

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 3: Variante di tracciato a Portogruaro

#### IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

SCALA:

-

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

I Z 0 4    3 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: IZ0430R26RHID0001001A

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>9</b>
<b>4.1</b>	<b>IL BACINO DEL FIUME LEMENE .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>12</b>
<b>5.1</b>	<b>CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....</b>	<b>12</b>
5.1.1	Dati analisi regionalizzata – Regione Veneto .....	12
5.1.2	Dati annali idrologici – Analisi statistica con distribuzione di Gumbel .....	18
5.1.3	Confronto tra le metodologie di calcolo delle LSPP.....	23
5.1.4	Riepilogo dei valori adottati .....	25
<b>6</b>	<b>ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI .....</b>	<b>26</b>
<b>6.1</b>	<b>MORFOMETRIA DEI BACINI.....</b>	<b>26</b>
<b>6.2</b>	<b>STIMA DELLE PORTATE IDROLOGICHE: IL METODO DELLA CORRIVAZIONE .....</b>	<b>28</b>
6.2.1	Sintesi dei risultati .....	34
<b>7</b>	<b>EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI .....</b>	<b>38</b>
<b>7.1</b>	<b>I CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA .....</b>	<b>38</b>
<b>7.1</b>	<b>I CAMBIAMENTI CLIMATICI A SCALA DISTRETTUALE .....</b>	<b>41</b>
7.1.1	Metodologia impiegata .....	41
7.1.2	Le proiezioni climatologiche .....	43
<b>7.2</b>	<b>REVISIONE DEGLI INPUT PLUVIOMETRICI DI PROGETTO .....</b>	<b>43</b>

Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00.0 1 001	REV. A	FOGLIO 3 di 44
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	-------------------

## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1 INQUADRAMENTO AREA D'INTERVENTO .....	5
FIGURA 3-1 SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI .....	8
FIGURA 4-1 INQUADRAMENTO VARIANTE PORTOGRUARO .....	9
FIGURA 4-2 ESTENSIONE DISTRETTO IDROGRAFICO ALPI ORIENTALI .....	10
FIGURA 4-3 BACINO DEL FIUME LEMENE .....	11
FIGURA 5-1 DELIMITAZIONE DELLE AREE OMOGENEE NELL'ANALISI REGIONALIZZATA DELLA REGIONE VENETO .....	13
FIGURA 5-2 SOTTOZONA OMOGENEA UNICA PER IL CONSORZIO DI BONIFICA VENETO ORIENTALE .....	15
FIGURA 5-3 ANALISI REGIONALIZZATA - LSPP < 1 ORA .....	17
FIGURA 5-4 ANALISI REGIONALIZZATA - LSPP > 1 ORA .....	17
FIGURA 5-5 DATI STAZIONE PLUVIOMETRICA .....	19
FIGURA 5-6 POSIZIONAMENTO DEL PLUVIOMETRO RISPETTO AGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....	19
FIGURA 5-7 LSPP PER IL PLUVIOMETRO "FOSSALTA DI PORTOGRUARO" .....	22
FIGURA 5-8 CONFRONTO LSPP < 1 ORA, TR 200 ANNI .....	23
FIGURA 5-9 CONFRONTO LSPP > 1 ORA, TR 200 ANNI .....	24
FIGURA 6-1 BACINI IDROGRAFICI .....	27
FIGURA 6-2 MODELLO CINEMATICO: IDROGRAMMA DI PIENA PER DIFFERENTI DURATE DI PRECIPITAZIONI .....	30
FIGURA 6-3 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN01, ALLA PROGR. 60+168.30 KM .....	34
FIGURA 6-4 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN02, ALLA PROGR. 60+494.73 KM .....	35
FIGURA 6-5 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN03, ALLA PROGR. 60+751.13 KM .....	36
FIGURA 6-6 INQUADRAMENTO BACINO ASSOCIATO ALL'ATTRAVERSAMENTO IN04, ALLA PROGR. 60+953.52 KM .....	37
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) .....	40
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) .....	40
FIGURA 7-3 RAPPRESENTAZIONE DEL MODELLO GLOBALE DEL CMCC .....	42

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1-1 STRALCIO ELENCO ELABORATI .....	6
TABELLA 3-1 SINTESI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO .....	8
TABELLA 5-1 VALORI DEI PARAMETRI DELLE LSPP E RELATIVE ALTEZZE DI PIOGGIA .....	16
TABELLA 5-2 DATI ANNALI IDROLOGICI ELABORATI CON METODO DI GUMBEL PER DURATE DI PIOGGIA < 1 ORA .....	20
TABELLA 5-3 DATI ANNALI IDROLOGICI ELABORATI CON METODO DI GUMBEL PER DURATE DI PIOGGIA > 1 ORA .....	21
TABELLA 5-4 PARAMETRI IDROLOGICI PER VARIANTE DI PORTOGRUARO .....	25
TABELLA 6-1 RIEPILOGO CARATTERISTICHE TOMBINI .....	26
TABELLA 6-2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI SOTTOBACINI .....	27

Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 4 di 44
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	-------------------

TABELLA 6-3 TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	29
TABELLA 6-4 CURVE NUMBER CN2 AL VARIARE DELL'USO DEL SUOLO E DEL GRUPPO IDROLOGICO .....	32
TABELLA 6-5 RIEPILOGO GRANDEZZE PER CALCOLO COEFFICIENTE DI DEFLUSSO $\Psi$ .....	33
TABELLA 6-6 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN01 .....	34
TABELLA 6-7 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN02 .....	35
TABELLA 6-8 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN03 .....	36
TABELLA 6-9 RIEPILOGO RISULTATI PER IL BACINO IN04 .....	37
TABELLA 7-1 VARIAZIONI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA PREVISTE NELL'AREA DI INTERVENTO (ISPRA, 2015) ...	44
TABELLA 7-2 VALORI DI PORTATA IDROLOGICA DERIVANTE DAI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	44

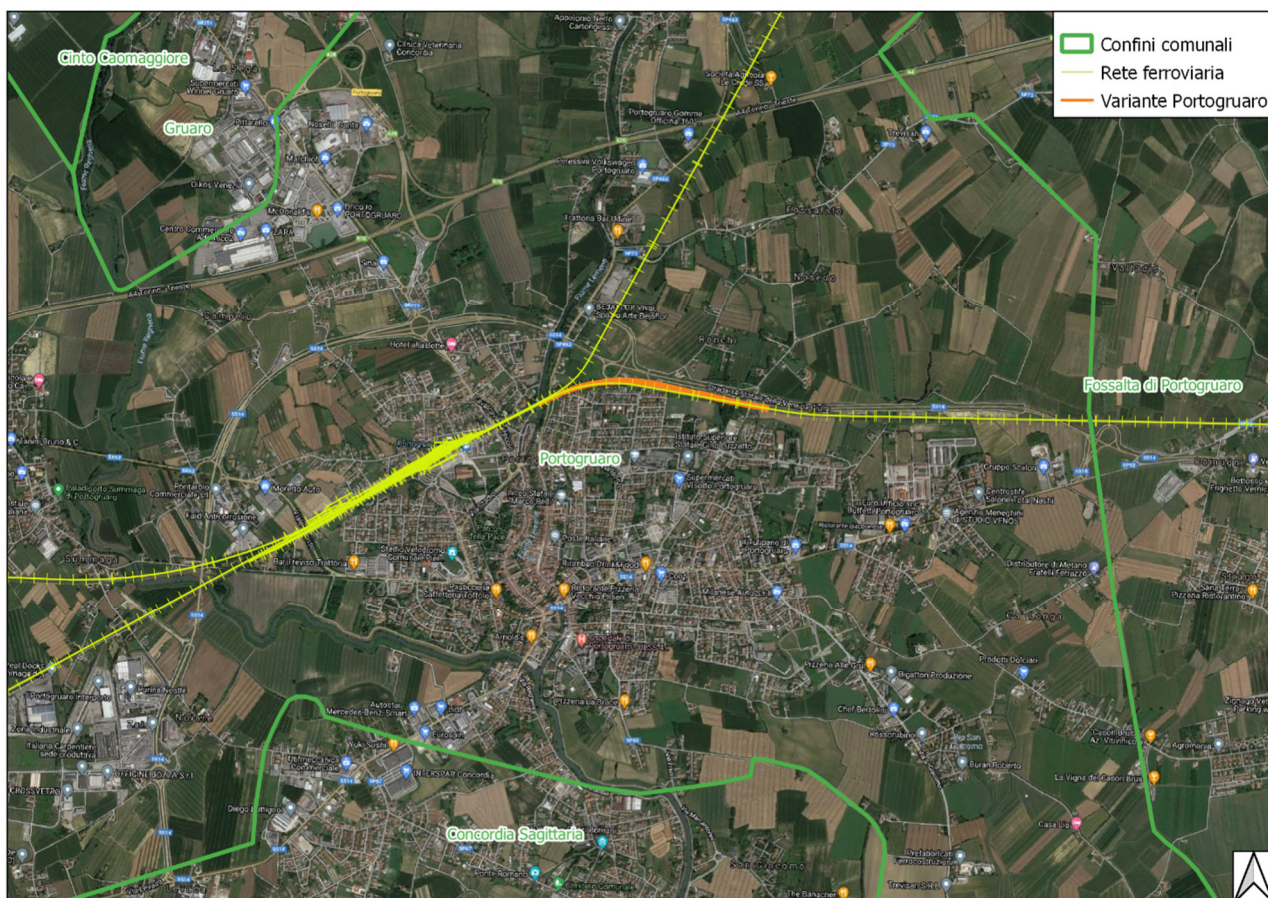
Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	30	R 26 RH	ID 00 0 1 001	A	5 di 44

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento viene redatto nell’ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica del potenziamento della linea Venezia – Trieste, in particolare comprende tutte le opere atte a consentire l’allaccio e l’interfaccia con la linea storica 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 di Portogruaro (VE)”, il cui tracciato ferroviario si sviluppa all’interno dell’omonimo cittadina.



**Figura 1-1 Inquadramento area d’intervento**

Nella relazione, si riporta anche la sintesi delle condizioni di pericolosità per le aree in esame, secondo quanto contenuto nel PAI e PGRA.

Nel complesso, gli elaborati riguardanti l'idrologia e l'idraulica prodotti nell'ambito del presente studio sono riportati nella tabella sotto.

