

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA CODOGNO-CREMONA-MANTOVA

TRATTA PIADENA-MANTOVA

IDROLOGIA E IDRAULICA GENERALE

Relazione idrologica generale

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

N M 2 5 0 3 D 2 6 R H I D 0 0 0 0 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	G.Coppa	Aprile 2020	S.Santopietro	Aprile 2020	M.Berlingeri	Aprile 2020	A.Perego Giugno 2022
B	Revisione per prescrizioni MiTE MIC	A.Figgiaconi <i>A.Figgiaconi</i>	Giugno 2022	S.Scafa <i>S.Scafa</i>	Giugno 2022	M.Berlingeri <i>M.Berlingeri</i>	Giugno 2022	

File: NM2503D26RHID0000001B

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA</p>					
<p>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03</p>	<p>CODIFICA D26RH</p>	<p>DOCUMENTO ID000000D</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 1 di 66</p>

Sommario

1. PREMESSA	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
3. INQUADRAMENTO DELL'AREA	6
3.1. Inquadramento generale	6
3.2. Inquadramento idrografico	7
3.3. Torrente Tartaro Fabbrezza (VI03)	12
3.4. Osone Nuovo (VI04)	14
4. ANALISI IDROLOGICA.....	15
4.1. Analisi statistica delle piogge - PAI ADBPO.....	16
4.2. Analisi statistica delle piogge - ARPA Progetto STRADA.....	24
4.3. Analisi statistica delle piogge – Dati rilevati dalle centraline meteorologiche.....	2
4.4. Confronto LSPP per durate superiori a 1 ora.....	1
4.5. Stima delle piogge di forte intensità e breve durata	3
4.6. Valori adottati.....	7
5. STIMA PORTATE DI PIENA.....	9
5.1. Descrizione dei bacini individuati	9
5.2. Calcolo portate al colmo di piena.....	11
5.3. Portate stimate con il metodo SCS e metodo Razionale.....	18
6. CONSIDERAZIONI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI.....	1

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B	FOGLIO 2 di 66

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce la relazione idrologica a supporto del progetto definitivo di raddoppio Codogno-Cremona-Mantova nella tratta Piadena-Mantova.

Nel Programma Regionale Mobilità e Trasporti della Regione Lombardia è riportata la pianificazione di “Riquilificazione Milano – Codogno – Cremona - Mantova”. Tale voce, oltre a citare gli interventi di raddoppio conclusi nel 2015 tra la località Cavatogozzi e Cremona, riporta anche l’intervento di raddoppio, proposto in maniera selettiva, sull’intera relazione.

Recentemente sulla linea sono stati firmati impegni e convenzioni attuative che hanno interessato la Regione Lombardia e la Rete Ferroviaria Italiana. L’obiettivo commerciale, alla base di questi interventi, è creare le condizioni per l’incremento della regolarità sulla relazione regionale Milano – Mantova ed un suo successivo potenziamento, nonché raggiungere la frequenza di un treno/h per direzione.

Successivi approfondimenti svolti dalle strutture territoriali di RFI congiuntamente alla Regione Lombardia, hanno messo in evidenza la necessità di approfondire la tratta prioritaria di raddoppio, anche alla luce del modello di esercizio che sarà adottato dalla Regione stessa.

La linea ha inoltre un notevole interesse merci legato, non solo alla presenza degli impianti industriali raccordati, ma anche al fatto che tale linea fa parte del corridoio alternativo al Mediterraneo.

In quest’ottica, il presente Progetto Definitivo, compende gli interventi necessari, nell’ambito della linea Codogno – Cremona – Mantova, all’attivazione prioritaria della tratta Piadena – Mantova, 1^ fase funzionale del raddoppio della linea in oggetto.

L’opera si sviluppa nella bassa pianura lombarda, ad una quota compresa tra i 60 e i 20 metri s.l.m. andando da ovest verso est; lo sviluppo della tratta è di circa 34km tra le località di Piadena (km 55+286 LS) e Mantova (km 89+557 LS).

La 1^ fase del progetto prevede i seguenti interventi:

- Raddoppio tratta Piadena – Bozzolo: raddoppio con tratti in variante tramite la realizzazione di un nuovo binario ad interasse di circa 22.50 m dall’attuale, da eseguirsi in presenza di esercizio ferroviario;
- Raddoppio tratta Bozzolo – Mantova: raddoppio in stretto affiancamento da eseguirsi in interruzione prolungata di esercizio ferroviario.

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA</p> <p>TRATTA PIADENA MANTOVA</p>					
<p>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</p>	<p>COMMESSA NM25</p>	<p>LOTTO 03</p>	<p>CODIFICA D26RH</p>	<p>DOCUMENTO ID000000D</p>	<p>REV. B</p>	<p>FOGLIO 3 di 66</p>

Il progetto prevede, nell'ambito della realizzazione nuova della sede ferroviaria a doppio binario, dei relativi impianti ed apparati tecnologici e di trazione elettrica, inoltre la riqualificazione delle Stazioni e dei PRG di Piadena, Bozzolo e Marcaria, della Fermata di Castellucchio e del PRG di Mantova. È prevista, ancora, la soppressione di tutti i PL di linea tramite realizzazione di opportune nuove opere sostitutive.

L'intervento, nel suo complesso, grazie all'incremento delle prestazioni della linea, si caratterizza come un potenziamento dei collegamenti regionali e merci attualmente programmati.

L'immagine seguente mostra in rosso la tratta in progetto.

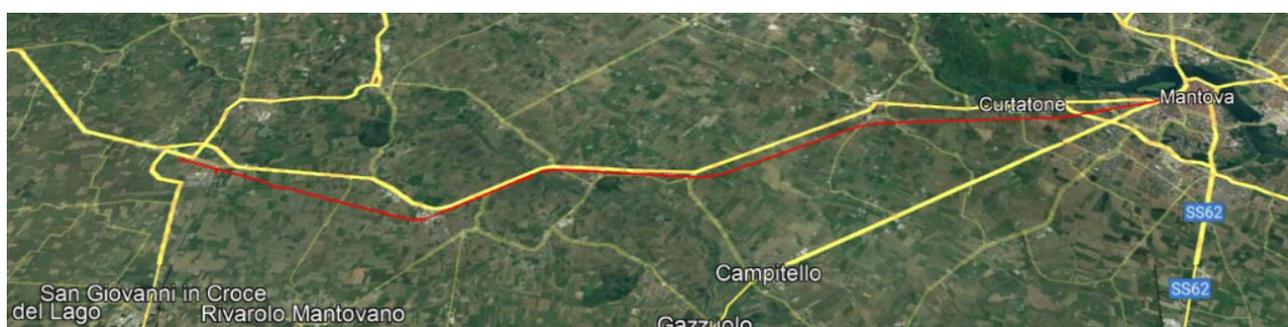


Figura 1 – Inquadramento area di progetto – linea di progetto in rosso

L'analisi idrologica nel seguito illustra le metodologie adottate per il calcolo delle portate transitanti all'interno dei manufatti idraulici previsti lungo il tratto in esame, Piadena-Mantova Lotto 3. Riporta inoltre la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno, che verranno assunte nelle verifiche delle opere di smaltimento idraulico di piattaforma.

La fase iniziale del presente studio ha riguardato l'analisi degli input idrologici per poter sviluppare un modello afflussi-deflussi e in secondo luogo stimare le portate transitanti in tutti gli attraversamenti presenti lungo la tratta ferroviaria del Lotto 3. Nello specifico, si sono estratti i bacini idrografici oggetto di studio utilizzando come base cartografica sia il LiDar che la cartografica disponibile nel GeoPortale della Regione Lombardia. I bacini tengono conto dell'orografia del terreno e soprattutto del districato reticolo idrografico artificiale. Il territorio circostante mostra, infatti, un'impronta agricola molto marcata e quindi molti corsi d'acqua intercettati sono risultati canali irrigui. Per tali interferenze, lo studio delle portate talvolta è derivato dall'analisi delle piogge e talvolta dalle portate regimentate forniteci dai vari consorzi di bonifica.

La scelta dei tempi di ritorno è stata effettuata in conformità a quanto previsto dalle indicazioni riportate nelle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Progetto di Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po (PAI Fiume Po), dalle Norme tecniche delle costruzioni (NTC18) e dal Manuale di Progettazione Ferroviaria aggiornato al 2020.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

- Dlgs 27 gennaio 1992, n. 132. Protezione delle acque sotterranee.
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- Dm Ambiente 12 giugno 2003, n. 185. Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue.
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.2 - Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.4 "Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale.
- Dm Ambiente 16 giugno 2008, n. 131. Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici.
- Dlgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato al 2020 RFI DTC SI CS MA IFS 001 E.
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.
- D.M. 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle ««Norme tecniche per le costruzioni»» (G.U.n.42 del 20 febbraio 2018 - Serie generale).
- Circolare 21 gennaio 2019 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Istruzione per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (G.U. n. 35 del 11 febbraio 2019 - Serie generale).
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016).
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico Padano secondo ciclo (PGRA 2021) adottato in data 29 dicembre 2020 con Deliberazione n.3 la Conferenza Istituzionale Permanente.
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

- L.R. 15 marzo 2016, n. 4; “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”.
- DGR 6738 del 19 giugno 2017. “Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione rischi alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7/12/2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell’autorità di bacino del Fiume Po”.
- Testo coordinato del r.r. 23 novembre 2017, n. 7 «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)» Serie Ordinaria n. 51 - Sabato 21 dicembre 2019.

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- Rif. [1] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26C5ID0000001B, intitolato “Corografia dei bacini Tav1/4”, datato Giugno 2022;
- Rif. [2] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26C5ID0000002B, intitolato “Corografia dei bacini Tav2/4”, datato Giugno 2022;
- Rif. [3] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26C5ID0000003B, intitolato “Corografia dei bacini Tav3/4”, datato Giugno 2022;
- Rif. [4] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26C5ID0000004B, intitolato “Corografia dei bacini Tav4/4”, datato Giugno 2022;
- Rif. [5] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26C5ID0000005C, intitolato “Inquadramento aree di esondazione secondo il PGRA Tav1/2”, datato Aprile 2020;
- Rif. [6] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26C5ID0000006C, intitolato “Inquadramento aree di pericolosità idraulica secondo il PAI e il PGRA Tav2/2”, datato Giugno 2022;
- Rif. [7] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26RIID0000001, intitolato “Relazione idraulica di drenaggio ferrovia e compatibilità idraulica”, datato Giugno 2022;
- Rif. [8] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26RINV0000001, intitolato “Relazione idraulica di drenaggio di piattaforma stradale e piazzali”, datato Giugno 2022;
- Rif. [9] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26RIID0000002, intitolato “Relazione idraulica attraversamenti minori ferroviari”, datato Giugno 2022;
- Rif. [10] Italferr S.p.a., documento n.° NM2503D26RINV000000, intitolato “Relazione idraulica attraversamenti minori stradali”, datato Giugno 2022.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

3. INQUADRAMENTO DELL'AREA

3.1. Inquadramento generale

L'area interessata dal presente lavoro si colloca nella parte meridionale della Regione Lombardia, tra le province di Cremona e Mantova, nei territori del Comune di Piadena Drizzona, Tornata, Bozzolo, Marcaria, Castellucchio, Curatone e Mantova.

