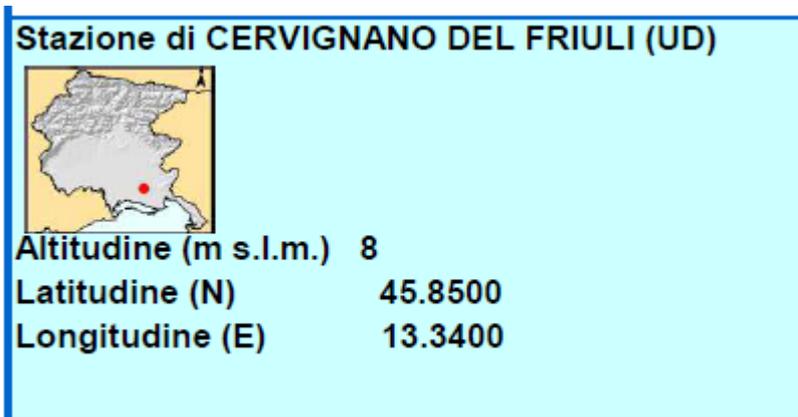


Figura 5-6 Dati stazione pluviometrica

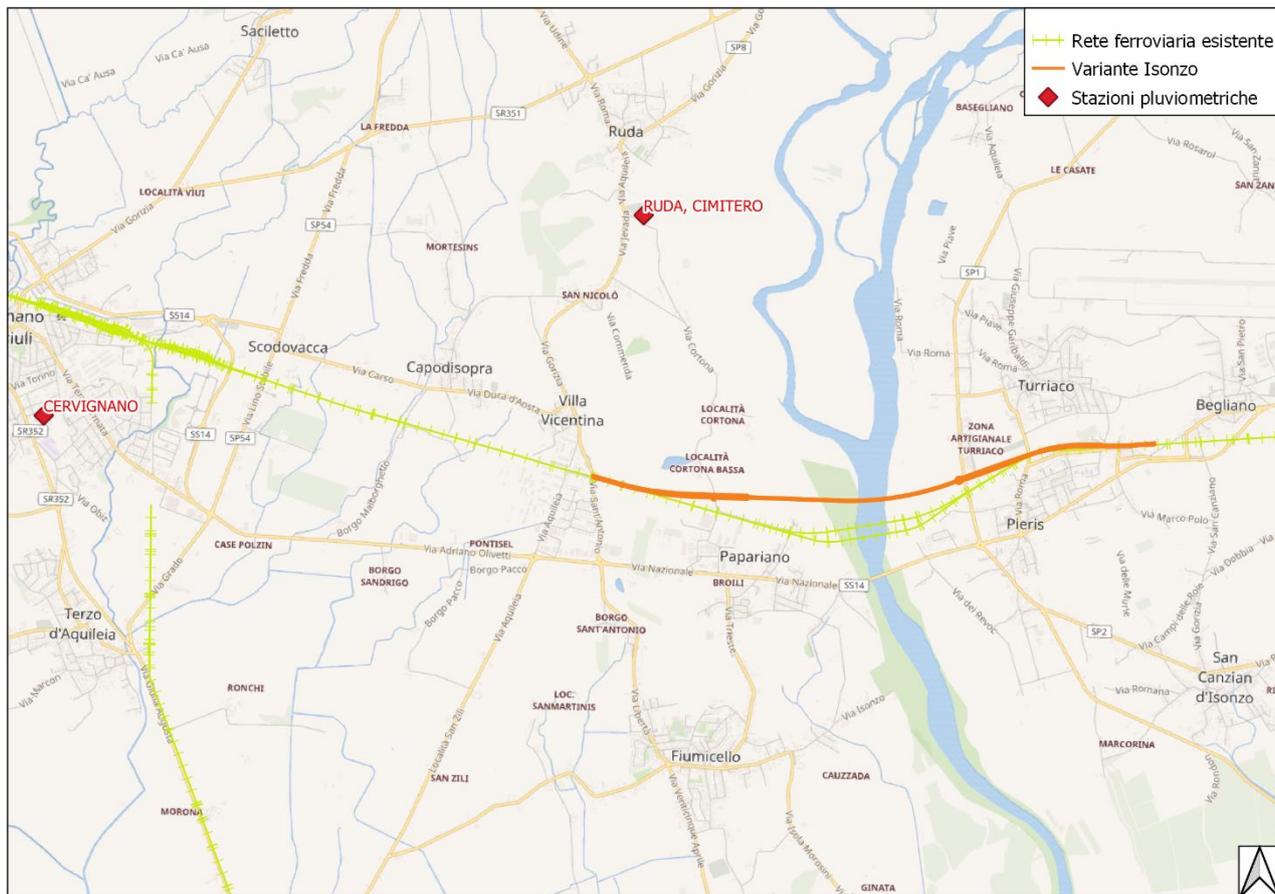


Figura 5-7 Posizionamento del pluviometro rispetto agli interventi in progetto

Tabella 5-4 Dati annuali idrologici elaborati con metodo di Gumbel per durate di pioggia > 1 ora

Durate di pioggia > 1 ora					
CERVIGNANO DEL FRIULI					
INTERVENTO	Variante Isonzo				
ANNO	MAX_1H	MAX_3H	MAX_6H	MAX_12H	MAX_24H
1992	28	34	48	56	56
1993	19	32	34	50	64
1994	26	37	49	72	78
1995	67	145	151	161	168
1996	47	82	86	116	120
1997	41	47	53	76	76
1998	23	45	67	88	96
1999	55	89	89	89	89
2000	57	75	77	77	103
2001	25	48	50	62	62
2002	51	76	90	105	120
2003	21	36	48	57	83
2004	34	59	59	73	83
2005	51	60	62	97	104
2006	20	50	57	62	69
2007	21	34	49	70	71
2008	50	57	84	146	175
2009	44	71	87	87	122
2010	28	56	61	109	118
2011	23	48	77	91	104
2012	22	33	47	66	119
2013	59	91	113	127	132
2014	42	54	75	104	136
2015	28	39	53	70	120
2016	30	56	67	98	118
2017	39	58	68	94	94
2018	27	34	38	41	48
2019	34	55	65	87	106
2020	29	38	68	101	121
<b>Numerosità N</b>	29	29	29	29	29
<b>Media <math>\mu</math></b>	35.90	56.52	68.00	87.31	101.90
<b>Dev. Std <math>\sigma</math></b>	13.77	24.07	23.97	27.54	30.86
<b><math>u = \mu - 0.45 \sigma</math></b>	29.70	45.69	57.22	74.92	88.01
<b><math>\alpha = 1.283/\sigma</math></b>	0.09	0.05	0.05	0.05	0.04

TR [anni]	a [mm/h]	n [-]
2	34.91	0.335
5	48.57	0.310
10	57.62	0.299
25	69.07	0.290
30	71.32	0.288
50	77.57	0.284
100	86.01	0.280
200	94.42	0.276

Tp [ore]	Tp [min]	$h_{forda}$ [mm]			
		Tr [anni]	Tr [anni]	Tr [anni]	Tr [anni]
		25	50	100	200
1	60	69.07	77.57	86.01	94.42
3	180	94.96	106.01	116.96	127.88
6	360	116.09	129.09	142.00	154.85
9	540	130.56	144.86	159.05	173.19
12	720	141.91	157.21	172.39	187.51
18	1080	159.60	176.41	193.09	209.72
24	1440	173.47	191.44	209.28	227.05

A seguire, i grafici raffiguranti le LSPP per il pluviometro d'interesse, al variare del tempo di ritorno, per durate di pioggia > 1 ora:

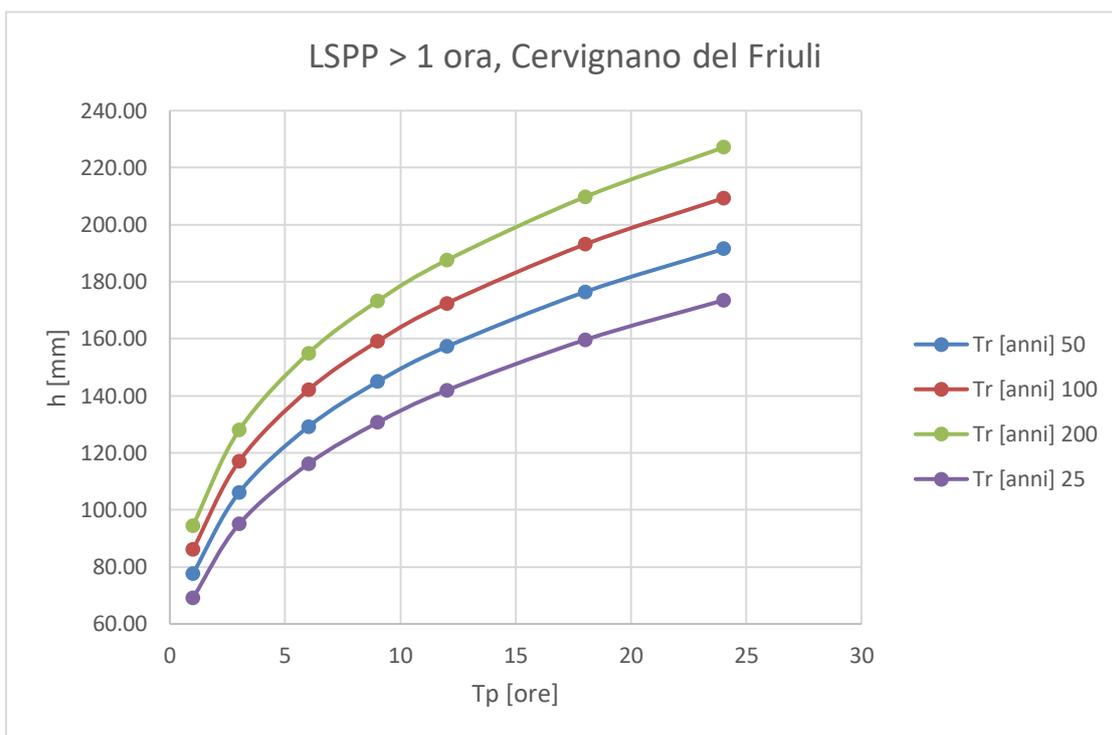


Figura 5-8 LSPP per il pluviometro "Cervignano del Friuli", per durate > 1 ora

Per le durate di precipitazione inferiori all'ora, invece, visto che sul sito di ARPA FVG non sono disponibili le registrazioni per durate sub-orarie, si è deciso di applicare al parametro n la correzione secondo la normativa regionale sull'Invarianza Idraulica, la quale suggerisce di adottare un valore  $n' = 4/3 n$ . In conseguenza, di ciò, si ottengono i seguenti valori dei parametri idrologici a, n:

Tabella 5-5 Valori dei parametri a,n per durate < 1 ora

TR [anni]	a [mm/h]	n [-]
2	34.91	0.446
5	48.57	0.413
10	57.62	0.399
25	69.07	0.386
30	71.32	0.384
50	77.57	0.379
100	86.01	0.373
200	94.42	0.368

Tp [ore]	Tp [min]	$h_{\text{orde}}$ [mm]			
		Tr [anni]	Tr [anni]	Tr [anni]	Tr [anni]
		25	50	100	200
0.08	5	26.45	30.25	34.04	37.83
0.17	10	34.57	39.34	44.08	48.83
0.25	15	40.43	45.87	51.28	56.68
0.50	30	52.85	59.65	66.42	73.16
0.75	45	61.81	69.56	77.26	84.94

A seguire, i grafici raffiguranti le LSPP per il pluviometro d'interesse, al variare del tempo di ritorno, per durate di pioggia < 1 ora:

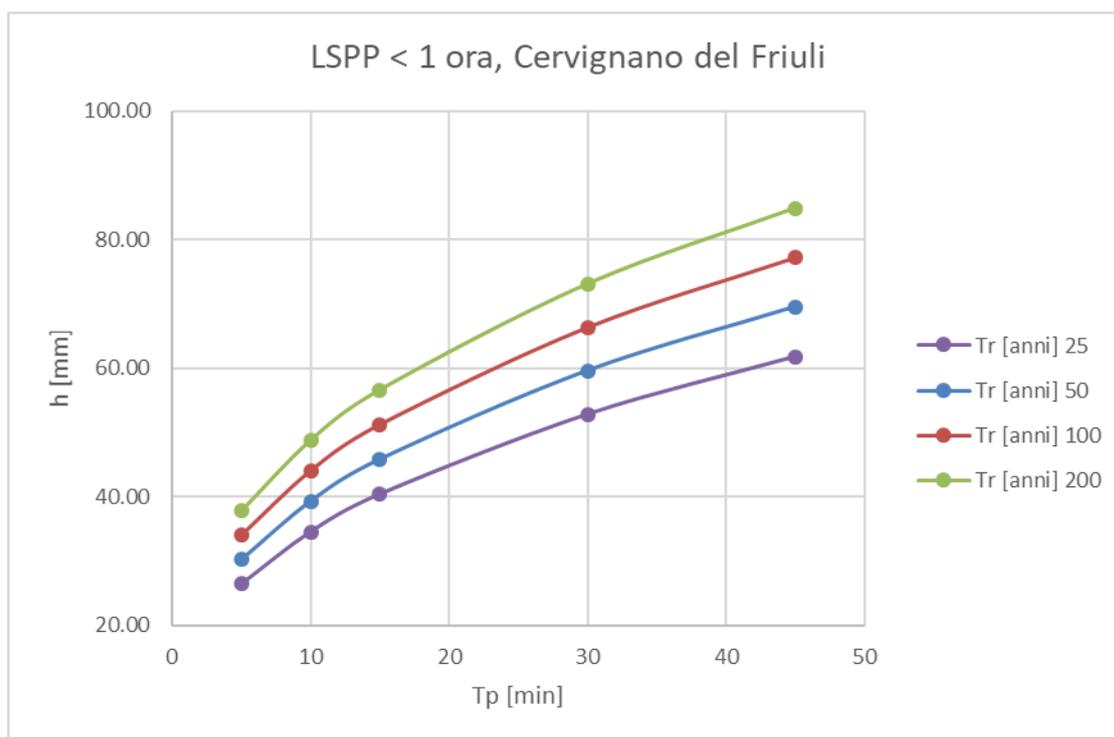


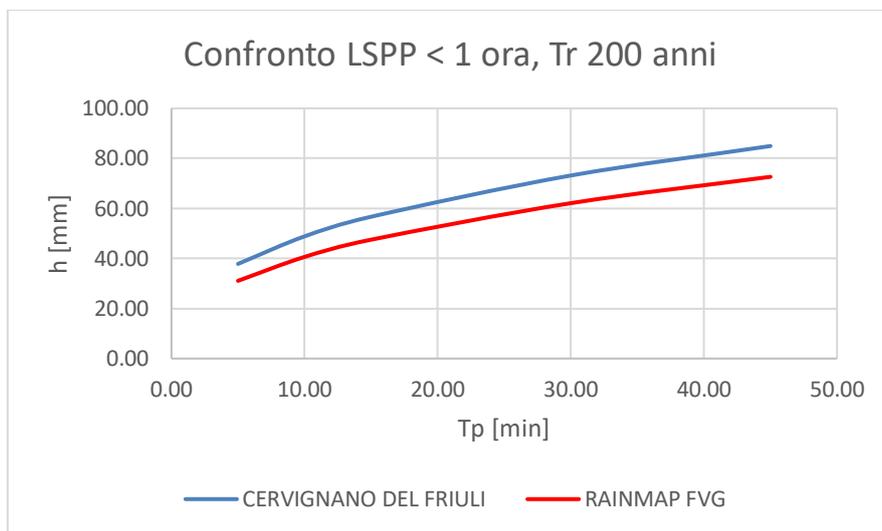
Figura 5-9 LSPP per il pluviometro "Cervignano del Friuli", per durate < 1 ora

### 5.1.3 Confronto tra le metodologie di calcolo delle LSPP

Nel presente paragrafo vengono confrontate le altezze di pioggia precedentemente calcolate, al fine di individuare il metodo di analisi più affidabile per la definizione delle curve di pioggia di progetto da utilizzare nei calcoli per il dimensionamento delle opere idrauliche.

Il confronto è stato effettuato per tutti i tempi di ritorno d'interesse ma, a titolo esemplificativo, verrà riportato solo quello relativo a 200 anni.