**Tabella 1-1 Stralcio elenco elaborati**

TITOLO	SCALA	CODIFICA																			
		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA DISCIPLINA				PROGR.										
<b>POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA-TRIESTE</b>																					
<b>PFTE Posti di Movimento E Varianti di Tracciato</b>																					
<b>Lotto 3: Variante di Portogruaro</b>																					
<b>4 - IDROLOGIA E IDRAULICA</b>																					
Relazione idrologica - Studio idrologico del bacino del Fiume Lemene	-	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	R	I	I	D	0	0	0	1	0	0	1
Relazione idraulica - Studio idraulico bidimensionale del Fiume Lemene	-	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	R	I	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Corografia dei bacini idrografici - Fiume Lemene	1:25000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	C	3	I	D	0	0	0	1	0	0	1
Planimetria delle aree di pericolosità idraulica del Fiume Lemene - P.G.R.A.	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	N	6	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Planimetria delle aree di pericolosità idraulica del Fiume Lemene - P.A.I.	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	N	6	I	D	0	0	0	2	0	0	2
Planimetria livelli idrici Fiume Lemene - Modello 2D - ante operam - Tr 30 anni e 100 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Planimetria livelli idrici Fiume Lemene - Modello 2D - ante operam - Tr 200 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	2
Planimetria livelli idrici Fiume Lemene - Modello 2D - ante operam - Tr 300 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	3
Planimetria livelli idrici Fiume Lemene - Modello 2D - post operam - Tr 30 anni e 100 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	4
Planimetria livelli idrici Fiume Lemene - Modello 2D - post operam - Tr 200 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	5
Planimetria livelli idrici Fiume Lemene - Modello 2D - post operam - Tr 300 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	6
Planimetria valori velocità Fiume Lemene - Modello 2D - ante operam - Tr 200 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	7
Planimetria valori velocità Fiume Lemene - Modello 2D - post operam - Tr 200 anni	1:2000	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	P	6	I	D	0	0	0	2	0	0	8
Sezioni significative con livelli idrici (Modello 2D) - Tr 200 anni - Fiume Lemene	varie	I	Z	0	4	3	0	R	0	9	W	Z	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Relazione idrologica - Sede ferroviaria	-	I	Z	0	4	3	0	R	2	6	R	H	I	D	0	0	0	1	0	0	1
Corografia dei bacini idrografici - Bacini minori	1:5000	I	Z	0	4	3	0	R	2	6	C	5	I	D	0	0	0	2	0	0	1
Relazione di compatibilità e di smaltimento idraulico - Sede ferroviaria	-	I	Z	0	4	3	0	R	2	6	R	I	I	D	0	0	0	2	0	0	1

## 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:

- Autorità di bacino interregionale fiume Lemene, 2002.
- Analisi idrologica e definizione delle curve di possibilità pluviometrica del comprensorio, 2008.
- Analisi idrologiche-idrauliche per l'applicazione dei criteri dell'invarianza idraulica nel comprensorio del veneto orientale, 2012.
- Criteri e procedure per il rilascio di concessioni, autorizzazioni, pareri, relativi ad interventi interferenti con le opere consorziali, trasformazioni urbanistiche, e sistemazioni idraulico-agrarie, 2016.
- 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 nel bacino idrografico del fiume Lemene, 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 (PAI) del bacino idrografico del fiume Lemene;
- 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.

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

INTERVENTO	PAI Lemene	PGRA – I Ciclo
Variante Portogruaro	P1 – Scolo meccanico	P1 – Scolo meccanico



Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00.0 1 001	REV. A	FOGLIO 9 di 44
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	-------------------

#### 4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Come anticipato nell'introduzione, nell'ambito della progettazione del potenziamento della linea Venezia - Trieste, è prevista la realizzazione di una variante di tracciato denominata "Variante di Portogruaro", la cui estensione va dalla progr. 59+621.60 Km alla progr. 61+203.49 Km.



**Figura 4-1 Inquadramento Variante Portogruaro**

Dal punto di vista dell'idrografia, la Variante di Portogruaro ricade nel bacino idrografico del fiume Lemene, di competenza del Distretto Idrografico Alpi Orientali.

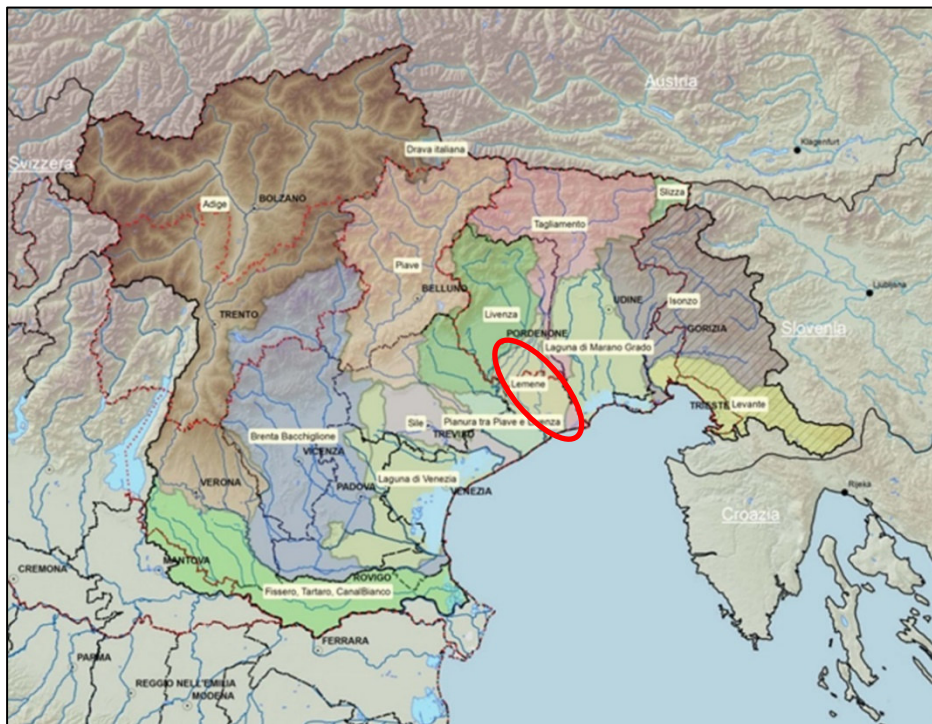


Figura 4-2 Estensione Distretto idrografico Alpi orientali

#### 4.1 IL BACINO DEL FIUME LEMENE

Il bacino del fiume Lemene si estende nel territorio compreso tra la parte sud-occidentale della Regione Friuli-Venezia Giulia e la parte nord-orientale della Regione Veneto e copre una superficie complessiva di circa 860 km<sup>2</sup> di cui circa 350 km<sup>2</sup> in territorio friulano e circa 510 km<sup>2</sup> in territorio veneto. Il bacino confina ad ovest con il bacino del Livenza, seguendo per lo più l'argine sinistro del fiume Meduna, ad est con il bacino del Tagliamento in coincidenza con il suo argine destro ed a sud con il mare Adriatico.

La bassa pianura veneto - friulana è caratterizzata da un sistema idraulico fortemente antropizzato ove le opere irrigue nella zona pedemontana e quelle di bonifica nei territori più bassi regolano il decorso delle acque. Le opere di bonifica assumono notevole importanza per garantire le condizioni di sicurezza al territorio, garantendo, dove le pendenze naturali non lo consentirebbero, l'allontanamento delle acque meteoriche dalle campagne; questo aspetto che assume particolare rilevanza in quei territori che hanno quote prossime, se non inferiori, al medio mare.

I fenomeni idraulici che si sviluppano nei territori di pianura sono generalmente lenti e consentono di prevedere con sufficiente anticipo l'arrivo dell'onda di piena in una determinata sezione di controllo del corso d'acqua. Il carattere impulsivo si manifesta solo in occasione di fenomeni di crollo arginale che tuttavia possono in qualche modo essere previsti in relazione alla ripetitività storica dell'evento, all'insorgenza di fontanazzi o all'approssimarsi del sormonto arginale. Solitamente infatti le rotture del rilevato arginale possono manifestarsi

Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	30	R 26 RH	ID 00 0 1 001	A	11 di 44

in prossimità di sezioni ristrette del corso d'acqua, a seguito di sormonto arginale e quando all'interno dell'alveo i livelli si siano mantenuti sostenuti per tempi relativamente lunghi.

Inoltre, nel bacino del fiume Lemene risulta presente la fascia delle risorgive che si trova in destra del fiume Tagliamento. Le acque di tali risorgive fuoriescono in sorgenti piccole e disseminate, vengono quindi raccolte in una rete di canali, rii e confluiscono in collettori di dimensioni più consistenti. In alcune zone, situate però a monte, propriamente all'interno del bacino del fiume Livenza, una concentrazione maggiore di queste sorgenti ha dato origine a parecchi laghetti sorgentizi, quali quello di Burida a Pordenone e quelli di Guarnirei a Fontanafredda.



**Figura 4-3 Bacino del fiume Lemene**

## 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 (su committenza del Dipartimento della Protezione Civile) da NordEst Ingegneria S.r.l. all'interno del progetto "*Analisi Regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*", con particolare riferimento ad i valori validi per il Consorzio di Bonifica Veneto Orientale, all'interno del quale ricadono le nostre opere;
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 ARPAV localizzata nelle vicinanze delle opere in progetto.

Le elaborazioni sono state sviluppate come di seguito descritte.

#### 5.1.1 Dati analisi regionalizzata – Regione Veneto

L'analisi regionalizzata delle precipitazioni viene utilizzata qualora non siano presenti osservazioni pluviometriche nei dintorni della zona oggetto di intervento, o la serie storica risulti limitata. Tale metodo si fonda sull'ipotesi che la distribuzione dei valori estremi di precipitazione entro una certa area presenti delle caratteristiche abbastanza simili.

