

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J84C19000370009

U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA A.V./A.C. MILANO-VERONA

NODO DI BRESCIA

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

SCALA:

-

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

I N 1 M 1 0 D 2 6 R H I D 0 0 0 1 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva		Novembre 2021	S. Scafa	Novembre 2021	L. Barchi	Novembre 2021	A.Perego Gennaio 2022
B	Emissione a seguito parere MITE assoggettabilità a VIA		Gennaio 2022	S. Scafa <i>SS</i>	Gennaio 2022	L. Barchi <i>LB</i>	Gennaio 2022	



File: IN1M10D26RHID0001001B

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	ELENCO ELABORATI	6
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	7
3	INQUADRAMENTO DELLA'AREA	8
3.1	INQUADRAMENTO GENERALE	8
3.2	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	13
3.2.1	<i>Fiume Mella</i>	14
3.2.2	<i>Reticolo idrografico minore</i>	16
4	ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME	21
4.1	ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE - PAI	21
4.2	ANALISI STATISTICA DELLE PIOGGE – ARPA LOMBARDIA	24
4.2.1	<i>Il modello probabilistico di GEV (o distribuzione generalizzata del valore estremo)</i>	26
4.3	CONFRONTO LSPP PAI ADBPO E ARPA LOMBARDIA	30
4.4	RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI	31
4.5	VALORI ADDOTTATI	33
5	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA AFFERENTE AGLI ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI	35
5.1	CRITERI DI CALCOLO	35
5.2	IDENTIFICAZIONE DEI BACINI SCOLANTI	37
5.3	LSPP DI PROGETTO	39
5.4	VALUTAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE (NETTA)	39
5.4.1	<i>Metodo Curve Number (CN)</i>	39
5.4.2	<i>Cenni di teoria</i>	40
5.4.3	<i>Gruppo idrologico dei suoli</i>	41
5.4.4	<i>Uso del Suolo</i>	41
5.4.5	<i>Tabella di correlazione</i>	42
5.4.6	<i>Parametri CN di progetto</i>	44

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	3 DI 53

5.4.7	Coefficiente di deflusso.....	45
5.5	PORTATA DI PIENA BACINI IMBRIFERI DEL TRATTO INTERFERITO DELLA ROGGIA FIUMICELLA (IN01).....	47
6	EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI	49
6.1	CAMBIAMENTI CLIMATICI IN ITALIA	49
6.1	CAMBIAMENTI CLIMATICI NELL'AREA DI INTERESSE.....	52

1 PREMESSA

L'attivazione della tratta AV/AC Milano – Brescia del 2016 ha consentito di liberare la capacità sulla linea storica Milano-Venezia anche per traffici merci da/per Milano. L'incremento di traffico futuro sull'asse ferroviario Torino-Venezia, richiede, tra gli altri, l'intervento di potenziamento dello Scalo di Brescia.

In tale scenario si inserisce il progetto in parola che deve compatibilizzare l'impianto attuale di Brescia (attivazione di fase 4) alle esigenze del futuro terminal intermodale di competenza di TerAlp, il quale sarà realizzato a sud dello scalo e comunicherà con il fascio merci dello scalo di Brescia.

Il Terminal intermodale di TerAlp non è oggetto del presente progetto.

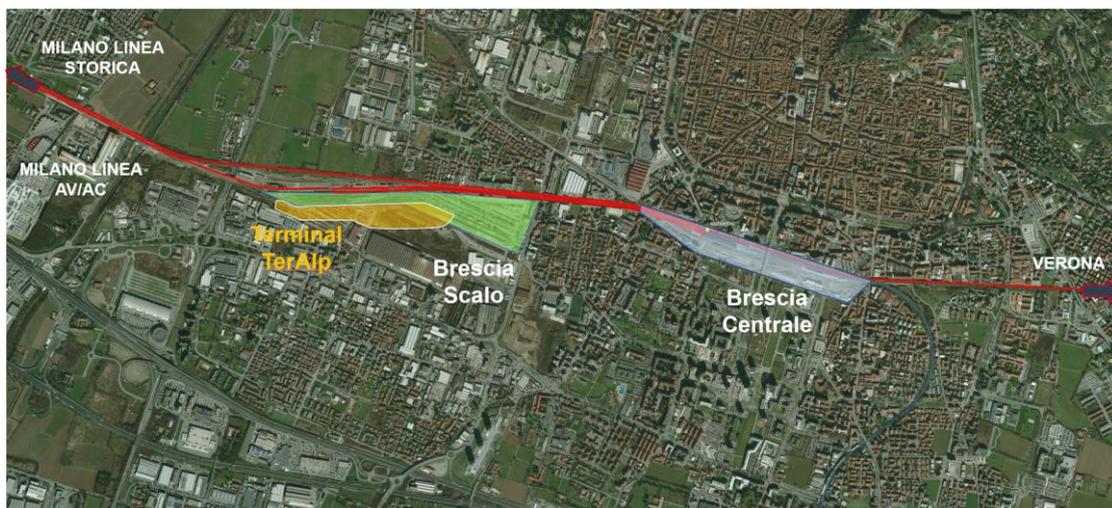


Figura 1 Inquadramento area progetto e terminal TerAlp - Brescia Scalo

Il presente documento costituisce la relazione idrologica relativa al Progetto Definitivo del Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia, che riguarda la realizzazione del nuovo PRG di scalo per adeguarlo alle nuove esigenze di traffico merci e dotarlo di un'asta di manovra da 750 m lato Milano, che permetterà l'instradamento dei treni verso Verona.

L'opera relativa al Potenziamento Infrastrutturale dello Scalo di Brescia prevede i seguenti interventi:

- prolungamento a modulo 750 m dei binari I e II FM (cd. Fase 0), in aree ferroviarie;
- realizzazione dell'accesso al terminale Teralp, in aree ferroviarie;
- realizzazione di un'asta di manovra di lunghezza 750 m lato Milano, in aree non di proprietà delle ferrovie;
- sistemazione a PRG dei binari da III a X FM che avranno modulo compreso tra 465 m e 600 m, in aree ferroviarie;
- realizzazione di 3 nuovi binari di modulo superiore a 750 m (binari XI, XII e XIII FM), in aree ferroviarie.

Sono inclusi nel presente progetto anche i seguenti ulteriori interventi, i quali non sono localizzati nell'area del PRG di Brescia Scalo:

- Realizzazione dell'indipendenza tra il binario pari LS e il binario di accumulo a servizio del fascio di manutenzione (cd. FSA),

- Realizzazione dell'adeguamento dell'intero ACC (Fascio Viaggiatori e Fascio Merci) con centralizzazione e attrezzaggio con segnali alti di fasci attualmente non attrezzati in Brescia Centrale (ved. Relazione Generale Segnalamento per dettagli fasci attrezzati);
- Realizzazione di nuovi fabbricati tecnologici;
- Realizzazione di due nuove viabilità e una posta ciclopedonale nell'area a sud ovest dello Scalo di Brescia.

L'impianto di Brescia scalo è interessato da:

- Progetto Definitivo del Terminal di TerAlp
- Attivazione Fase 4 Nodo di Brescia

Lo studio idrologico è finalizzato alla 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 per il 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.

L'analisi idrologica effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Analisi cartografica e specifici sopralluoghi nei quali sono state acquisite notizie sull'idrografia della zona, sullo stato degli alvei, nonché sul comportamento dell'area durante gli eventi piovosi intensi;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- Analisi statistica delle piogge intense e determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative.

1.1 Elenco elaborati

Di seguito si riporta l'elenco degli elaborati previsti in materia di idrologia e idraulica.

ELABORATO	CODIFICA
IDROLOGIA E IDRAULICA	
Relazione idrologica	IN1M10D26RHID0001001B
Corografia aree a pericolosità idraulica da strumenti normativi	IN1M10D26C4ID0001001B
Corografia del Reticolo Idrografico e bacini imbriferi	IN1M10D26C4ID0001002B
Relazione idraulica di compatibilità idraulica e di smaltimento idraulico	IN1M10D26RIID0002001B
Corografia interventi di sistemazione idraulica	IN1M10D26C6ID0002001B
Tipologici idraulici sistema di raccolta e smaltimento acque meteoriche	IN1M10D26PZID0002001B
Planimetria sistema di smaltimento idraulico - asta 350 m	IN1M10D26P7ID0002001A
Planimetria sistema di smaltimento idraulico - asta 750 m	IN1M10D26P7ID0002002A
Planimetria sistema di smaltimento idraulico - prolungamento a modulo 750 dei binari I-II FM-Tronchino di indipendenza binario accumulo FSA	IN1M10D26P7ID0002003A
OPERE IDRAULICHE DI ATTRAVERSAMENTO	
Relazione di calcolo opere idrauliche di attraversamento 1/2	IN1M11D26CLIN01A0001A
Relazione di calcolo opere idrauliche di attraversamento 2/2	IN1M11D26CLIN01B0001A
Carpenteria IN01A	IN1M11D26BAIN01A0001B
Carpenteria IN01B	IN1M11D26BAIN01B0001B
FABBRICATO TECNOLOGICO FA01	
Planimetria smaltimento idraulico	IN1M11D26PZFA0100001A
FABBRICATO TECNOLOGICO FA02	
Planimetria smaltimento idraulico	IN1M11D26PZFA0100002B
VIABILITÀ DI ACCESSO AL SOTTOVIA SL01	
Planimetria di smaltimento idraulico	IN1M11D26P8NV0100002A
VIABILITÀ DI ACCESSO AL SOTTOVIA SL02	
Planimetria di smaltimento idraulico	IN1M11D26P8NV0200001A
PISTA CICLABILE	
Planimetria di smaltimento idraulico	IN1M11D26P8NV0400001A

Tabella 1 Elenco elaborati idrologia e idraulica

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle normative e degli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale, regionale, al fine di fornire un quadro esaustivo della normativa vigente nel campo idrologico - idraulico, ambientale e di difesa del suolo; in particolare:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale.
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. gennaio 2018).
- DM.LL.PP del 12-12-1985, Norme tecniche relative alle tubazioni.
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) ultimo aggiornamento dicembre 2020 cod. RFIDTCSICSMAIFS001E.
- Dlgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- Dlgs 27 gennaio 1992, n. 132. Protezione delle acque sotterranee.
- Ministero dei Trasporti e dell'Aviazione Civile - DM 23 Febbraio 1971, n. 2445 e ss.mm.ii. "Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto".
- "Norme di attuazione del Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico" approvata con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 22 febbraio 2018, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 120, Serie Generale, del 25 maggio 2018;
- "Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)" adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016 è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30, serie Generale, del 6 febbraio 2017 – revisione 2021.

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	8 DI 53

3 INQUADRAMENTO DELLA'AREA

3.1 Inquadramento generale

Le aree di intervento si trovano nel Comune di Brescia a sud-ovest del centro abitato, nei pressi dello scalo merci e in prossimità della “zona industriale di Violino”.

Il territorio oggetto di studio è situato in una zona pianeggiante fortemente urbanizzata all'interno di un territorio pedemontano a ridosso della pianura, in cui il Fiume Mella rappresenta il principale corso d'acqua.

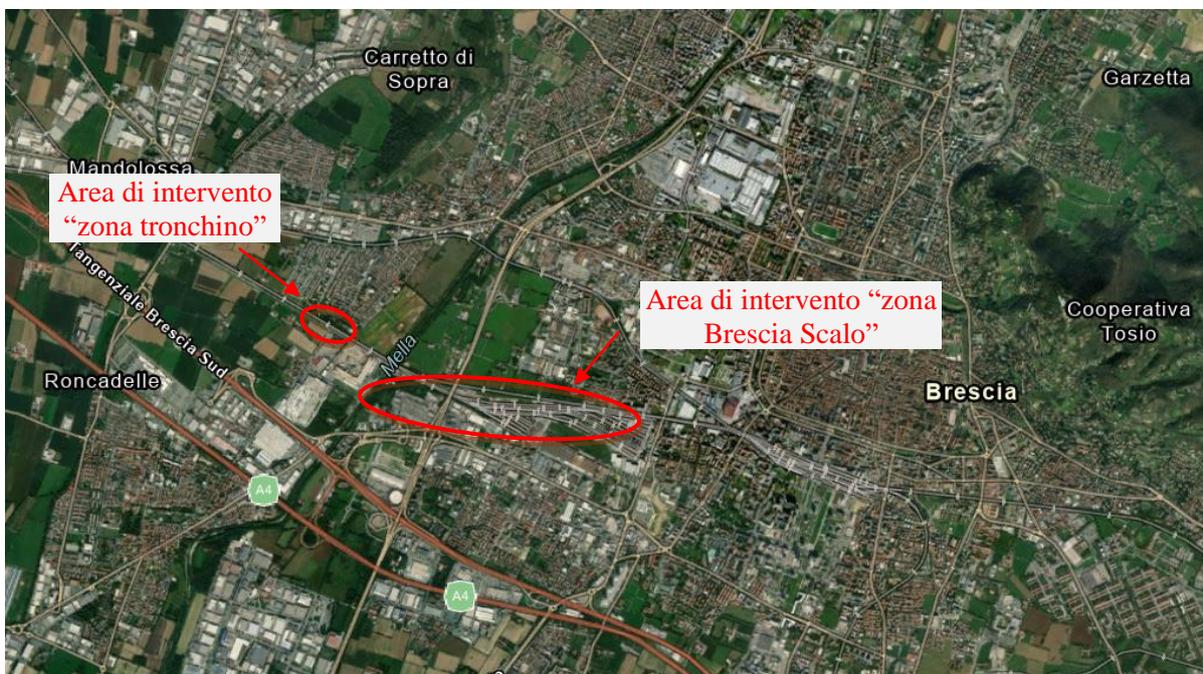


Figura 2 Inquadramento aree di intervento su ortofoto

Il tronchino si posiziona tra le pk 0+000.000 a pk 0+060.486 e tra il BP della LS e il Binario Mella. Le opere civili necessarie al suo posizionamento sono sostanzialmente relative alla sede ferroviaria, alla bonifica bellica e all'adeguamento dello smaltimento idraulico.

Per quanto riguarda le lavorazioni nell'ara Brescia Scalo, l'opera relativa al Potenziamento Infrastrutturale è suddivisa in due interventi principali che si sviluppano in aree con diverso uso attuale:

- Realizzazione dell'asta di manovra di 750 metri lato Milano, in aree non ferroviarie;
- Nuovo PRG dello scalo di Brescia in aree ferroviarie.

Di seguito si riportano le fotografie scattate nella “zona tronchino indipendenza” in occasione del sopralluogo del 10 Giugno 2021.