Il territorio della provincia di Cremona confina a est con l'Oglio, a sud con il fiume Po, a ovest con l'Adda e a nord con la provincia di Bergamo. È una zona pianeggiante e modellata dalle valli fluviali.

Il territorio della provincia di Mantova sul quale ricade il progetto è il medio mantovano, area pianeggiante attraversata dal Mincio e confinata a sud dal Po e il territorio dell'Oglio, a cavallo tra la provincia in questione e il confinante territorio provinciale di Cremona.

La morfologia dell'area è prettamente pianeggiante, collocata nel pieno della Pianura Padana.

L'immagine seguente mostra in rosso la tratta oggetto di raddoppio e in nero i confini comunali.

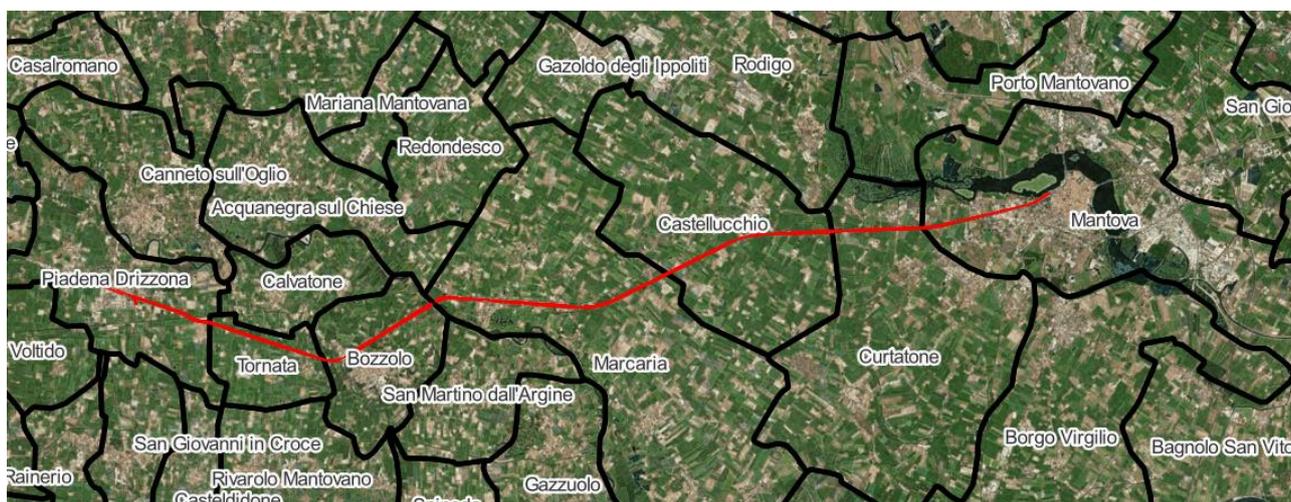


Figura 2 – Inquadramento area di progetto – in rosso la linea di progetto e in nero i confini comunali

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B	FOGLIO 7 di 66

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. L'immagine seguente mostra la suddivisione di Italia nei vari distretti idrografici, dove in viola si evidenzia il Distretto Padano.



Figura 3 Suddivisione territoriale in distretti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

La tratta Piadena-Modena oggetto di raddoppio, ricade nei sottobacini del Fiume Oglio e Mincio, sottobacini del Fiume Po'. A seguire si riportano degli stralci della suddivisione in bacini primari del nord Italia e di quelli secondari nell'intorno dell'area di progetto, quest'ultima segnata in rosso.



Figura 4 – Inquadramento area di progetto – in rosso la linea di progetto e in blu i bacini idrografici principali in Italia



Figura 5 – Inquadramento area di progetto – in rosso la linea di progetto e in azzurro i bacini idrografici secondari in Italia

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Gli approfondimenti necessari allo studio idrologico e idraulico e alla valutazione delle condizioni di rischio conseguenti la realizzazione dell'opera in esame, sono stati effettuati facendo riferimento alle seguenti norme:

- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po e relative norme di attuazione adottate con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po (P.G.R.A. 2021-2027).

Il reticolo idrografico risulta sostanzialmente artificiale e comprende la rete di corsi d'acqua principali RIP, l'idrografia di bonifica RIB e la rete idrografica minore RIM.

L'immagine seguente mostra il reticolo idrografico interessato dalla tratta oggetto di raddoppio, si rimanda agli elaborati di Corografia di bacino per maggiori dettagli (NM2500D26C5ID0000001-4B)

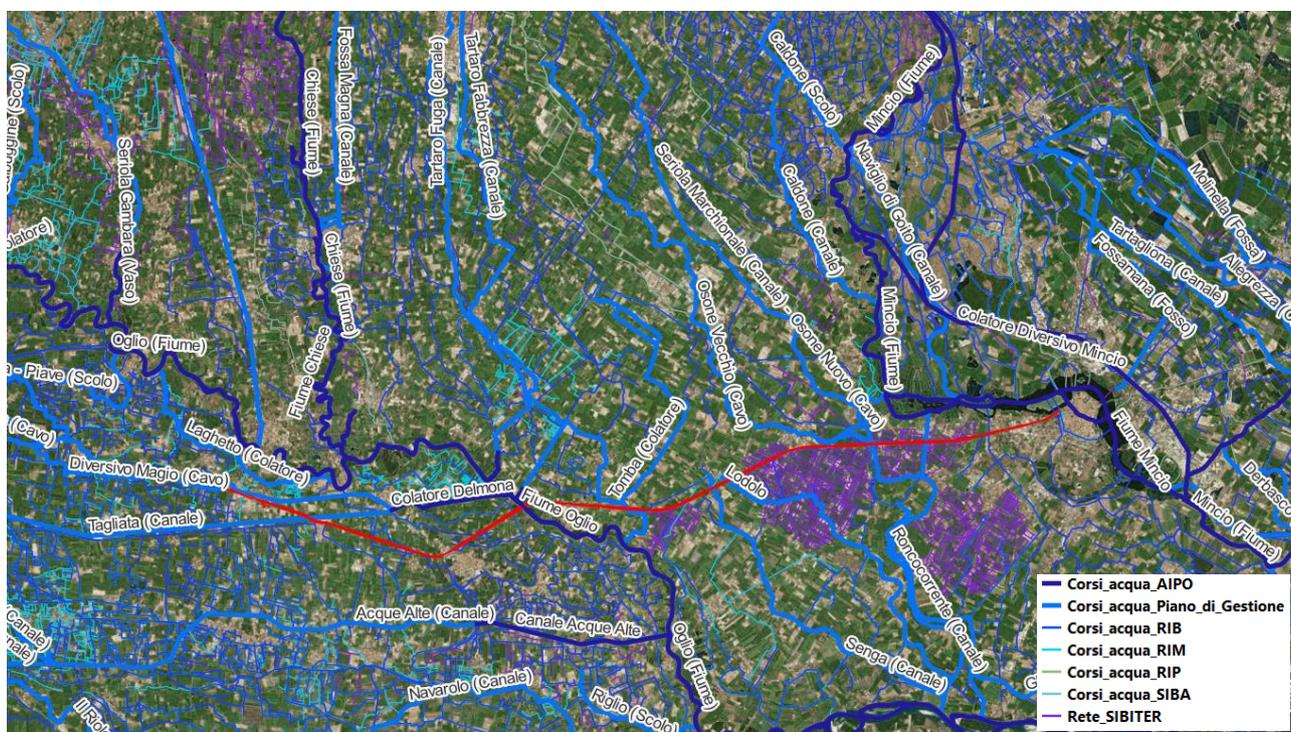


Figura 6 – Inquadramento area di progetto – in rosso la linea di progetto

I principali corsi d'acqua intercettati dalla tratta di progetto, riguardano il Fiume Oglio, il Canale Dugale Tagliata, il Canale Tartaro Fabrezza e Osone Nuovo. Per quanto riguarda i primi due corsi

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

d'acqua, i principali attraversamenti, si rimanda alla relazione idrologica specifica per maggiori informazioni NM2503D09RIID0001001A.

La presente relazione ha come oggetto lo studio idrologico inerenti i bacini del Torrente Tartaro Fabbrezza (VI03), Canale Osone (VI04) e i seguenti attraversamenti secondari:

WBS	Progressiva pk (km)	Toponimo	WBS	Progressiva pk (km)	Toponimo
IN01	86+414.16	Angeli-Cerese	IN28	67+622.12	-
IN03	85+726.72		IN29	66+950.00	
IN04	83+865.43	Osone Nuovo	IN30	66+749.45	Cavata Alto
IN05	82+872.11	Toscani Settore E	IN31	66+685.00	
IN06	81+755.82	Osone Nuovo	IN32	65+878.54	
IN07	81+461.18		IN33	65+055.41	Canale Secondario di Bozzolo
IN08	81+352.87		IN34	64+868.40	
IN09	80+519.90		IN35	64+507.41	Pozza
IN10	77+706.51		IN36	64+180.03	
IN11	77+447.84		IN38	61+945.82	Gambina di Romprezzagno
IN12	76+342.83		IN40	60+613.89	Canale principale d'irrigazione da Calvatone
IN13	75+687.44		IN42	60+208.00	
IN14	75+390.17		IN43	59+464.59	
IN15	74+979.53		IN44	58+745.62	
IN17	74+660.78		IN45	58+644.20	Gambina di sotto
IN18	74+364.61		IN46	58+209.39	
IN20	73+963.00		IN49	57+704.36	
IN21	72+797.03		IN50	57+542.38	
IN22	72+660.31		IN51	57+282.01	
IN23	72+194.27	Canale di bonifica di Ospitaletto	IN52	57+133.49	
IN24	71+360.10	Tartaro Fabbrezza	IN53	56+306.45	
IN25	70+085.32				

Tabella 1 – Elenco attraversamenti idraulici della linea di raddoppio di progetto

**Cavo Angeli-Cerese
(IN01)**



**Canale Osone
(IN04 a ovest e IN06 a est)**



**Toscani Settore E
(IN05)**



**Canale di bonifica Ospitaletto e Torrente Tartaro
Fabrezza
(VI04 a ovest e IN23 a est)**



**Cavata Alto
(IN30)**



**Pozza e Canale Secondario di Bozzolo
(IN35 a sud e IN33 a nord)**



	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

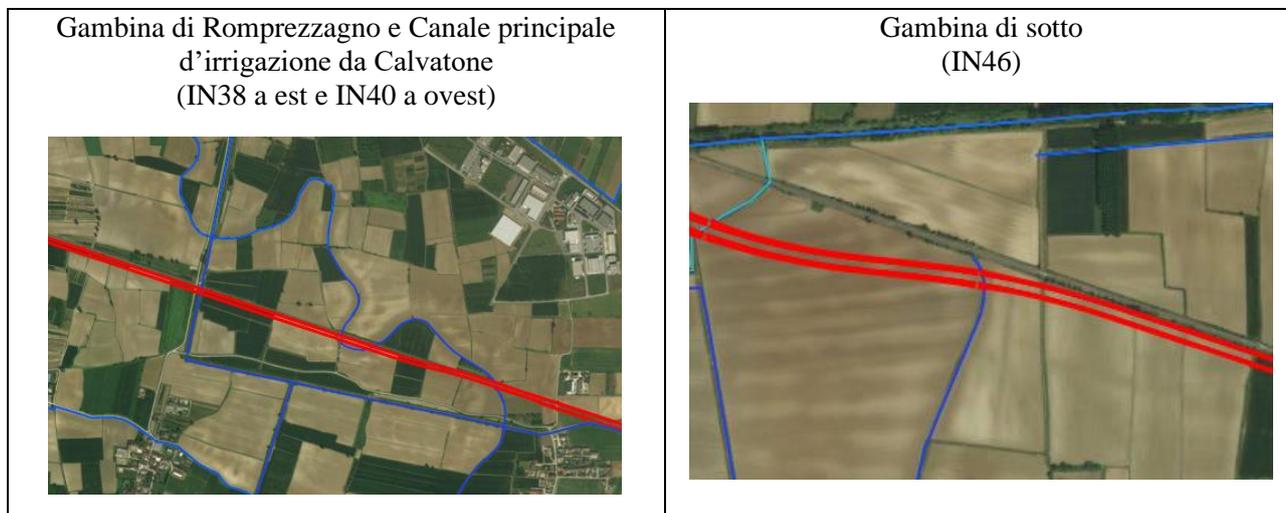


Figura 7 – Inquadramento su ortofoto degli attraversamenti secondari di maggiore importanza

3.3. Torrente Tartaro Fabbrezza (VI03)

Tra le progressive 71+360 km e 71+374 km, la linea di progetto incontra il Torrente Tartaro Fabbrezza.