**LSPP < 1 ORA**

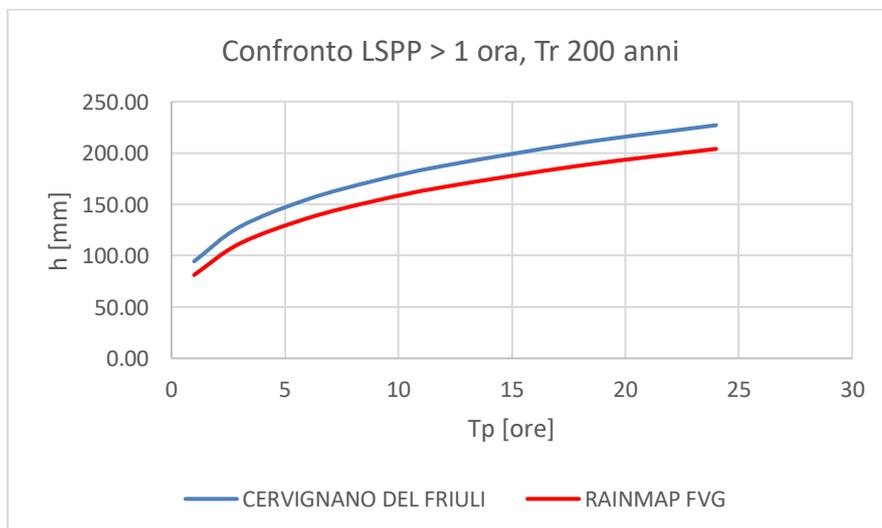


**Figura 5-10 Confronto LSPP < 1 ora, Tr 200 anni**

Come si vede dall'immagine precedente, le altezze di pioggia che scaturiscono dall'analisi statistica con il metodo di Gumbel applicato ad i valori di precipitazione forniti da ARPA-FVG risultano superiori a quelle che si ottengono dall'analisi regionalizzata.

Di conseguenza, per le durate di pioggia inferiori all'ora, si impiegherà, per il dimensionamento delle opere in progetto, la formula bi-parametrica con i valori dei parametri a, n derivanti dai massimi valori di precipitazione forniti da ARPA-FVG.

**LSPP > 1 ORA**



**Figura 5-11 Confronto LSPP > 1 ora, Tr 200 anni**

Come si vede dall'immagine precedente, le altezze di pioggia che scaturiscono dall'analisi statistica con il metodo di Gumbel applicato ad i valori di precipitazione forniti da ARPA-FVG risultano superiori a quelle che si ottengono dall'analisi regionalizzata.

Di conseguenza, per le durate di pioggia superiori all'ora, si impiegherà, per il dimensionamento delle opere in progetto, la formula bi-parametrica con i valori dei parametri a, n derivanti dai massimi valori di precipitazione forniti da ARPA-FVG.

#### 5.1.4 Riepilogo dei valori adottati

Di seguito, sinteticamente, i valori dei parametri idrologici da impiegare per il dimensionamento delle opere in progetto, distinti in base alla durata di pioggia (minore/maggiore di un'ora). Le durate di precipitazione vanno inserite in ore.

Tabella 5-6 Parametri idrologici per Variante Isonzo

Durata di pioggia < 1 ora		
TR [anni]	a [mm/h]	n [-]
25	69.07	0.386
50	77.57	0.379
100	86.01	0.373
200	94.42	0.368

Durata di pioggia > 1 ora		
TR [anni]	a [mm/h]	n [-]
25	69.07	0.290
50	77.57	0.284
100	86.01	0.280
200	94.42	0.276

## 6 ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI

Nel progetto in essere, per evitare ristagni a nord della ferrovia e consentire lo scorrimento delle acque verso sud garantendo il mantenimento delle attuali condizioni di funzionamento, sono stati ripristinati alcuni degli attraversamenti esistenti.

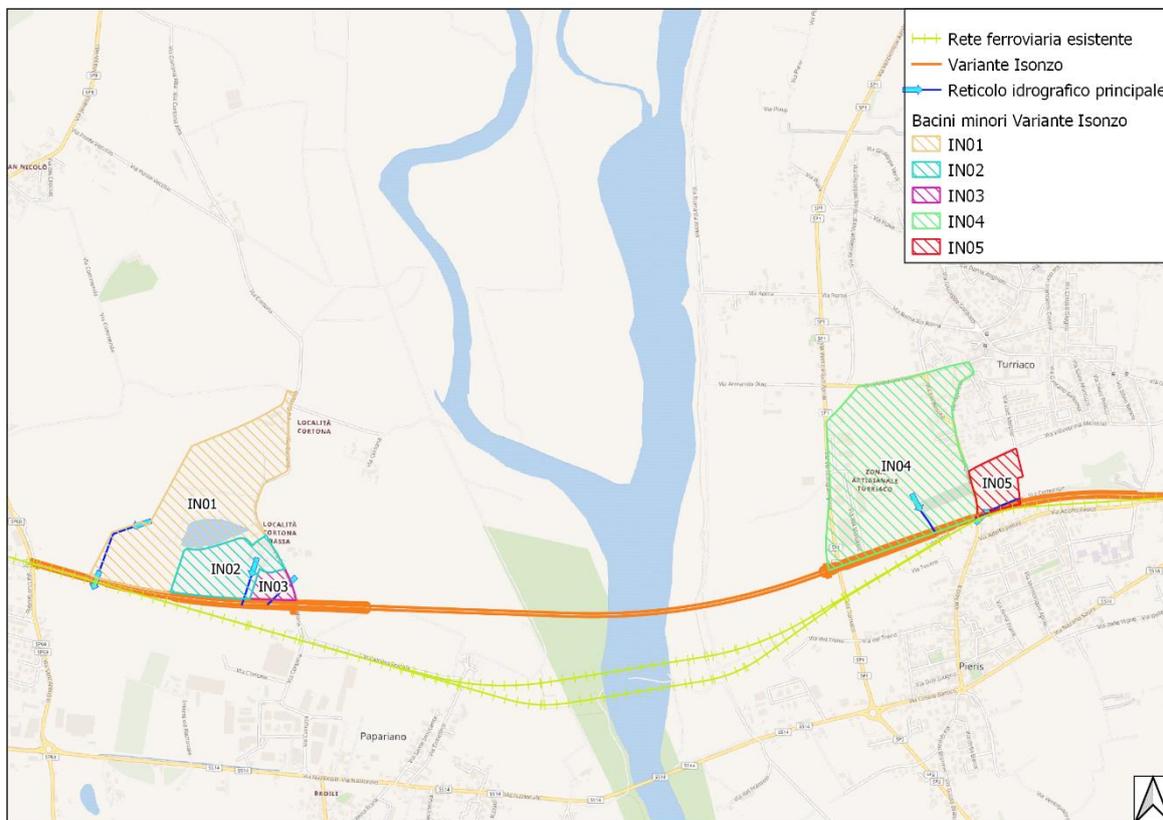
Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle caratteristiche dei tombini presenti sotto la linea esistente e successivamente si procede all'analisi delle caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici afferenti ad i tombini in questione. Si precisa che non di tutti i tombini presenti sotto la linea esistente è stato possibile reperire informazioni utili alla progettazione.

**Tabella 6-1 Riepilogo caratteristiche tombini**

<b>Identificativo opera</b>	<b>Progressiva [km]</b>	<b>Forma/Dimensioni attuali</b>
IN01	n.d.	n.d.
IN02	n.d.	n.d.
IN03	n.d.	n.d.
IN04	109+523.30	Tombino retto B = 1.00 m; H = 1.00 m
IN05	109+707.45	Tombino retto B = 1.00 m; H = 1.00 m

### 6.1 MORFOMETRIA DEI BACINI

La ricostruzione degli idrogrammi/picchi di piena non può prescindere dalla definizione dei parametri morfometrici che caratterizzano i bacini idrografici associati agli attraversamenti presenti sotto la linea ferroviaria esistente, in affiancamento alla quale verranno realizzati i nuovi posti di movimento. Di seguito, si riporta un inquadramento dei bacini idrografici associati agli attraversamenti sotto la linea ferroviaria esistente:



**Figura 6-1 Bacini idrografici**

Le aree dei bacini e le loro principali caratteristiche geomorfologiche sono state individuate sulla base del modello digitale del terreno (DTM) 5x5 m della Regione Veneto e sono riportate nella tabella seguente; in essa, A [Km<sup>2</sup>] indica l'area del bacino, I<sub>b</sub> [m/m] la pendenza media del bacino, L [Km] la lunghezza dell'asta principale, I [m/m] la pendenza media dell'asta principale, Z<sub>max</sub> [msm], Z<sub>min</sub> [msm], Z<sub>med</sub> [msm] rispettivamente la quota massima, minima e media del bacino.