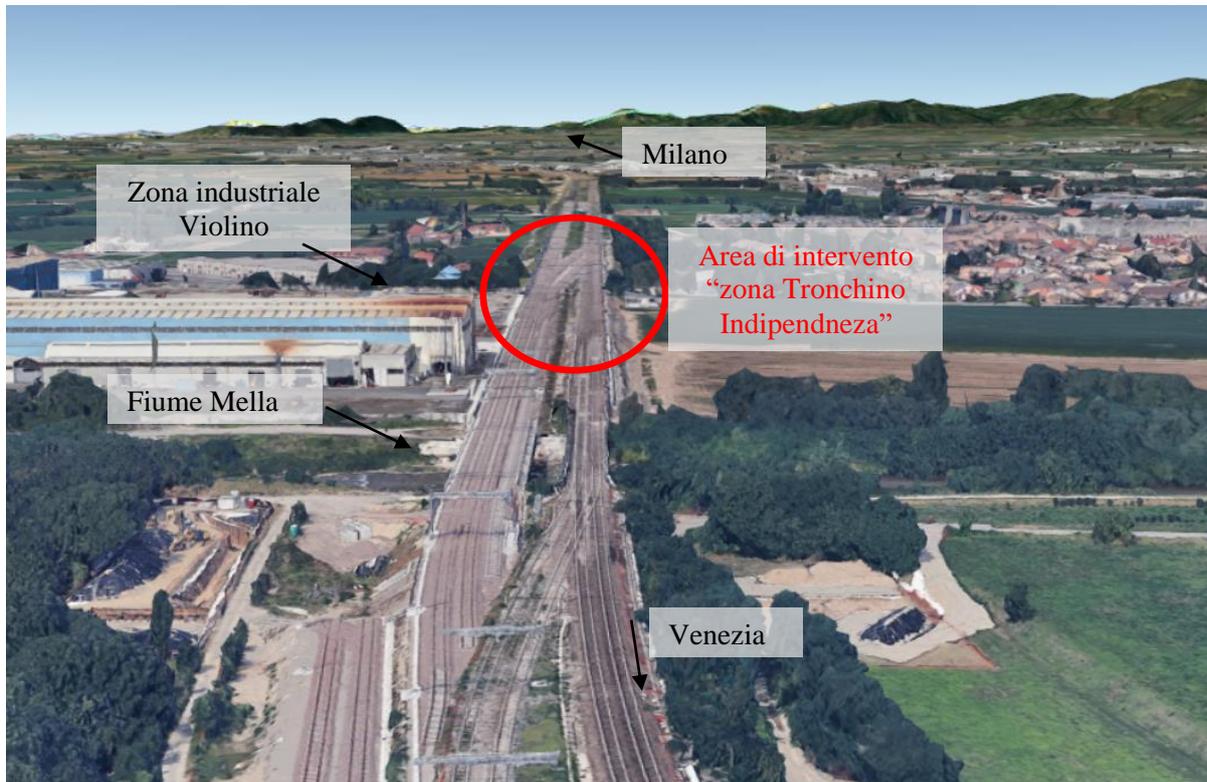


Figura 3 Inquadramento area di intervento su ortofoto – Area segnata in rosso

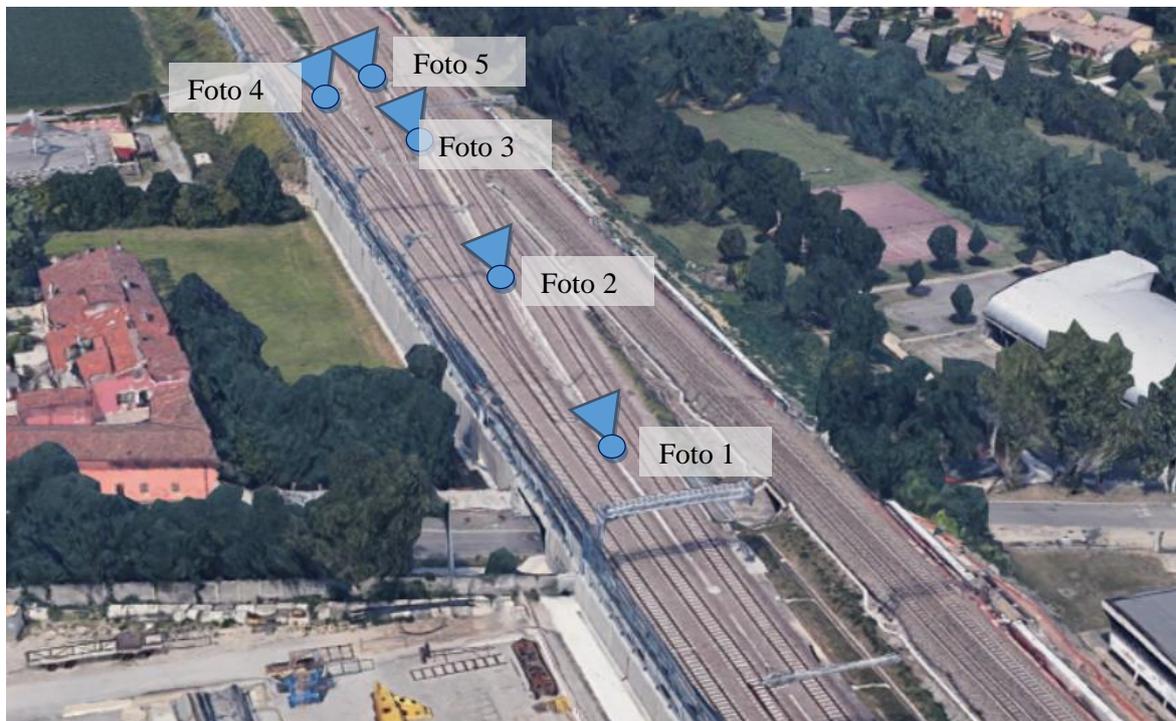


Figura 4 Coni visivi fotografie – Zona Tronchino



Figura 5 Fotografia 1 – Canalette di raccolta acque meteoriche



Figura 6 Fotografia 2 – Attraversamento canalette verso i fossi di guardia nel tratto esterno



Figura 7 Fotografia 3 – Canalette di raccolta acque meteoriche



Figura 8 Fotografia 4 –Embrici



Figura 9 Fotografia 5 –Canaletta di raccolta acque meteoriche

Di seguito si riportano le fotografie scattate nella zon Brescia Scalo, in occasione del sopralluogo del 10 Giugno 2021.

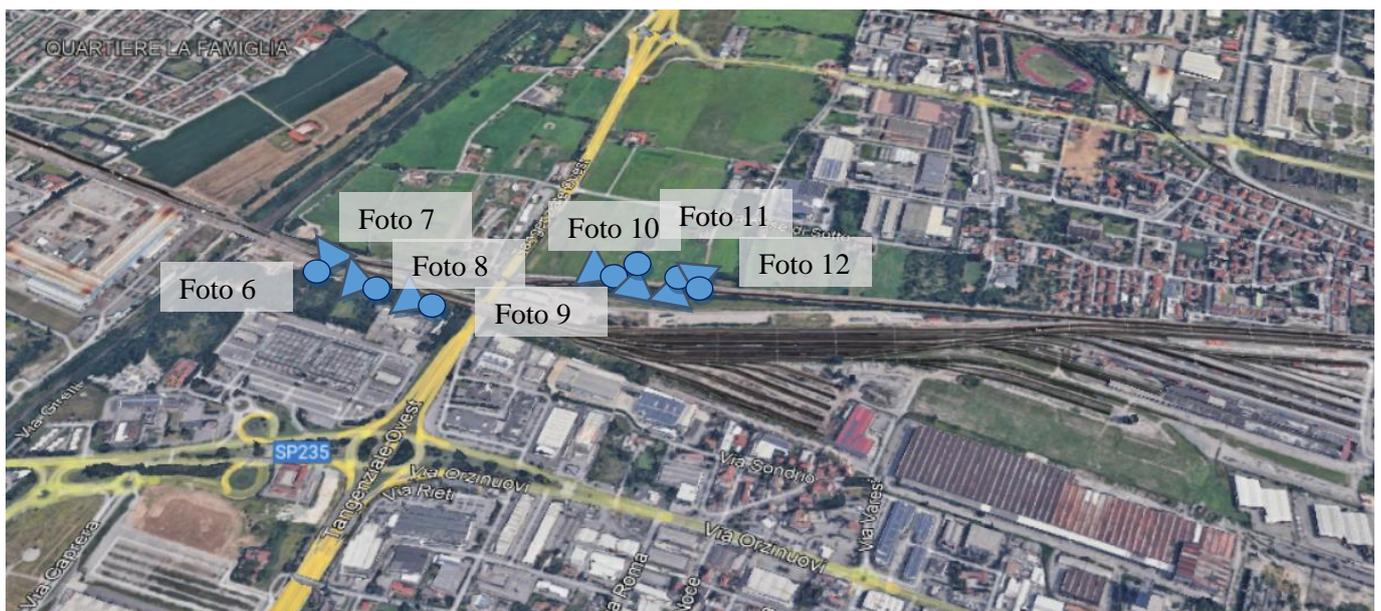


Figura 10 Coni visivi fotografie – Zona Brescia Scalo



Figura 11 Fotografia 6 – Sbocco attraversamento idraulico della sede ferroviaria (IN01)



Figura 12 Fotografia 7 – Canale in cls a valle di IN01



Figura 13 Fotografia 8 – Canale in cls a valle di IN01



Figura 14 Fotografia 9 – Canaletta di scolo in cls in prossimità del fabbricato



Figura 15 Fotografia 10 – Tubazione di scarico



Figura 16 Fotografia 11 – Scatolare 1.7x1.8m (IN03)

3.2 Inquadramento idrografico

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato successivamente ripartito in 8 distretti idrografici in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.

Il 17 febbraio 2017 è entrato in vigore il decreto del Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare (MATTM) n. 294 del 25 ottobre 2016 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 27 del 2 febbraio 2017) che disciplina le modalità e i criteri per il passaggio di competenze dalle vecchie Autorità di bacino alle nuove Autorità di bacino distrettuali (alle quali il d.lgs 49/2010 demandava la redazione delle suddette mappature e del relativo piano di gestione (i.e. Piano di Gestione del Rischio Alluvioni – P.G.R.A.). Infatti, dall'entrata in vigore del D.M. 294/2016, risultano soppresse tutte le Autorità di bacino di cui alla legge 183/1989 e i relativi organi.

Gli interventi in progetto ricadono nel Distretto Padano, in cui vige il Piano di Gestione rischio Alluvione del Distretto.

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	14 DI 53



Figura 17 Suddivisione territoriale in distretti

3.2.1 Fiume Mella

Le opere di progetto rientrano nel Bacino del Fiume Oglio, nello specifico nel sottobacino del Fiume Mella.

Il Fiume Mella si origina a ovest della Val Caffaro e confluisce dopo un percorso di 96 km nell'Oglio tra gli abitati di Seniga e Ostiano. In sinistra il Mella riceve vari affluenti: Naviglio di Canneto, Chiusello, Cavata, Tartaro, Moldinaro, Lojolo, Garza e relativo scolmatore. Gli affluenti in destra sono: Delmona, Canale Acque Alte, Riglio e Navarolo.

Il Corso presenta un orientamento prevalentemente da Nord verso Sud. Non è laminato da invasi naturali o artificiali ed è caratterizzato da un regime torrentizio.

Nel tratto prossimo all'area di intervento, l'alveo ha un andamento subrettilineo ed è caratterizzato da un elevato grado di artificializzazione che lo rende pressoché canalizzato e morfologicamente stabile¹. È interessato da vari attraversamenti quali principalmente la SS10, la linea ferroviaria Milano Venezia e l'autostrada A4.

Di seguito si riporta l'inquadramento del bacino Oglio e i suoi sottobacini.

¹ Fonte: Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico – AIPO -

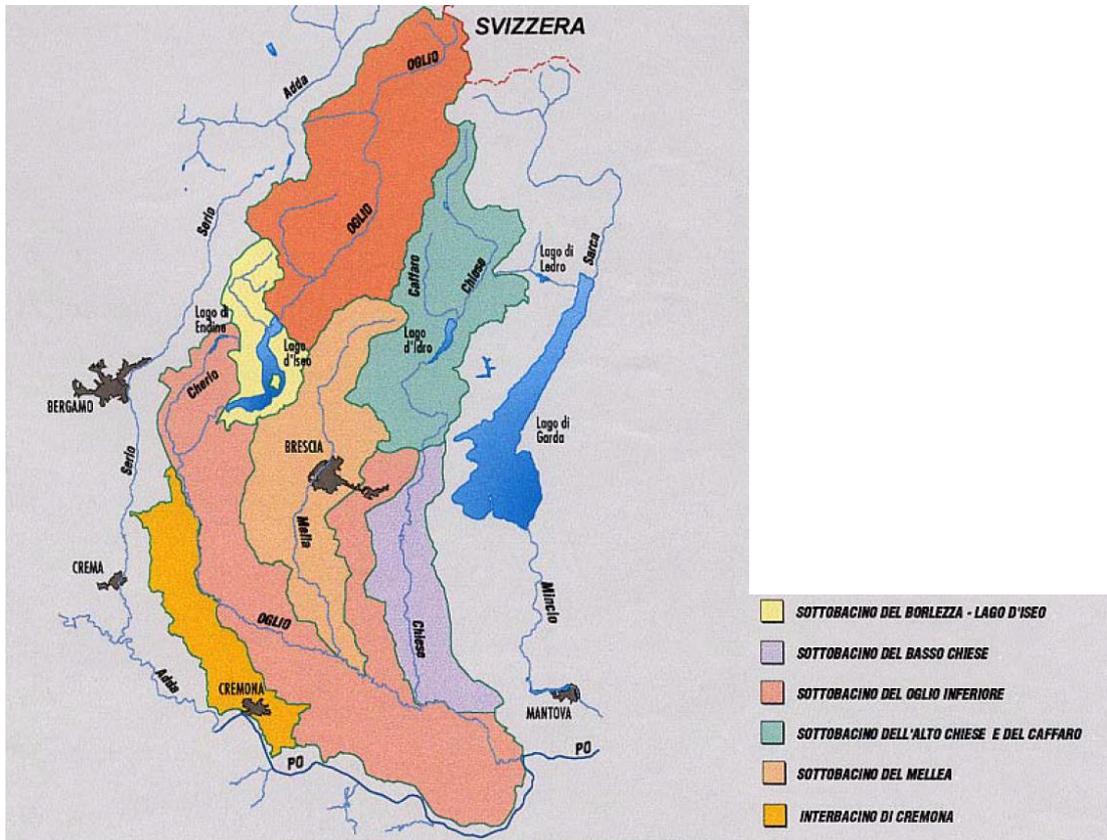


Figura 18 Inquadramento Bacino Oglio e sottobacino del Mella

Di seguito una fotografia del Fiume Mella in prossimità del sito.



Figura 19 Fiume Mella

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	16 DI 53

3.2.2 Reticolo idrografico minore

L'area di studio è situata in una zona pianeggiante fortemente urbanizzata all'interno di un territorio pedemontano a ridosso della pianura, in cui il Fiume Mella rappresenta il principale corso d'acqua.

L'area oggetto di intervento interessa l'area circoscritta nel Consorzio di Bonifica Oglio Mella, Comprensorio n° 6 della Regione Lombardia.

Gli interventi nella zona Brescia Scalo interferiscono con quattro aste di un sistema di rogge denominato Roggia Fiumicella, appartenente al reticolo comunale.

Per quanto riguarda invece la zona del Tronchino Indipendenza, il corso del reticolo idrico minore più prossimo è la Roggia Porcellaga, la quale scorre esternamente all'area di intervento.

Con la forte urbanizzazione dell'area le rogge hanno perso nel tempo l'originale funzione di canale irriguo, diventando di fatto un reticolo di canali destinato allo smaltimento delle acque meteoriche della zona. Il reticolo idrografico nell'area a monte della ferrovia è difatti costituito da un fitto reticolo di canali che più volte si biforcano e si ricongiungono attraversando la linea ferroviaria esistente in più punti.

Si riporta di seguito un estratto della Carta del reticolo idrico e delle relative fasce di rispetto del Comune di Brescia, dalla quale si evince la struttura del reticolo di drenaggio.