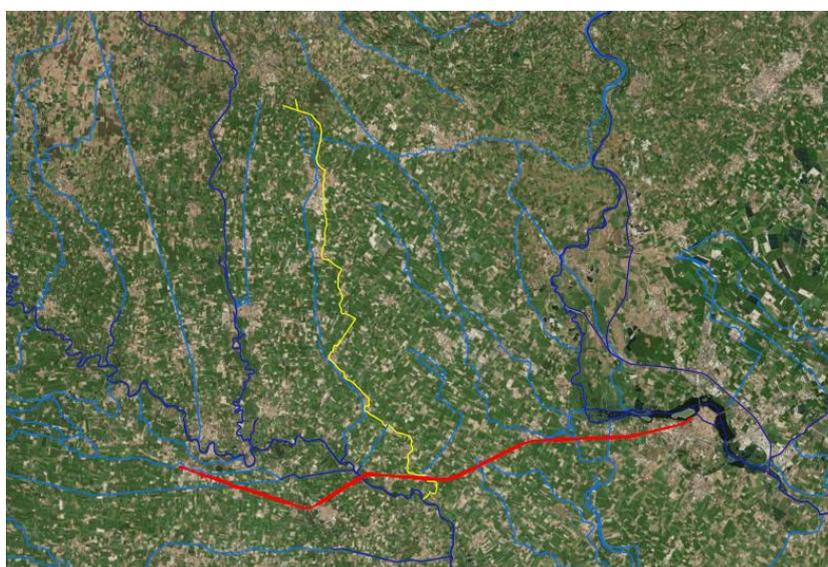


Figura 8 – Inquadramento VI03 Torrente Tartaro Fabbrezza – Corso d'acqua in oggetto evidenziato in giallo e tratta di progetto in rosso

Il torrente Tartaro Fabbrezza nasce nella zona a nord di Castel Goffredo e confluisce dopo circa 35 km nel Fiume Oglio nel Comune di Marcara, attraversando con direzione da Nord verso Sud i territori dei comuni di Casaloldo, Mariana e Redonesco. Lo scarico in corrispondenza dello sfocio nel Fiume Oglio avviene previa l'esistenza di una paratoia. Il corso d'acqua appartiene al reticolo principale ed è in gestione al Consorzio di Bonifica Garda Chiese.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Le immagini seguenti mostrano lo stato di fatto dell'attraversamento ferroviario sul corso in oggetto, rinvenuto durante le attività di sopralluogo del 2018 condotte con strumentazioni quali stadia, distanziometro digitale elettronico, strumento di misura GPS mobile, fotocamera con possibilità di georeferenziazione.



Figura 9 – VI03 Torrente Tartaro Fabbrezza Opera esistente lato nord



Figura 10 – VI03 Torrente Tartaro Fabbrezza tratto a valle dell'attraversamento ferroviario – fotografia scattata durante il sopralluogo di giugno 2022



Figura 11 – VI03 Torrente Tartaro Fabbrezza ponte stradale esistente a valle di quello di progetto sulla SP78 – fotografia scattata durante il sopralluogo di giugno 2022

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Allo stato attuale è presente un ponte a forma di arco con altezza massima pari a 3m e larghezza 9m.

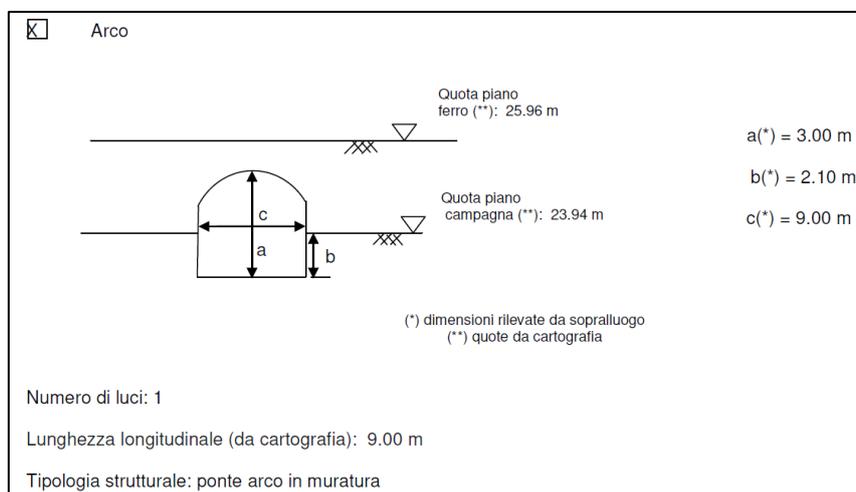


Figura 12 – Stralcio censimento opere esistenti VI03, Fonte: NMIS00F10RIID0002002A

3.4.Osone Nuovo (VI04)

Tra le progressive 83+865 km e 83+884 km, la linea di progetto incontra il canale Osone Nuovo (VI04).

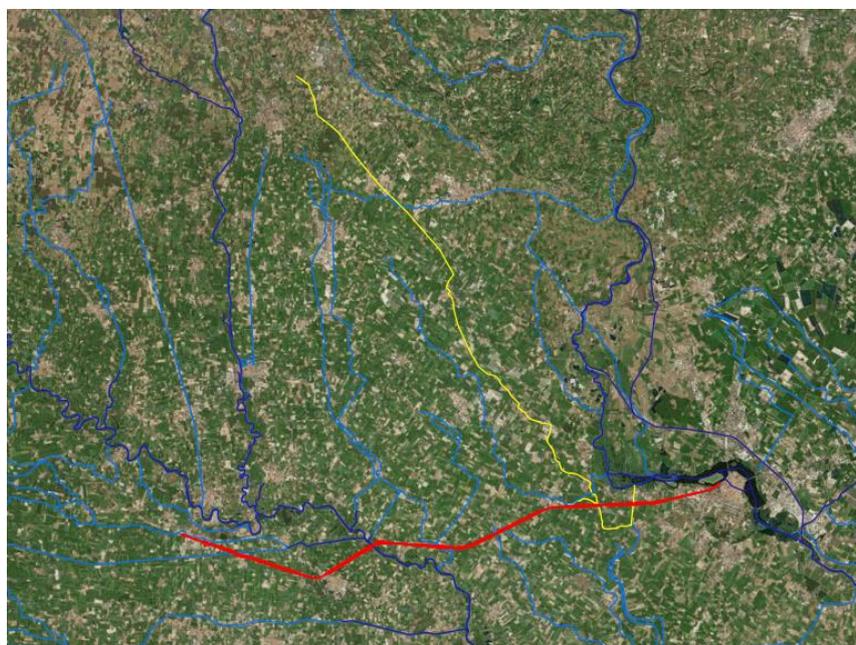


Figura 13 – Inquadramento VI04 Osone Nuovo – Corso d'acqua in oggetto evidenziato in giallo e tratta di progetto in rosso

Il Canale Osone nasce a est del Comune di Castel Goffredo e sfocia dopo circa 35km nel Fiume Mincio nel Comune di Grazie di Curtatone. In prossimità del Comune di Castellucchio, è esistente un deviatore, da cui diparte l'Osone vecchio, che sfocia nel Lago Superiore a nord, e l'Osone Nuovo, il quale prosegue verso sud fino alla "Rocca di Montanara", per poi risalire a nord nel Lago Superiore.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Le immagini seguenti mostrano lo stato di fatto dell'attraversamento ferroviario sul corso in oggetto, rinvenuto durante le attività di sopralluogo del 2018 condotte con strumentazioni quali stadia, distanziometro digitale elettronico, strumento di misura GPS mobile, fotocamera con possibilità di georeferenziazione.



Figura 14 – VI04 Osone Nuovo Opera esistente lato nord

Allo stato attuale è presente un ponte ad arco con altezza massima pari a 5m e larghezza 6m.

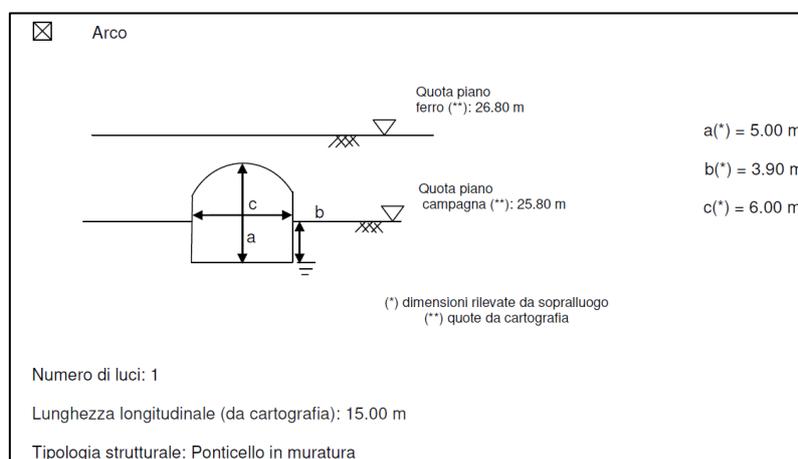


Figura 15 – Stralcio censimento opere esistenti VI04, Fonte: NMIS00F10RIID0002002A

4. ANALISI IDROLOGICA

Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata t , viene effettuata mediante una curva, detta linea segnalatrice di possibilità pluviometrica (LSPP), caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

$$h = at^n$$

nella quale h rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo t ; a ed n sono dei coefficienti determinati statisticamente.

Per la determinazione delle LSPP associate ai diversi tempi di ritorno T_r sono stati analizzati e confrontati i risultati di diversi studi:

- Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni definiti dall'Autorità di bacino del Fiume Po all'interno della “*Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*”;
- Due nuovi servizi sviluppati da ARPA Lombardia 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;
- Analisi statistica tramite il modello probabilistico di Gumbel dei dati osservati ai pluviografi Cremona Via Fatebenefratelli e Pieve San Giacomo.

Nei paragrafi a seguire si riportano le LSPP dedotte dai vari studi e la scelta dei parametri pluviometrici più cautelativi adottati nel progetto definiti in seguito al confronto tra le varie LSPP.

4.1. Analisi statistica delle piogge - PAI ADBPO

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.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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.