A tal proposito, nel 2011 è stata realizzata l'Analisi regionalizzata delle precipitazioni relativa al territorio dei consorzi di bonifica del Veneto; di seguito è mostrata l'estensione della regione, suddivisa per aree omogenee:

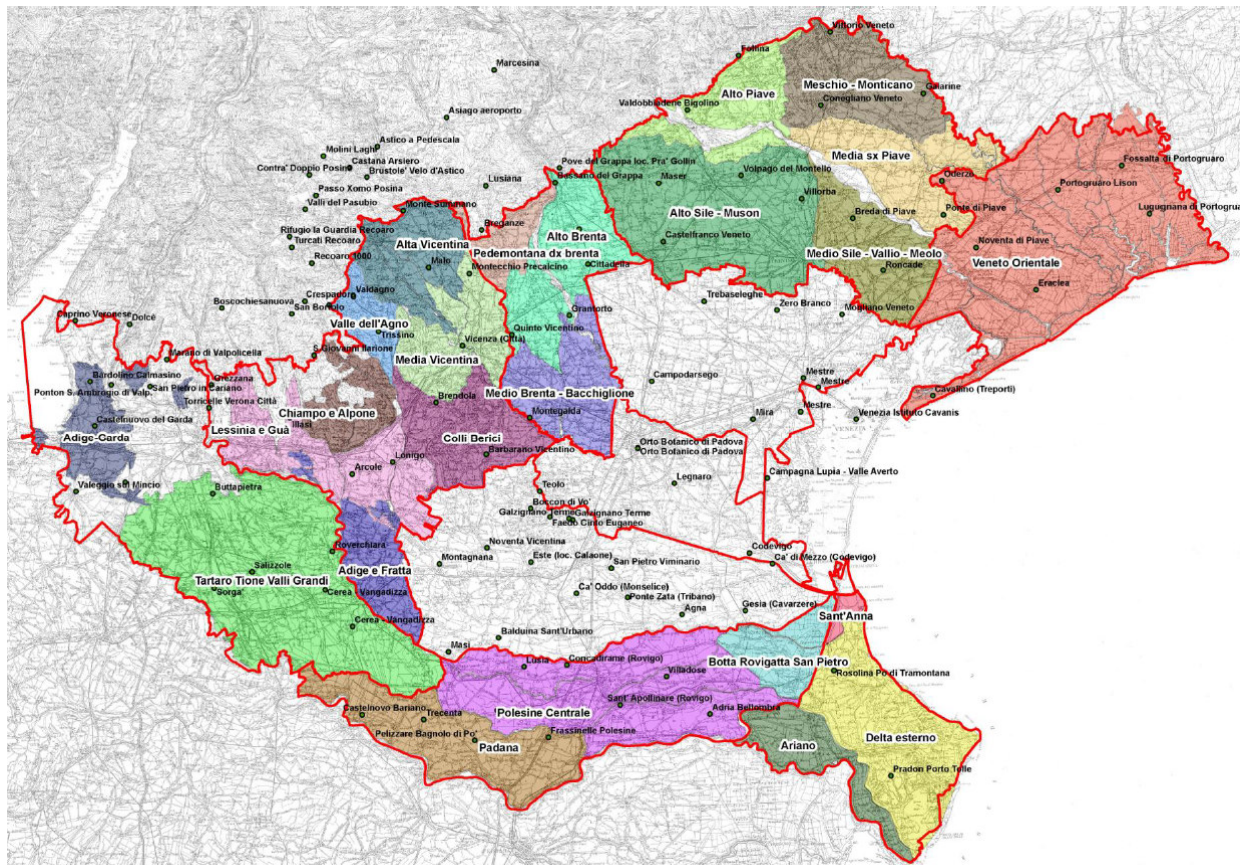


Figura 5-1 Delimitazione delle aree omogenee nell'Analisi regionalizzata della Regione Veneto

Nell'ambito di una *regione omogenea*, si è ipotizzato che la distribuzione di probabilità dei valori massimi annui delle altezze di precipitazione di durata  $d$  sia invariante, a meno di un fattore di scala dipendente dal sito di interesse, rappresentato dalla grandezza indice. La stima dell'altezza di pioggia presso la  $j$ -esima stazione  $h_j(d, T)$  si esprime allora come prodotto di due termini:

$$h_j(d, T) = m_{j,d} \cdot h_d(T)$$

in cui  $m_{j,d}$  è la grandezza indice specifica per la stazione di interesse e per la durata considerata, e  $h_d(T)$  è un fattore adimensionale, chiamato *curva di crescita*, che esprime la variazione dell'altezza di precipitazione di durata  $d$  in funzione del tempo di ritorno  $T$ , indipendentemente dal sito. La curva di crescita assume validità regionale ed è comune a tutte le stazioni pluviometriche appartenenti ad una data zona omogenea. Come grandezza indice  $m_{j,d}$  è stata adottata la media dei valori massimi annuali dell'altezza di precipitazione nella durata  $d$ . Tale dato è stimato dalla media campionaria delle misure effettuate presso ciascuna stazione.

In sintesi, il metodo della grandezza indice scinde il problema in due sotto-problemi disgiunti: la stima della curva di crescita valida per l'intera regione omogenea e la comprensione della reale distribuzione della grandezza indice nel territorio, di cui le medie campionarie sono delle realizzazioni affette da un certo errore.



## POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE

### Posti di Movimento e Varianti di Tracciato

#### LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RH	ID 00 0 1 001	A	14 di 44

Da un punto di vista operativo, per ogni durata di precipitazione il metodo si sviluppa nei seguenti passi:

1. identificazione di un'ipotesi di zone omogenee;
2. calcolo della grandezza indice come media campionaria dei dati misurati presso ciascuna stazione;
3. normalizzazione del campione di ogni sito, i cui valori sono divisi per la corrispondente media;
4. regolarizzazione del campione composto dai dati normalizzati di tutte le stazioni comprese nella medesima zona omogenea, mediante una opportuna distribuzione di probabilità, e individuazione della corrispondente curva di crescita;

La regolarizzazione del campione composto dai dati normalizzati di tutte le stazioni di ciascuna zona omogenea è stata svolta col metodo di Gumbel.

Le sottozone omogenee individuate consistono in aree con la medesima curva di crescita (regionalizzazione del primo ordine) e per le quali è possibile attribuire un valore unico di grandezza indice, cioè di media dei massimi, ragionevolmente rappresentativo (regionalizzazione del secondo ordine). Ciascun consorzio è stato perciò diviso in sottozone omogenee, ottenute per aggregazione delle unità territoriali elementari. Lo studio, condotto su tutto il territorio regionale, dunque, ha suddiviso l'area di interesse in aree che potessero essere ritenute omogenee dal punto di vista della variabilità dei dati di pioggia per tutte le durate di precipitazione.

A tal proposito è stato condotto il test statistico di Hosking e Wallis (Test H) che stima l'omogeneità dei dati tra le stazioni del Comprensorio per le diverse durate: poiché nel caso del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale il valore di H è sempre minore di 1, la curva di possibilità climatica di riferimento è unica per l'intero comprensorio.

Le stazioni utilizzate per la regionalizzazione delle piogge nell'area Veneto Orientale sono state 11, con almeno 8 anni di letture: Portogruaro-Lison, Fossalta di Portogruaro, Lugugnana di Portogruaro, Eraclea, Roncade, Ponte di Piave, Cavallino, Mogliano Veneto e Venezia Cavanis. Non tutti i siti di raccolta dati si trovano all'interno dell'area di interesse, poiché sono utilizzati come condizione al contorno al fine di circoscrivere la stessa.

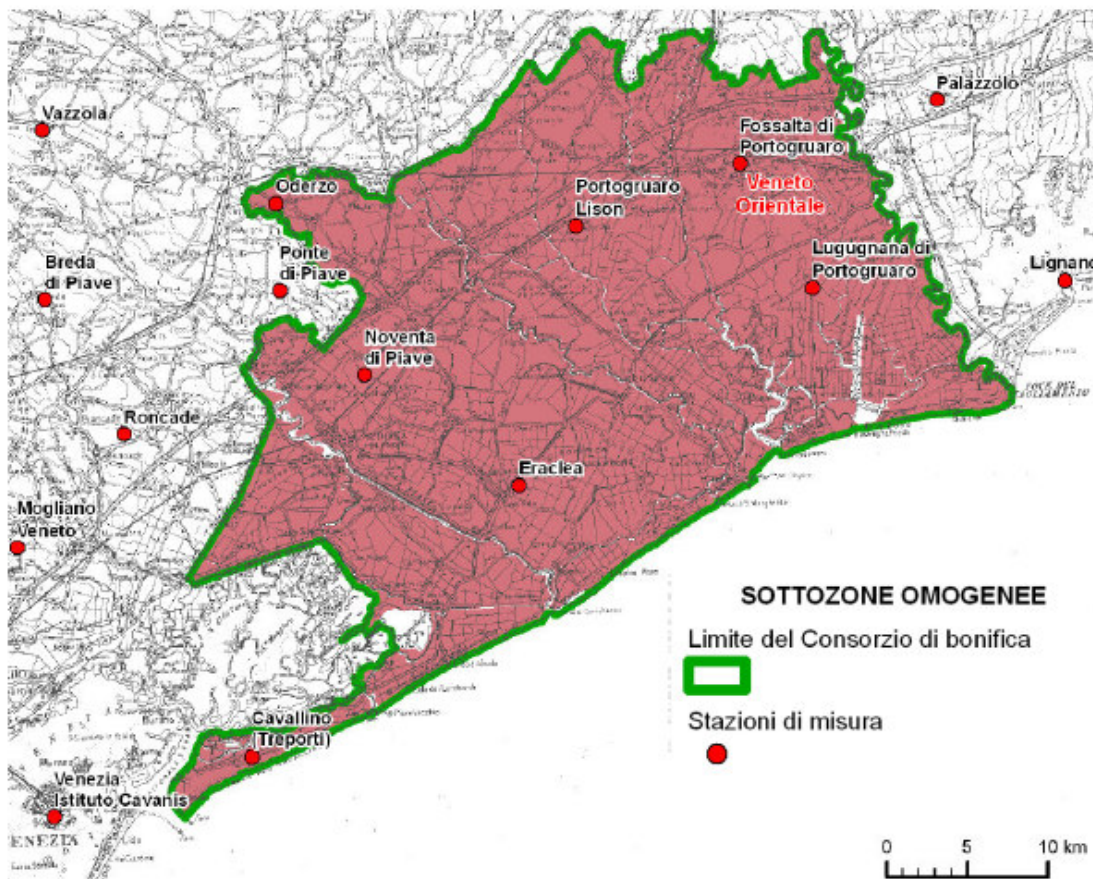


Figura 5-2 Sottozona Omogenea unica per il consorzio di bonifica veneto orientale

Il risultato finale dell'analisi condotta è dato dalla curva segnalatrice di possibilità pluviometrica (CPP), formula che esprime la precipitazione  $h$  in funzione della durata  $t$  dell'evento meteorico, per ogni tempo di ritorno. In particolare:

- a) Curve segnalatrici a tre parametri tarate sui valori attesi da 5 minuti a 24 ore:

$$h = \frac{a}{(t + b)^c}$$

dove  $a$ ,  $b$ ,  $c$  sono i parametri della curva LSPP mentre  $t$  è la durata di precipitazione, espressa in minuti;

- b) Curve segnalatrici a due parametri calcolati su quintetti di dati, negli intervalli sub-orari e orari e curva segnalatrice a due parametri riferita alle durate giornaliere:

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

dove  $a$ ,  $n$  sono i parametri della curva LSPP mentre  $t$  è la durata di precipitazione, espressa in ore.

Nel presente progetto si è fatto riferimento alla formula tri-parametrica in quanto le durate di precipitazione di interesse sono tutte e solo quelle con durata inferiore a 24 ore.