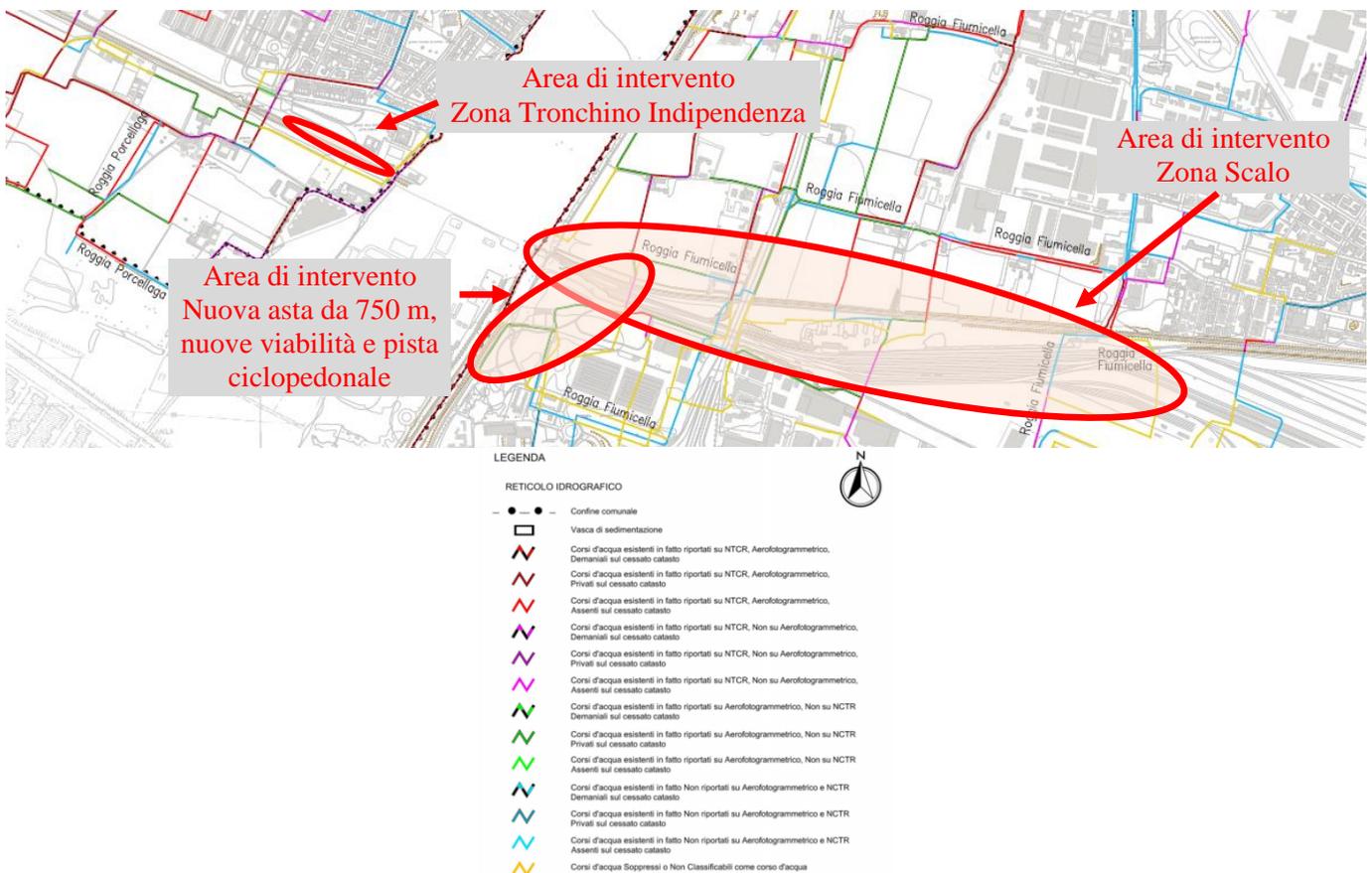


Figura 20 Estratto Carta del reticolo idrico del Comune di Brescia "Tav.2_Origine Centro_Rete_Idrografica" – Comune di Brescia

Per quanto riguarda le interferenze con la Roggia Fiumicella, il Comune di Brescia ha confermato, nel corso di un incontro tenutosi il 09/09/2020, che le rogge interferite hanno un funzionamento promiscuo di varia natura, poiché il loro funzionamento idraulico è il risultato dei seguenti fattori:

1. Oggetto di un progetto di sistemazione da parte del Ministero dell'Ambiente di "messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro";
2. Funzione di drenaggio delle aree urbane e sub urbane delimitate a nord dal derivatore del Fiume Grande (posto circa 5km a monte degli interventi in progetto), ad ovest dal Fiume Mella, ad est dal Fiume Grande e a sud dallo scalo ferroviario oggetto di intervento;
3. Funzione irrigua con immissione regolata delle portate (dal 15 aprile al 15 settembre);
4. Ricettore di scarichi industriali autorizzati dal comune;
5. Ricettore delle portate di troppo pieno della fogna comunale (A2A Brescia).

Nel tratto compreso tra il Fiume Mella e l'area a sud di Brescia Scalo, il progetto SIN di Brescia Caffaro ha previsto la messa in sicurezza del tratto della roggia evidenziato in rosso nell'immagine seguente.

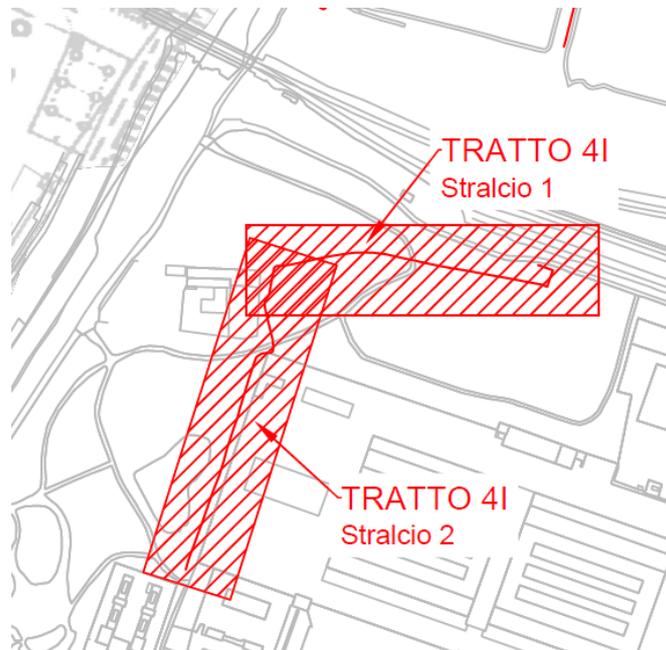


Figura 21 estratto tavola lom1603_pe_eg008h_2 "interventi di progettoplanimetria tratto 4I" – Progetto messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro

Nel tratto immediatamente a valle dell'attraversamento ferroviario, la roggia attraversa un sedime stradale in due punti, nel primo con uno scatolare di 1mx1m e nel secondo con una tubazione di D600mm. I due tratti si ricongiungono in una canaletta trapezoidale di altezza 0.8m, base minore 0.8m, base maggiore 2.4m e pendenza longitudinale di 0.4%. Di seguito si riportano gli stracci degli elaborati grafici del progetto citato.

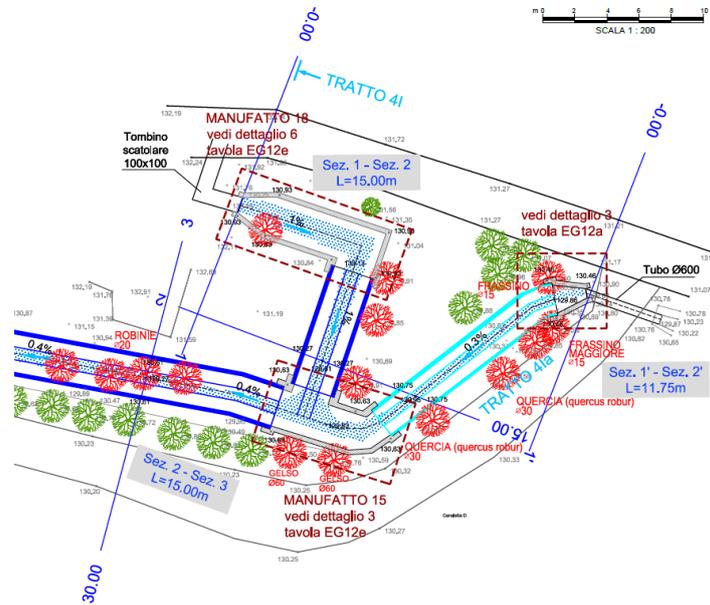


Figura 22 Estratto tavola LOM1603_PE_EG008h_2 "interventi di progetto planimetria tratto 4I" – Progetto messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro – Stralcio 1

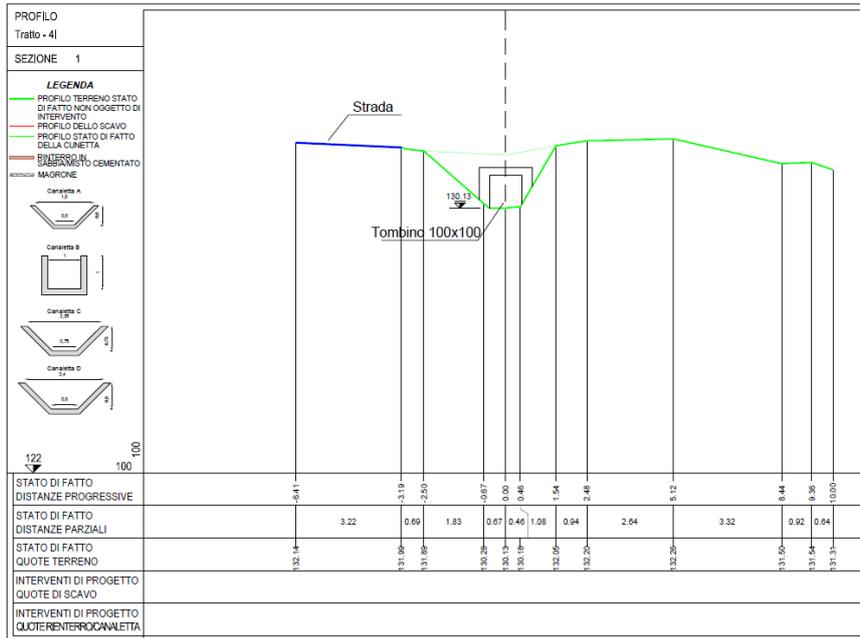


Figura 23 Estratto tavola LOM1603_PE_EG010d_2 "interventi di progetto - sezioni trasversali tratti 4A1, 4B, 4B1, 4B3, 4D, 4F, 4G, 4G1, 4I" – Progetto messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro – Stralcio 1 Sezione 1

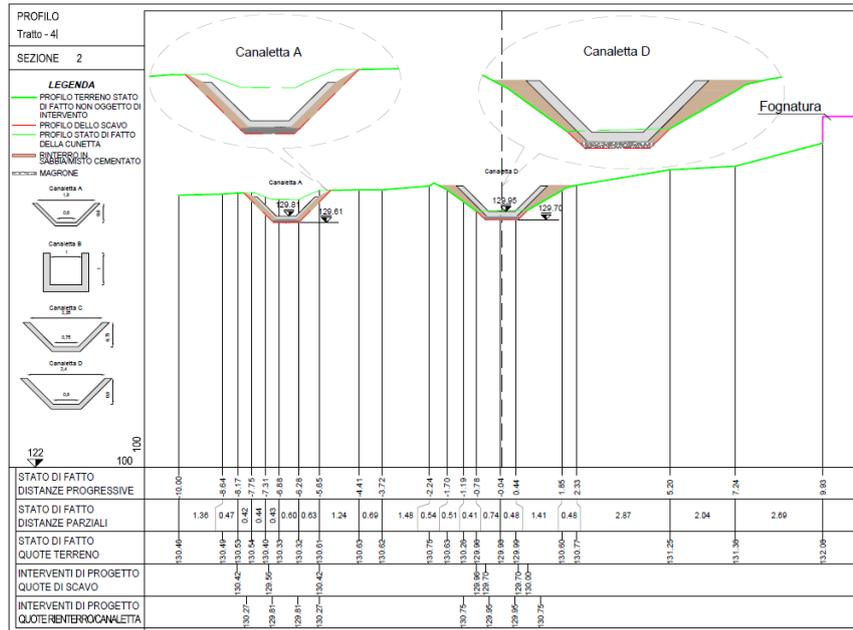


Figura 24 Estratto tavola LOM1603_PE_EG010d_2 "interventi di progetto - sezioni trasversali tratti 4A1, 4B, 4B1, 4B3, 4D, 4F, 4G,4G1, 4I" – Progetto messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro – Stralcio 1 Sezione 2

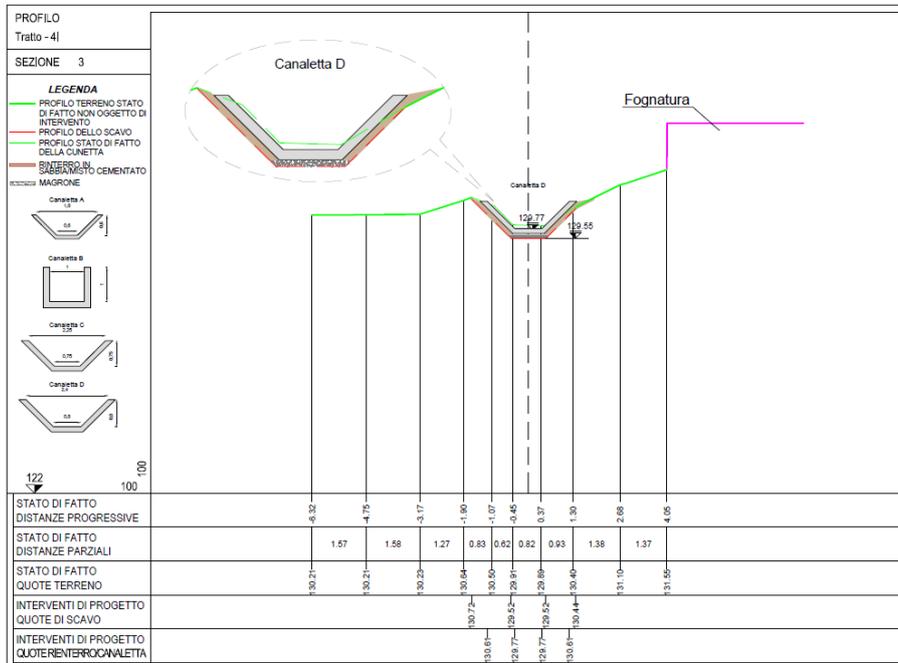
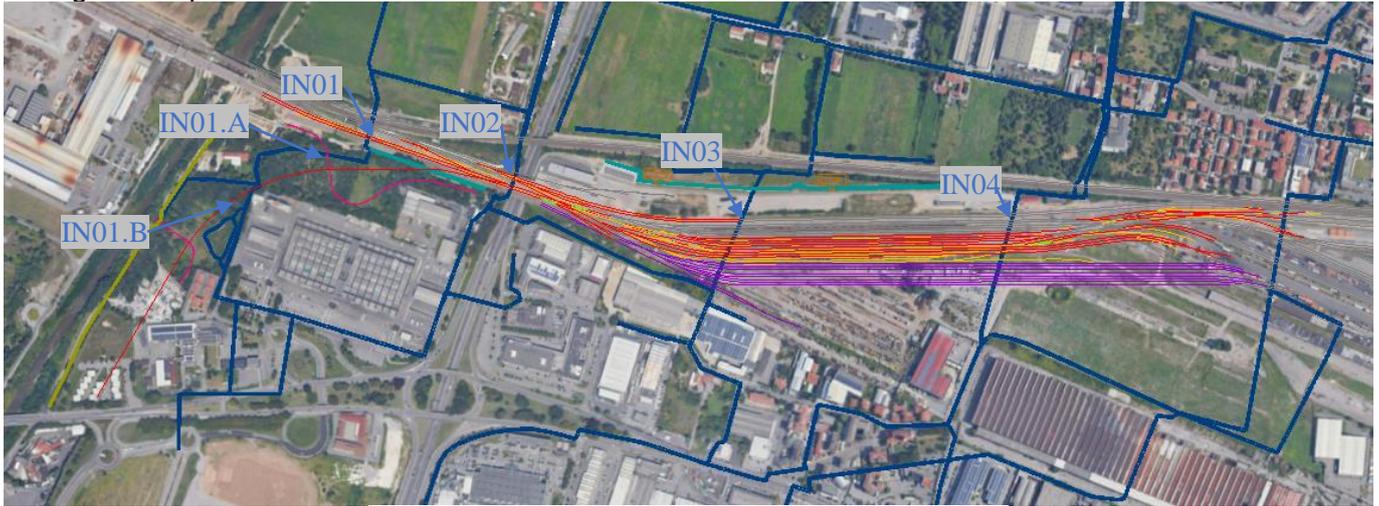


Figura 25 Estratto tavola LOM1603_PE_EG010d_2 "interventi di progetto - sezioni trasversali tratti 4A1, 4B, 4B1, 4B3, 4D, 4F, 4G,4G1, 4I" – Progetto messa in sicurezza d'emergenza delle rogge ricomprese nel SIN di Brescia Caffaro – Stralcio 1 Sezione 3

Le portate idrologiche di progetto sono state valutate con riferimento ad un tempo di ritorno pari a duecento anni a partire dai dati idrologici fornito dall'applicativo STRadar, sviluppato da ARPA Lombardia nell'ambito del progetto "Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero", come riportato nel seguito della relazione.

Di seguito si riporta l'ubicazione dei manufatti citati su ortofoto.