Figura 16 – Inquadramento area di intervento in rosso e celle PAI in blu

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 indicati come “AG_(tempo di ritorno)” e “NG_(tempo di ritorno)”:

DESCRIZION E	ESTUT M	NORDUT M	AG_1 0	NG_1 0	AG_2 0	NG_2 0	AG_5 0	NG_5 0	AG_10 0	NG_10 0	AG_20 0	NG_20 0	AG_50 0	NG_50 0
EX101	607000	4999000	47.851	0.2305	55.351	0.2285	65.04	0.2236	72.304	0.2213	79.538	0.2184	89.114	0.2163
EX102	607000	4997000	47.468	0.2339	54.839	0.2321	64.366	0.2277	71.508	0.2258	78.621	0.2232	88.034	0.2213
EY101	609000	4999000	48.504	0.2283	56.09	0.2261	65.89	0.2208	73.237	0.2184	80.558	0.2153	90.241	0.2129
EY102	609000	4997000	48.169	0.2319	55.635	0.2299	65.284	0.2251	72.516	0.223	79.724	0.2201	89.255	0.2181
EZ102	611000	4997000	48.979	0.2293	56.57	0.2272	66.38	0.2217	73.732	0.2194	81.064	0.2162	90.751	0.214
FA102	613000	4997000	49.848	0.2267	57.584	0.2243	67.58	0.2182	75.073	0.2156	82.557	0.212	92.425	0.2094
FA103	613000	4995000	49.157	0.2318	56.704	0.2297	66.458	0.2242	73.767	0.2219	81.061	0.2187	90.683	0.2164
FB102	615000	4997000	50.478	0.2237	58.322	0.221	68.458	0.2142	76.053	0.2112	83.644	0.2073	93.648	0.2044
FB103	615000	4995000	50.253	0.2276	58.006	0.2251	68.025	0.2187	75.533	0.2159	83.029	0.2122	92.911	0.2095
FC102	617000	4997000	49.762	0.2234	57.455	0.2206	67.394	0.2137	74.842	0.2105	82.278	0.2065	92.085	0.2035
FC103	617000	4995000	49.246	0.228	56.795	0.2254	66.548	0.2188	73.857	0.2158	81.156	0.2121	90.777	0.2092
FD101	619000	4999000	48.283	0.2216	55.714	0.2188	65.306	0.212	72.496	0.2086	79.675	0.2047	89.152	0.2017

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

DESCRIZIONE	ESTUT M	NORDUT M	AG_1 0	NG_1 0	AG_2 0	NG_2 0	AG_5 0	NG_5 0	AG_10 0	NG_10 0	AG_20 0	NG_20 0	AG_50 0	NG_50 0
FD102	619000	4997000	48.127	0.2249	55.491	0.2222	65.000	0.2155	72.128	0.2122	79.245	0.2084	88.635	0.2053
FE102	621000	4997000	46.452	0.2261	53.485	0.2233	62.561	0.2169	69.366	0.2135	76.161	0.2098	85.131	0.2068
FF102	623000	4997000	44.894	0.2268	51.624	0.2241	60.301	0.2179	66.811	0.2143	73.309	0.2108	81.892	0.2078
FG101	625000	4999000	44.273	0.2224	50.897	0.2197	59.433	0.2137	65.834	0.2101	72.226	0.2067	80.682	0.2038
FG102	625000	4997000	43.523	0.2267	49.987	0.224	58.316	0.218	64.567	0.2143	70.805	0.2109	79.054	0.208
FH101	627000	4999000	43.156	0.2215	49.559	0.2189	57.802	0.2131	63.984	0.2096	70.159	0.2063	78.336	0.2035
FI100	629000	5001000	42.807	0.2165	49.133	0.2141	57.277	0.2087	63.381	0.2054	69.482	0.2023	77.574	0.1997
FI101	629000	4999000	42.21	0.2198	48.423	0.2173	56.416	0.2118	62.409	0.2083	68.398	0.2052	76.337	0.2026
FJ100	631000	5001000	42.038	0.2142	48.209	0.2119	56.142	0.2069	62.087	0.2036	68.03	0.2007	75.925	0.1984
FK100	633000	5001000	41.373	0.2113	47.407	0.2091	55.163	0.2045	60.967	0.2015	66.774	0.1987	74.499	0.1966
FL100	635000	5001000	40.851	0.208	46.768	0.2061	54.363	0.2019	60.047	0.1991	65.738	0.1966	73.322	0.1947
FM100	637000	5001000	40.407	0.204	46.229	0.2023	53.696	0.1984	59.28	0.1959	64.876	0.1935	72.346	0.1919
FN100	639000	5001000	40.052	0.1999	45.793	0.1984	53.149	0.195	58.645	0.1927	64.158	0.1906	71.533	0.1893

Tabella 2 – Parametri pluviometrici LSPP Fonte ADBPO

A seguire si riporta in forma tabulare e grafica il confronto tra le LSPP ottenute per tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni per le celle di interesse. Dal confronto emerge che la LSPP ottenuta a partire dei parametri assegnati alla cella FB102 porti alla stima di valori più cautelativi di altezze di pioggia per durate fino a 4 ore, oltre tale durata sono più cautelative le LSPP stimate per la cella FB103.

Durate (ore)	Tr20 anni																								
	EX101	EX102	EY101	EY102	EZ102	FA102	FA103	FB102	FB103	FC102	FC103	FD101	FD102	FE102	FF102	FG101	FG102	FH101	FI100	FI101	FJ100	FK100	FI100	FM100	FN100
1	55.35	54.84	56.09	55.64	56.57	57.58	56.70	58.32	58.01	57.46	56.79	55.71	55.49	53.49	51.62	50.90	49.99	49.56	49.13	48.42	48.21	47.41	46.77	46.23	45.79
2	64.85	64.41	65.61	65.25	66.22	67.27	66.49	67.98	67.80	66.95	66.40	64.84	64.73	62.44	60.30	59.27	58.38	57.68	56.99	56.29	55.83	54.91	53.95	53.19	52.54
3	71.14	70.77	71.91	71.62	72.60	73.67	72.98	74.35	74.28	73.21	72.75	70.85	70.83	68.36	66.03	64.79	63.93	63.03	62.16	61.48	60.84	59.83	58.65	57.73	56.95
4	75.98	75.66	76.74	76.52	77.51	78.58	77.96	79.23	79.25	78.01	77.62	75.45	75.50	72.89	70.43	69.02	68.18	67.13	66.11	65.44	64.67	63.59	62.23	61.19	60.29
5	79.95	79.68	80.71	80.55	81.54	82.62	82.06	83.24	83.33	81.94	81.62	79.23	79.34	76.62	74.04	72.49	71.68	70.49	69.34	68.70	67.80	66.67	65.16	64.02	63.02
6	83.35	83.12	84.11	84.00	84.98	86.07	85.57	86.66	86.83	85.31	85.05	82.45	82.62	79.80	77.13	75.45	74.67	73.36	72.10	71.47	70.47	69.29	67.66	66.42	65.34
7	86.34	86.15	87.09	87.03	88.01	89.09	88.65	89.66	89.89	88.26	88.05	85.28	85.50	82.60	79.84	78.05	77.29	75.87	74.52	73.91	72.81	71.59	69.84	68.53	67.37
8	89.01	88.86	89.76	89.74	90.72	91.80	91.41	92.35	92.63	90.90	90.74	87.81	88.07	85.10	82.26	80.38	79.63	78.12	76.68	76.08	74.89	73.65	71.79	70.40	69.18
9	91.44	91.33	92.19	92.20	93.18	94.26	93.92	94.78	95.12	93.29	93.19	90.10	90.41	87.36	84.46	82.49	81.76	80.16	78.64	78.05	76.79	75.51	73.55	72.10	70.81
10	93.67	93.59	94.41	94.47	95.44	96.51	96.22	97.02	97.41	95.48	95.42	92.20	92.55	89.44	86.48	84.42	83.72	82.03	80.43	79.86	78.52	77.21	75.17	73.65	72.31
11	95.73	95.68	96.47	96.56	97.53	98.60	98.35	99.08	99.52	97.51	97.50	94.14	94.53	91.37	88.34	86.20	85.52	83.76	82.09	81.53	80.12	78.79	76.66	75.09	73.69
12	97.65	97.63	98.38	98.51	99.48	100.54	100.33	101.01	101.49	99.40	99.43	95.95	96.37	93.16	90.08	87.87	87.20	85.37	83.63	83.09	81.61	80.26	78.04	76.42	74.97
13	99.46	99.46	100.18	100.34	101.30	102.36	102.19	102.81	103.33	101.17	101.24	97.64	98.10	94.84	91.71	89.43	88.78	86.88	85.08	84.55	83.01	81.63	79.34	77.67	76.17
14	101.16	101.19	101.87	102.06	103.02	104.08	103.95	104.51	105.07	102.84	102.94	99.24	99.73	96.42	93.25	90.90	90.27	88.30	86.44	85.92	84.32	82.92	80.56	78.84	77.30
15	102.76	102.82	103.48	103.70	104.65	105.70	105.61	106.11	106.72	104.42	104.55	100.75	101.27	97.92	94.70	92.28	91.67	89.65	87.73	87.22	85.56	84.14	81.72	79.95	78.37
16	104.29	104.37	105.00	105.25	106.19	107.24	107.19	107.64	108.28	105.91	106.09	102.18	102.74	99.34	96.08	93.60	93.01	90.92	88.95	88.45	86.74	85.30	82.81	81.00	79.38
17	105.74	105.85	106.45	106.72	107.67	108.71	108.69	109.09	109.77	107.34	107.55	103.55	104.13	100.70	97.39	94.86	94.28	92.14	90.11	89.62	87.86	86.40	83.85	82.00	80.34
18	107.13	107.27	107.83	108.13	109.07	110.11	110.12	110.47	111.19	108.70	108.94	104.85	105.46	101.99	98.65	96.06	95.49	93.30	91.22	90.74	88.93	87.45	84.85	82.95	81.25
19	108.47	108.62	109.16	109.49	110.42	111.46	111.50	111.80	112.55	110.00	110.27	106.10	106.73	103.23	99.85	97.20	96.66	94.41	92.28	91.81	89.96	88.46	85.80	83.86	82.13
20	109.74	109.92	110.43	110.79	111.72	112.75	112.82	113.08	113.86	111.26	111.56	107.29	107.96	104.42	101.01	98.31	97.77	95.47	93.30	92.84	90.94	89.43	86.71	84.74	82.97
21	110.97	111.17	111.66	112.04	112.96	113.99	114.09	114.30	115.11	112.46	112.79	108.45	109.13	105.56	102.12	99.37	98.85	96.50	94.28	93.83	91.89	90.36	87.59	85.58	83.78
22	112.16	112.38	112.84	113.24	114.16	115.18	115.32	115.48	116.33	113.62	113.98	109.55	110.27	106.67	103.19	100.39	99.88	97.48	95.22	94.79	92.80	91.25	88.43	86.39	84.55
23	113.31	113.55	113.98	114.40	115.32	116.34	116.50	116.62	117.50	114.74	115.13	110.63	111.36	107.73	104.22	101.37	100.88	98.44	96.13	95.71	93.67	92.12	89.24	87.17	85.30
24	114.41	114.67	115.08	115.53	116.44	117.45	117.65	117.73	118.63	115.82	116.24	111.66	112.42	108.76	105.22	102.33	101.85	99.36	97.01	96.60	94.52	92.95	90.03	87.92	86.03