Di seguito si riportano i valori dei parametri a, b, c delle LSPP per la formula trinomia e, successivamente, i valori di precipitazione ottenuti al variare della durata di pioggia, senza applicare alcun ragguglio viste le modeste superfici in gioco.

**Tabella 5-1 Valori dei parametri delle LSPP e relative altezze di pioggia**

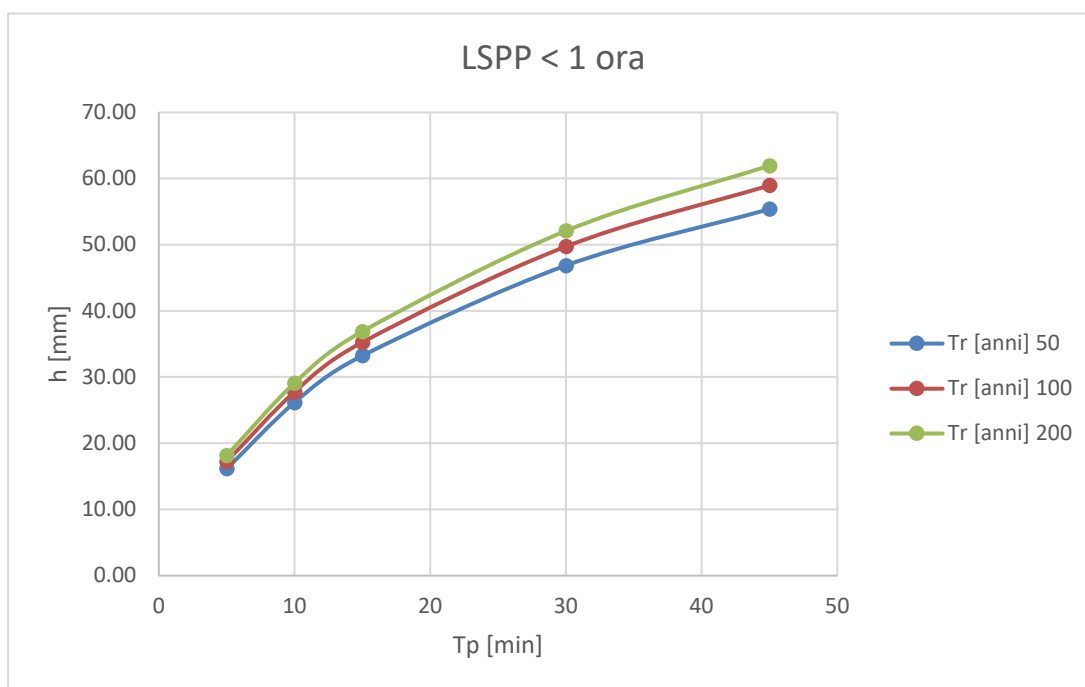
<b>FORMULA TRINOMIA (5 min &lt; Tp &lt; 24 ore)</b>			
<b>TR [anni]</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
2	18.5	10.8	0.819
5	23.8	11.8	0.813
10	25.4	11.7	0.799
20	25.9	11.3	0.781
30	25.8	10.9	0.769
50	25.4	10.4	0.754
100	24.5	9.6	0.732
200	23.2	8.7	0.709

<b>h<sub>lorda</sub> [mm]</b>				
<b>Tp [ore]</b>	<b>Tp [min]</b>	<b>Tr [anni]</b>		
		<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
0.08	5	16.16	17.21	18.14
0.17	10	26.14	27.75	29.09
0.25	15	33.24	35.24	36.89
0.50	30	46.85	49.75	52.11
0.75	45	55.39	58.99	61.97

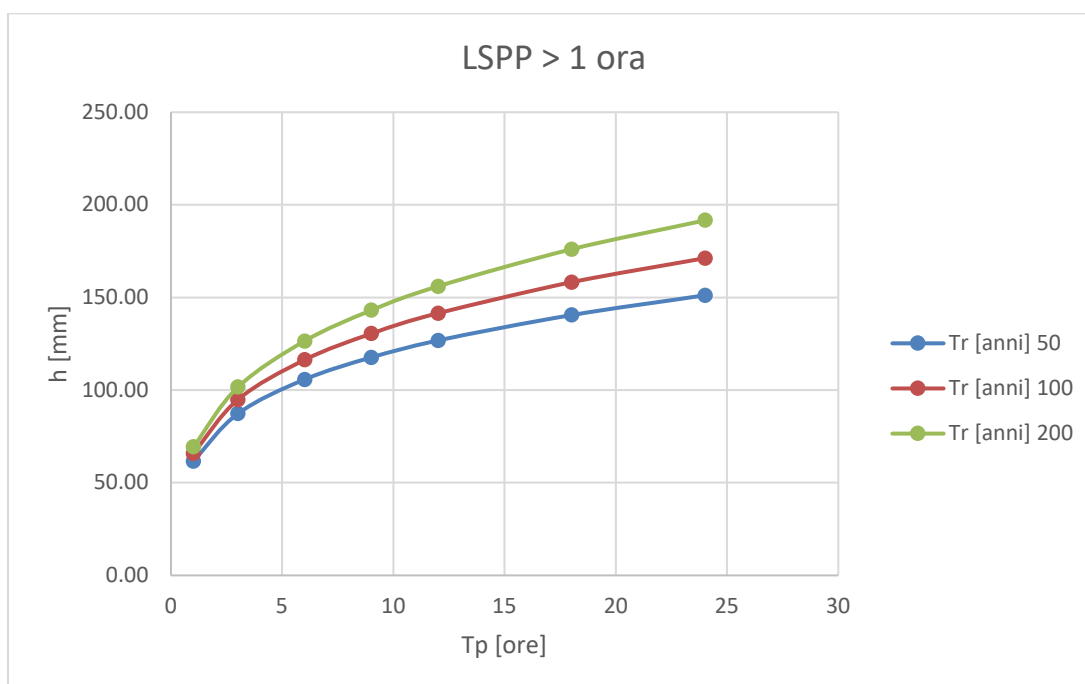
<b>h<sub>lorda</sub> [mm]</b>				
<b>Tp [ore]</b>	<b>Tp [min]</b>	<b>Tr [anni]</b>		
		<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
1	60	61.65	65.85	69.38
3	180	87.34	94.86	101.68
6	360	105.77	116.38	126.48
9	540	117.69	130.57	143.12
12	720	126.78	141.49	156.05
18	1080	140.58	158.24	176.09
24	1440	151.16	171.20	191.74



A seguire, i grafici raffiguranti le LSPP per le durate di interesse, ricavate con i parametri della formula trinomia di cui sopra:



**Figura 5-3 Analisi regionalizzata - LSPP < 1 ora**



**Figura 5-4 Analisi regionalizzata - LSPP > 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 “Fossalta di Portogruaro”, le cui registrazioni sono state reperite direttamente sul sito di ARPA Veneto (<https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/precmax/>) 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 sub-orarie di 5, 10, 15, 30 e 45 minuti, e 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.

Stazione	Fossalta di Portogruaro	
Quota	3	m s.l.m.
Coordinata X	1802759	Gauss-Boaga fuso Ovest (EPSG:3003)
Coordinata Y	5076523	
Comune	FOSSALTA DI PORTOGRUARO (VE)	
Inizio attività sensore di pioggia 01/02/1992		
Fine attività sensore di pioggia ancora attivo		

Figura 5-5 Dati stazione pluviometrica

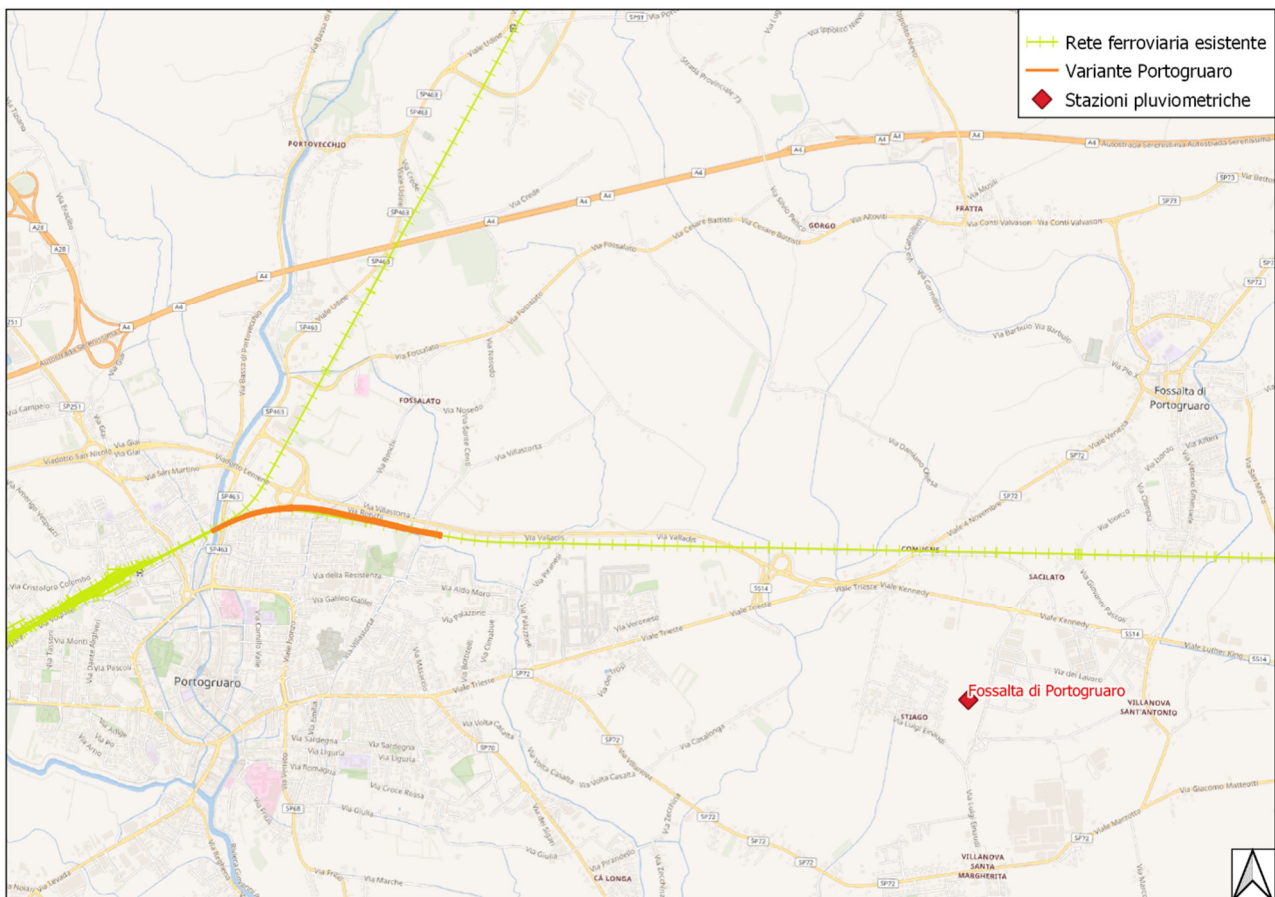


Figura 5-6 Posizionamento del pluviometro rispetto agli interventi in progetto

Tabella 5-2 Dati annuali idrologici elaborati con metodo di Gumbel per durate di pioggia < 1 ora