LEGENDA

- Armamento di costruzione
- Armamento di demolizione
- Nuovi fabbricati di progetto
- Nuova pista ciclopedonale
- Viabilità di progetto
- Area di intervento progetto "TerAlp"
- Corsi d'acqua del reticolo idrico fuori terra
- Corsi d'acqua del reticolo idrico interrati
- Fossi/canalette di drenaggio

Figura 26 Ubicazione manufatti su ortofoto

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO-VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	21 DI 53

4 ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici in particolare per la valutazione dei tiranti idrici.

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

In generale è preferibile utilizzare analisi già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle LSPP dell'area in esame. In caso contrario:

- Per bacini privi di strumentazione, potrebbe essere utilizzata una qualsiasi delle analisi di frequenza sulle portate di piena già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle portate di piena nel corso d'acqua in esame;
- In assenza di un'analisi regionale ufficiale o qualora la stessa non risulti applicabile a causa di consistenti regolazioni dei deflussi o altre caratteristiche peculiari del bacino in esame, dovrà essere selezionata la metodologia più appropriata per la stima dei dati di portata necessari. Allo scopo potranno essere impiegati i metodi sviluppati da vari Autori o enti o modelli afflussi-deflussi, quali quelli basati sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH).

Nel progetto in essere esistono differenti analisi validate e autorevoli:

- l'Autorità di bacino del Fiume Po definisce i Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni all'interno della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica";
- ARPA Lombardia ha sviluppato due nuovi servizi relativi alle precipitazioni: la consultazione delle mappe di stima della pioggia integrata con rilievi a terra e radar per il periodo 1997-2011 e l'"Atlante delle piogge intense" nell'ambito del progetto INTERREG IV/A STRADA;

Si riporta di seguito il confronto tra le differenti analisi esistenti.

4.1 Analisi statistica delle piogge - PAI

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), all'art.10 delle Norme di attuazione, dispone:

"L'Autorità di bacino definisce, con propria direttiva:

- i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto e relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino;

- i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d'acqua;

[...]"

La "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", in attuazione dell'art. 10 delle Norme di attuazione del PAI dell'Autorità di bacino del Fiume Po, fornisce i valori delle precipitazioni intense nelle diverse aree del bacino e quelli delle portate di piena sui corsi d'acqua principali, interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali (nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF e del PAI) e, per gli stessi corsi d'acqua, il profilo della piena di progetto.

Ai fini di quanto richiesto dall'art. 10 delle Norme di attuazione del PAI, la direttiva è costituita dai seguenti punti:

- delimitazione dei sottobacini idrografici nella porzione collinare e montana del bacino del Po e degli ambiti idrografici di pianura;
- stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali nelle stazioni di misura delle precipitazioni;
- analisi della distribuzione spaziale delle precipitazioni intense;
- indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni;
- stima delle portate di piena in sezioni significative dei corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali;
- definizione del profilo di piena di progetto per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali.

La "Direttiva" riporta inoltre:

I valori indicati costituiscono riferimento per le esigenze connesse a studi e progettazioni che, per dimensioni e importanza, non possano svolgere direttamente valutazioni idrologiche più approfondite a scala locale. Nelle parti del bacino ove sono disponibili, possono essere utilizzati, in alternativa, i risultati derivanti da studi di regionalizzazione, che siano stati predisposti a cura della Regione interessata.

La legge di dipendenza della media dei massimi di precipitazione con la durata può esprimersi, nel caso più semplice, come:

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

in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata dall'Autorità di Bacino sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate considerate, definendo i parametri a ed n per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni. Nel procedere al calcolo dei parametri a ed n, sono state utilizzate le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive. L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono da ricercare le durate critiche per la maggior parte dei corsi d'acqua per i quali la stima della portata di piena può essere effettuata tramite l'utilizzo delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica.

Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette è stata inoltre condotta dall'Autorità di bacino, all'interno della "Direttiva", un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri "a" e "n" delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 km di lato.

I risultati sono rappresentati nell'Allegato 3; gli elaborati consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, identificando la localizzazione sulla corografia.

Nella figura seguente si evidenziano le celle della griglia di dati in cui ricadono gli interventi in oggetto.



FID	16613	FID	16750
DESCRIPTIO	EP79	DESCRIPTIO	EQ79
COL_NAME	EP	COL_NAME	EQ
ROW_NAME	79	ROW_NAME	79
ID	18346	ID	18347
ESTUTM	591000	ESTUTM	593000
NORDUTM	5043000	NORDUTM	5043000

Figura 27 Individuazione celle di riferimento PAI (in rosso)

Dall'allegato sopracitato si estrapolano i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni in funzione delle celle di interesse.

In particolare, per le celle intersecate dal tracciato ferroviario di progetto, si riportano di seguito i valori di "a" ed "n" di riferimento:

Cod. cella PAI	T=20 anni		T=100 anni		T=200 anni		T=500 anni	
	a	n	a	n	a	n	a	n
EP79	39.027	0.262	44.191	0.262	50.803	0.257	55.805	0.258
EQ79	38.711	0.267	43.828	0.267	50.377	0.261	55.331	0.262

Tabella 2 Estrapolazione Allegato 3_Parametri del PAI

Di seguito le Linee Segnaletiche di Possibilità Pluviometrica per le celle di riferimento.

Durata (ore)	h (tr20anni) [mm]	h (tr50anni) [mm]	h (tr100anni) [mm]	h (tr200anni) [mm]
1	44.19	50.80	55.80	60.79
2	53.01	60.71	66.73	72.64
3	58.96	67.38	74.08	80.61
4	63.58	72.55	79.78	86.79
5	67.42	76.83	84.51	91.91
6	70.72	80.52	88.58	96.32
7	73.64	83.77	92.17	100.21
8	76.26	86.69	95.40	103.71
9	78.66	89.36	98.34	106.89
10	80.86	91.81	101.05	109.82
11	82.91	94.09	103.56	112.55
12	84.83	96.22	105.91	115.09
13	86.63	98.22	108.12	117.48
14	88.33	100.11	110.21	119.74
15	89.94	101.90	112.19	121.88
16	91.48	103.60	114.07	123.92
17	92.95	105.23	115.87	125.86
18	94.35	106.78	117.59	127.72
19	95.70	108.28	119.24	129.51
20	97.00	109.72	120.82	131.22
21	98.25	111.10	122.35	132.88
22	99.45	112.44	123.83	134.48
23	100.62	113.73	125.26	136.02
24	101.75	114.98	126.64	137.52

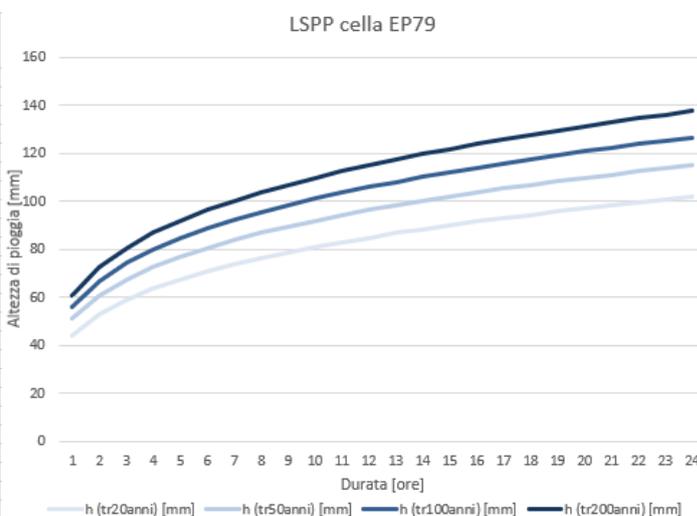


Tabella 3 Estrapolazione Allegato 3_Parametri del PAI – Cella EP79 – LSPP durate superiori all'ora

Durata (ore)	h (tr20anni) [mm]	h (tr50anni) [mm]	h (tr100anni) [mm]	h (tr200anni) [mm]
1	43.83	50.38	55.33	60.27
2	52.72	60.39	66.35	72.23
3	58.74	67.14	73.79	80.30
4	63.42	72.38	79.57	86.56
5	67.31	76.73	84.36	91.75
6	70.66	80.48	88.49	96.23
7	73.63	83.78	92.14	100.18
8	76.30	86.76	95.42	103.73
9	78.73	89.47	98.41	106.97
10	80.97	91.97	101.17	109.95
11	83.06	94.29	103.73	112.72
12	85.00	96.46	106.12	115.31
13	86.84	98.50	108.37	117.75
14	88.57	100.43	110.49	120.05
15	90.21	102.26	112.51	122.23
16	91.78	104.00	114.43	124.31
17	93.28	105.66	116.26	126.29
18	94.71	107.25	118.02	128.19
19	96.08	108.78	119.70	130.01
20	97.41	110.25	121.32	131.77
21	98.68	111.66	122.88	133.46
22	99.91	113.03	124.39	135.09
23	101.10	114.35	125.85	136.66
24	102.26	115.63	127.26	138.19

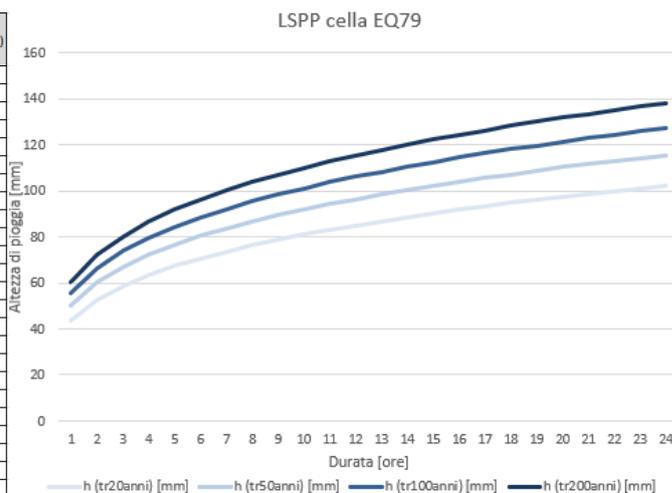


Tabella 4 Estrapolazione Allegato 3_Parametri del PAI – Cella EQ79 – LSPP durate superiori all'ora

4.2 Analisi statistica delle piogge – ARPA Lombardia

ARPA Lombardia nell'ambito del progetto INTERREG IV/A STRADA (Strategie di Adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero) nato da una collaborazione transfrontaliera tra Italia e Svizzera, in collaborazione con il Centro Nivo-Meteo di Bormio e del Servizio Idrografico, ha partecipato alla definizione delle "precipitazioni estreme".

Relativamente alle precipitazioni ARPA ha sviluppato due nuovi servizi: la consultazione delle mappe di stima della pioggia integrata con rilievi a terra e radar per il periodo 1997-2011 e l'"Atlante delle piogge intense", di fondamentale utilità per le analisi idrologiche e il monitoraggio degli eventi meteorologici estremi.

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	25 DI 53

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei manufatti idraulici.

Per definire le altezze di precipitazione corrispondenti a tali eventi pluviometrici vengono utilizzate le curve di possibilità pluviometrica (CPP), elaborate a partire dalle registrazioni di altezza di pioggia effettuate nelle stazioni pluviometriche.

Indicando con h l'altezza di precipitazione in mm, la tecnica idrologica abituale fornisce, per le curve di possibilità pluviometrica, la seguente relazione:

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

dove: t = durata della pioggia [h]; a, n = parametri delle CPP.

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, note anche come curve di possibilità pluviometrica o climatica, sono uno strumento applicativo consolidato in idrologia, sulle quali esiste ampia letteratura e che trovano applicazione nella progettazione degli interventi di difesa dalle piene fluviali, nella zonazione del rischio idraulico-idrogeologico in funzione del luogo e del tempo di ritorno dell'evento di precipitazione, nonché nella valutazione a posteriori dell'intensità di un evento occorso.

Il contesto in cui ARPA Lombardia ha svolto le attività progettuali di aggiornamento della descrizione statistica delle precipitazioni intense è quello della presenza di una base di dati strumentali già consolidata, costituita dalle osservazioni delle piogge massime annue di fissata durata di 1, 2, 3, 6, 12 e 24 ore per 105 stazioni meccaniche del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, già utilizzate per lo sviluppo di un'attività di caratterizzazione statistica del territorio regionale mediante un modello scala-invariante secondo la distribuzione probabilistica GEV (Generalized Extreme Value), che ha prodotto la parametrizzazione delle LSPP su 69 punti strumentati e da questi su tutto il territorio regionale tramite tecniche di estrapolazione geostatistica; questo servizio è attualmente operativo e accessibile su piattaforma web-gis sul sito web istituzionale di ARPA (<http://idro.arpalombardia.it>).

Le tipologie di dati che con il progetto STRADA sono stati integrati hanno una struttura differente ma complementare, si riassumono di seguito le rispettive caratteristiche principali:

- osservazioni storiche: ampia copertura temporale (1929-2001); ridotta copertura territoriale (69 siti del dataset esistente + 31 siti aggiunti); distribuzione spaziale non uniforme, più concentrata in aree montane; dati raccolti su supporto cartaceo e trasposti in formato digitale;
- osservazioni recenti: ridotta copertura temporale (1987-2011); ampia copertura territoriale (251 siti); dati raccolti direttamente in formato digitale da stazioni automatiche, senza necessità di interventi manuali per la loro trasposizione in formato informatico.

La parametrizzazione delle linee segnalatrici sviluppata per Arpa Lombardia da De Michele et al. è stata migliorata, mantenendo valide alcune scelte metodologiche già consolidate nel prodotto operativo esistente, in particolare si sono conservati:

- il principio di invarianza di scala, illustrato in Burlando e Rosso, 1996;

- la distribuzione di probabilità del valore estremo a tre parametri, la Generalized Extreme Value (GEV), come tra l'altro suggerito anche da Braca et al.,2013, in buon accordo con i dati campionari utilizzati per il territorio in esame, valutata analiticamente più adatta della distribuzione di Gumbel per la descrizione statistica dei punti più vicini ai confini regionali, in particolare quelli ad orografia complessa;
- la stima dei parametri della distribuzione mediante la tecnica operativa degli L-moments. Da un'analisi di sensitività sulle diverse tecniche di stima non si sono comunque rilevate differenze significative in termini operativi sul risultato finale per l'area in esame.

Il nuovo atlante delle piogge intense è stato calcolato puntualmente su una maglia di 1kmx1km in forma esplicita per durate da 1 a 24 ore e per tempi di ritorno dai 10 ai 200 anni. Si rendono disponibili all'utente esperto anche i valori dei parametri e dei quantili della distribuzione GEV per ogni punto-griglia, che permettono da una parte la determinazione della massima altezza di pioggia temibile per un qualsivoglia tempo di ritorno e dall'altra la valutazione del tempo di ritorno di un evento estremo occorso.

4.2.1 Il modello probabilistico di GEV (o distribuzione generalizzata del valore estremo)

L'espressione della probabilità cumulata GEV è:

$$F(x) = \exp\{-[1 - k(K - \varepsilon)/\alpha]^{1/k}\}$$

dove:

- ε è un parametro di posizione;
- α è un parametro di scala;
- k è un parametro di forma.

Il modello GEV riassume le tre leggi asintotiche del massimo valore del 1° tipo (EV1, Gumbel), del 2° (EV2) e del 3° (EV3) tipo. In particolare, per $k=0$ si ricade nell'espressione di Gumbel che quindi rappresenta un caso particolare del modello GEV.

Stimati i parametri di forma k , di scala (α) e di posizione (ε) della GEV per la stazione in esame la relazione:

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K_t)}$$

che individua la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente può essere esplicitata nella seguente forma:

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K_t)} = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K_T - \varepsilon)\right]^{1/k}\right\}}$$

Valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive. Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della relazione precedente, per cui, fissato un valore del tempo di ritorno T_r in anni, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita K_T :

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} (1 - \exp(-ky_T))$$

dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel pari a:

$$y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right)$$

Le leggi di probabilità pluviometrica sono state determinate sulla base dei dati disponibili sul sito web del servizio idrografico dell'ARPA Lombardia) il quale fornisce i seguenti parametri:

- a_1 : coefficiente di scala della linea segnalatrice, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento;
- n : esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali;
- parametri di forma, k , di scala, α e di posizione, ε , della distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV) per il calcolo del fattore di crescita in funzione del tempo di ritorno (w_T).