Tabella 3 – Altezze di piogge da LSPP PAI ADBPO – Tr20anni – in azzurro i valori di precipitazione più alti per durata

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA

TRATTA PIADENA MANTOVA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D26RH	ID00000D	B	20 di 66

TR50 anni																									
Durate (ore)	EX101	EX102	EY101	EY102	EZ102	FA102	FA103	FB102	FB103	FC102	FC103	FD101	FD102	FE102	FF102	FG101	FG102	FH101	FI100	FI101	FI100	FK100	FL100	FM100	FN100
1	65.040	64.366	65.890	65.284	66.380	67.580	66.458	68.458	68.025	67.394	66.548	65.306	65.000	62.561	60.301	59.433	58.316	57.802	57.277	56.416	56.142	55.163	54.363	53.696	53.149
2	75.942	75.370	76.788	76.307	77.408	78.615	77.630	79.417	79.158	78.153	77.446	75.741	72.711	70.131	68.923	67.626	66.193	65.339	63.564	62.528	61.614	60.842	59.878	59.028	58.282
3	83.148	82.660	83.981	83.598	84.690	85.887	85.016	86.623	86.497	85.226	84.630	82.435	82.362	79.396	76.608	75.163	74.093	73.052	72.039	71.200	70.469	69.059	67.862	66.777	65.848
4	88.672	88.256	89.489	89.190	90.268	91.451	90.679	92.130	92.114	90.630	90.129	87.620	87.630	84.509	81.563	79.929	78.888	77.672	76.498	75.674	74.790	73.244	71.920	70.700	69.648
5	93.208	92.856	94.010	93.784	94.847	96.014	95.331	96.641	96.720	95.056	94.638	91.865	91.946	88.700	85.626	83.834	82.820	81.455	80.145	79.337	78.324	76.664	75.234	73.901	72.746
6	97.086	96.792	97.872	97.713	98.760	99.911	99.308	100.491	100.654	98.832	98.490	95.485	95.631	92.278	89.095	87.165	86.177	84.682	83.254	82.461	81.335	79.576	78.054	76.623	75.379
7	100.490	100.250	101.261	101.163	102.194	103.329	102.799	103.864	104.104	102.142	101.868	98.657	98.861	95.416	92.138	90.085	89.122	87.511	85.976	85.198	83.970	82.125	80.522	79.004	77.680
8	103.536	103.345	104.291	104.205	105.265	106.384	105.923	106.879	107.189	105.098	104.888	101.491	101.717	98.220	94.858	92.693	91.754	90.037	88.406	87.642	86.322	84.398	82.722	81.125	79.729
9	106.299	106.154	107.040	107.050	108.051	109.153	108.757	109.610	109.985	107.777	107.627	104.057	104.362	100.762	97.324	95.056	94.140	92.326	90.607	89.857	88.451	86.456	84.712	83.043	81.582
10	108.832	108.731	109.559	109.619	110.605	111.691	111.356	112.112	112.544	110.231	110.137	106.408	106.759	103.091	99.583	97.220	96.326	94.422	92.621	91.885	90.401	88.339	86.533	84.798	83.275
11	111.176	111.117	111.890	111.996	112.967	114.039	113.761	114.425	114.919	112.498	112.458	108.580	108.974	105.245	101.673	99.221	98.348	96.360	94.482	93.759	92.201	90.077	88.215	86.417	84.838
12	113.360	113.340	114.060	114.211	115.168	116.225	116.002	116.577	117.127	114.610	114.619	110.601	111.037	107.250	103.618	101.084	100.231	98.164	96.214	95.503	93.875	91.695	89.778	87.922	86.289
13	115.407	115.425	116.094	116.288	117.230	118.272	118.102	118.594	119.195	116.587	116.644	112.494	112.969	109.129	105.441	102.823	101.995	99.853	97.835	97.136	95.443	93.208	91.240	89.330	87.647
14	117.335	117.389	118.010	118.243	119.173	120.200	120.081	120.492	121.142	118.448	118.551	114.276	114.787	110.897	107.157	104.470	103.656	101.442	99.360	98.673	96.917	94.631	92.616	90.653	88.923
15	119.159	119.248	119.822	120.094	121.010	122.024	121.952	122.286	122.984	120.207	120.354	115.960	116.506	112.569	108.780	106.021	105.227	102.945	100.801	100.126	98.311	95.976	93.915	91.903	90.127
16	120.891	121.013	121.542	121.851	122.754	123.754	123.729	123.988	124.731	121.876	122.066	117.557	118.138	114.156	110.321	107.494	106.717	104.371	102.168	101.504	99.632	97.251	95.146	93.087	91.265
17	122.541	122.695	123.180	123.525	124.415	125.402	125.422	125.609	126.391	123.465	123.696	119.078	119.692	115.667	111.787	108.896	108.137	105.728	103.470	102.816	100.890	98.464	96.318	94.214	92.369
18	124.117	124.303	124.744	125.125	126.002	126.976	127.040	127.157	127.986	124.982	125.252	120.530	121.175	117.110	113.188	110.234	109.493	107.024	104.711	104.069	102.090	99.622	97.436	95.289	93.390
19	125.627	125.842	126.243	126.657	127.522	128.483	128.589	128.638	129.508	126.345	126.743	121.920	122.595	118.492	114.529	111.516	110.791	108.264	105.700	105.268	103.238	100.729	98.505	96.317	94.380
20	127.076	127.321	127.681	128.128	128.981	129.929	130.076	130.059	130.969	127.828	128.173	123.253	123.958	119.818	115.816	112.745	112.036	109.455	107.040	106.418	104.339	101.792	99.530	97.302	95.329
21	128.469	128.743	129.064	129.548	130.384	131.319	131.506	131.426	132.373	129.168	129.549	124.534	125.268	121.093	117.054	113.927	113.234	110.599	108.135	107.523	105.398	102.812	100.516	98.249	96.240
22	129.813	130.114	130.397	130.906	131.736	132.659	132.885	132.742	133.727	130.458	130.874	125.769	126.530	122.321	118.246	115.065	114.388	111.701	109.191	108.588	106.417	103.795	101.464	99.160	97.117
23	131.109	131.438	131.683	132.222	133.041	133.952	134.216	134.012	135.033	131.703	132.173	126.960	127.748	123.506	119.397	116.164	115.502	112.764	110.208	109.616	107.400	104.743	102.379	100.038	97.963
24	132.363	132.718	132.926	133.495	134.302	135.202	135.502	135.240	136.296	132.906	133.390	128.111	128.925	124.651	120.509	117.225	116.578	113.791	111.192	110.608	108.350	105.658	103.262	100.887	98.779

Tabella 4 – Altezze di piogge da LSPP PAI ADBPO – Tr50anni – in azzurro i valori di precipitazione più alti per durata

TR100 anni																									
Durate (ore)	EX101	EX102	EY101	EY102	EZ102	FA102	FA103	FB102	FB103	FC102	FC103	FD101	FD102	FE102	FF102	FG101	FG102	FH101	FI100	FI101	FI100	FK100	FL100	FM100	FN100
1	72.304	71.508	73.237	72.516	73.732	75.073	73.767	76.053	75.533	74.842	73.857	72.496	72.128	69.366	66.811	65.834	64.567	63.984	63.381	62.409	62.087	60.967	60.047	59.280	58.645
2	84.289	83.622	85.205	84.638	85.843	87.170	86.032	88.045	87.728	86.595	85.775	83.772	83.554	80.429	77.510	76.156	74.907	73.986	73.077	72.105	71.499	70.104	68.932	67.900	67.028
3	92.201	91.639	93.093	92.648	93.930	95.312	94.131	95.918	95.755	94.309	93.620	91.165	91.060	87.701	84.547	82.929	81.708	80.547	79.422	78.460	77.653	76.071	74.728	73.512	72.476
4	98.262	97.790	99.129	98.786	99.943	101.217	100.336	101.927	101.891	100.195	99.617	96.803	96.790	93.256	89.923	88.097	86.904	85.552	84.255	83.306	82.338	80.610	79.133	77.773	76.608
5	103.235	102.843	104.079	103.826	104.958	106.205	105.430	106.847	106.921	105.013	104.532	101.415	101.482	97.806	94.328	92.326	91.161	89.648	88.205	87.270	86.166	84.316	82.727	81.248	79.975
6	107.485	107.165	108.306	108.134	109.242	110.462	109.782	111.042	111.214	109.120	108.727	105.346	105.485	101.688	98.087	95.931	94.794	93.139	91.570	90.649	89.426	87.471	85.785	84.202	83.025
7	111.215	110.960	112.014	111.916	113.000	114.194	113.603	114.717	114.979	112.718	112.405	108.888	108.991	105.090	101.381	99.090	97.978	96.197	94.515	93.607	92.277	90.230	88.459	86.782	85.333
8	114.550	114.357	115.328	115.299	116.309	117.019	116.997	118.342	118.342	115.692	115.911	111.861	112.123	108.129	104.324	101.909	100.823	98.926	97.143	96.248	94.827	92.690	90.842	89.082	87.558
9	117.575	117.439	118.333	118.367	119.406	120.550	120.118	120.971	121.390	118.840	118.671	114.643	114.960	110.882	106.991	104.663	103.400	101.399	99.521	98.639	97.123	94.916	92.998	91.161	89.568
10	120.348	120.266	121.087	121.181	122.198	123.319	122.959	123.694	124.184	121.505	121.400	117.190	117.559	113.404	109.435	106.802	105.762	103.662	101.698	100.828	99.129	96.952	94.969	93.062	91.406
11	122.913	122.882	123.634	123.785	124.780	125.879	125.587	126.209	126.766	123.962	124.924	119.543	119.960	115.735	111.693	109.062	107.944	105.753	103.708	102.850	101.174	98.832	96.788	94.815	93.100
12	125.303	125.320	126.005	126.210	127.185	128.262	128.036	128.550	129.170	126.257	126.273	121.733	122.115	117.905	113.795	110.973	109.976	107.699	105.578	104.701	102.983	100.580	98.479	96.445	94.675
13	127.542	127.606	128.277	128.483	129.439	130.494	130.330	130.742	131.422	128.402	128.473	123.782	124.288	119.937	115.764	112.855	111.879	109.521	107.327	106.492	104.675	102.215	100.061	97.969	96.147
14	129.651	129.759	130.319	130.643	131.561	132.694	132.491	133.005	133.542	130.400	130.545	125.711	126.257	121.850	117.617	114.626	113.670	111.235	109.073	108.14					