Durate di pioggia < 1 ora					
FOSSALTA DI PORTOGRUARO					
INTERVENTO	Variante di Portogruaro				
ANNO	MAX_5min	MAX_10min	MAX_15min	MAX_30min	MAX_45min
1992	9.2	17.6	26	37.4	38
1993	8.2	14.6	20	27.8	31
1994	10.8	19	22.8	28.2	29.4
1995	10.2	14.6	17.4	27.6	28.8
1996	11.8	20.6	28.6	47.2	53.6
1997	10	18.8	23.8	29	30.2
1998	9.8	15.8	22.4	35.2	38.4
1999	7.8	12.2	14	14.2	15.4
2000	14.6	28.4	38	50.6	58.2
2001	7.2	11.4	14.8	25.2	34.2
2002	15	24	33.6	53	58.8
2003	4.6	6.6	7.6	10.6	11.6
2004	9	16.4	22.2	22.8	22.8
2005	8.4	14	19	24.2	25.6
2006	7.6	12.8	15.8	19.6	20
2007	7.8	15.4	22.6	33	37.2
2008	9.6	17.4	23	28.6	38.2
2009	7.6	13.6	17.2	18	18
2010	7	12	15.4	22.8	24.8
2011	12.4	22.2	25.6	30.8	36.2
2012	12	22.8	23.6	24	25
2013	13.4	26.4	35.4	57.8	72.2
2014	10.8	17.2	21.8	28.6	43
2015	9.4	17	22.2	36.6	49.4
2016	15.8	23.2	26.2	28	29
2017	8.2	13.8	19.2	28.6	32.4
2018	11	18.6	20.4	24.6	27.6
2019	13.2	20.8	24.4	29.6	35
2020	9.8	13	15.4	20.6	26

<b>Numerosità N</b>	29	29	29	29	29
<b>Media <math>\mu</math></b>	10.08	17.25	22.01	29.80	34.14
<b>Dev. Std <math>\sigma</math></b>	2.64	4.89	6.52	10.98	13.75
<b><math>u = \mu - 0.45 \sigma</math></b>	8.89	15.05	19.08	24.86	27.95
<b><math>\alpha = 1.283/\sigma</math></b>	0.49	0.26	0.20	0.12	0.09

TR [ANNI]	a_LSPP [mm/h]	n_LSPP [-]
2	40.15	0.536
5	55.81	0.586
10	66.22	0.608
25	79.40	0.629
30	81.99	0.632
50	89.20	0.641
100	98.93	0.650
200	108.63	0.658

Tp [ore]	Tp [min]	$h_{fiorde}$ [mm]		
		Tr [anni]	Tr [anni]	Tr [anni]
		50	100	200
0.08	5	18.16	19.66	21.16
0.17	10	28.31	30.85	33.39
0.25	15	36.70	40.16	43.61
0.50	30	57.22	63.03	68.83
0.75	45	74.19	82.05	89.89

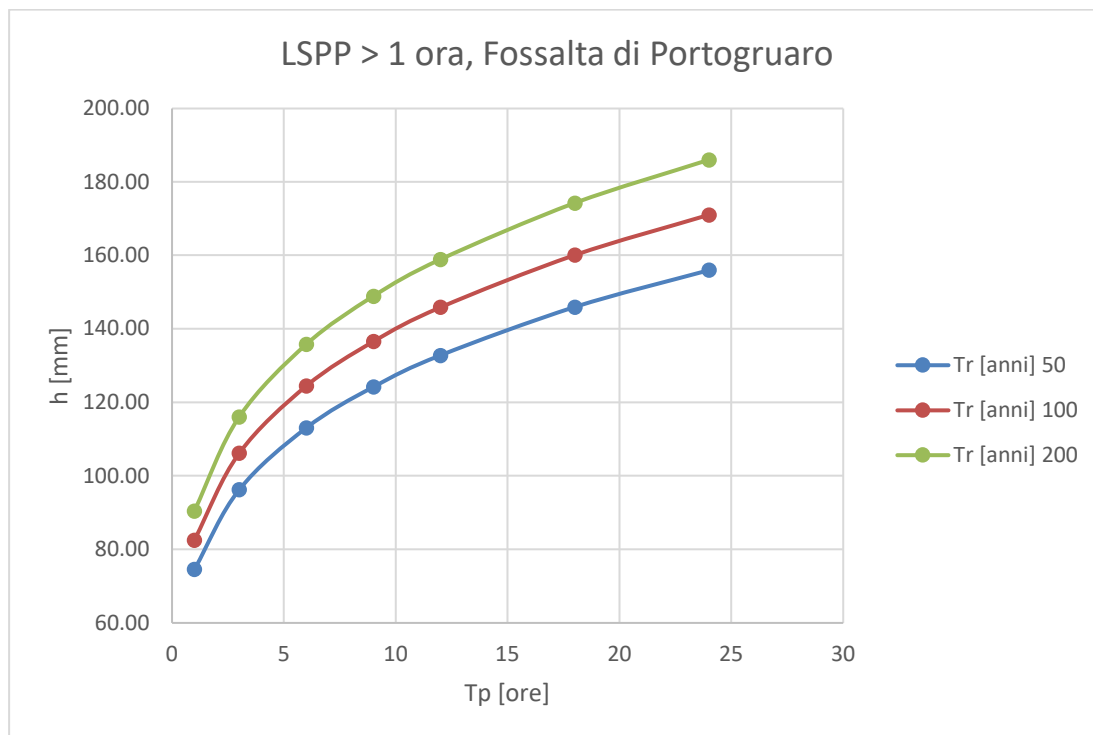
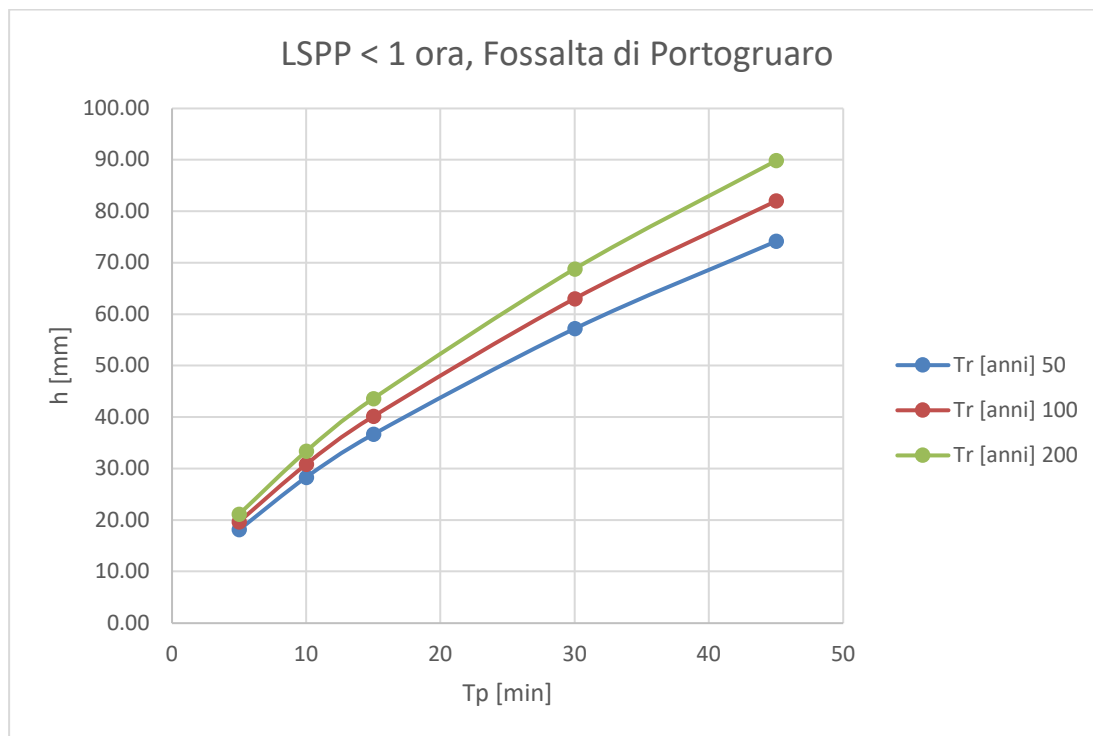
**Tabella 5-3 Dati annuali idrologici elaborati con metodo di Gumbel per durate di pioggia > 1 ora**

FOSSALTA DI PORTOGRUARO					
INTERVENTO	Variante di Portogruaro				
ANNO	MAX_1H	MAX_3H	MAX_6H	MAX_12H	MAX_24H
1992	38	49	49	76.8	88.6
1993	38.2	54	55.6	55.6	64.6
1994	30.2	31.2	31.2	41.2	45.4
1995	34.6	55.6	66.8	85.6	91
1996	54.8	56	56	76.8	101.4
1997	30.6	34.2	37	39.4	59.2
1998	38.6	44.2	63.4	82.2	103.2
1999	16.4	28	38.8	65.8	85.4
2000	61	66	66.4	79.4	86
2001	38.2	39.8	40	43	47
2002	59.2	64	64	81.8	95.2
2003	12.6	25.8	37.4	53.6	74.4
2004	28.2	53.8	74	82.4	82.4
2005	26.6	31.8	35.8	39.2	72.4
2006	20.4	22.6	30.4	41.2	45
2007	39	47.6	49	59.2	85
2008	46.2	74.8	82.2	124	131
2009	23.4	43.6	75.2	95.8	108
2010	27.4	37.4	43.4	71.2	88.2
2011	38.6	54.6	59.6	63.4	89
2012	27	36.4	42.6	70.2	71.8
2013	81.2	112.8	114	116.6	198.6
2014	47.8	53.2	55.4	90.6	110.4
2015	60.8	79.2	80.4	80.8	115.4
2016	34.6	43.6	59.4	86.2	101.6
2017	36.4	40	40.2	40.2	78.2
2018	28.6	35.6	41	52.2	72
2019	48.2	64	82.2	85.2	100.6
2020	29.4	39.6	39.6	52.4	57
<b>Numerosità N</b>	29	29	29	29	29
<b>Media <math>\mu</math></b>	37.80	48.91	55.52	70.07	87.86
<b>Dev. Std <math>\sigma</math></b>	15.01	18.80	19.37	22.44	30.08
<b><math>u = \mu - 0.45 \sigma</math></b>	31.04	40.45	46.80	59.97	74.33
<b><math>\alpha = 1.283/\sigma</math></b>	0.09	0.07	0.07	0.06	0.04