Per una precipitazione di durata D maggiore o uguale all'ora, l'altezza di pioggia è data dalla seguente relazione:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

in cui w_T è il fattore di crescita in funzione del tempo di ritorno calcolato con la seguente espressione:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \right]^k \right\}$$

Noti i parametri di forma, k , di scala, α e di posizione, ε , ed i parametri a_1 ed n è dunque possibile determinare le curve di pioggia e quindi valori per a ed n delle leggi di probabilità pluviometrica per precipitazioni di durata superiore all'ora.

Di seguito le curve di possibilità pluviometrica determinate con la procedura sopra esposta ed i relativi parametri a ed n , ottenuti per interpolazione²:

	Cella 1	Cella 2
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	28.2	28.15
N - Coefficiente di scala	0.2759	0.2778
GEV - parametro alpha	0.2829	0.282
GEV - parametro kappa	-0.0191	-0.0245
GEV - parametro epsilon	0.8311	0.8301

Tabella 5 Valori Gumbel Celle di riferimento area di intervento

L'immagine seguente mostra l'ubicazione delle aree oggetto di studio e delle celle di calcolo considerate.

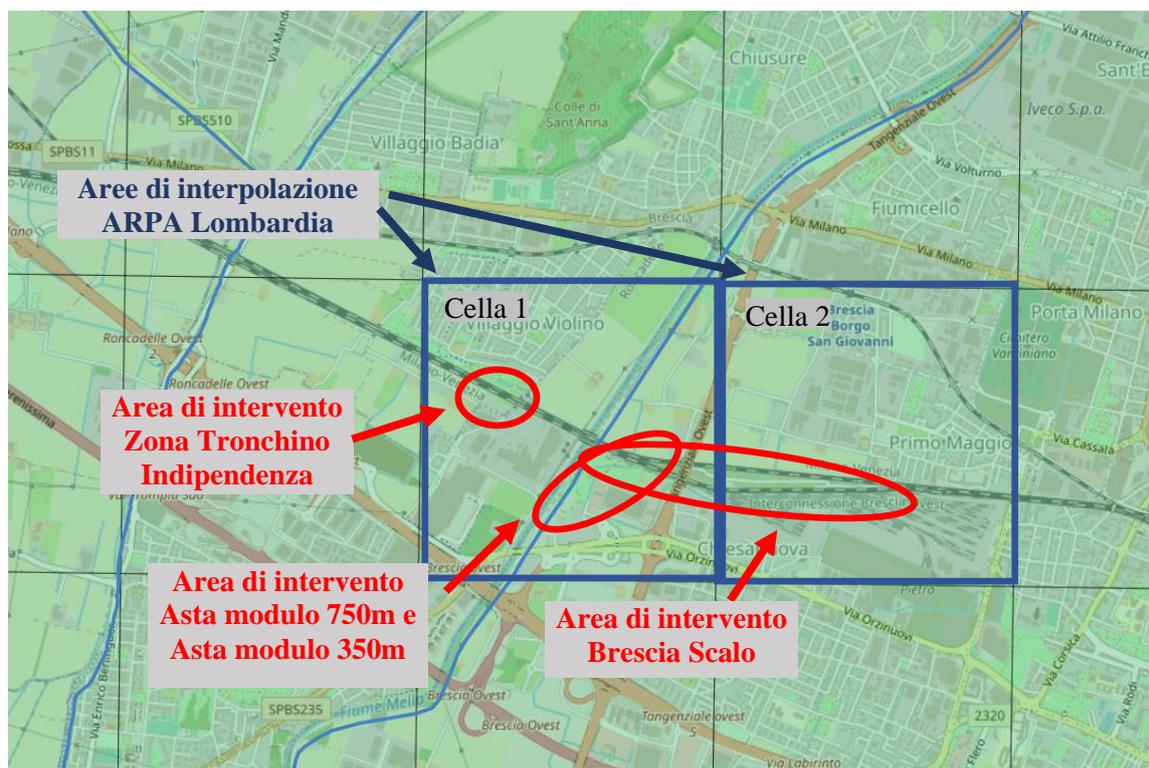
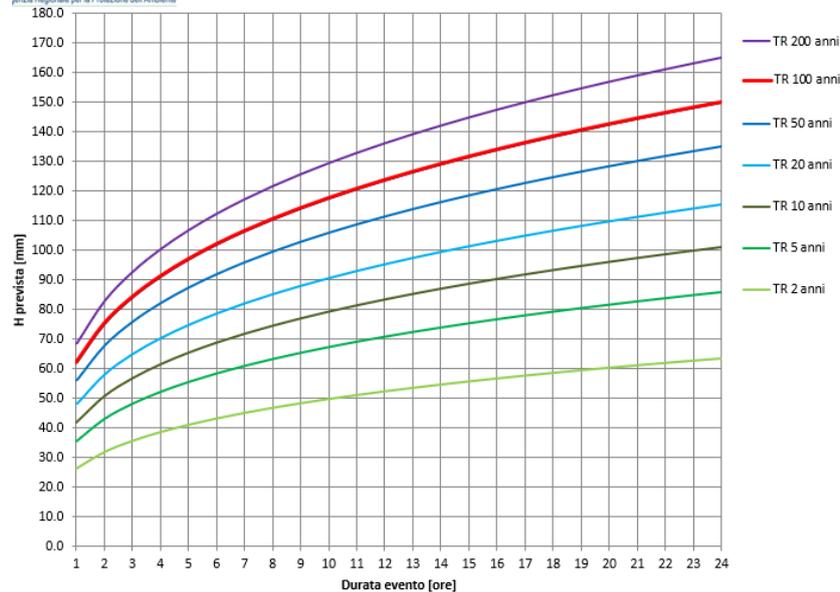


Figura 28 Individuazione parametri su celle di riferimento ARPA – Progetto Strada

La tabella seguente le altezze di pioggia in millimetri in funzione delle varie durate per i diversi tempi di ritorno.

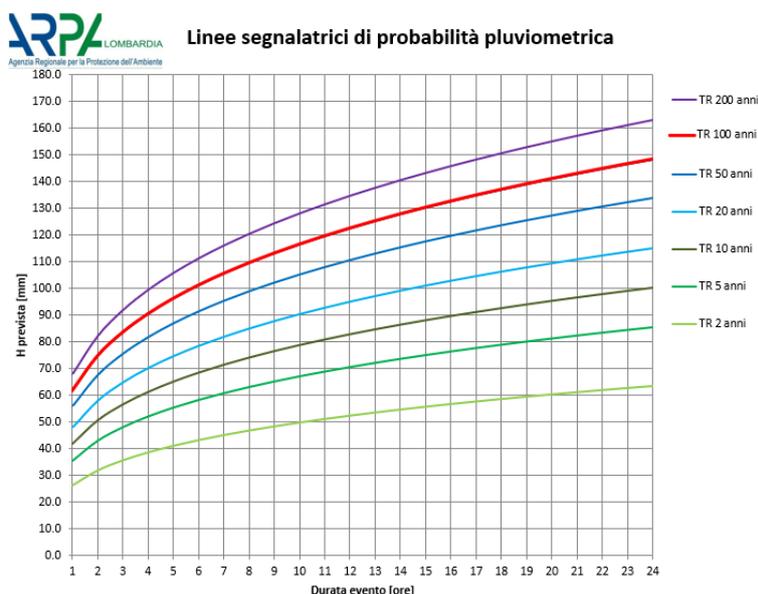
² Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica



wT	0.9339221	1.2609512	1.4825237	1.6989238	1.9847587	2.2032695	2.4247323
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	26.29	35.50	41.73	47.82	55.87	62.02	68.26
2	31.87	43.03	50.59	57.98	67.73	75.19	82.75
3	35.67	48.16	56.63	64.89	75.81	84.16	92.62
4	38.64	52.17	61.34	70.29	82.12	91.16	100.32
5	41.11	55.51	65.26	74.79	87.37	96.99	106.74
6	43.25	58.39	68.65	78.67	91.91	102.03	112.28
7	45.14	60.95	71.66	82.11	95.93	106.49	117.20
8	46.85	63.25	74.36	85.22	99.56	110.52	121.62
9	48.40	65.35	76.84	88.05	102.87	114.19	125.67
10	49.84	67.29	79.12	90.67	105.92	117.58	129.40
11	51.18	69.10	81.24	93.10	108.76	120.74	132.87
12	52.43	70.79	83.23	95.38	111.43	123.69	136.13
13	53.61	72.38	85.10	97.52	113.93	126.47	139.19
14	54.72	73.89	86.87	99.55	116.30	129.10	142.08
15	55.78	75.32	88.55	101.48	118.55	131.60	144.83
16	56.79	76.68	90.15	103.31	120.70	133.98	147.45
17	57.76	77.98	91.69	105.07	122.75	136.26	149.95
18	58.68	79.23	93.15	106.75	124.71	138.44	152.36
19	59.57	80.43	94.56	108.37	126.60	140.53	154.66
20	60.42	81.58	95.92	109.92	128.41	142.55	156.88
21	61.25	82.70	97.23	111.42	130.17	144.50	159.02
22	62.05	83.77	98.49	112.87	131.86	146.38	161.09
23	62.82	84.81	99.72	114.27	133.50	148.20	163.09
24	63.56	85.82	100.90	115.63	135.09	149.96	165.03

Figura 29 Curva di Possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora Fonte ARPA Lombardia- Progetto Strada – Cella 1



wT	0.9351503	1.2615698	1.4816089	1.6956599	1.9771333	2.1913656	2.4076767
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	26.37	35.58	41.78	47.82	55.76	61.80	67.90
2	31.93	43.07	50.59	57.90	67.51	74.82	82.21
3	35.71	48.17	56.57	64.75	75.50	83.68	91.94
4	38.66	52.15	61.25	70.10	81.73	90.59	99.53
5	41.11	55.46	65.14	74.55	86.92	96.34	105.85
6	43.23	58.32	68.50	78.39	91.41	101.31	111.31
7	45.11	60.86	71.47	81.80	95.38	105.71	116.15
8	46.81	63.14	74.16	84.87	98.96	109.68	120.51
9	48.35	65.23	76.61	87.67	102.23	113.30	124.49
10	49.78	67.15	78.86	90.26	105.24	116.64	128.16
11	51.10	68.94	80.97	92.66	108.05	119.75	131.57
12	52.35	70.62	82.93	94.91	110.67	122.66	134.77
13	53.51	72.19	84.79	97.03	113.14	125.40	137.78
14	54.62	73.68	86.54	99.04	115.48	127.99	140.63
15	55.67	75.10	88.20	100.94	117.70	130.45	143.33
16	56.67	76.45	89.78	102.76	119.81	132.79	145.90
17	57.63	77.74	91.30	104.49	121.83	135.03	148.36
18	58.54	78.98	92.75	106.15	123.77	137.18	150.72
19	59.42	80.16	94.14	107.74	125.63	139.24	152.99
20	60.27	81.30	95.49	109.28	127.42	141.23	155.17
21	61.08	82.41	96.78	110.76	129.15	143.14	157.27
22	61.87	83.47	98.03	112.19	130.82	144.99	159.30
23	62.64	84.50	99.24	113.58	132.43	146.78	161.27
24	63.38	85.50	100.41	114.92	133.99	148.51	163.17

Figura 30 Curva di Possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora Fonte ARPA Lombardia- Progetto Strada – Cella 2

4.3 Confronto LSPP PAI ADBPO e ARPA Lombardia

Nel presente paragrafo si confrontano le curve di possibilità pluviometriche ottenute con i parametri delle celle EP79 e EQ79 del PAI con quelle delle celle 1 e 2 dell'ARPA.

Di seguito si riportano i valori delle altezze di pioggia (mm) per le celle di riferimento al variare della durata per eventi con tempo di ritorno di 100 anni.

	PAI ADBPo		ARPA Lombardia	
	Cella EP79	Cella EQ79	Cella 1	Cella 2
a	55.805	55.331	62.022	61.797
n	0,2579	0,2621	0,2778	0,2759
Durata (ore)	hEP79 (mm)	hEQ79 (mm)	hcella 1 (mm)	hcella 2 (mm)
1	55.80	55.33	62.02	61.80
2	66.73	66.35	75.19	74.82
3	74.08	73.79	84.16	83.68
4	79.78	79.57	91.16	90.59
5	84.51	84.36	96.99	96.34
6	88.58	88.49	102.03	101.31
7	92.17	92.14	106.49	105.71
8	95.40	95.42	110.52	109.68
9	98.34	98.41	114.19	113.30
10	101.05	101.17	117.58	116.64
11	103.56	103.73	120.74	119.75
12	105.91	106.12	123.69	122.66
13	108.12	108.37	126.47	125.40
14	110.21	110.49	129.10	127.99
15	112.19	112.51	131.60	130.45
16	114.07	114.43	133.98	132.79
17	115.87	116.26	136.26	135.03
18	117.59	118.02	138.44	137.18
19	119.24	119.70	140.53	139.24
20	120.82	121.32	142.55	141.23
21	122.35	122.88	144.50	143.14
22	123.83	124.39	146.38	144.99
23	125.26	125.85	148.20	146.78
24	126.64	127.26	149.96	148.51

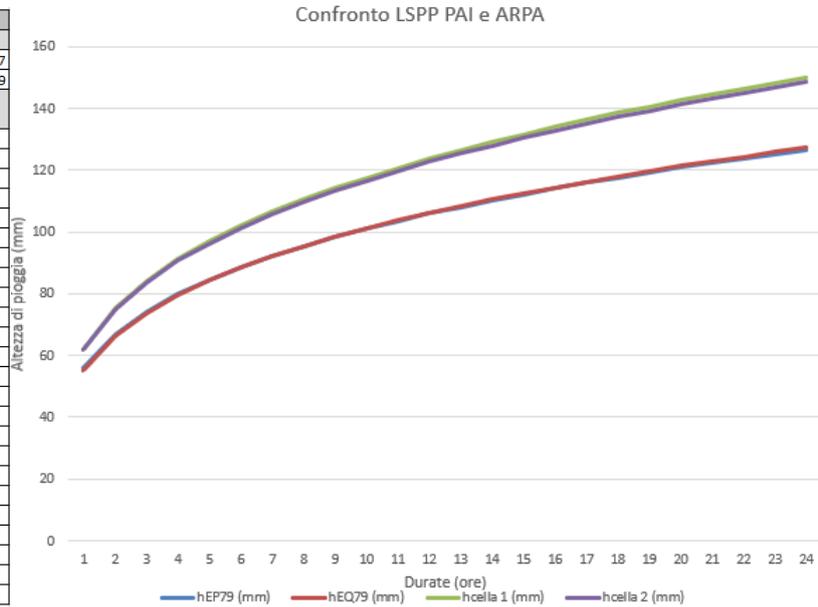


Figura 31 Confronto Curva di Possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora Cella 1 ARPA e cella EP79 PAI – Tr100anni

Dal confronto emerge che la LSPP ottenuta con i dati ARPA della cella 1 porta alla stima delle altezze di pioggia con valori più elevati rispetto a quelle del PAI.

Nell'ambito della progettazione delle opere idrauliche è stata quindi considerata la LSPP ottenuta dai parametri idrologici della cella 1 dell'ARPA Lombardia.

4.4 Relazione intensità – durata delle precipitazioni – piogge brevi

In bacini imbriferi di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa.

Nel caso oggetto della presente relazione il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora è stata utilizzata la formula di Bell.

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti $r\delta$ tra le altezze di durata t molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

Tabella 6 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

Questi rapporti variano di molto poco negli Stati Uniti ed i loro valori sono indipendenti dal periodo di ritorno.

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla Fig. 8, ha riscontrato la costanza dei rapporti tr tempi di pioggia breve e tempo di pioggia della durata pari ad un'ora, anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico.