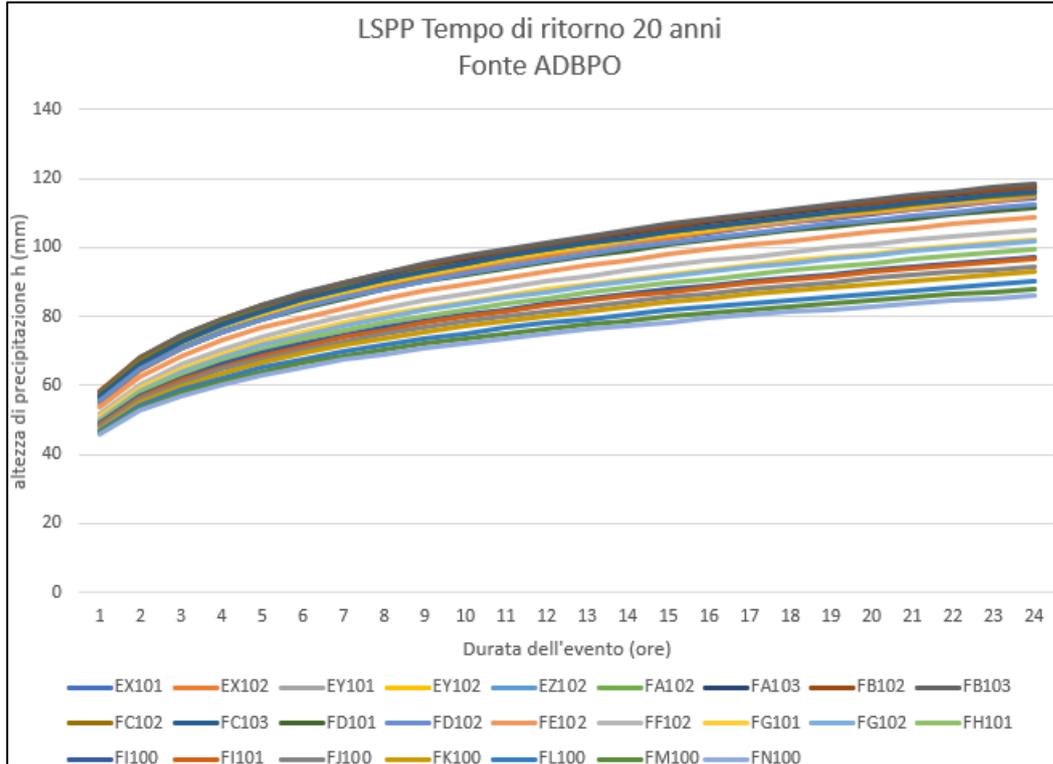


Figura 17 - LSPP da fonte PAI ADBPO – Tr50anni

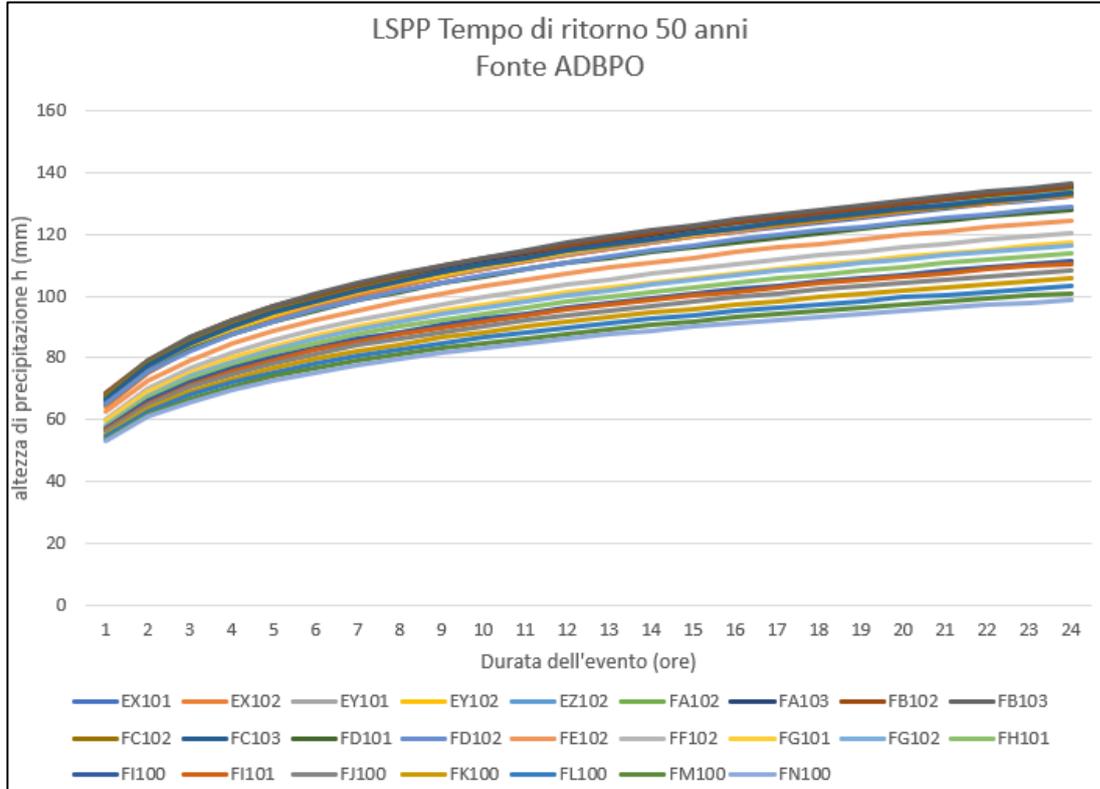


Figura 18 - LSPP da fonte PAI ADBPO – Tr50anni

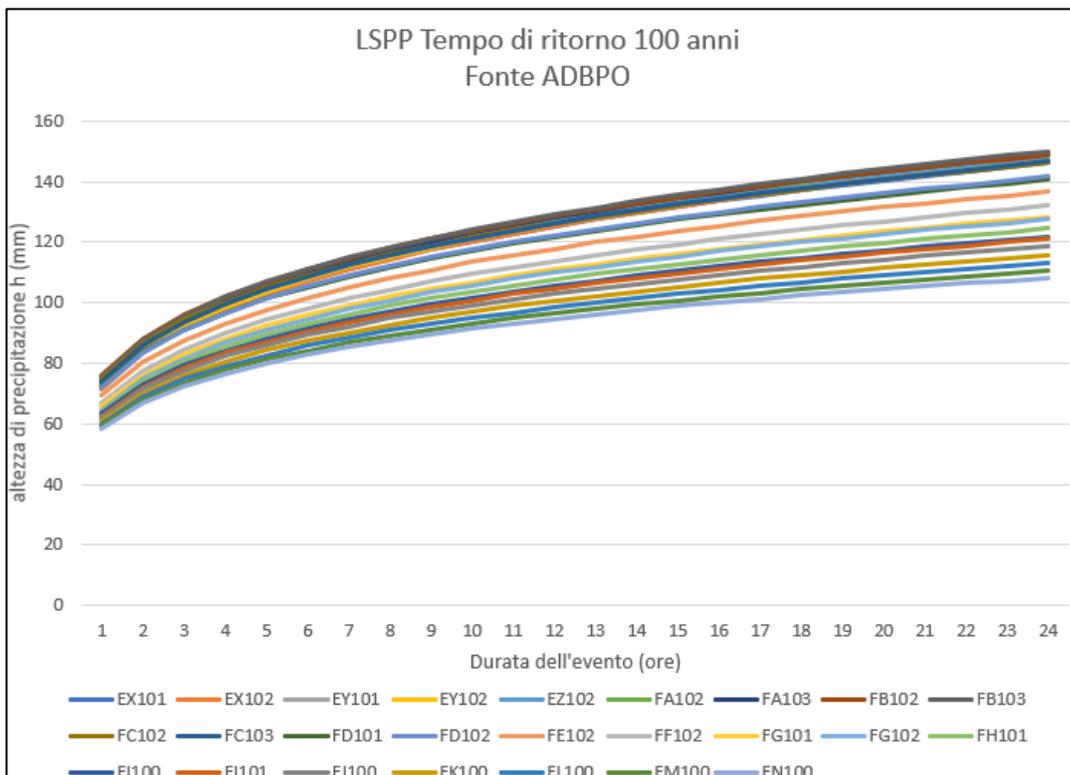


Figura 19 - LSPP da fonte PAI ADBPO – Tr100anni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

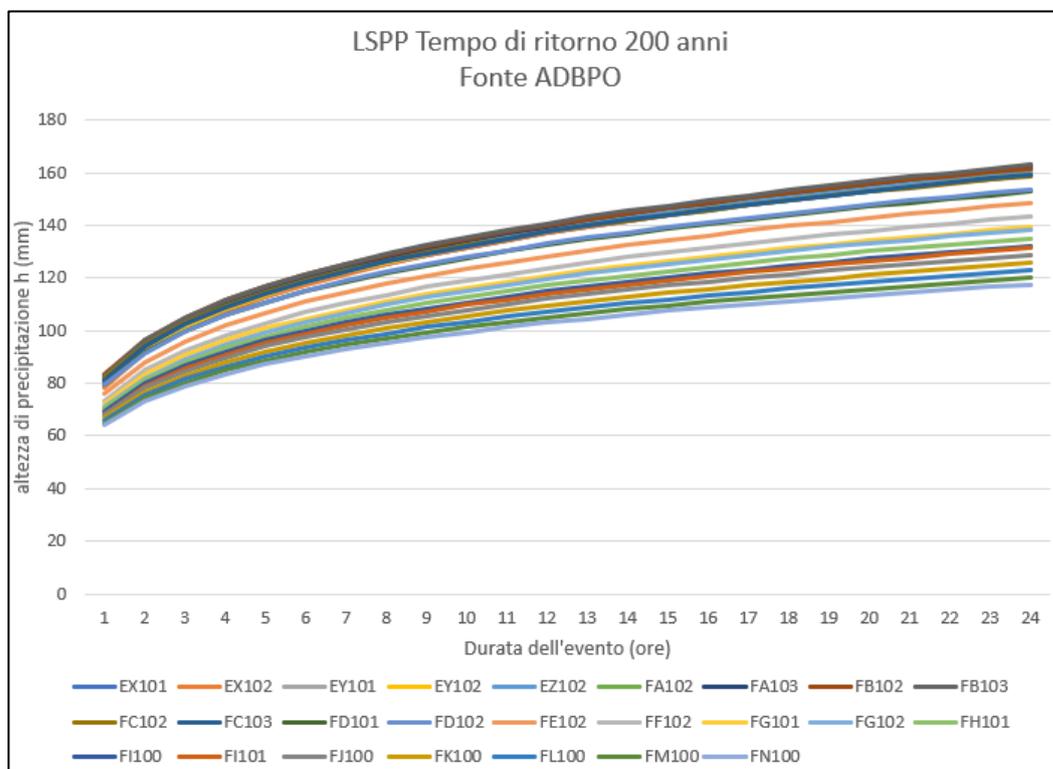


Figura 20 - LSPP da fonte PAI ADBPO – Tr200anni

Nelle successive analisi sono state considerate le sole LSPP ottenute dalle celle FB102 e FB103, essendo quest'ultime più cautelative per tutti i tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni.