TR [ANNI]	a_LSPP [mm/h]	n_LSPP [-]
2	34.36	0.266
5	47.25	0.249
10	55.79	0.242
25	66.58	0.236
30	68.70	0.235
50	74.59	0.232
100	82.54	0.229
200	90.46	0.227

Tp [ore]	Tp [min]	h <sub>orda</sub> [mm]		
		Tr [anni]	Tr [anni]	Tr [anni]
		50	100	200
1	60	74.59	82.54	90.46
3	180	96.27	106.18	116.06
6	360	113.08	124.47	135.81
9	540	124.24	136.59	148.90
12	720	132.82	145.90	158.93
18	1080	145.93	160.11	174.24
24	1440	156.02	171.03	185.99

A seguire, i grafici raffiguranti le LSPP per il pluviometro d'interesse, al variare della durata di pioggia e del tempo di ritorno:



**Figura 5-7 LSPP per il pluviometro "Fossalta di Portogruaro"**

Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IZ04	30	R 26 RH	ID 00 0 1 001	A	23 di 44

### 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

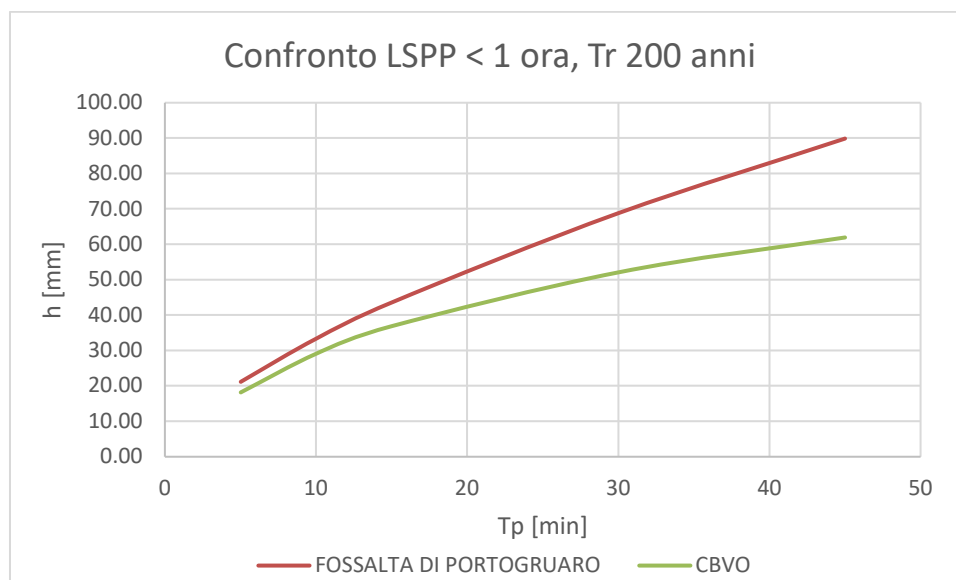
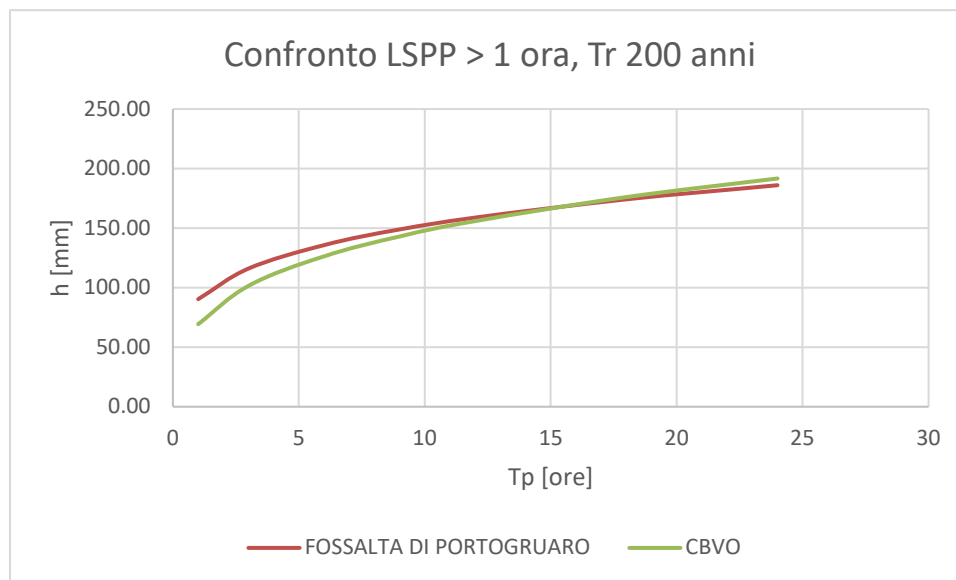


Figura 5-8 Confronto LSPP < 1 ora, Tr 200 anni

Come si vede dall'immagine precedente, le altezze di pioggia che scaturiscono dall'analisi statistica con il metodo di Gumbel applicati ai valori di precipitazione forniti da ARPAV risultano superiori a quelle che si ottengono con la formula trinomia derivante 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 ARPAV.

**LSPP > 1 ORA**



**Figura 5-9 Confronto LSPP > 1 ora, Tr 200 anni**

Come si vede dall'immagine precedente, nel caso di durate di precipitazione superiori all'ora, la situazione è più incerta: per durate maggiori di 18 ore, la curva dell'analisi regionalizzata è sempre più alta di quella ottenuta elaborando i dati forniti da ARPAV, mentre finché la durata di pioggia è inferiore a 18 ore, è la curva di ARPAV ad essere predominante.

Nella pratica progettuale il dimensionamento delle vasche di laminazione/dispersione e dei bacini si riferisce in genere a durate di precipitazione di molto superiori all'ora; di conseguenza, per tali durate di pioggia superiori, si impiegheranno le curve valide per il Consorzio di Bonifica Veneto Orientale (CBVO) essendo queste più gravose.



#### 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).

Tabella 5-4 Parametri idrologici per Variante di Portogruaro

Durata di pioggia < 1 ora		
TR [anni]	a [mm/h]	n [-]
25	79.40	0.629
50	89.20	0.641
100	98.93	0.650
200	108.63	0.658

$$h_{TOT} [mm] = a \cdot t^n$$

La durata di pioggia va inserita in ore.

Durata di pioggia > 1 ora			
TR [anni]	a [mm · min <sup>-1</sup> ]	b [min]	c [-]
50	25.4	10.4	0.754
100	24.5	9.6	0.732
200	23.2	8.7	0.709

$$h_{TOT} [mm] = \frac{a}{(t + b)^c} t$$

La durata di pioggia va inserita in minuti.

## 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 tutti gli attraversamenti esistenti.

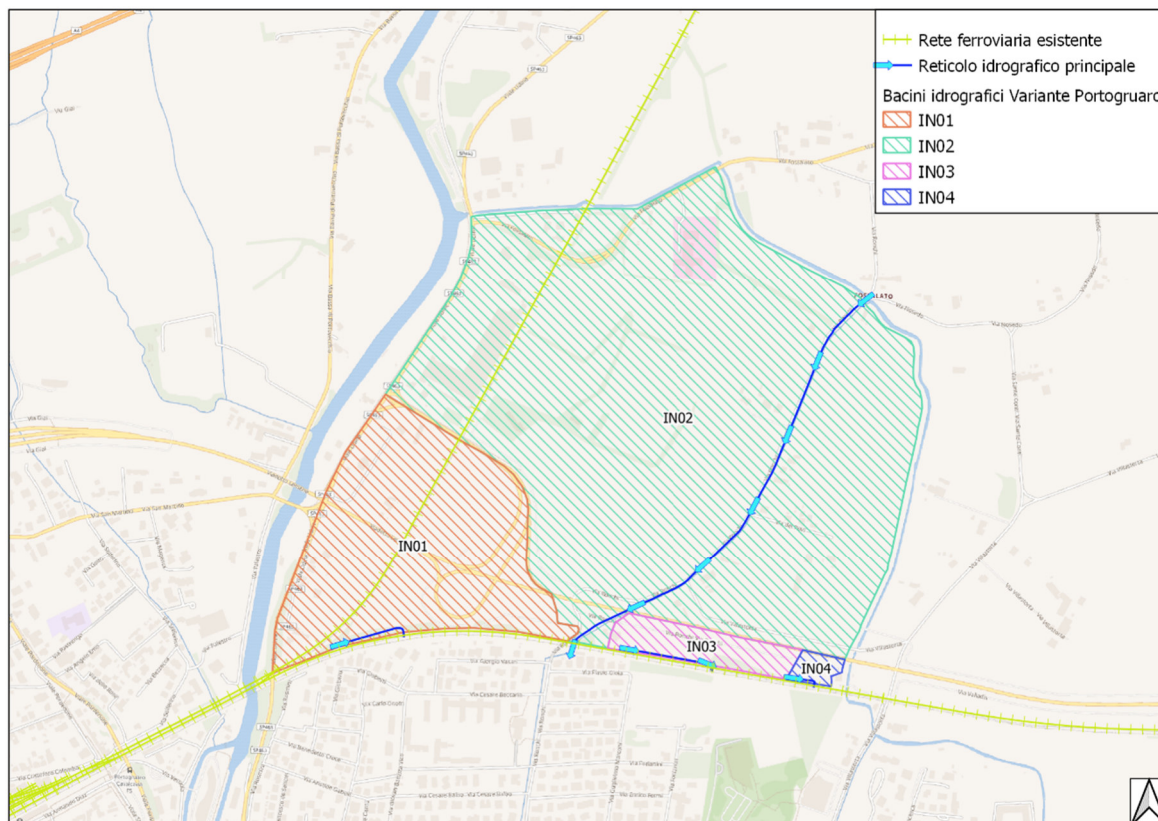
Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle caratteristiche dei tombini presenti sotto la linea esistente e successivamente si procede all'analisi delle caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici afferenti ad i tombini in questione.