**Tabella 6-2 Caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini**

ID_BACINO	A [km <sup>2</sup> ]	I <sub>b</sub> [m/m]	L [Km]	I [m/m]	Z <sub>max</sub> [msm]	Z <sub>med</sub> [msm]	Z <sub>min</sub> [msm]
IN01	0.234	0.011	0.304	0.006	8.46	6.79	4.31
IN02	0.067	0.013	0.148	0.005	8.17	7.12	4.79
IN03	0.015	0.004	0.111	0.005	7.55	7.32	7.21
IN04	0.32	0.007	0.135	0.004	13.45	8.85	7.89
IN05	0.034	0.008	0.163	0.006	9.71	8.68	8.24

## 6.2 STIMA DELLE PORTATE IDROLOGICHE: IL METODO DELLA CORRIVAZIONE

Nel presente paragrafo, si riportano alcuni richiami di teoria riguardanti il metodo utilizzato per il calcolo delle portate, ovvero il metodo razionale. Quest'ultimo è rigoroso sotto le seguenti ipotesi:

- intensità di precipitazione uniforme nello spazio e costante nel tempo;
- coefficiente di deflusso costante durante l'evento ed indipendente dall'intensità di precipitazione;
- modello lineare stazionario di trasformazione afflussi-deflussi;
- portata nulla all'istante iniziale.

Il metodo in questione si basa sulla considerazione che le gocce di pioggia, cadute in punti diversi del bacino nel medesimo istante, impiegano tempi differenti per arrivare alla sezione di chiusura, e che ogni bacino ha un tempo caratteristico, detto "tempo di corrivazione", che rappresenta il tempo necessario affinché la goccia caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino raggiunga la sezione di chiusura dello stesso.

La durata di pioggia critica per il bacino (o tempo di corrivazione) si determina mediante la seguente formula:

$$t_c = t_a + t_r$$

dove:

$t_a$  è il tempo di entrata in rete, ossia il tempo massimo necessario alle gocce d'acqua per raggiungere la rete di drenaggio dal punto di caduta; esso è generalmente funzione della densità della rete di drenaggio e della natura delle superfici scolanti;

$t_r$  è il tempo di traslazione lungo i rami costituenti il percorso idraulicamente più lungo.

Nel presente progetto, il tempo di corrivazione è stato calcolato con diverse formule da letteratura:

- Formula di Ventura, valida per bacini di estensione inferiore a 40 km<sup>2</sup>:

$$\tau_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

- Formula di Pasini, valida per bacini di estensione inferiore a 40 km<sup>2</sup>:

$$\tau_c = 0.108 \frac{(AL)^{1/3}}{\sqrt{I}}$$

- Formula di Pezzoli, la cui espressione è stata ottenuta sulla base di misure relative a piccoli bacini piemontesi di estensione inferiore a 20 km<sup>2</sup>:

$$\tau_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{I}}$$

- Formula di Kirpich, ottenuta utilizzando dati di sei piccoli bacini americani di estensione inferiore a 0.43 km<sup>2</sup>, successivamente rivista da Rowe e Thomas con l'integrazione di ulteriori misure:

$$\tau_c = 0.000325 \cdot L^{0.77} \cdot I_b^{-0.385}$$

- Formula di Ven te Chow, la cui espressione è stata ricavata sulla base di studi effettuati su 20 bacini rurali in USA con area inferiore a 18.5 km<sup>2</sup>:

$$\tau_c = 0.1602 \cdot \left( \frac{L^{0.64}}{I^{0.32}} \right)$$

Nelle precedenti formule il tempo di corrivazione  $t_c$  è espresso in ore, la lunghezza dell'asta principale  $L$  in Km, la superficie del bacino  $A$  in Km<sup>2</sup>, la pendenza dell'asta principale  $I$  in m/m, la pendenza media del bacino  $I_b$  in m/m.

Di seguito, si riportano i valori dei tempi di corrivazione calcolati, per ogni bacino, con le formule elencate sopra; in verde, la formula di Ventura, scelta per il calcolo delle portate idrologiche:

Tabella 6-3 Tempo di corrivazione

ID_BACINO	Tempo di corrivazione $t_c$ [ore]				
	Ventura	Pasini	Pezzoli	Kirpich	Ven Te Chow
IN01	0.81	0.59	0.22	0.15	0.39
IN02	0.47	1.17	0.11	0.08	0.26
IN03	0.21	0.76	0.08	0.11	0.21
IN04	1.22	2.43	0.13	0.09	0.27
IN05	0.32	0.87	0.12	0.11	0.26

Noto il tempo di corrivazione, la formula razionale per la previsione della portata di massima piena è direttamente dedotta dal metodo cinematico, nell'ipotesi che la durata di pioggia critica sia pari al tempo di corrivazione  $t_c$ : infatti, se la durata della precipitazione fosse inferiore a  $t_c$ , solo una parte del bacino contribuirebbe alla formazione della portata, che risulterebbe pertanto di minore entità. Viceversa, se la durata dell'evento fosse maggiore di  $t_c$ , l'intensità della pioggia sarebbe minore e quindi il colmo di piena meno intenso. Nella figura seguente è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre eventi di precipitazione di durata, rispettivamente, minore, uguale e maggiore del tempo di corrivazione.

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quello di corrvazione, l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

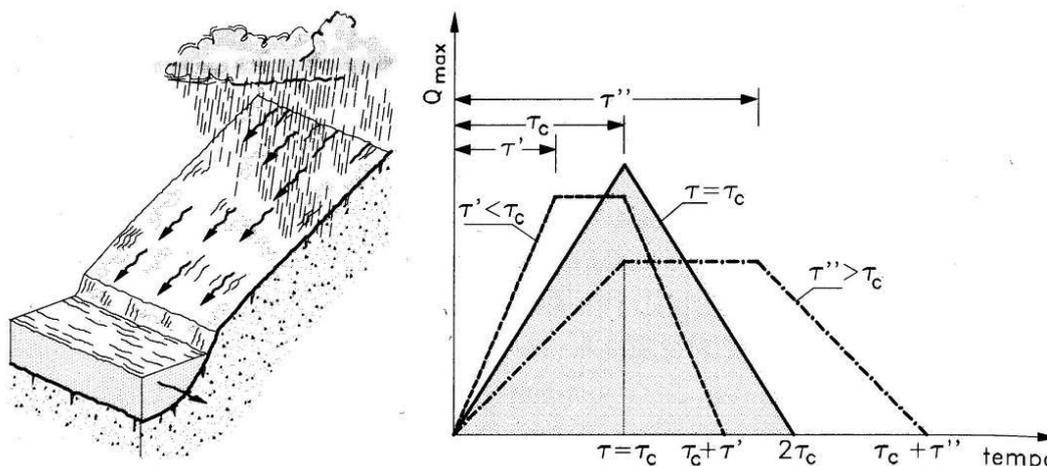


Figura 6-2 Modello cinematico: idrogramma di piena per differenti durate di precipitazioni

Nota la curva di possibilità pluviometrica per il tempo di ritorno  $T_r$  prefissato, la massima portata di piena può essere calcolata per ogni sezione di progetto procedendo da monte verso valle, determinando per ciascuna di esse l'area drenata ed il tempo di corrvazione. La formula da impiegare per il calcolo è la seguente:

$$Q_c = \frac{\psi \cdot h \cdot A}{t_c}$$

dove:

$Q_c$  è la portata da smaltire calcolata per una durata di pioggia pari a  $t_c$ , in  $m^3/s$ ;

$h$  è l'altezza di precipitazione, individuata a partire dalle curve di probabilità pluviometrica, calcolata per una durata di pioggia pari a  $t_c$ , in mm;

$A$  è la superficie dell'area afferente, in  $m^2$ ;

$\psi$  è il coefficiente di deflusso, parametro minore dell'unità tramite il quale si tiene globalmente conto delle perdite del bacino (infiltrazione nel terreno, ritenzione nelle depressioni superficiali, ecc.) a causa delle quali la portata al colmo è minore della portata di pioggia; per determinarne il valore, si è fatto ricorso alla sua definizione:

$$\psi = \frac{P_{netta}}{P_{tot}}$$

$P_{tot}$  corrisponde all'altezza di pioggia calcolata con i parametri idrologici delle LSPP;

**POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE****Posti di Movimento e Varianti di Tracciato****LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo**

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA  
IZ04LOTTO  
40CODIFICA  
R 26 RHDOCUMENTO  
ID 00 0 1 001REV.  
AFOGLIO  
35 di 49

$P_{netta}$  è stata calcolata adottando il modello di calcolo delle perdite sviluppato dal *Soil Conservation Service* (SCS) basato sul parametro adimensionale Curve Number (CN), il quale è funzione di:

- gruppo idrologico di suolo
- tipologia di uso del suolo
- condizione di umidità del suolo all'istante di inizio della precipitazione

Il parametro CN, per i presenti scopi, è stato ricavato dall'incrocio tra l'uso del suolo preso dal progetto europeo "*Corine Land Cover*" versione 2018, e la carta della pedologia messa a disposizione dalla Regione Friuli-Venezia Giulia, secondo la seguente tabella di corrispondenza "USO DEL SUOLO – GRUPPO IDROLOGICO":

**POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE**  
**Posti di Movimento e Varianti di Tracciato**  
**LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo**

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA IZ04      LOTTO 40      CODIFICA R 26 RH      DOCUMENTO ID 00 0 1 001      REV. A      FOGLIO 36 di 49

**Tabella 6-4 Curve Number CN2 al variare dell'uso del suolo e del gruppo idrologico**

CODICE	Denominazione	CURVE NUMBER CN2				Fonte
		A	B	C	D	
111	Zone residenziali a tessuto continuo	89	92	94	95	USDA
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	77	85	90	92	USDA
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	81	88	91	93	USDA
122	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche	83	89	92	93	USDA
123	Aree portuali	98	98	98	98	0
124	Aeroporti	49	69	79	84	USDA
131	Aree estrattive	77	86	91	94	USDA
132	Discariche	77	86	91	94	USDA
133	Cantieri	77	86	91	94	USDA
141	Aree verdi urbane	39	61	74	80	USDA
142	Aree ricreative e sportive	49	69	79	84	USDA
211	Seminativi in aree non irrigue	62	71	78	81	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
212	Seminativi in aree irrigue	62	71	78	81	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
213	Risaie	62	71	78	81	USDA
221	Vigneti	38	45	60	70	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
222	Frutteti e frutti minori	38	45	60	70	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
223	Oliveti	38	45	60	70	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
224	Altre colture permanenti	62	71	78	81	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
231	Prati stabili (foraggiere permanenti)	41	47	65	76	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
241	Colture temporanee associate a colture permanenti	62	71	78	81	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
242	Sistemi colturali e particellari complessi	62	71	78	81	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	41	47	65	76	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
244	Aree agroforestali	41	47	65	76	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
311	Boschi di latifoglie	51	71	81	86	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
312	Boschi di conifere	45	61	75	81	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	48	66	78	83.5	Media conifere latifoglie
321	Aree a pascolo naturale e praterie	37	50	68	75	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
322	Brughiere e cespuglieti	38	45	60	70	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
323	Aree a vegetazione sclerofilla	37	50	68	75	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	31	40	55	63	Media boschi misti e brughiere e cespuglieti
331	Spieagge, dune e sabbie	44	51	55	58	Media terreni abbandonati e ghiaioni (catcchrisk)
332	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	80	87	93	96	Catchrisk
333	Aree con vegetazione rada	37	50	68	75	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
334	Aree percorse da incendi	37	50	68	75	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
335	Ghiacciai e nevi perenni	95	95	95	95	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
411	Paludi interne	90	90	90	90	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
412	Torbiere	90	90	90	90	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
421	Paludi salmastre	90	90	90	90	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
422	Saline	90	90	90	90	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
423	Zone intertidali	90	90	90	90	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
511	Corsi d'acqua, canali e idrovie	99	99	99	99	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
512	Bacini d'acqua	99	99	99	99	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
521	Lagune	99	99	99	99	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
522	Estuari	99	99	99	99	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)
523	Mari e oceani	99	99	99	99	Pubblicazione UNIPD (D'Agostino)

Il valore del parametro CN è inoltre influenzato dalla condizione di umidità del suolo all'istante di inizio della precipitazione. A tal proposito sono state individuate tre classi denominate AMC (*Antecedent Moisture Condition*) in base ai mm di pioggia che si sono avuti nei 5 giorni precedenti all'evento. Per la stima delle portate di progetto, sono state considerate condizioni medie di imbibizione, adottando il valore CN II.

Dunque, ricapitolando, per il calcolo del coefficiente di deflusso  $\Psi$ , si procede nel seguente modo:

1. Dalla tabella precedente, si determina il valore del parametro CN e qualora le condizioni di imbibizione del terreno nei giorni antecedenti l'evento di precipitazione di interesse siano diverse da quelle

“medie”, si applica la correzione al parametro CN stesso, secondo le seguenti formule rappresentative delle condizioni di minima imbibizione (CN I) e massima imbibizione (CN III):

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{(10 - 0.058 \cdot CN(II))}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{(10 + 0.13 \cdot CN(II))}$$

2. Noto il parametro CN, si calcola il volume specifico di saturazione del terreno S:

$$S [mm] = 254 \cdot \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$$

3. Nota la ritenzione massima S, si calcolano le perdite iniziali  $I_a$ :

$$I_a [mm] = \beta \cdot S$$

con  $\beta = 0.1 \div 0.3$ . In questo caso,  $\beta = 0.2$ .

4. Note S e  $I_a$ , si ricava la precipitazione netta con le seguenti equazioni:

$$P_{netta} = 0 \quad \text{per } P_{tot} \leq I_a$$

$$P_{netta} = \frac{(P_{tot} - I_a)^2}{(P_{tot} - I_a + S)} \quad \text{per } P_{tot} > I_a$$

5. Nota  $P_{netta}$  e  $P_{tot}$ , si ricava il coefficiente di deflusso  $\Psi$ :

$$\Psi = \frac{P_{netta}}{P_{tot}} = \frac{1}{P_{tot}} \cdot \frac{(P_{tot} - I_a)^2}{(P_{tot} - I_a + S)}$$

Di seguito, si riporta una tabella riassuntiva dei parametri necessari per il calcolo di  $\Psi$ , suddivisi per bacino:

**Tabella 6-5 Riepilogo grandezze per calcolo coefficiente di deflusso  $\Psi$**

ID_BACINO	CN II [-]	S [mm]	$I_a$ [mm]	$\Psi$ [-]
IN01	60.95	162.74	32.55	0.16
IN02	60.08	168.77	33.75	0.10
IN03	65.25	135.27	27.05	0.08
IN04	67.37	123.02	24.60	0.29
IN05	76.08	79.86	15.97	0.27

### 6.2.1 Sintesi dei risultati

Per concludere questa parte di trattazione, nel seguito si riporta un focus per ogni bacino di interesse e le principali grandezze idrologiche che lo caratterizzano.

### Variante Isonzo - IN01

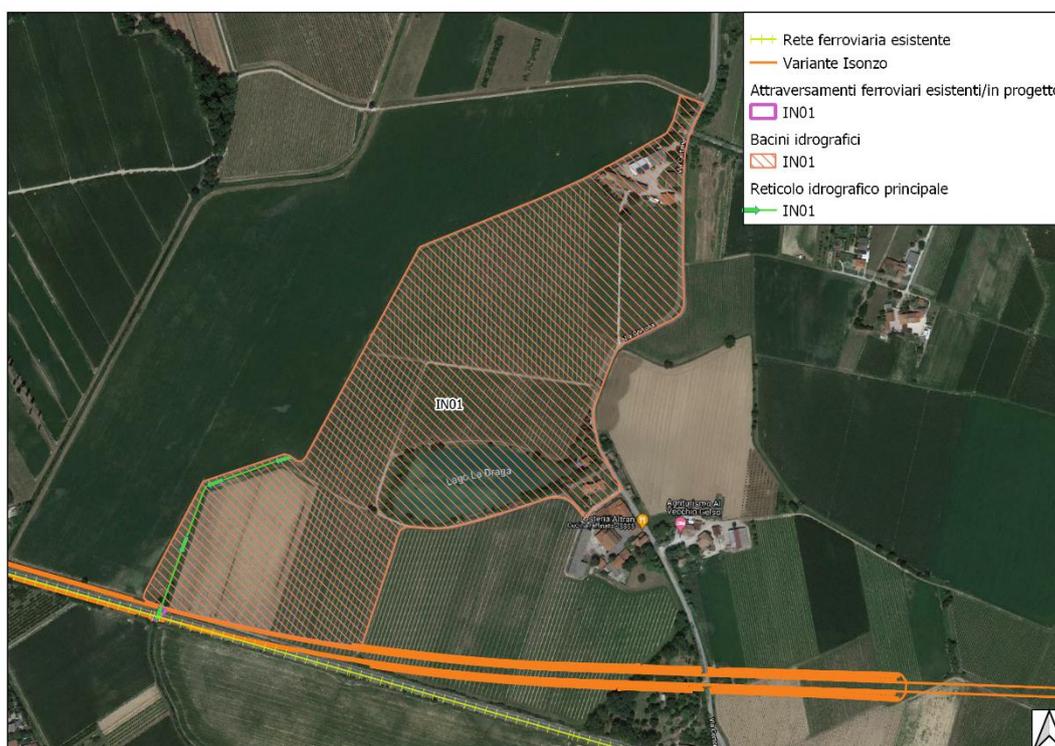


Figura 6-3 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN01

Tabella 6-6 Riepilogo risultati per il bacino IN01

	<b>Var. Isonzo - IN01</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	87.43
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.16
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.234
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.81
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	1.11