Il Manuale di Progettazione ferroviaria di RFI definisce i tempi di ritorno da utilizzare per il dimensionamento delle opere idrauliche in funzione dell'importanza strategica del manufatto. Per le opere idrauliche relative alla piattaforma ferroviaria il tempo di ritorno con cui dimensionare è di 100 anni mentre per alcuni manufatti, come per esempio quelli relativi al drenaggio delle viabilità, il tempo di ritorno di riferimento è 25 anni. Si evince la necessità di definire i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno pari a 25 anni attraverso l'interpolazione dei parametri forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po precedentemente definiti. A seguire si riportano le curve di interpolazione che permettono di definire i parametri pluviometrici relativi al tempo di ritorno di 25 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

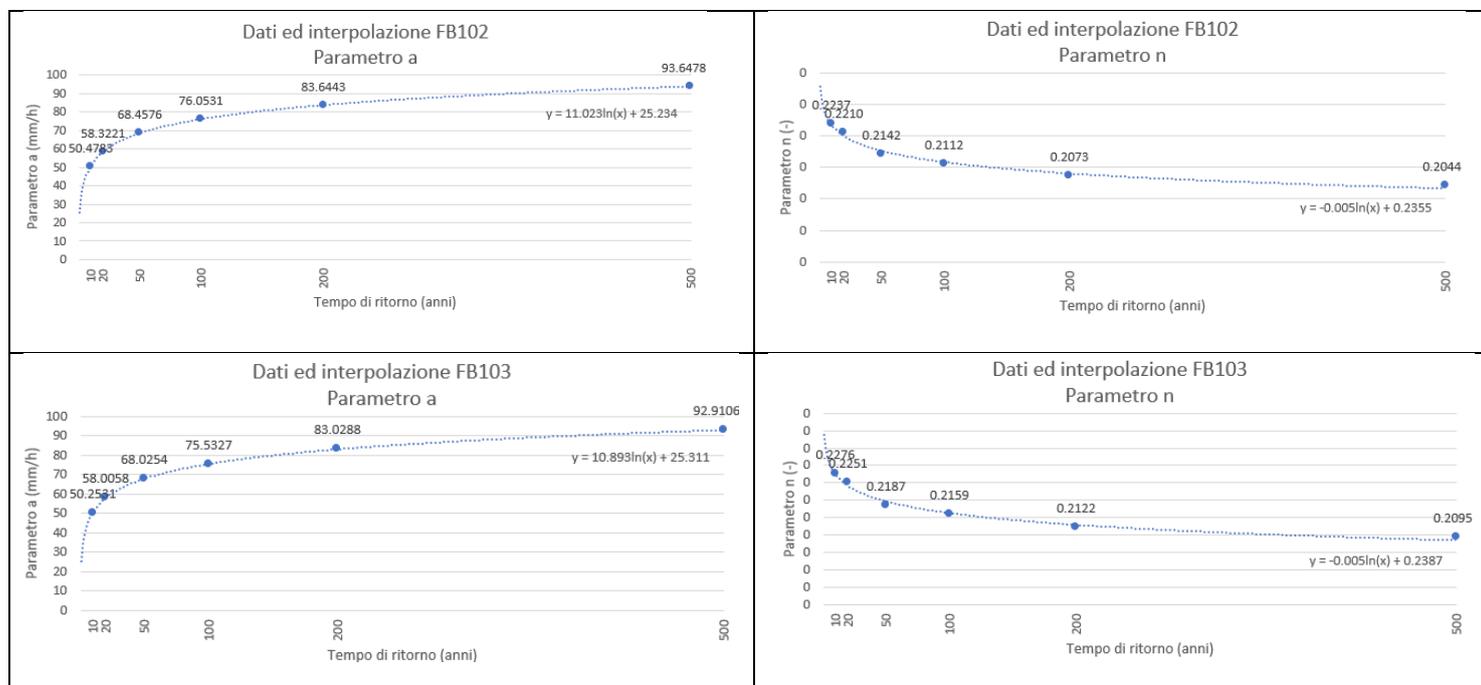


Figura 21 Interpolazioni a ed n – celle PAI FB102 e FB103

I parametri di riferimento per il tempo di ritorno di 25 anni, ottenuti dalle interpolazioni, sono:

TR25anni	FB102	FB103
a (mm/h)	60.718	60.374
n	0.219	0.223

Tabella 7 Estrapolazione parametri a ed n per Tr25 anni a partire dai parametri dell'Allegato 3 – PAI ADBPO

4.2. Analisi statistica delle piogge - ARPA Progetto STRADA

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.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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;

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

- 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.

L'espressione della probabilità cumulata GEV (o distribuzione generalizzata del valore estremo) 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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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

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_T 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:

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

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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.

L'immagine seguente mostra in rosso il tracciato della linea in progetto e in verde la maglia di distribuzione dei parametri pluviometrici disponibili dal progetto STRADA di ARPA.



Figura 22 – Inquadramento area di intervento in rosso e celle ARPA in verde

Di seguito si riepilogano i parametri pluviometrici per le varie celle di interesse:

Parametro	Cella														
	9672	9673	9674	9497	9498	9499	9500	9323	9324	9501	9502	9503	9680	9681	9682
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	26.84	26.81	26.78	26.71	26.76	26.73	26.79	26.71	26.67	26.66	26.69	26.75	26.68	26.68	26.68
N - Coefficiente di scala	0.2608	0.26	0.2604	0.2616	0.2593	0.2593	0.2584	0.259	0.2585	0.2591	0.2581	0.2561	0.2572	0.257	0.2562
GEV - parametro alpha	0.2715	0.2707	0.2711	0.2709	0.27	0.2702	0.27	0.2707	0.2698	0.2698	0.2694	0.2707	0.2706	0.2698	0.27
GEV - parametro kappa	-0.0702	-0.0709	-0.0697	-0.0693	-0.0708	-0.0675	-0.0705	-0.0711	-0.0703	-0.0699	-0.0718	-0.0661	-0.062	-0.0649	-0.0656
GEV - parametro epsilon	0.8228	0.8231	0.8232	0.8235	0.8236	0.8244	0.8237	0.823	0.8238	0.8239	0.8236	0.8246	0.8259	0.8256	0.8252
	9683	9684	9685	9686	9863	9864	9865	9866	9867	9868	10045	10046	10047	10048	
A1 - Coefficiente pluviometrico orario	26.62	26.65	26.63	26.56	26.55	26.65	26.61	26.65	26.57	26.55	26.56	26.54	26.51	26.53	
N - Coefficiente di scala	0.2562	0.2562	0.2556	0.2564	0.2561	0.2546	0.2541	0.2527	0.2538	0.2537	0.2536	0.2532	0.2535	0.2524	
GEV - parametro alpha	0.2691	0.2698	0.2705	0.2699	0.2698	0.2712	0.27	0.2697	0.2705	0.2703	0.2694	0.2696	0.2705	0.2706	
GEV - parametro kappa	-0.0657	-0.066	-0.0642	-0.0655	-0.0631	-0.0639	-0.0651	-0.0624	-0.0607	-0.0621	-0.0631	-0.061	-0.0591	-0.0569	
GEV - parametro epsilon	0.8258	0.8252	0.8254	0.8253	0.826	0.825	0.8254	0.8264	0.8264	0.8261	0.8263	0.8269	0.8268	0.8275	

Figura 23 – Parametri pluviometrici celle ARPA

A seguire si riporta in forma tabulare e grafica il confronto tra le LSPP ottenute per tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni per le celle di interesse. Dal confronto emerge che la LSPP ottenuta a partire dei parametri assegnati alla cella 9672 porti alla stima di valori più cautelativi di altezze di pioggia.



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA
TRATTA PIADENA MANTOVA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
NM25 03 D26RH ID000000D B 1 di 66

Durate (ore)	Tr25 anni																												
	9672	9673	9674	9497	9498	9499	9500	9323	9324	9501	9502	9503	9680	9681	9682	9683	9684	9685	9686	9863	9864	9865	9866	9867	9868	10045	10046	10047	10048
1	48.22	48.12	48.06	47.90	47.98	47.82	48.02	47.95	47.78	47.75	47.84	47.85	47.58	47.61	47.65	47.48	47.60	47.56	47.43	47.32	47.64	47.51	47.47	47.33	47.33	47.31	47.22	47.17	47.14
2	57.77	57.63	57.57	57.43	57.42	57.24	57.44	57.38	57.15	57.14	57.21	57.14	56.86	56.90	56.91	56.71	56.85	56.78	56.65	56.51	56.83	56.66	56.55	56.43	56.42	56.40	56.28	56.23	56.15
3	64.21	64.03	63.98	63.86	63.79	63.58	63.78	63.73	63.47	63.47	63.52	63.40	63.11	63.15	63.14	62.92	63.07	62.97	62.86	62.69	63.01	62.81	62.66	62.55	62.54	62.50	62.36	62.31	62.20
4	69.22	69.01	68.95	68.85	68.73	68.51	68.70	68.66	68.37	68.38	68.41	68.24	67.96	67.99	67.97	67.73	67.89	67.78	67.67	67.49	67.80	67.58	67.38	67.29	67.27	67.24	67.07	67.03	66.89
5	73.36	73.13	73.08	72.98	72.82	72.59	72.78	72.75	72.43	72.45	72.47	72.26	71.97	72.01	71.97	71.71	71.89	71.76	71.66	71.45	71.76	71.52	71.29	71.21	71.19	71.15	70.97	70.93	70.76
6	76.94	76.68	76.63	76.55	76.35	76.10	76.29	76.27	75.93	75.96	75.96	75.71	75.43	75.48	75.41	75.14	75.33	75.18	75.08	74.87	75.17	74.91	74.65	74.58	74.56	74.52	74.32	74.28	74.09
7	80.09	79.81	79.77	79.70	79.46	79.20	79.39	79.37	79.01	79.05	79.04	78.76	78.48	78.51	78.45	78.17	78.36	78.20	78.11	77.89	78.18	77.90	77.62	77.56	77.53	77.49	77.28	77.24	77.03
8	82.93	82.63	82.59	82.53	82.26	82.00	82.18	82.17	81.79	81.83	81.82	81.50	81.22	81.25	81.18	80.89	81.09	80.92	80.83	80.59	80.88	80.59	80.28	80.23	80.21	80.16	79.94	79.90	79.67
9	85.52	85.20	85.16	85.12	84.81	84.54	84.72	84.71	84.32	84.37	84.34	84.00	83.72	83.75	83.67	83.37	83.57	83.39	83.31	83.06	83.35	83.04	82.71	82.66	82.64	82.59	82.36	82.32	82.08
10	87.90	87.57	87.53	87.49	87.16	86.88	87.06	87.05	86.64	86.70	86.67	86.29	86.02	86.05	85.96	85.65	85.86	85.67	85.59	85.33	85.61	85.29	84.94	84.90	84.88	84.82	84.59	84.55	84.29
11	90.11	89.77	89.73	89.70	89.34	89.05	89.23	89.23	88.80	88.87	88.82	88.43	88.15	88.18	88.08	87.77	87.98	87.78	87.71	87.44	87.71	87.38	87.01	86.98	86.96	86.90	86.65	86.62	86.34
12	92.18	91.82	91.79	91.77	91.38	91.09	91.26	91.26	90.82	90.90	90.84	90.42	90.15	90.18	90.07	89.74	89.96	89.75	89.69	89.41	89.68	89.34	88.94	88.93	88.90	88.84	88.58	88.55	88.26
13	94.13	93.75	93.72	93.71	93.30	93.00	93.17	93.17	92.72	92.80	92.74	92.29	92.02	92.05	91.94	91.60	91.83	91.61	91.55	91.27	91.53	91.17	90.76	90.75	90.72	90.66	90.40	90.37	90.06
14	95.96	95.58	95.55	95.54	95.11	94.80	94.97	94.98	94.52	94.60	94.53	94.06	93.79	93.82	93.70	93.36	93.59	93.36	93.30	93.01	93.27	92.90	92.48	92.47	92.44	92.18	92.11	92.08	91.76
15	97.70	97.31	97.28	97.29	96.82	96.51	96.68	96.69	96.22	96.31	96.23	95.74	95.47	95.50	95.37	95.02	95.26	95.02	94.97	94.67	94.92	94.55	94.10	94.11	94.07	94.01	93.73	93.71	93.37
16	99.36	98.95	98.93	98.94	98.46	98.14	98.30	98.32	97.84	97.93	97.84	97.33	97.07	97.10	96.96	96.61	96.85	96.60	96.55	96.25	96.49	96.11	95.65	95.66	95.63	95.56	95.28	95.25	94.91
17	100.95	100.52	100.50	100.52	100.02	99.69	99.85	99.88	99.38	99.48	99.39	98.85	98.60	98.62	98.48	98.12	98.36	98.11	98.07	97.76	97.99	97.60	97.13	97.14	97.11	97.04	96.75	96.73	96.37
18	102.46	102.03	102.01	102.04	101.51	101.18	101.34	101.37	100.86	100.97	100.86	100.31	100.06	100.08	99.93	99.57	99.81	99.55	99.51	99.20	99.43	99.03	98.54	98.56	98.53	98.46	98.16	98.14	97.77
19	103.92	103.47	103.46	103.49	102.94	102.61	102.76	102.80	102.28	102.39	102.28	101.71	101.46	101.48	101.32	100.96	101.20	100.94	100.90	100.58	100.81	100.40	99.89	99.93	99.89	99.82	99.51	99.49	99.11
20	105.32	104.86	104.85	104.89	104.32	103.99	104.14	104.17	103.65	103.76	103.64	103.06	102.80	102.83	102.66	102.29	102.54	102.27	102.24	101.91	102.13	101.72	101.20	101.24	101.20	101.12	100.81	100.80	100.40
21	106.67	106.20	106.19	106.24	105.65	105.31	105.46	105.50	104.96	105.08	104.96	104.35	104.10	104.12	103.95	103.58	103.83	103.56	103.53	103.19	103.41	102.99	102.45	102.50	102.46	102.38	102.07	102.05	101.65
22	107.97	107.49	107.48	107.54	106.93	106.59	106.73	106.78	106.23	106.36	106.23	105.60	105.36	105.38	105.20	104.82	105.08	104.79	104.73	104.43	104.64	104.21	103.66	103.71	103.67	103.60	103.28	103.26	102.85
23	109.23	108.74	108.73	108.79	108.17	107.82	107.97	108.01	107.46	107.59	107.45	106.81	106.57	106.59	106.41	106.02	106.28	105.99	105.97	105.62	105.83	105.39	104.84	104.89	104.85	104.77	104.45	104.43	104.01
24	110.45	109.95	109.95	110.01	109.37	109.02	109.16	109.21	108.65	108.78	108.64	107.98	107.74	107.76	107.57	107.18	107.45	107.15	107.13	106.78	106.99	106.54	105.97	106.03	105.99	105.91	105.58	105.56	105.13