**Tabella 6-1 Riepilogo caratteristiche tombini**

<b>Progressiva [km]</b>	<b>Forma/Dimensioni attuali</b>
60+168.30	Arco B = 1.2 m; H = 1.2 m
60+494.73	Arco B = 1.5 m; H = 1.5 m
60+751.13 (occluso)	Arco B = 0.66 m; H = 0.66 m
60+757	Arco B = 1.50 m; H = 1.50 m
60+953.52	Arco B = 1.15 m; H = 1.15 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,  $I_b$  [m/m] la pendenza media del bacino, L [Km] la lunghezza dell'asta principale,  $I$  [m/m] la pendenza media dell'asta principale,  $Z_{max}$  [msm],  $Z_{min}$  [msm],  $Z_{med}$  [msm] rispettivamente la quota massima, minima e media del bacino.

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

ID_BACINO	A [km <sup>2</sup> ]	$I_b$ [m/m]	L [Km]	$I$ [m/m]	$Z_{max}$ [msm]	$Z_{med}$ [msm]	$Z_{min}$ [msm]
IN01	0.167	0.008	0.137	0.008	4.96	3.56	2.40
IN02	0.612	0.007	0.901	0.007	5.38	2.76	1.40
IN03	0.023	0.006	0.171	0.006	2.72	1.77	1.27
IN04	0.005	0.022	0.049	0.028	3.70	2.41	1.63

## 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, impieghino 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	0.58	1.29	0.08	0.09	0.21
IN02	1.18	1.13	0.59	0.40	0.73
IN03	0.24	0.21	0.12	0.12	0.26
IN04	0.05	0.30	0.02	0.03	0.07

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 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** 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 corrivazione, l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

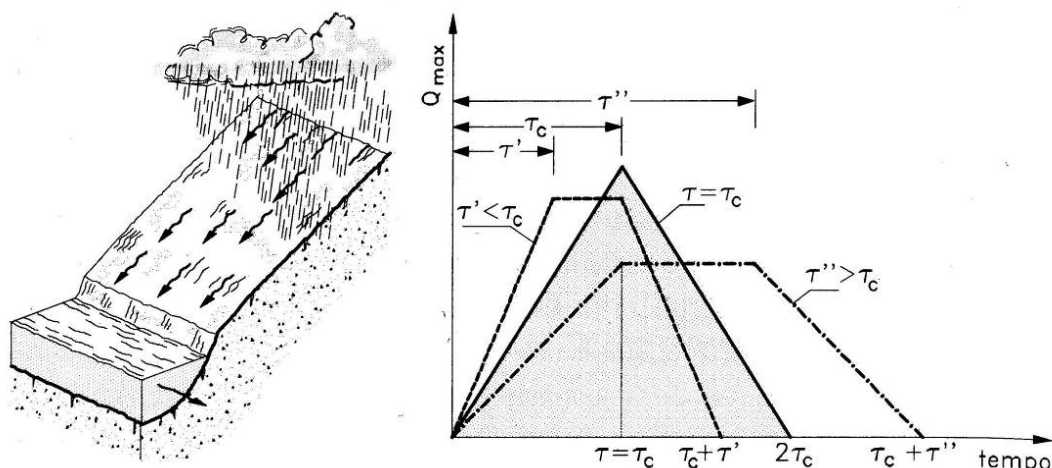


Figura 6-2 Modello cinematico: idrogramma di piena per differenti durate di precipitazioni

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 corrivazione. 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:

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

**POTENZIAMENTO LINEA VENEZIA TRIESTE****Posti di Movimento e Varianti di Tracciato****LOTTO 3: Variante di tracciato a Portogruaro**

Relazione idrologica – Sede ferroviaria

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IZ04	30	R 26 RH	ID 00 0 1 001	A	31 di 44

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

$P_{netta}$  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 di dettaglio messo a disposizione dalla Regione Veneto e la carta della pedologia, anch'essa scaricabile dal Geoportale Regionale, secondo la seguente tabella di corrispondenza "USO DEL SUOLO – GRUPPO IDROLOGICO":

**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 (foraggere 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	Spiagge, dune e sabbie	44	51	55	58	Media terreni abbandonati e ghiaioni (catchrisk)
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	Torbiera	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 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	81.54	57.50	11.5	0.45
IN02	79.79	64.34	12.87	0.40
IN03	82.17	55.12	11.02	0.27
IN04	82.15	55.19	11.04	0.02

### 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 Portogruaro - IN01

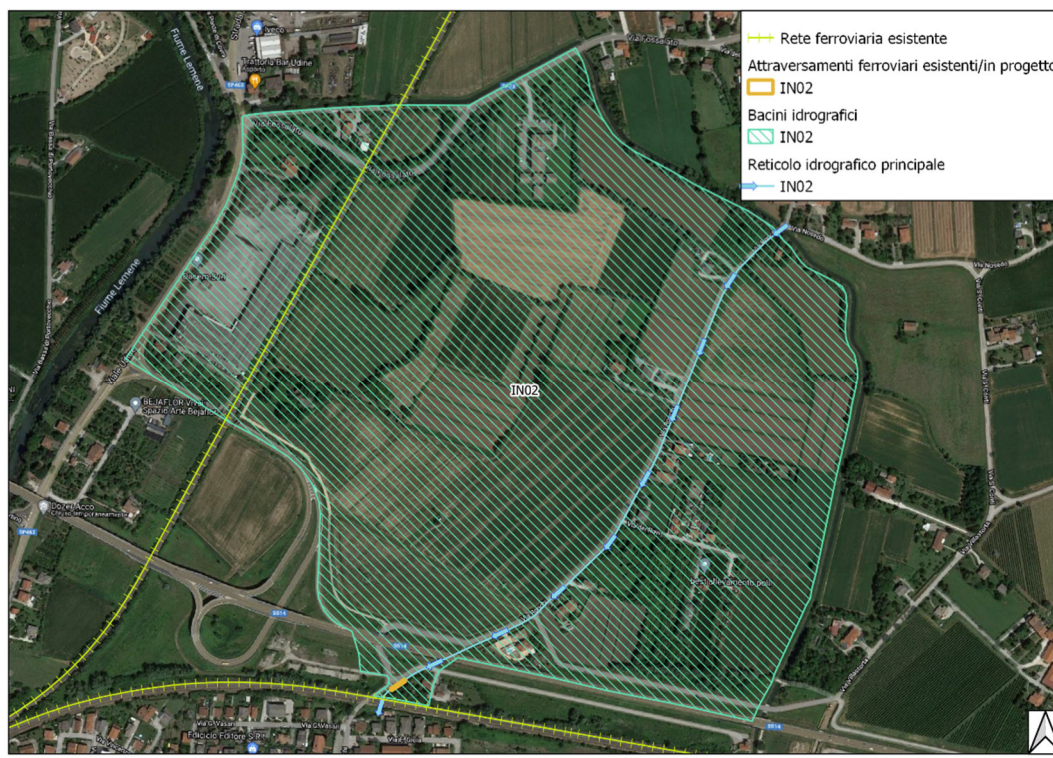


Figura 6-3 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN01, alla progr. 60+168.30 Km

Tabella 6-6 Riepilogo risultati per il bacino IN01

	<b>Var. Portogruaro - IN01</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	75.87
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.45
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.167
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.58
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	2.71

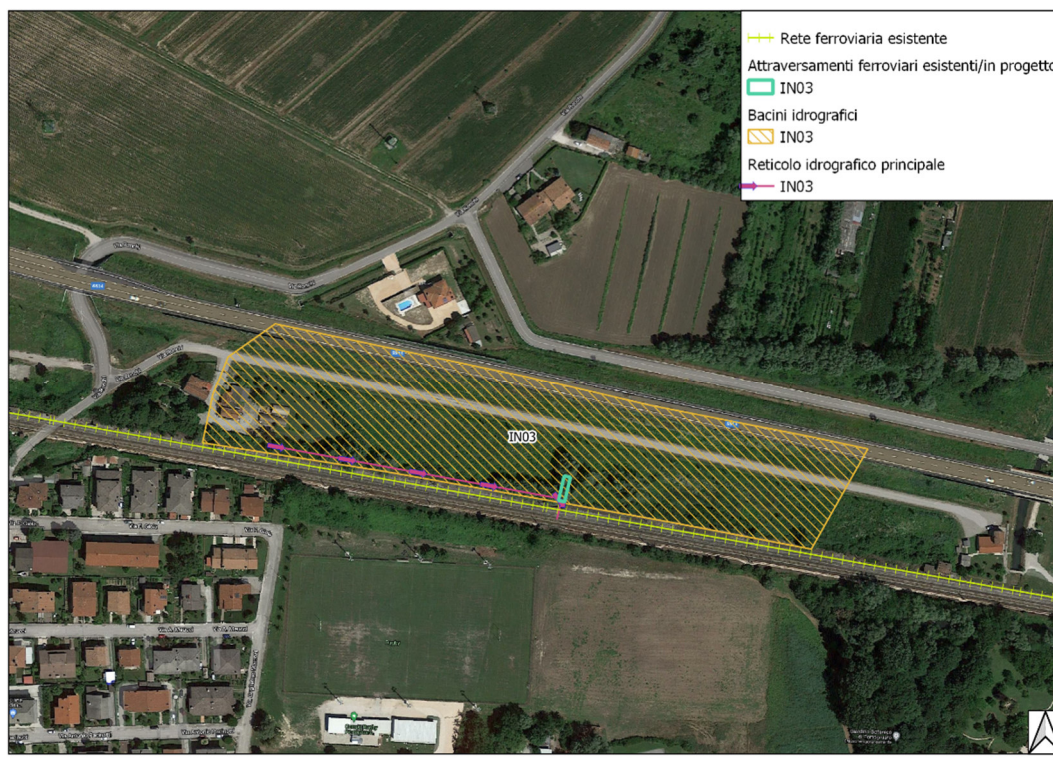
**Variante Portogruaro - IN02**



**Figura 6-4 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN02, alla progr. 60+494.73 Km**

**Tabella 6-7 Riepilogo risultati per il bacino IN02**

	<b>Var. Portogruaro - IN02</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	73.93
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.40
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.612
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	1.18
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	4.26

***Variante Portogruaro - IN03***

**Figura 6-5 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN03, alla progr. 60+751.13 Km**
**Tabella 6-8 Riepilogo risultati per il bacino IN03**

	<b>Var. Portogruaro - IN03</b>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	42.40
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.27
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.023
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.24
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	0.30