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta da

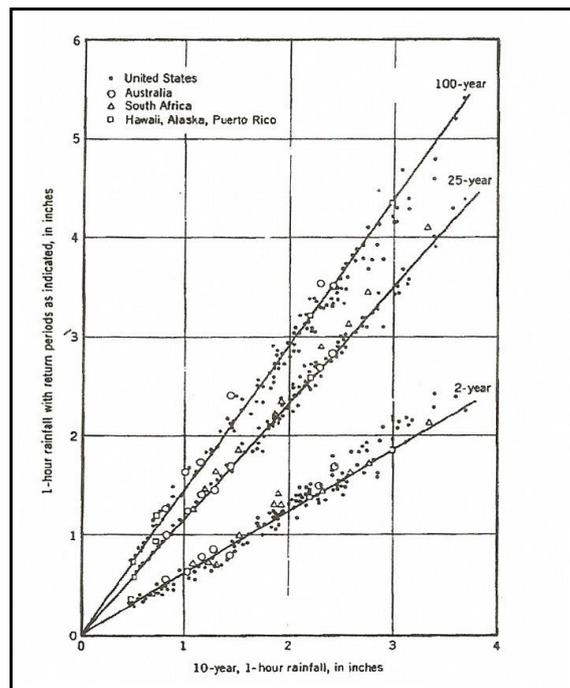


Figura 32 Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, 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 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 vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro a e il coefficiente angolare rappresenta il parametro n .

Le curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni e durata inferiore ad un ora, riferite al progetto in essere, sono riportate di seguito, con tempo t espresso in minuti.

Di seguito si riepilogano i parametri delle curva di possibilità pluviometrica di progetto per durate dell'evento meteorico inferiori all'ora:

Tabella 7 Curve di possibilità pluviometrica di progetto LSPP inferiori all'ora

CELLA 1 (Fonte ARPA)				
t ≤ 1 ora				
Tr (anni)	25	50	100	200
a_1	28.15			
n	0.464			
w_T	1.7684	1.9848	2.2033	2.4247

Durate (min)	h 25anni (mm)	h 50anni (mm)	h 100anni (mm)	h 200anni (mm)
5	15.71	17.64	19.58	21.55
10	21.68	24.33	27.01	29.72
15	26.16	29.37	32.60	35.87
20	29.90	33.56	37.25	41.00
25	33.16	37.22	41.32	45.47
30	36.09	40.50	44.96	49.48
35	38.76	43.51	48.30	53.15
40	41.24	46.29	51.39	56.55
45	43.56	48.89	54.27	59.73
50	45.74	51.34	56.99	62.72
55	47.81	53.66	59.57	65.56
60	49.78	55.87	62.02	68.26

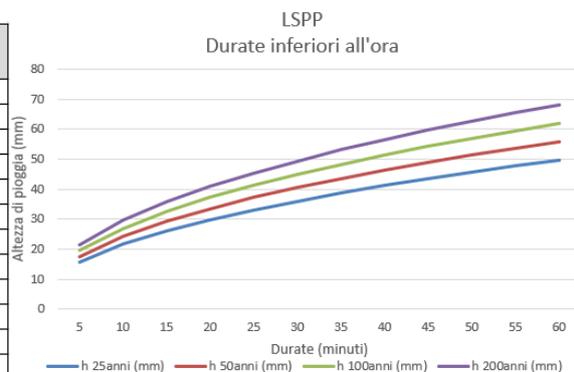


Figura 33 Curve di possibilità pluviometrica di durata inferiore ad un'ora

4.5 Valori adottati

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione ferroviaria RFI e dall'Aggiornamento delle Norme tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018) e Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

Le verifiche e i dimensionamenti degli attraversamenti idraulici sono stati effettuati considerando eventi con un tempo di ritorno di 200 anni, come da prescrizione dell'art.C5.1.2.3 «Compatibilità idraulica» delle NTC 2018:

C5.1.2.3 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $Tr = 200$ anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.

La tabella seguente sintetizza la scelta del tempo di ritorno per tipologia di opere indicata nel Manuale di Progettazione cod. RFIDTCSICSMAIFS001E:

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

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

In accordo con la tabella soprariporta, il dimensionamento delle reti di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche è stato effettuato considerando i seguenti tempi di ritorno:

- Per il drenaggio della piattaforma ferroviaria: Tr 100 anni
- Per il drenaggio della piattaforma stradale: Tr 25 anni
- Per il drenaggio dei piazzali e dei nuovi fabbricati: Tr 25 anni.

Inoltre, per quanto riguarda le nuove opere soggette al rispetto del R.R. 7/2017 "Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)", sono stati rispettati i tempi di riferimento indicati nell'art.11:

- $T = 50$ anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di laminazione o anche infiltrazione con un adeguato grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani;
- $T = 100$ anni: tempo di ritorno da adottare per la verifica del grado di sicurezza delle opere come sopra dimensionate. Tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con T 100, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno. Il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

Di seguito si riepilogano i parametri della curva di possibilità pluviometrica di progetto per eventi meteorici con durate inferiori e superiori all'ora riferite alla cella 1.

CELLA 1 (Fonte ARPA)					CELLA 1 (Fonte ARPA)				
$t \leq 1$ ora					$t > 1$ ora				
Tr (anni)	25	50	100	200	Tr (anni)	25	50	100	200
a_1	28.15				a_1	28.15			
n	0.464				n	0.2778			
w_T	1.7684	1.9848	2.2033	2.4247	w_T	1.7684	1.9848	2.2033	2.4247

Figura 34 Curve di possibilità pluviometrica di progetto

5 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA AFFERENTE AGLI ATTRAVERSAMENTI IDRAULICI

Nei successivi paragrafi viene illustrata la metodologia per la stima delle portate al colmo di piena per i manufatti di attraversamento sulla Roggia Fiumicella.

In sintesi la metodologia ha previsto:

- Definizione dei bacini sottesi, i bacini sono stati delimitati sia a partire dal LiDAR fornito dal Ministero dell'Ambiente, sia considerando gli elementi antropici che comportano uno sbarramento al deflusso delle acque meteoriche, come rilevati e infrastrutture.
- Definizione dell'evento meteorico e delle perdite idrologiche, è stato analizzato l'uso del suolo e la sua capacità di deflusso a partire dai dati della Regione Lombardia e dell'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste. È stato fissato il tempo di ritorno pari a 200 anni in ottemperanza delle NTC e del manuale di progettazione di RFI.
- Definizione delle portate di piena alla base delle verifiche e dimensionamento degli attraversamenti idraulici. La portata di riferimento per lo studio idraulico sarà sia quella generata dallo ietogramma di progetto sia quello afferente per la deviazione del Fiume Grande che per gli scarichi industriali individuati.

5.1 Criteri di calcolo

La portata alla base delle verifiche degli attraversamenti idraulici è stata ottenuta applicando il metodo cinematico.

Tale metodo viene utilizzato per il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione incidente su un bacino di limitata estensione. In questo studio, il metodo è stato utilizzato per la determinazione della massima piena corrispondente ad un fissato periodo di ritorno (T_r).

La schematizzazione alla base del metodo si basa sulle seguenti tre ipotesi fondamentali:

- la pioggia critica ha durata pari al tempo di corrivazione;
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
- il tempo di ritorno della portata è pari a quello della pioggia critica.

Il calcolo della portata si effettua con la formula seguente:

$$Q_{\max} = \frac{h_{d,t} \times C \times S}{3.6 \times t_c}$$

con :

- S area del bacino (km²);
 h_{d,t} precipitazione caduta per un tempo pari alla durata critica (mm);
 C coefficiente di deflusso superficiale (-).
 t_c tempo di corrivazione (ore).

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IN1M	10	D 26 RH	ID 00 0 1 001	B	36 DI 53

Il valore di h rappresenta l'altezza di pioggia che cade in un dato sito in un tempo uguale al tempo di corrivazione t_c : infatti se la durata della precipitazione è inferiore al tempo t_c solo una parte del bacino contribuirà alla formazione della portata, che risulterà pertanto di minore entità. Viceversa, se la durata dell'evento è maggiore, l'intensità della pioggia sarà minore e quindi meno intenso il colmo di piena. Nella figura seguente è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assume la forma triangolare.

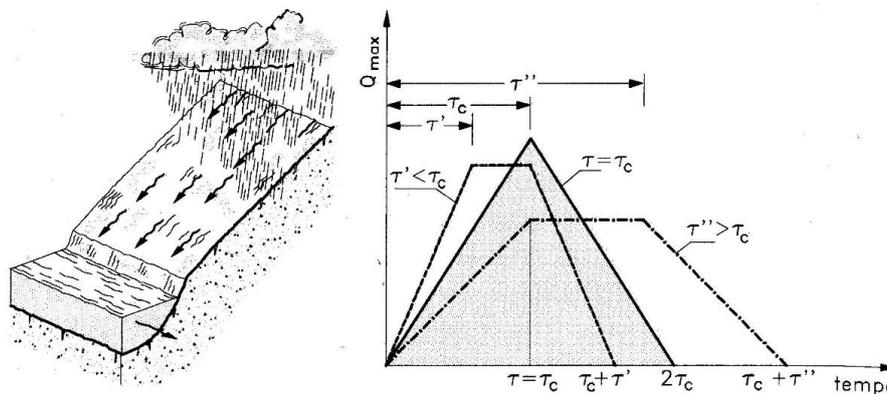


Figura 35 Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

Il tempo di corrivazione è funzione essenzialmente delle caratteristiche morfometriche del bacino e per la sua stima possono essere utilizzate diverse formulazioni, in funzione della grandezza del bacino esaminato.

Le formulazioni riportate di seguito possono dar luogo a tempi di corrivazione molto differenti, in quanto ciascuna di esse attribuisce pesi diversi ai parametri morfometrici considerati. In particolar modo, tali espressioni sono di natura empirica e sono state calibrate per determinati intervalli di superficie di bacino idrologico. Per tale motivo, la stima del tempo di corrivazione è stata effettuata considerando un valore ponderato.

Ventura

$$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale (m/m);

S = superficie del bacino idrografico (kmq);

Pasini

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{i^{0.5}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale (m/m);

S = superficie del bacino idrografico (kmq);

L = lunghezza dell'asta principale (km);

Kirpich

$$T_c = 0.000325 \cdot L^{0.77} \cdot S_w^{-0.385}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale (m);

Sw= pendenza media dell'asta principale (m/m).

La scelta del tempo di corrvazione, determinante ai fini della portata di progetto, è stata dunque realizzata scegliendo il dato più cautelativo tra i risultati delle relazioni proposte.

La stima del coefficiente di deflusso viene eseguita mediante il metodo SCS-CN, formulato dal Soil Conservation Service degli U.S.A (1972).

Secondo il metodo SCS-CN la formazione del deflusso di piena è determinata fundamentalmente dai seguenti fattori:

- caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali e degli strati geologici immediatamente sottostanti;
- uso del suolo e copertura vegetale;
- condizioni di umidità iniziale del suolo all'inizio della precipitazione meteorica.

5.2 Identificazione dei bacini scolanti

L'area complessiva della Roggia Fiumicella a monte della Linea ferroviaria è stata divisa in più sottobacini recapitanti ai vari attraversamenti idraulici. Queste sono costituite da un numero complessivo di 4 aste idrauliche, tutte appartenenti al fitto reticolo della Roggia Fiumicella, qui di seguito brevemente elencate:

- IN01 (km 14+479 LS);
- IN02 (km 14+714 LS);
- IN03 (km 15+014 LS);
- IN04 (km 15+544 LS);

L'immagine seguente mostra la delimitazione dei bacini scolanti e l'ubicazione dei tombini di progetto.

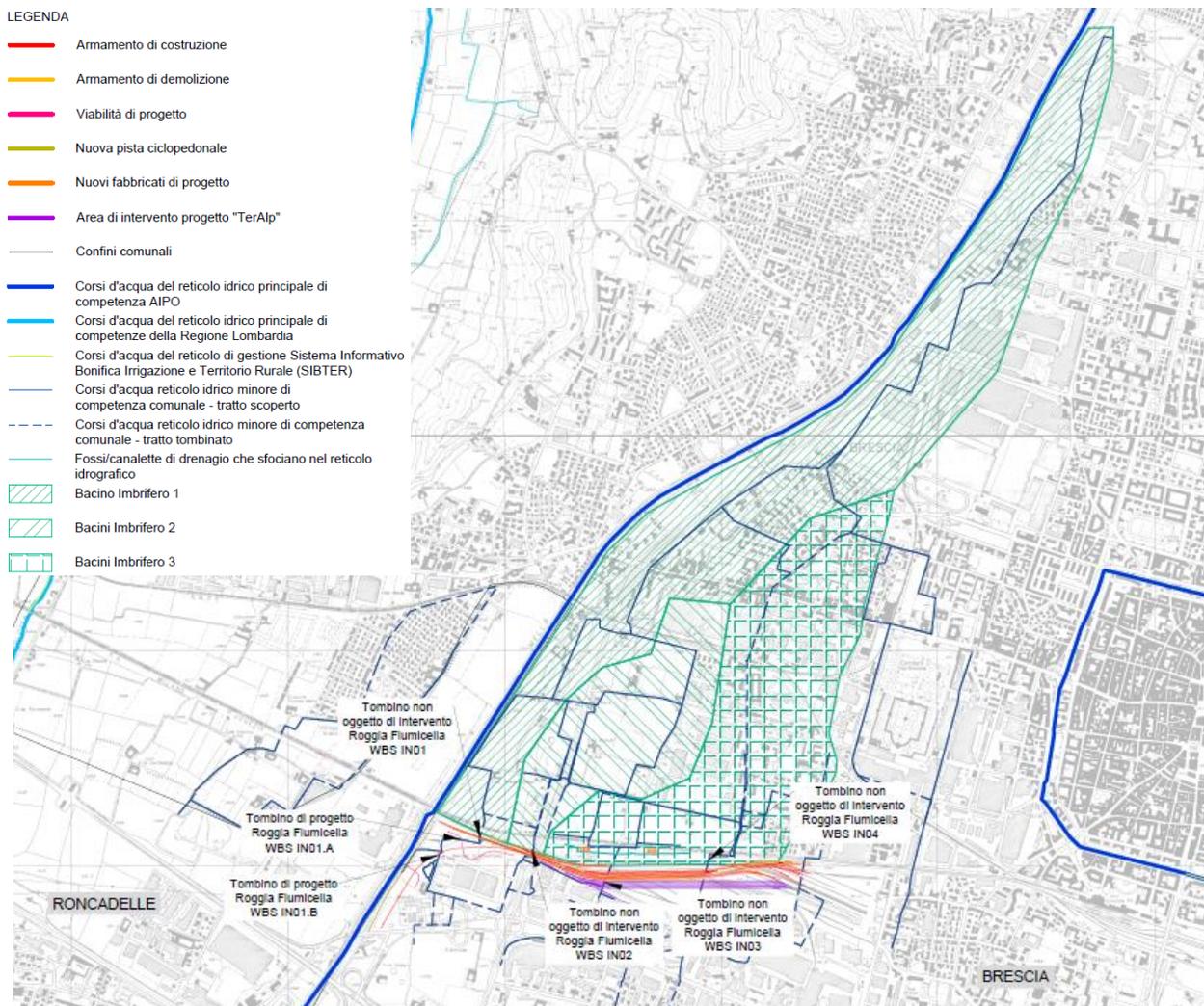


Figura 36 Bacini scolanti alla Roggia Fiumicella nell'area Brescia Scalo

Di seguito si riepilogano i principali parametri morfometrici dei bacini individuati:

Tabella 8 Caratteristiche geometriche bacini scolanti

	Area	Area	Quota media	Quota minima	Quota massima	Pendenza media bacino	Lunghezza Asta
	m ^q	ha	m slm	m slm	m slm	%	Km
Bacino 1	1701986	170.20	149.01	128.72	172.20	0.8	5.58
Bacino 2	588699	58.87	137.15	127.76	144.91	0.8	1.56
Bacino 3	1103253	110.33	139.62	128.63	150.41	0.7	2.00

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO-VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	Relazione idrologica	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV B

5.3 LSPP di progetto

Il dimensionamento degli attraversamenti è stato effettuato considerando un evento con tempo di ritorno di 200 anni.

Come introdotto nel paragrafo 4.5, l'altezza di pioggia (mm) corrispondente da un evento meteorico con tempo di ritorno di 200 anni è stimata:

- Per durate superiori all'ora: $h = 68.255 \cdot d^{0.2778}$
- Per durate superiori all'ora: $h = 68.255 \cdot d^{0.464}$

5.4 Valutazione della pioggia efficiace (netta)

Al fine di ottenere la pioggia che contribuisce effettivamente alla formazione della portata di piena, l'afflusso di acque meteoriche "di progetto" viene moltiplicato per il parametro "Cd", definito come coefficiente di deflusso. Il coefficiente è stato stimato sulla base del parametro CN, ammettendo che i fenomeni di infiltrazione e perdita idrica siano costanti durante tutta la durata dell'evento piovoso.