**Variante Isonzo - IN02**

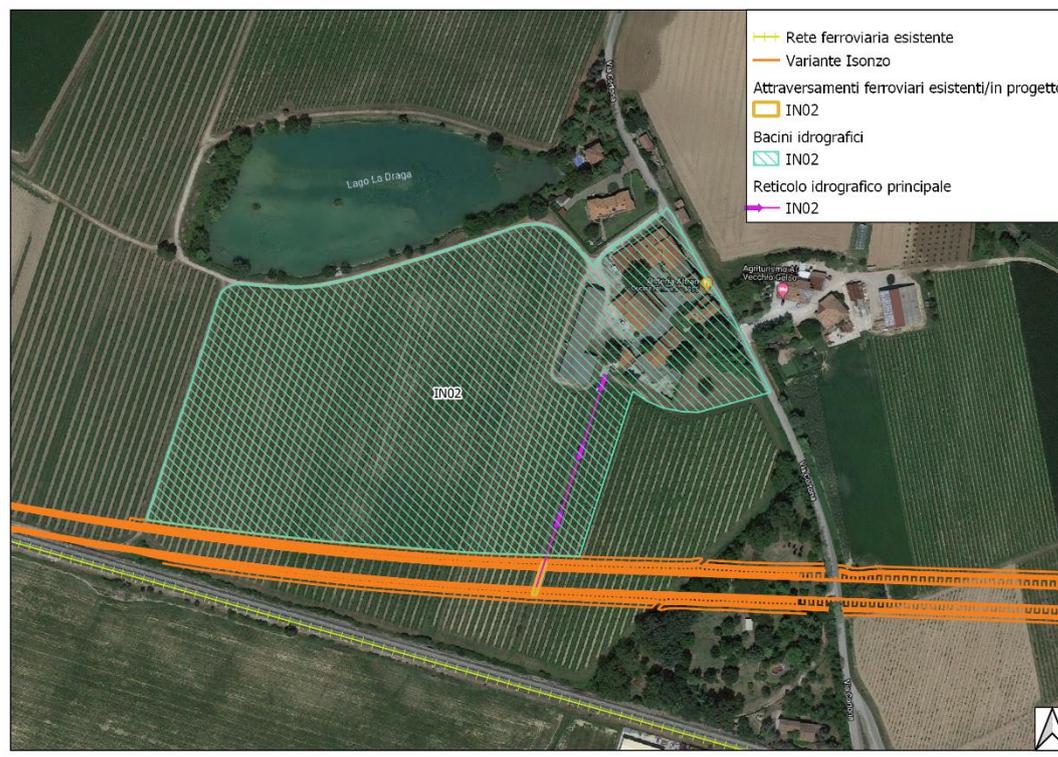


Figura 6-4 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN02

Tabella 6-7 Riepilogo risultati per il bacino IN02

	<b>Var. Isonzo - IN02</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	71.25
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.10
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.067
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.47
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	0.27

**Variante Isonzo - IN03**

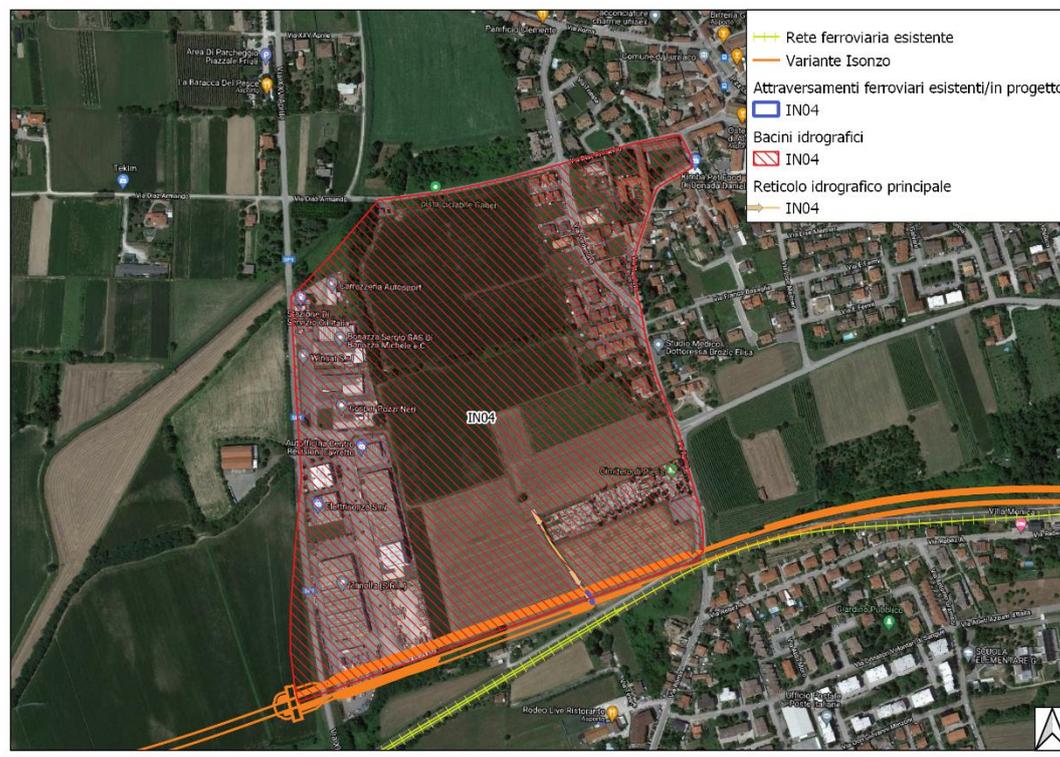


**Figura 6-5 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN03**

**Tabella 6-8 Riepilogo risultati per il bacino IN03**

	<b>Var. Isonzo - IN03</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	53.49
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.08
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.02
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.21
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	0.09

***Variante Isonzo - IN04***



**Figura 6-6 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN04, alla progr. 109+523.30 Km**

**Tabella 6-9 Riepilogo risultati per il bacino IN04**

	<b>Var. Isonzo - IN04</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	99.64
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.29
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.32
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	1.22
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	2.08

**Variante Isonzo - IN05**



Figura 6-7 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN05, alla progr. 109+707.45 Km

Tabella 6-10 Riepilogo risultati per il bacino IN05

	<b>Var. Isonzo- IN05</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	61.84
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.27
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.03
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.32
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	0.50

## 7 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

### 7.1 I CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA

I cambiamenti climatici rappresentano una delle sfide più rilevanti del nostro tempo. Gli studi più autorevoli evidenziano che l'Europa meridionale e l'area mediterranea dovranno fronteggiare nei prossimi anni gli impatti più significativi dei cambiamenti climatici e saranno fra le aree più a rischio del pianeta, in particolare per l'aumento delle temperature, la variazione delle precipitazioni e la maggiore frequenza ed intensità di eventi estremi (ondate di calore, alluvioni improvvise, siccità, incendi ecc.).

Il rapporto speciale recentemente pubblicato dall'IPCC<sup>1</sup> evidenzia che, ad oggi, il riscaldamento prodotto a livello globale dalle attività umane ha già determinato un incremento della temperatura di circa 1 °C rispetto al periodo pre-industriale (1850–1900). Nel solo decennio 2006-2015, la temperatura è cresciuta di 0.87 °C ( $\pm$  0.12 °C) rispetto allo stesso periodo pre-industriale. Se questo andamento di crescita della temperatura dovesse continuare immutato nei prossimi anni, il riscaldamento globale prodotto dall'uomo porterebbe ad un aumento di 1.5 °C intorno al 2040.

Pur essendo il cambiamento climatico un fenomeno di natura globale, i suoi effetti non sono distribuiti sul pianeta in maniera uniforme, ma si manifestano in maniera diversa e hanno ripercussioni a scala locale, diversificati in base alle criticità del territorio e alle sue caratteristiche di natura ambientale, economica e sociale, e necessitano quindi di essere analizzati e studiati in maniera differenziata in funzione della diversa vulnerabilità del territorio, dei livelli di sviluppo economico e della capacità di adattamento della componente antropica e naturale. Dunque, la conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (MATTM, 2015).

Studiare gli impatti dei cambiamenti climatici sui sistemi naturali e umani significa analizzarne, secondo la definizione dell'IPCC (2014), gli *“effetti su persone, abitazioni, salute, ecosistemi, beni e risorse economiche, sociali e culturali, servizi (inclusi quelli ambientali) e infrastrutture dovuti all'interazione dei cambiamenti climatici o degli eventi climatici pericolosi che si presentano entro uno specifico periodo di tempo, e alla vulnerabilità di una società o di un sistema esposti ai cambiamenti climatici stessi”*.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sull'osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

---

<sup>1</sup> IPCC, 2018, Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.



## POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA  
IZ04

LOTTO  
40

CODIFICA  
R 26 RH

DOCUMENTO  
ID 00 0 1 001

REV.  
A

FOGLIO  
44 di 49

Si riporta, di seguito, un breve estratto dal documento “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*”, ISPRA, 2015:

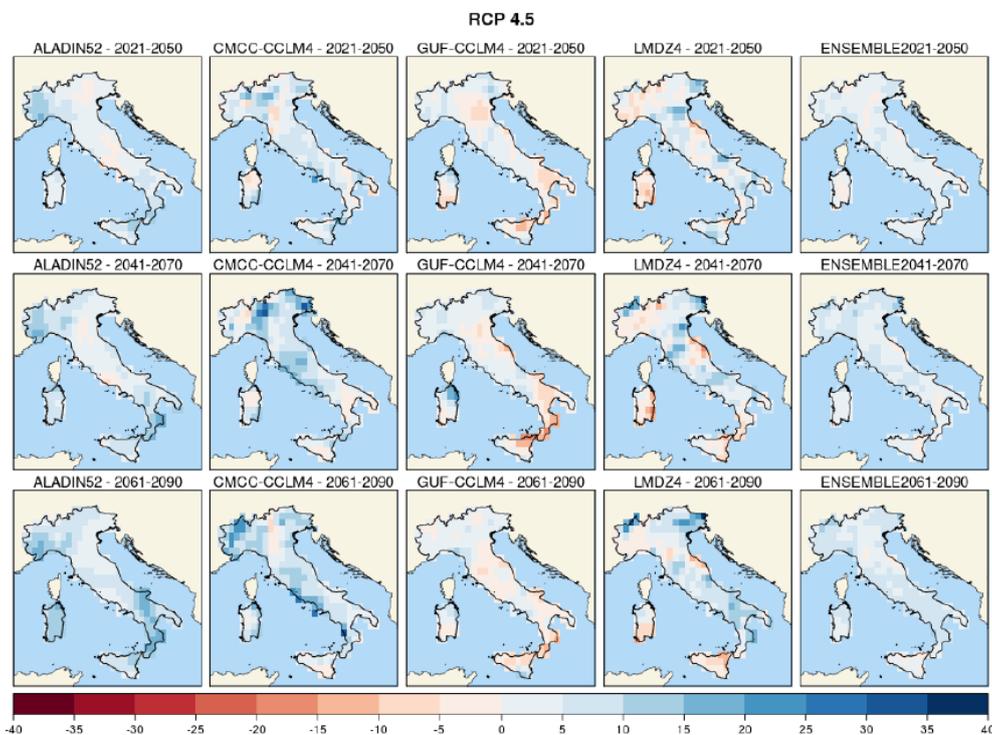
*Secondo la definizione della World Meteorological Organization (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (Representative Concentration Pathways – RCP), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello Special Report on Emission Scenarios (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m<sup>2</sup> - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m<sup>2</sup> - RCP4.5 e 6 W/m<sup>2</sup> - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m<sup>2</sup> - RCP8.5).*

*Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “proiezione climatica”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro.*

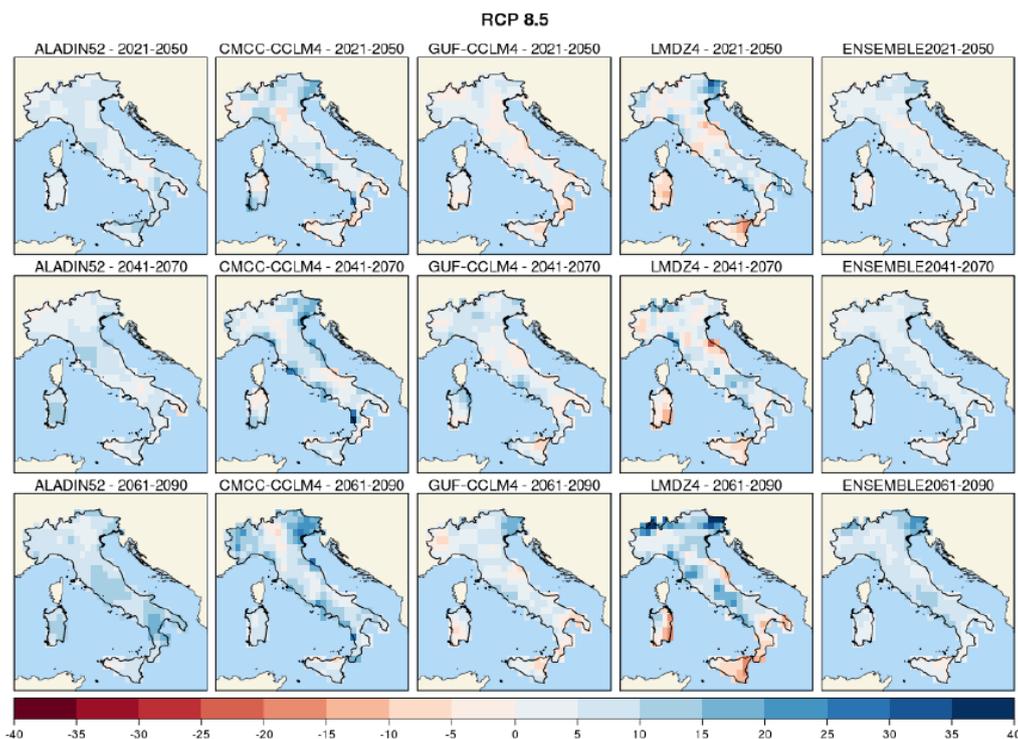
*I modelli regionali (“Regional Climate Models”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).*

Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD), nonché la variazione “*media d'insieme*” (ENSEMBLE MEAN), con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5, a scala nazionale.



**Figura 7-1** Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)



**Figura 7-2** – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)



## POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 4: Variante di tracciato sul fiume Isonzo

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA IZ04	LOTTO 40	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 46 di 49
------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) ma con punte superiori a 20 mm in alcune zone.

### 7.1 I CAMBIAMENTI CLIMATICI A SCALA DISTRETTUALE

A corredo dell'individuazione delle attività da svolgere per il raggiungimento della riduzione delle conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche che possono derivare dalle alluvioni, il Parlamento Europeo ed il Consiglio dell'Unione Europea, nelle premesse della direttiva alluvioni 2007/60/CE, sottolineando l'imprevedibilità dei fenomeni alluvionali, indicano come i cambiamenti climatici possano contribuire ad aumentare la probabilità e ad aggravare gli impatti negativi delle alluvioni sugli elementi esposti.

L'articolo 14, punto 4 (CAPO VIII - RIESAMI, RELAZIONI E DISPOSIZIONI FINALI), stabilisce inoltre che il riesame della valutazione preliminare del rischio alluvione, delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvione e del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni deve tener conto del probabile impatto dei cambiamenti climatici sul verificarsi di alluvioni.

In linea con la Strategia Europea di Adattamento al Cambiamento Climatico (SEACC), adottata dalla CE il 16 aprile 2013, la quale incoraggia gli Stati ad adottare Strategie nazionali di adattamento ai cambiamenti climatici che identifichino priorità e indirizzino gli investimenti fornendo indicazioni per la loro predisposizione e attuazione, alla fine di ottobre del 2014 è stata approvata in sede di conferenza delle regioni e delle province autonome il documento "*Elementi per una Strategia Nazionale di Adattamento ai cambiamenti climatici*". Tale documento contiene una visione degli impatti dei cambiamenti climatici in molteplici settori socioeconomici e sistemi naturali, individuando un set di azioni e indirizzi di adattamento per far fronte a tali impatti. Esso è alla base della "*Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici*" adottata, con Decreto Direttoriale Prot. 86/CLE del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione Generale per il Clima e l'Energia, del 16 giugno 2015.

#### 7.1.1 Metodologia impiegata

Le analisi condotte durante il progetto TRUST (Autorità di Bacino dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione, 2011) hanno permesso di caratterizzare i cambiamenti climatici e le possibili alterazioni del ciclo idrogeologico che potranno interessare il distretto idrografico delle Alpi Orientali nel corso del XXI secolo.