***Variante Portogruaro - IN04***

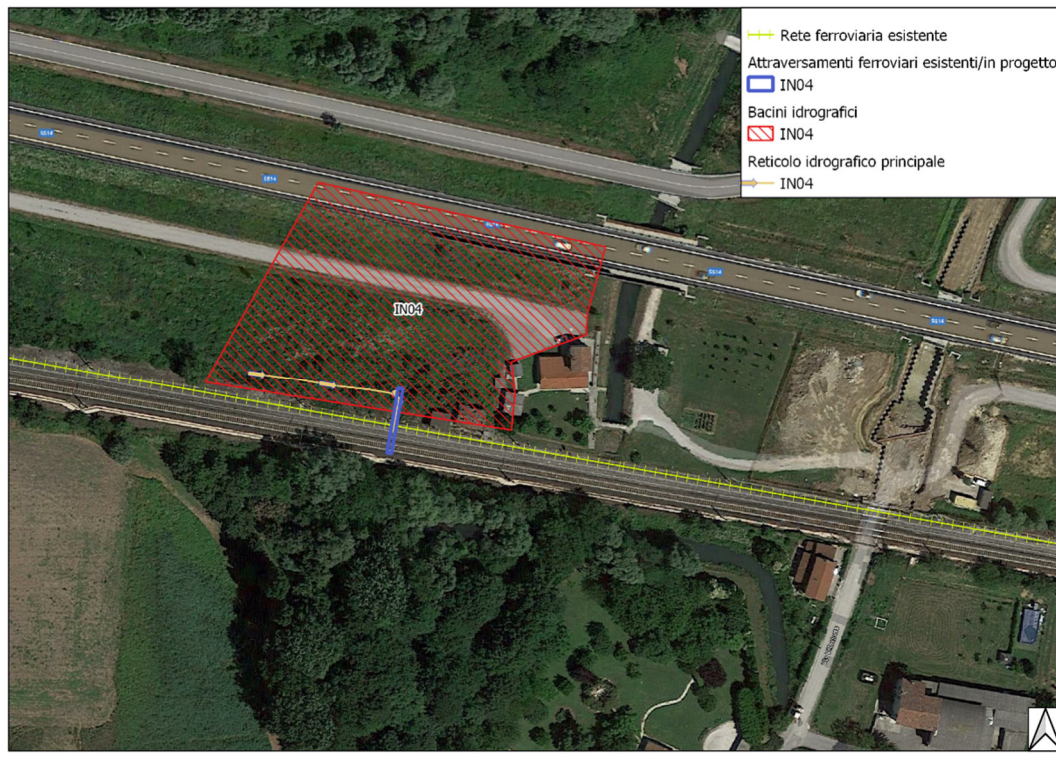


Figura 6-6 Inquadramento bacino associato all'attraversamento IN04, alla progr. 60+953.52 Km

Tabella 6-9 Riepilogo risultati per il bacino IN04

	<b>Var. Portogruaro - IN04</b>
Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]	15.58
Coeff. Deflusso [-]	0.02
Area bacino [Km <sup>2</sup> ]	0.005
Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]	0.05
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>0.01</b>

## 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.

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

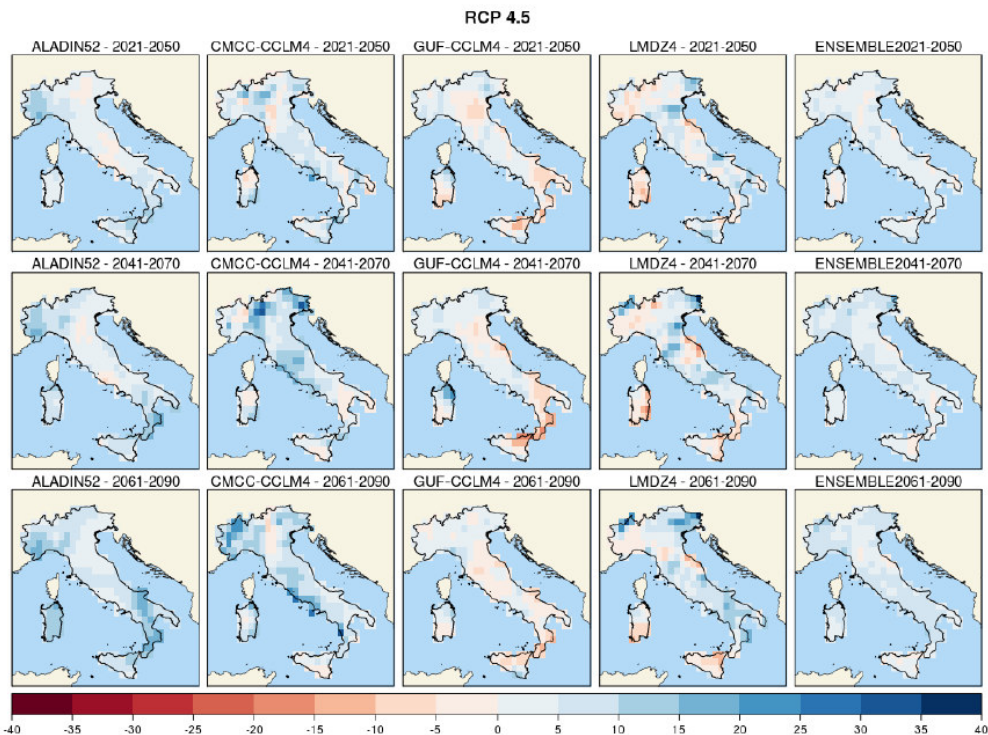
*Secondo la definizione della World Meteorological Organization (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (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.*

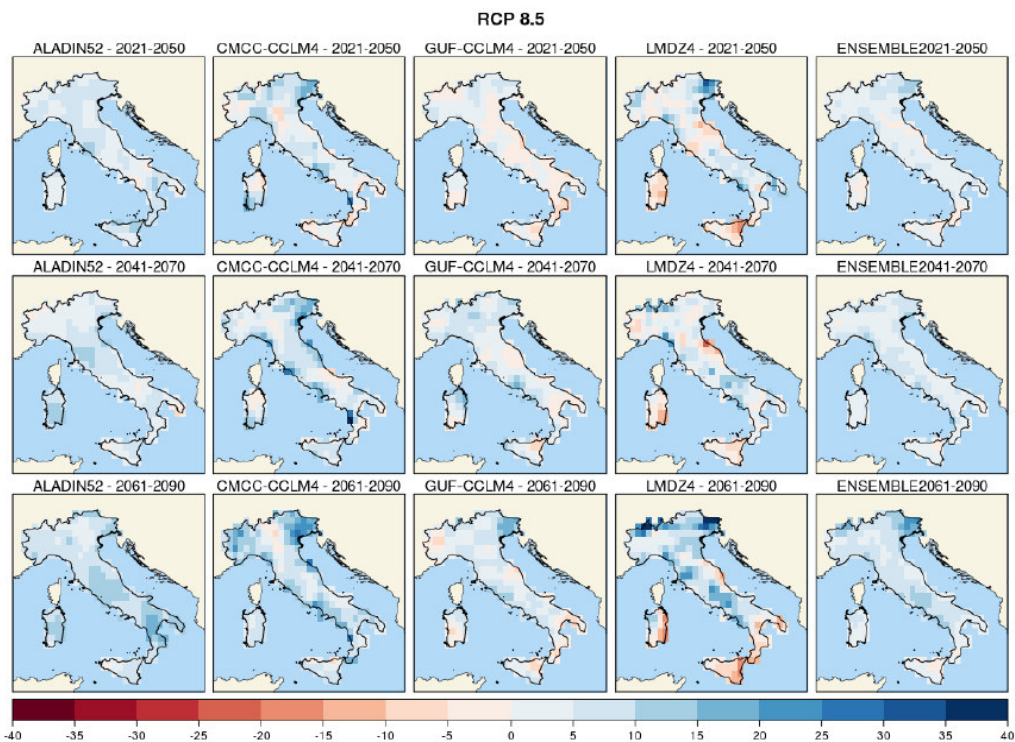
*I modelli regionali (“Regional Climate Models”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una 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 3: Variante di tracciato a Portogruaro

Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 41 di 44
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

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.

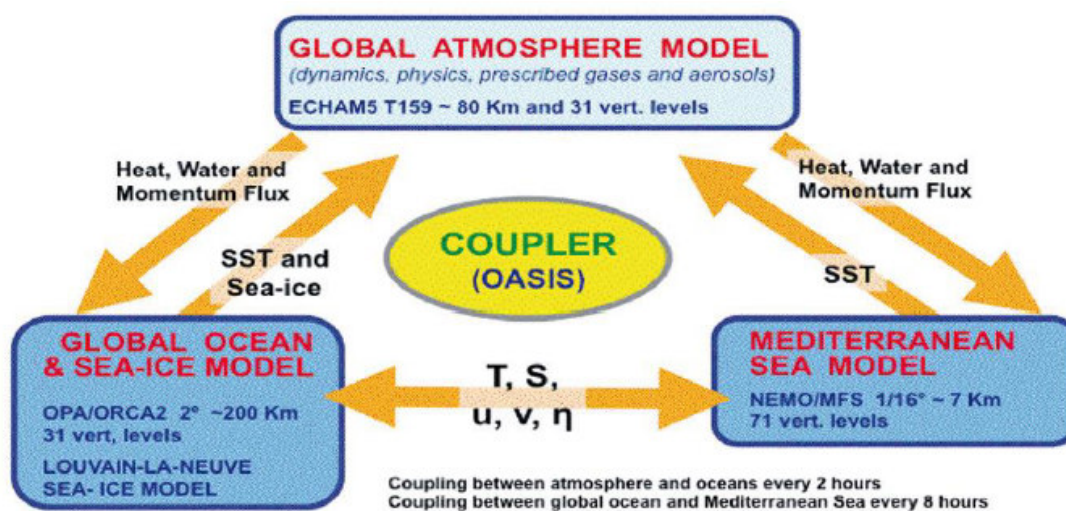


Figura 7-3 Rappresentazione del modello globale del CMCC

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.

Relazione idrologica – Sede ferroviaria	COMMESSA IZ04	LOTTO 30	CODIFICA R 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV. A	FOGLIO 44 di 44
---	------------------	-------------	---------------------	----------------------------	-----------	--------------------

**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 Portogruaro	+ 5-10	+10-15	+15-20

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 6, 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. Portogruaro - IN01</i>	<i>Var. Portogruaro - IN02</i>	<i>Var. Portogruaro - IN03</i>	<i>Var. Portogruaro - IN04</i>
<b>Altezza di pioggia critica Tr 200 anni [mm]</b>	95.87	93.93	62.40	35.58
<b>Coeff. Deflusso [-]</b>	0.52	0.48	0.40	0.21
<b>Area bacino [Km<sup>2</sup>]</b>	0.167	0.612	0.023	0.005
<b>Tempo di corrivazione - Formula di Ventura [ore]</b>	0.72	0.51	1.81	1.81
<b>Portata idrologica [m<sup>3</sup>/s]</b>	4.00	6.48	0.65	0.19