5.4.1 Metodo Curve Number (CN)

Il Curve Number (CN) è un parametro adimensionale di cruciale importanza nella modellazione idrologico-idraulica in quanto esprime la tendenza di un determinato suolo a produrre un certo quantitativo di deflussi superficiali (*run-off*) a seguito di un evento di precipitazione; conoscendo tale parametro, infatti, è possibile determinare la percentuale di precipitazione lorda che si trasforma in precipitazione netta, la quale verrà poi impiegata per la quantificazione delle portate idrologiche in transito in una determinata sezione idraulica.

Tale parametro, non è attualmente stato sviluppato ufficialmente dalla Regione Lombardia, e, per tale motivo, è stata messa a punto una collaborazione tra la società scrivente (Italferr S.p.A.) e l'Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste (ERSAF) per l'implementazione del parametro CN per la stessa regione.

La collaborazione, nello specifico, prevede che ERSAF fornisca ad Italferr S.p.A i necessari dati di base per portare a compimento l'attività, ed in cambio, Italferr S.p.A., restituisca il dato finito a ERSAF stessa.

I dati di base impiegati per la realizzazione della carta del Curve Number sono stati i seguenti:

- 1) Gruppo idrologico dei suoli della Regione Lombardia, messo a disposizione da ERSAF; tale dato è stato fornito a due diverse scale d'indagine:
 - 1: 50 000 (di estensione limitata ad alcune province della Lombardia)
 - 1: 250 000 (di estensione pari a tutto il territorio regionale lombardo)
- 2) Uso e Copertura del suolo della Regione Lombardia, scaricabile dal Geoportale della Regione Lombardia, all'indirizzo:
https://www.geoportale.regione.lombardia.it/download-pacchetti?p_p_id=dwnpackageportlet_WAR_gptdownloadportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&_dwnpackageportlet_WAR_gptdownloadportlet_metadataid=%7B18EE7C-DC-E51B-4DFB-99F8-3CF416FC3C70%7D

- 3) Tabella di correlazione tra Gruppo Idrologico, Classi di uso del suolo e CN, disponibile nel database di Italferr S.p.A.

5.4.2 Cenni di teoria

La differenza tra la precipitazione lorda (che cade su una determinata porzione di superficie) e la precipitazione netta (quella che effettivamente contribuisce alla produzione di deflussi superficiali), è nota con il nome di perdite di bacino.

Le perdite di bacino possono essere valutate mediante l'applicazione del metodo elaborato dal Soil Conservation Service (SCS) e basato, appunto, sul parametro adimensionale CN. Tale metodo trae origine dall'equazione di continuità, espressa dalla seguente formula:

$$P_{net} = P - S'$$

con P_{net} (mm) volume di pioggia netta, P (mm) volume di pioggia lorda, S' (mm) volume specifico infiltrato.

Il metodo ipotizza la validità della seguente relazione di proporzionalità:

$$\frac{S'}{S} = \frac{P_{net}}{P - I_n}$$

dove S (mm) è il massimo volume d'acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione e I_n (mm) la perdita iniziale. Combinando le due equazioni precedenti si ottiene:

$$P_{net} = 0 \quad \text{per } P < I_n$$

$$P_{net} = \frac{(P - I_n)^2}{(P - I_n + S)} \quad \text{per } P > I_n$$

Per la stima di I_n si può far ricorso alla relazione: $I_n = \beta \cdot S$, con $\beta = 0.1 - 0.3$.

Il metodo SCS-CN lega quindi la pioggia lorda e la pioggia netta tramite una grandezza, S , che è funzione dalle caratteristiche del suolo, in particolare tipo e uso, e dalle condizioni di umidità iniziali. L'assorbimento iniziale I_n rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto inizialmente per l'intercettazione della vegetazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali e l'assorbimento iniziale del terreno. Sulla base di dati sperimentali di numerosi bacini statunitensi, il Soil Conservation Service ha suggerito per la stima di I_n un valore di $\beta=0.2$.

Per un fissato stato iniziale di umidità del suolo, la massima ritenzione potenziale S del bacino è funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo, il cui effetto combinato è descritto globalmente dal parametro adimensionale Curve Number CN ($0 < CN < 100$) dalla relazione che segue:

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

valida per S espressa in mm.

Una volta determinato il parametro SCN in base al tipo e uso del suolo è quindi possibile per ogni evento meteorico determinare lo spessore di pioggia contribuente al deflusso superficiale.

	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO–VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	Relazione idrologica	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV B

L'indice CN è un numero adimensionale, compreso tra 0 e 100, definito in funzione dei seguenti elementi:

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

5.4.3 Gruppo idrologico dei suoli

Il gruppo idrologico sintetizza il comportamento potenziale dei suoli nell'innescare fenomeni di run-off. Da letteratura, sono 4 i diversi gruppi idrologici ordinate dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente, assegnabili a ciascun suolo:

Tabella 9 Gruppo idrologico suoli

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

5.4.4 Uso del Suolo

La conoscenza delle dinamiche relative all'uso del suolo è strategica per la pianificazione territoriale, in quanto consente di leggere lo stato attuale dei luoghi come risultante delle modificazioni intervenute in passato, di monitorare quelle in atto e di prefigurare quelle future.

A partire dall'analisi effettuata negli anni '90 nell'ambito del Programma Europeo *Corine Land Cover*, Regione Lombardia ha realizzato uno strumento di analisi e monitoraggio dell'uso e della copertura del suolo su tutto il territorio regionale, sintetizzato all'interno del progetto DUSAF (Destinazione d'Uso del Suolo Agricolo e Forestale), che nel 2018 è arrivato alla sua VI revisione.

In particolare, nell'ultima edizione la classificazione del suolo è avvenuta sulla base di processi di fotointerpretazione delle foto aeree Agea, di foto aeree a colori realizzate nel 2018 e di immagini da satellite SPOT6/7 2018.

Di seguito, si riporta una tabella di correlazione tra la codifica dei suoli contenuta nel Programma Europeo *Corine Land Cover* e la relativa descrizione della tipologia di uso del suolo:

Tabella 10 Tabella di correlazione tra i codici del Programma Europeo Corine Land Cover e la descrizione della tipologia di uso del suolo

CLC_LEV3	Classe	Livello	Denominazione
111	1	3	Zone residenziali a tessuto continuo
112	1	3	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado
121	1	3	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati
122	1	3	Reti stradali, ferroviarie e infrastrutture tecniche
123	1	3	Aree portuali
124	1	3	Aeroporti
131	1	3	Aree estrattive
132	1	3	Discariche
133	1	3	Cantieri
141	1	3	Aree verdi urbane
142	1	3	Aree ricreative e sportive
211	2	3	Seminativi in aree non irrigue
212	2	3	Seminativi in aree irrigue
213	2	3	Risaie
221	2	3	Vigneti
222	2	3	Frutteti e frutti minori
223	2	3	Oliveti
224	2	3	Altre colture permanenti
231	2	3	Prati stabili (foraggiere permanenti)
241	2	3	Colture temporanee associate a colture permanenti
242	2	3	Sistemi colturali e particellari complessi
243	2	3	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
244	2	3	Aree agroforestali
311	3	3	Boschi di latifoglie
312	3	3	Boschi di conifere
313	3	3	Boschi misti di conifere e latifoglie
314	3	3	Rimboschimenti recenti
321	3	3	Aree a pascolo naturale e praterie
322	3	3	Brughiere e cespuglieti
323	3	3	Aree a vegetazione sclerofilla
324	3	3	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione
331	3	3	Spiagge, dune e sabbie
332	3	3	Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti
333	3	3	Aree con vegetazione rada
334	3	3	Aree percorse da incendi
335	3	3	Ghiacciai e nevi perenni
411	4	3	Paludi interne
412	4	3	Torbiere
421	4	3	Paludi salmastre
422	4	3	Saline
423	4	3	Zone intertidali
511	5	3	Corsi d'acqua, canali e idrovie
512	5	3	Bacini d'acqua
521	5	3	Lagune
522	5	3	Estuari
523	5	3	Mari e oceani

5.4.5 Tabella di correlazione

Per i presenti scopi, dunque, è stato deciso di impiegare, di comune accordo con i tecnici di ERSAF, una tabella analoga già disponibile dentro il database di Italferr S.p.A., e fornita (su richiesta) dalla Regione Friuli-Venezia Giulia per i medesimi scopi.

La tabella di correlazione è riportata di seguito, in cui sono presenti i valori del parametro CN in condizioni di media imbibizione CN(II)); infatti, tra gli altri fattori, il valore del Curve Number è influenzato anche dai mm di pioggia che sono caduti nel sito d'interesse nei 5 giorni antecedenti l'evento in corso di valutazione. In particolare, in base a tale criterio, sono state individuate tre classi, denominate AMC (*Antecedent Moisture Condition*, come indicato nella seguente tabella:

Tabella 11 classi AMC

Classe AMC	Denominazione CN	Precipitazione nei 5 giorni precedenti all'evento (mm)	
		Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	CN(I)	< 13	< 36
II	CN(II)	13-28	36 - 54
III	CN(III)	> 28	> 54

In sintesi, i valori del parametro CN che sono presenti nella tabella seguente, sono riferiti alla condizione di media imbibizione CN(II); qualora vi sia la necessità di disporre dei parametri in condizioni di minima CN(I) e massima CN(III) imbibizione, le formule di conversione da impiegare sono le seguenti:

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

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

Tabella 12 Tabella di correlazione Gruppo idrologico, Uso del Suolo e CN.

CODICE USO DEL SUOLO	GRUPPO IDROLOGICO				CODICE USO DEL SUOLO	GRUPPO IDROLOGICO			
	A	B	C	D		A	B	C	D
111	89	92	94	95	244	41	47	65	76
112	77	85	90	92	311	51	71	81	86
121	81	88	91	93	312	45	61	75	81
					313	48	66	78	83.5
122	83	89	92	93	314	45	66	77	83
123	98	98	98	98	321	37	50	68	75
124	49	69	79	84	322	38	45	60	70
131	77	86	91	94	323	37	50	68	75
132	77	86	91	94	324	31	40	55	63
133	77	86	91	94					
141	39	61	74	80	331	44	51	55	58
142	49	69	79	84	332	80	87	93	96
211	62	71	78	81	333	37	50	68	75
212	62	71	78	81	334	37	50	68	75
213	62	71	78	81	335	95	95	95	95
221	38	45	60	70	411	90	90	90	90
222	38	45	60	70	412	90	90	90	90
223	38	45	60	70	421	90	90	90	90
224	62	71	78	81	422	90	90	90	90
231	41	47	65	76	423	90	90	90	90
241	62	71	78	81	511	99	99	99	99
242	62	71	78	81	512	99	99	99	99
243	41	47	65	76	521	99	99	99	99
					522	99	99	99	99
					523	99	99	99	99

5.4.6 Parametri CN di progetto

I bacini oggetto di studio interessano prevalentemente un suolo di tipo "B" ovvero con potenzialità di deflusso moderatamente bassa.

Di seguito si riporta uno stralcio in cui è possibile notare il tipo idrologico di suolo interessato e una tabella con riportate per ogni bacino le percentuali di tipo di suolo compreso.

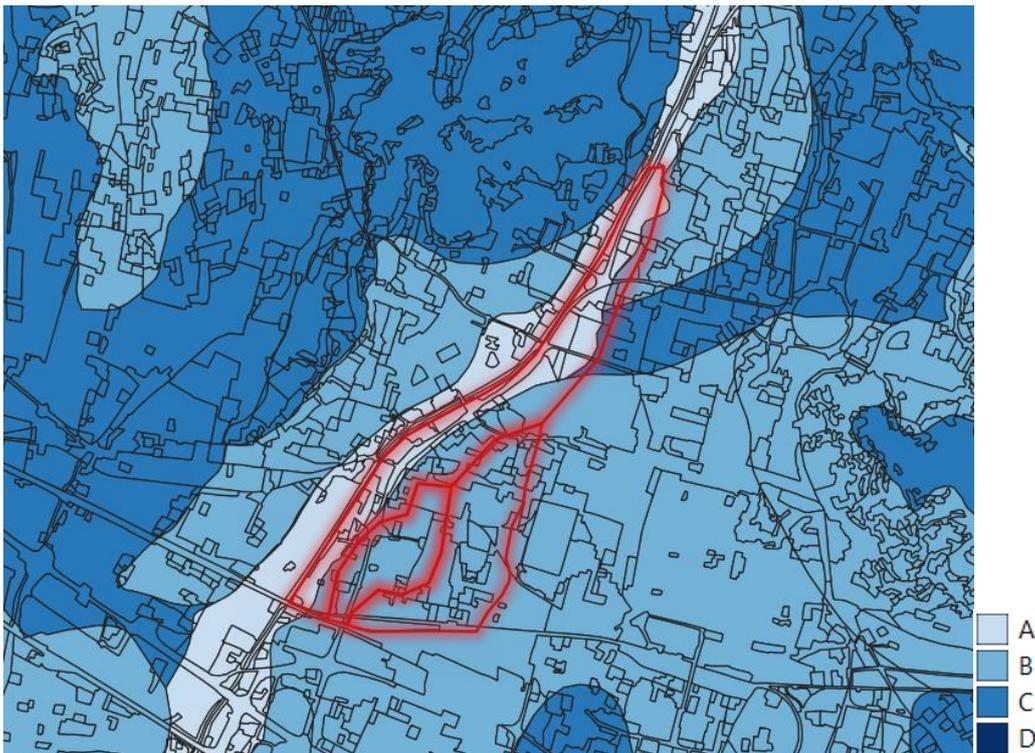


Figura 37 Tipo idrologico di suolo – in rosso i bacini sottesi

Tabella 13 Tipo idrologico bacini sottesi

	Tipo idrologico di suolo			
	A	B	C	D
Bacino 1	63.43%	33.89%	2.68%	-
Bacino 2	-	100.00%	-	-
Bacino 3	-	100.00%	-	-

La zona interessata dai bacini è prevalentemente di tipo residenziale. Dalla correlazione tra l'uso di suolo e il tipo idrologico del suolo è stato possibile ottenere il CN(II).

L'immagine seguente mostra i vari coefficienti ottenuti e interessanti l'area di studio.