Nello specifico è stato utilizzato un insieme di simulazioni climatologiche, condotte con diversi modelli: in una prima fase le simulazioni sono state condotte con un modello di circolazione generale globale ad alta risoluzione "atmosfera - oceano" del Centro euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici (CMCC), accoppiato con un modello del mare Mediterraneo, per produrre scenari climatologici relativamente al periodo 1950-2100. In questo modello le componenti globali (oceano e atmosfera) sono accoppiate con un modello del mare

Mediterraneo ad alta risoluzione, capace di riprodurre i principali meccanismi fisici dell'area di interesse; in una fase successiva, i dati globali sono stati oggetto di *downscaling* dinamico al fine di raggiungere una risoluzione spaziale sufficiente per l'esecuzione di studi di impatto sull'area del Distretto Alpi Orientali. Il *downscaling* è stato eseguito utilizzando l'output del modello globale per generare le condizioni al contorno da fornire al modello regionale COSMO-CLM, con il quale sono state eseguite simulazioni ad altissima risoluzione (8 km). COSMO-CLM è un modello regionale non idrostatico realizzato dalla CLM-Community a partire dal modello meteorologico LM del DWD (Germania). La non idrostaticità ha consentito una descrizione ottimale dei fenomeni convettivi, responsabili di eventi estremi di precipitazione.

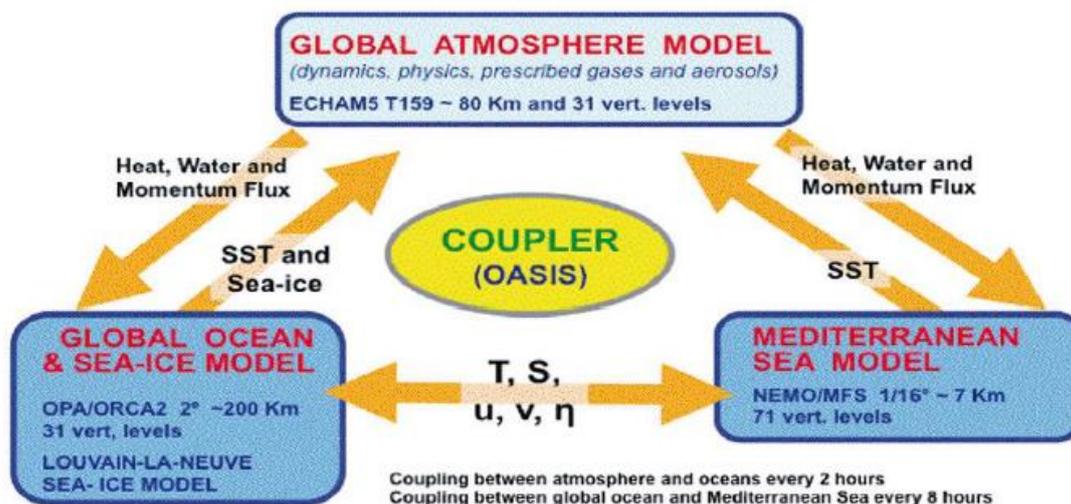


Figura 7-3 Rappresentazione del modello globale del CMCC

I modelli globale e regionale sono stati utilizzati per eseguire simulazioni climatiche della seconda parte del XX secolo (1951-2000) e proiezioni sul XXI secolo (2001-2050). Al fine di verificare l'affidabilità dei modelli nel riprodurre il clima osservato nell'area del distretto, è stato utilizzato il data set grigliato ad alta risoluzione della temperatura a 2 metri e della precipitazione, fornito dal Climate Research Center dell'Università East Anglia (Mitchell *et al.*, 2004).

Inoltre, al fine di confrontare i risultati delle simulazioni TRUST con quelli ottenuti con altri modelli e sostanziare così la discussione sulle proiezioni dei cambiamenti climatici attesi, sono stati usati dati (temperatura a 2 metri e precipitazione) ottenuti con le simulazioni CMPI3.

Infine, sono stati considerati i cicli stagionali relativi al periodo di riferimento 1971-2000 dei parametri quali la precipitazione, la temperatura a 2 metri e l'evapotraspirazione. Essi sono poi stati confrontati con i cicli stagionali relativi alle proiezioni climatiche per il periodo 2071-2100. In aggiunta, sono stati analizzati i trend calcolati su tutto il XXI secolo.

Il modello climatico globale del CMCC ha mostrato buone capacità nel riprodurre le principali caratteristiche del clima osservato. L'errore nella temperatura superficiale del mare (SST) è simile all'errore sistematico

mostrato dalla maggior parte dei modelli globali accoppiati allo stato dell'arte. Una lieve sovrastima della temperatura di circa 1°C interessa alcune aree degli oceani tropicali, mentre un errore di sottostima più pronunciato (4-5°C) è visibile nella parte nord-ovest degli oceani dell'Emisfero Nord, specialmente il nord Atlantico. Nella regione euro-mediterranea, molte caratteristiche del clima simulato sembrano essere in buon accordo con le osservazioni. Come mostrato e discusso in dettaglio in *Gualdi et al., (2010)*, il modello descrive molto bene le caratteristiche stagionali osservate di temperatura superficiale e precipitazione. Specialmente la valutazione della precipitazione orografica sembra migliorata grazie all'alta risoluzione adottata, se confrontata con altri AOGCM allo stato dell'arte come, per esempio, quelli usati nel programma CMIP3 (*Meehl et al., 2007*).

### 7.1.2 Le proiezioni climatologiche

All'interno del territorio del Distretto delle Alpi Orientali, durante il XXI secolo è predetto dal modello un riscaldamento dell'area di circa 5°C. Le simulazioni idrologiche mostrano per il futuro (2071-2100) un incremento del deflusso medio mensile in inverno, dovuto ad un generale aumento delle precipitazioni e delle temperature che genera modificazioni nelle modalità di accumulo e scioglimento nivale. Il deflusso simulato forzando il modello con le proiezioni climatiche future, se confrontato con quello attuale, evidenzia una leggera diminuzione in termini di volume totale annuo ed un lieve incremento per gli eventi estremi di piena. Rispetto ai dati storici (1950-1965) trova conferma, ed anzi viene enfatizzata, una marcata diminuzione nei deflussi medi nel periodo primaverile – estivo (da Aprile ad Agosto), tendenza questa già in atto allo stato attuale, mentre si assiste ad un significativo incremento delle intensità delle precipitazioni nel periodo autunnale.

In generale, nei bacini di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali, si evidenzia un anticipo dei processi di scioglimento del manto nevoso ed una conseguente diminuzione dei deflussi nel periodo estivo.

Inoltre, l'attività sperimentale effettuata dal distretto ha valutato un innalzamento medio di circa 20 cm dei livelli idrici nei corsi d'acqua legato al cambiamento climatico.

## 7.2 REVISIONE DEGLI INPUT PLUVIOMETRICI DI PROGETTO

Nella presente progettazione, il tema dei cambiamenti climatici è stato tenuto in conto incrementando i valori di precipitazione attesi in maniera proporzionale rispetto a quanto desumibile dalle mappe messe a disposizione da ISPRA. In particolare, nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione “*media di insieme*” (*ENSEMBLE MEAN*) di precipitazione massima giornaliera (*h24*) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), prevista nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, con riferimento allo scenario “massimo” di emissione RCP8.5, dedotti dalle mappe sopra descritte, da utilizzare per la verifica degli elementi idraulici.

Tabella 7-1 Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015)

INTERVENTO	Variazione media $h_{24}$ (RCP8.5) [mm]		
	2021-2050	2041-2070	2061-2090
Variante Isonzo	+ 5-10	+ 5-10	+10-15

Gli incrementi di precipitazione di sopra riportati non sono, ad ogni modo, presi come base per la progettazione; infatti, le opere di smaltimento idraulico in progetto verranno comunque dimensionate facendo riferimento alle curve di pioggia ed alle precipitazioni "attuali", assumendo un certo grado di riempimento massimo. Tuttavia, verranno effettuate delle verifiche sugli interventi in progetto al fine di valutare se i valori di precipitazione incrementati del delta riportato nella tabella precedente, consentano o meno all'acqua di defluire comunque in condizioni di moto a pelo libero.

A tal proposito, senza re-iterare la narrativa già descritta nel capitolo 0, di seguito si riportano i valori delle principali grandezze idrologiche necessarie per il calcolo portata idrologiche derivante dall'incremento di precipitazione dovuto ai cambiamenti climatici, con particolare riferimento al periodo 2061-2090.

Tabella 7-2 Valori di portata idrologica derivante dai cambiamenti climatici

	<i>Var. Isonzo - IN01</i>	<i>Var. Isonzo - IN02</i>	<i>Var. Isonzo - IN03</i>	<i>Var. Isonzo - IN04</i>	<i>Var. Isonzo - IN05</i>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	102.43	86.25	68.49	114.64	76.84
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.20	0.14	0.14	0.33	0.34
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.234	0.067	0.02	0.320	0.03
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.81	0.47	0.21	1.22	0.32
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	1.68	0.50	0.19	2.79	0.79