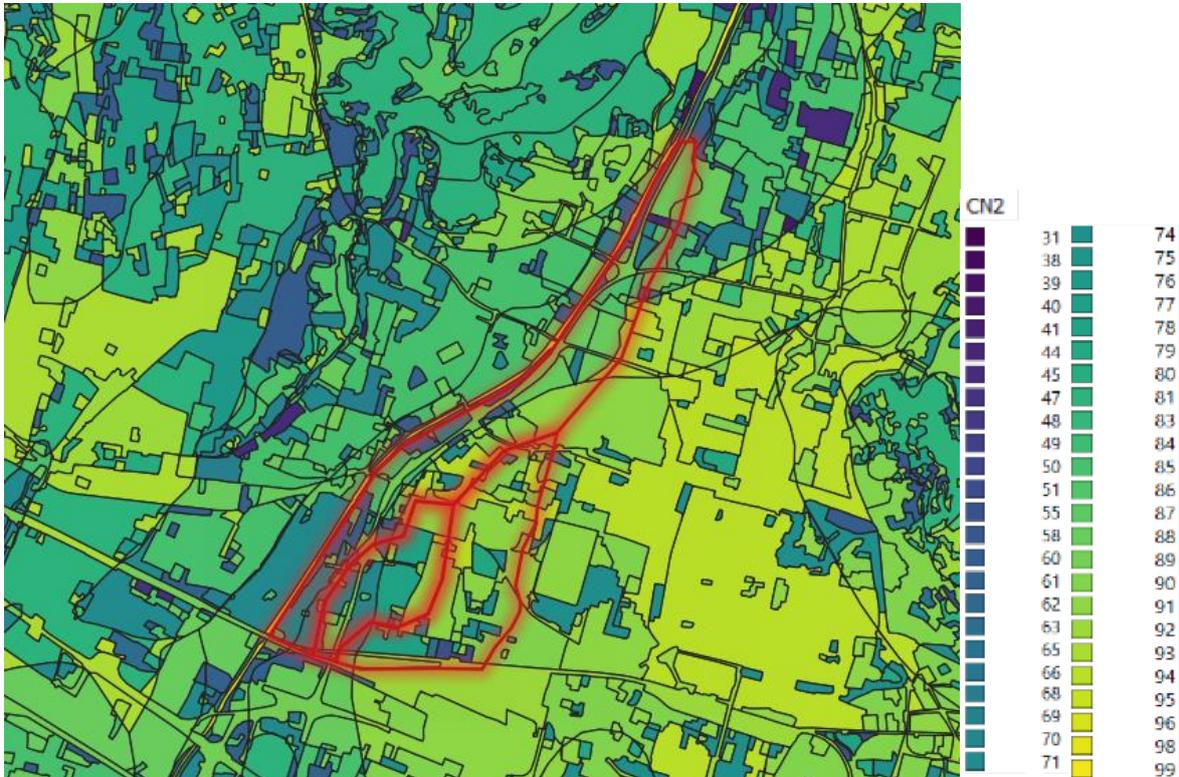


Figura 38 Distribuzione spaziale CN(II) – in rosso i bacini sottesi

Di seguito si sintetizzano i coefficienti CN ottenuti come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Tabella 14 Valori di CN assegnati ai bacini sottesi

	Area	CN (I)	CN (II)	CN (III)
	ha	-	-	-
Bacino 1	170.20	55.36	74.70	87.16
Bacino 2	58.87	60.80	78.69	89.47
Bacino 3	110.33	65.21	81.70	91.12

5.4.7 Coefficiente di deflusso

Determinato 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):

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{(10 - 0.058 \cdot CN(II))} \qquad CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{(10 + 0.13 \cdot CN(II))}$$

Nota il parametro CN, si calcola il volume specifico di saturazione del terreno S:

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

Nota la ritenzione massima S, si calcolano le perdite iniziali Ia:

$$I_a \text{ [mm]} = \beta \cdot S$$

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

Note S e Ia, si ricava la precipitazione netta con le seguenti equazioni:

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

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

Nota Pnetta e Ptot, si ricava il coefficiente di deflusso Ψ :

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

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

Tabella 15 Riepilogo grandezze per calcolo coefficiente di deflusso Ψ

Parametro		Udm	Bacino 1	Bacino 2	Bacino 3
Altezza di pioggia (durata critica)	h	mm	77.78	53.84	60.26
Curve Number 1 medio	CN1	-	55.4	60.8	65.2
Curve Number 2 medio	CN2	-	74.70	78.69	81.70
Curve Number 3 medio	CN3	-	87.16	89.47	91.12
Ritenzione massima (CN1)	S01	mm	204.84	163.77	135.50
Ritenzione massima (CN2)	S02	mm	86.03	68.78	56.91
Ritenzione massima (CN3)	S03	mm	37.41	29.91	24.74
Parametro α	α		0.2	0.2	0.2
Coefficiente di deflusso CN1	Cd(CN1)	-	0.07	0.04	0.11
Coefficiente di deflusso CN2	Cd(CN2)	-	0.32	0.27	0.37
Coefficiente di deflusso CN3	Cd(CN3)	-	0.59	0.55	0.63

5.5 Portata di piena bacini imbriferi del tratto interferito della Roggia Fiumicella (IN01)

Il progetto prevede la risoluzione delle interferenze con la roggia Fiumicella a valle del tratto identificato con la WBS IN01.

Il calcolo della portata di piena generata da un evento meteorico interessante il bacino imbrifere al tratto IN01 è stato effettuato con la formula seguente:

$$Q_{\max} = \frac{h_{d,t} \times C \times A}{3.6 \times t_c}$$

con :

- A area del bacino (km²);
 h_{d,t} precipitazione caduta per un tempo pari alla durata critica (mm);
 C coefficiente di deflusso superficiale.
 t_c tempo di corrivazione (ore).

Di seguito i risultati ottenuti sulla base dei criteri descritti nel paragrafo 5.1.

Tabella 16 Portata di piena bacini sottesi dagli attraversamenti idraulici oggetto di studio - Tr200

	Bacino 1
a	68.256
n (durata>1h)	0.2778
n (durata<1h)	0.4640
Tempo di ritorno T _R (Anni)	200.00
Superficie bacino (mq)	1701987
Superficie bacino (km ²)	1.70
Lunghezza asta maggiore (km)	5.58
Pendenza asta (m/m)	0.008
Quota massima (m slm)	172.20
Quota minima (m slm)	128.72
T _c (Ventura) (ore)	1.85
T _c (Pasini) (ore)	2.56
T _c (Kirplich) (ore)	1.60
T _c assunto (ore)	1.60
h _{d,t} (mm)	77.78
C	0.32
Q_{max} mc/s	7.39

Oltre alla portata stimata in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario, ai fini della verifica delle opere di sistemazione di progetto nel tratto di valle, è stato considerato necessario stimare l'incremento della portata dovuto alle aree afferenti nel tratto di interesse.

L'immagine seguente mostra le aree scolanti definite sulla base della morfologia della zona e sulle opere antropiche individuate anche sulla base del rilievo celerimetrico.



Figura 39 Individuazioni aree scolanti a valle dell'attraversamento ferroviario esistente

Dal rilievo celerimetrico è stato notato un fosso di immissione in destra sulla roggia Fiumicella.

L'area afferente al fosso si estende per circa 3100mq.

L'area interclusa tra la sistemazione di IN01a e IN01b è di 10900mq.

Considerando il medesimo coefficiente di deflusso 0.32 e la formulazione di Kirplich per la stima del tempo di corrivazione, si ottengono le seguenti portate di piena per eventi duecentennali:

Tabella 17 Portata di piena bacini sottesi dagli attraversamenti idraulici oggetto di studio - Tr200

	Bacino 1	Bacino 1 compresa area interclusa	Bacino imbrifero al fosso di Immissione
a	68.256	68.256	68.256
n>1h	0.2778	0.2778	0.2778
n<1h	0.4640	0.4640	0.4640
Tempo di ritorno T_R (ANNI)	200	200	200
Superficie del bacino imbrifero (mq)	1701987	1712887	3128
Superficie del bacino imbrifero (km ²)	1.70	1.71	0.00
Lunghezza dell'asta maggiore (km)	5.58	5.71	0.16
Pendenza media del bacino i (m/m)	0.008	0.008	0.008
Tempo di corrivazione Tc (Kirplich)	1.60	1.60	0.11
Altezza di pioggia h(t) mm	77.78	77.79	21.07
Coefficiente di deflusso c (-)	0.32	0.32	0.32
Portata di picco Qmax (mc/s)	7.39	7.44	0.07

6 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

6.1 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'IPCC3 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 (± 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.

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

³ 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.

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/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - 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.

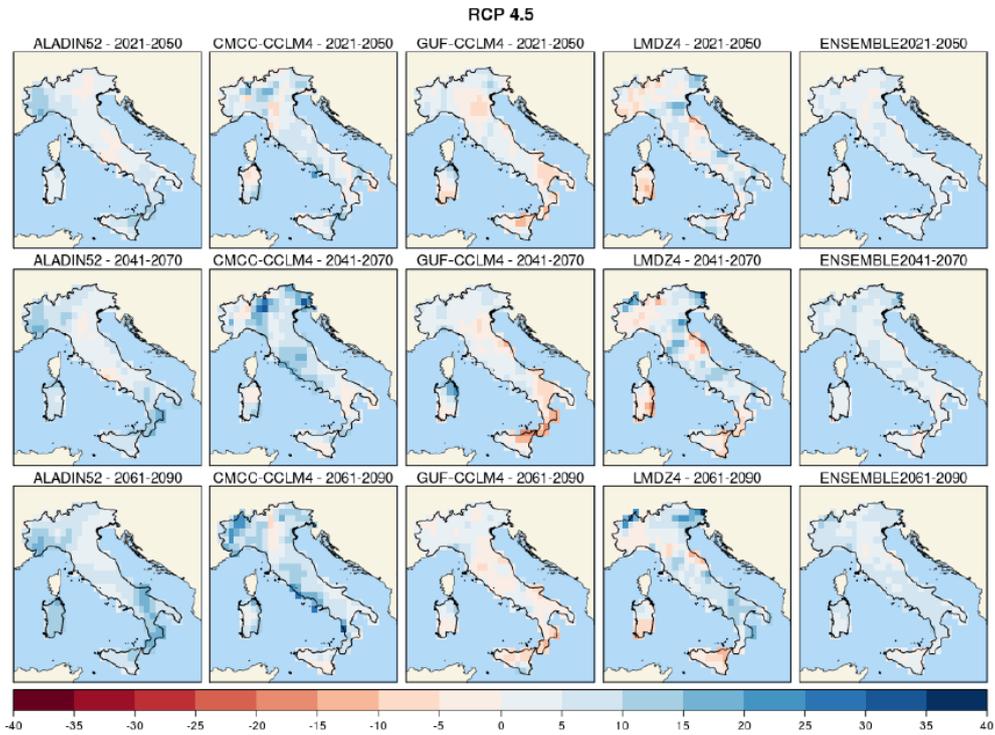


Figura 40 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)

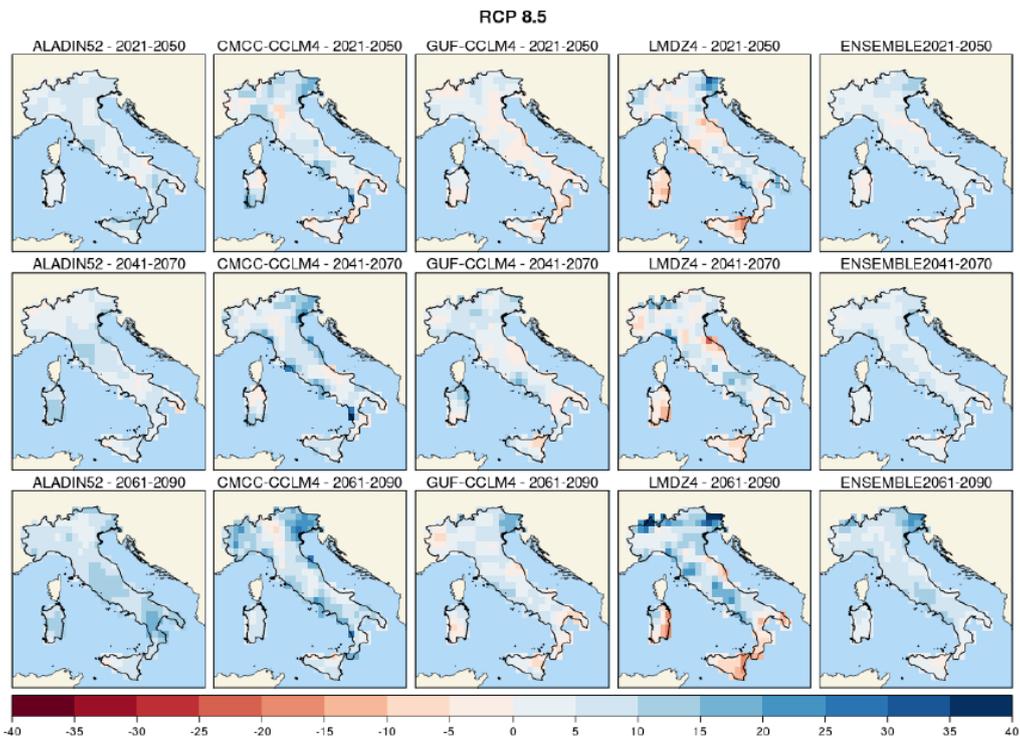


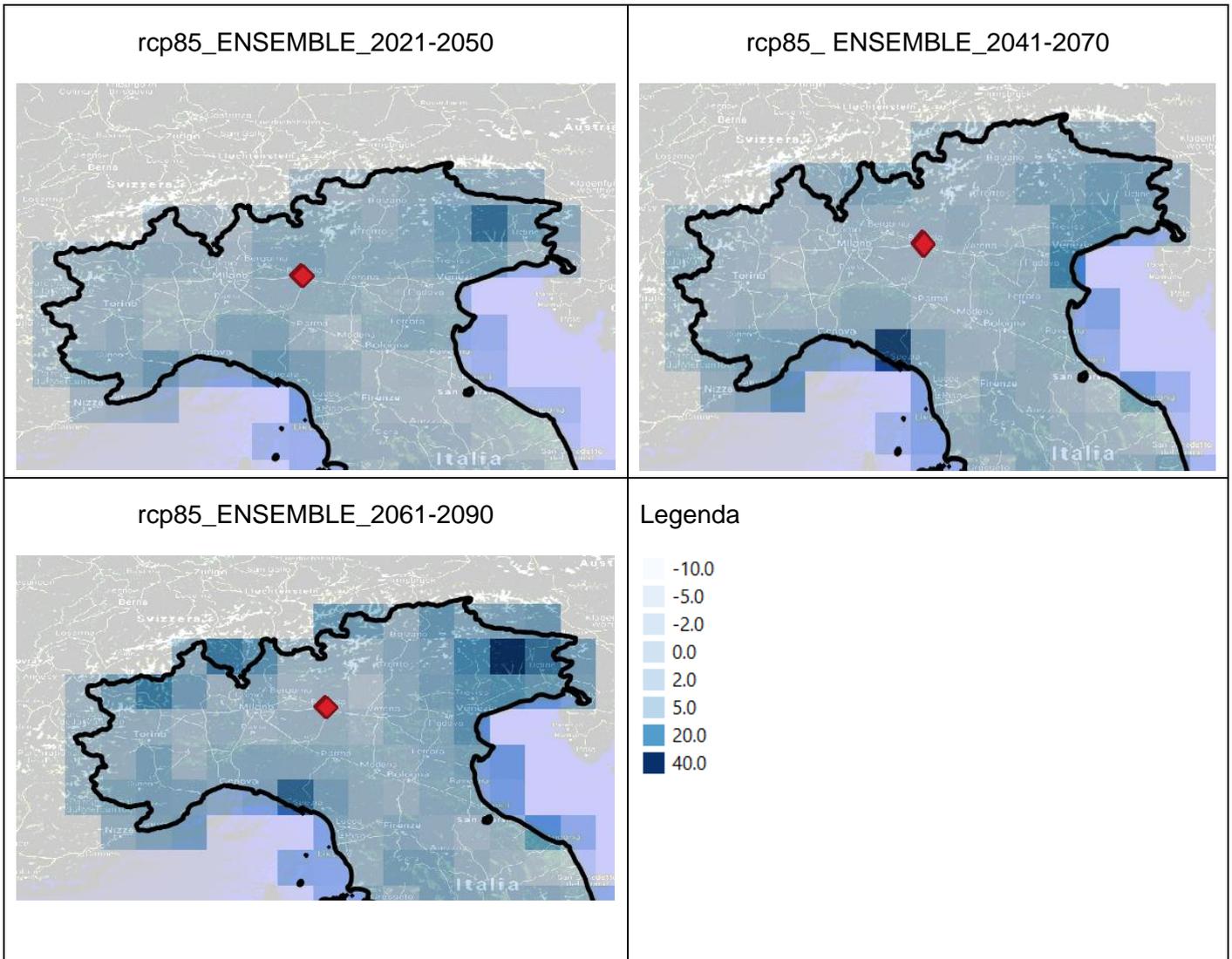
Figura 41 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)

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.

6.1 Cambiamenti climatici nell'area di interesse

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.

Figura 42 Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (Elaborazione ITF su dati ISPRA, 2015) – Area di interesse in rosso



	PROGETTO DEFINITIVO LINEA A.V./A.C. MILANO–VERONA NODO DI BRESCIA POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE DELLO SCALO DI BRESCIA					
	Relazione idrologica	COMMESSA IN1M	LOTTO 10	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 00 0 1 001	REV B

Tabella 18 Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (Elaborazione ITF su dati ISPRA, 2015)

Variazione media h24 (RCP8.5) [mm]		
2021-2050	2041-2070	2061-2090
+ 8.12	+4.08	+2.76

Con riferimento al presente studio idrologico, la variazione massima di precipitazione giornaliera nell'area oggetto d'intervento prevista dai modelli ammonta intorno a +8.12 mm nel periodo 2021-2050, che corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera che non pregiudica le analisi effettuate con i modelli classici.

Alla luce di tutto ciò, i valori di pioggia di progetto calcolati nel precedente capitolo possono quindi considerarsi cautelativi ai fini della progettazione e del dimensionamento delle opere idrauliche.