Figura 24 – LSPP – Tr25anni – Fonte ARPA

Durate (ore)	Tr50 anni																												
	9672	9673	9674	9497	9498	9499	9500	9323	9324	9501	9502	9503	9680	9681	9682	9683	9684	9685	9686	9863	9864	9865	9866	9867	9868	10045	10046	10047	10048
1	54.79	54.69	54.60	54.41	54.28	54.28	54.55	54.50	54.28	54.23	54.36	54.29	53.91	53.99	54.05	53.84	53.99	53.92	53.79	53.62	54.01	53.88	53.78	53.60	53.62	53.60	53.47	53.39	53.32
2	65.65	65.49	65.40	65.23	64.96	64.96	65.26	65.21	64.93	64.90	65.01	64.84	64.43	64.52	64.55	64.31	64.48	64.37	64.25	64.04	64.44	64.26	64.07	63.91	63.93	63.90	63.73	63.64	63.51
3	72.97	72.77	72.68	72.53	72.17	72.17	72.46	72.43	72.10	72.09	72.18	71.93	71.51	71.60	71.62	71.35	71.54	71.40	71.29	71.05	71.45	71.23	70.99	70.84	70.85	70.83	70.62	70.53	70.36
4	78.66	78.42	78.34	78.20	77.76	77.76	78.06	78.04	77.67	77.67	77.75	77.43	77.00	77.10	77.10	76.80	77.01	76.85	76.75	76.48	76.88	76.63	76.34	76.20	76.22	76.19	75.95	75.87	75.66
5	83.37	83.11	83.02	82.90	82.39	82.39	82.69	82.68	82.28	82.29	82.36	81.99	81.55	81.65	81.63	81.32	81.54	81.36	81.27	80.97	81.37	81.10	80.77	80.64	80.66	80.62	80.37	80.29	80.04
6	87.43	87.14	87.06	86.95	86.38	86.38	86.68	86.66	86.25	86.27	86.33	85.90	85.46	85.57	85.54	85.21	85.44	85.24	85.16	84.85	85.24	84.95	84.58	84.46	84.48	84.44	84.16	84.08	83.81
7	91.02	90.71	90.63	90.53	89.90	89.90	90.20	90.21	89.76	89.79	89.83	89.36	88.92	89.02	89.08	88.64	88.89	88.67	88.53	88.26	88.64	88.34	87.93	87.63	87.65	87.60	87.51	87.43	87.13
8	94.24	93.91	93.83	93.75	93.07	93.07	93.37	93.38	92.91	92.95	92.98	92.47	92.02	92.13	92.08	91.73	91.98	91.75	91.68	91.33	91.71	91.39	90.95	90.86	90.87	90.83	90.52	90.44	90.12
9	97.18	96.83	96.76	96.68	95.95	95.95	96.25	96.28	95.78	95.83	95.85	95.30	94.86	94.96	94.90	94.54	94.80	94.55	94.49	94.13	94.51	94.17	93.70	93.62	93.63	93.58	93.26	93.19	92.84
10	99.89	99.52	99.45	99.38	98.61	98.61	98.91	98.94	98.43	98.48	98.49	97.91	97.46	97.57	97.50	97.13	97.39	97.13	97.07	96.70	97.08	96.73	96.23	96.16	96.17	96.12	95.78	95.71	95.34
11	102.41	102.02	101.95	101.89	101.08	101.08	101.37	101.41	100.88	100.94	100.93	99.88	99.39	99.91	99.53	99.80	99.53	99.48	99.09	99.46	99.09	98.67	98.51	98.52	98.47	98.12	98.05	97.66	97.66
12	104.76	104.35	104.28	104.24	103.38	103.38	103.68	103.72	103.18	103.25	103.24	102.59	102.14	102.25	102.16	101.77	102.05	101.77	101.72	101.33	101.69	101.31	100.77	100.71	100.72	100.66	100.31	100.23	99.83
13	106.97	106.55	106.48	106.45	105.55	105.55	105.85	105.90	105.33	105.41	105.39	104.72	104.26	104.38	104.28	103.88	104.16	103.87	103.83	103.42	103.78	103.39	102.82	102.78	102.78	102.73	102.36	102.29	101.87
14	109.05	108.62	108.55	108.53	10																								



PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA
TRATTA PIADENA MANTOVA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D26RH	ID000000D	B	2 di 66

Tr100 anni																														
Durate (ore)	9672	9673	9674	9497	9498	9499	9500	9323	9324	9501	9502	9503	9680	9681	9682	9683	9684	9685	9686	9683	9684	9685	9686	9687	9688	10045	10046	10047	10048	
1	61.85	61.54	61.42	61.20	61.33	61.00	61.37	61.33	61.05	60.99	61.18	60.99	60.47	60.61	60.70	60.46	60.64	60.53	60.40	60.16	60.64	60.50	60.32	60.10	60.14	60.14	59.94	59.83	59.70	
2	73.87	73.69	73.57	73.37	73.40	73.01	73.41	73.39	73.03	72.99	73.16	72.83	72.27	72.43	72.49	72.21	72.42	72.26	72.15	71.85	72.34	72.15	71.87	71.66	71.71	71.65	71.44	71.32	71.12	
3	82.11	81.89	81.76	81.57	81.54	81.10	81.52	81.51	81.10	81.08	81.23	80.80	80.21	80.39	80.43	80.11	80.35	80.15	80.06	79.71	80.21	79.98	79.62	79.42	79.48	79.46	79.17	79.04	78.78	
4	88.50	88.25	88.12	87.95	87.86	87.38	87.81	87.82	87.36	87.35	87.49	86.98	86.37	86.56	86.58	86.24	86.49	86.27	86.18	85.81	86.30	86.04	85.63	85.44	85.49	85.47	85.15	85.02	84.71	
5	93.81	93.52	93.39	93.24	93.09	92.59	93.02	93.04	92.55	92.68	92.10	91.47	91.67	91.67	91.31	91.58	91.33	91.26	90.85	91.35	91.06	90.59	90.42	90.47	90.45	90.10	89.97	89.62		
6	98.37	98.06	97.93	97.79	97.60	97.07	97.51	97.54	97.02	97.03	97.14	96.50	95.86	96.06	95.68	95.96	95.69	95.63	95.19	95.69	95.38	94.87	94.70	94.76	94.73	94.36	94.22	93.84		
7	102.41	102.07	101.94	101.82	101.58	101.03	101.47	101.52	100.96	100.98	101.09	100.39	99.74	99.95	99.93	99.53	99.63	99.54	99.48	99.03	99.52	99.19	98.63	98.48	98.54	98.50	98.11	97.98		
8	106.04	105.67	105.55	105.44	105.15	104.59	105.03	105.09	104.51	104.54	104.63	103.88	103.23	103.43	103.40	103.00	103.30	102.99	102.95	102.47	102.96	102.61	102.02	101.87	101.93	101.90	101.48	101.35	100.91	
9	109.35	108.96	108.84	108.74	108.42	107.83	108.28	108.34	107.74	107.78	107.86	107.06	106.40	106.61	106.57	106.15	106.47	106.14	106.10	105.61	106.09	105.73	105.10	104.96	105.02	104.99	104.56	104.42	103.98	
10	112.39	111.99	111.87	111.77	111.42	110.82	111.27	111.34	110.76	110.79	110.83	109.99	109.32	109.54	109.49	109.06	109.38	109.04	109.01	108.50	108.98	108.60	107.94	107.81	107.87	107.63	107.38	107.25	106.76	
11	115.22	114.89	114.69	114.60	114.21	113.59	114.04	114.12	113.47	113.53	113.59	112.71	112.04	112.26	112.20	111.75	112.09	111.72	111.71	111.18	111.65	110.97	110.45	110.51	110.47	110.01	109.87	109.36		
12	117.87	117.42	117.30	117.23	116.81	116.19	116.63	116.72	116.05	116.12	116.17	115.25	114.57	114.79	114.72	114.27	114.61	114.24	114.23	113.69	114.15	113.75	113.03	112.91	112.97	112.93	112.46	112.32	111.79	
13	120.35	119.89	119.78	119.71	119.26	118.62	119.07	119.17	118.48	118.55	118.60	117.63	116.96	117.18	117.10	116.64	116.99	116.50	116.50	116.09	116.34	115.23	115.29	115.25	115.24	114.62	114.07			
14	122.70	122.22	122.11	122.06	121.58	120.92	121.37	121.48	120.77	120.85	120.89	119.89	119.21	119.43	119.35	118.87	119.23	118.83	118.83	118.26	118.72	118.29	117.52	117.42	117.48	117.44	116.93	116.80	116.22	
15	124.93	124.44	124.32	124.28	123.77	123.10	123.56	123.67	122.94	123.03	123.06	122.02	121.34	121.57	121.47	120.99	121.35	120.94	120.95	120.37	120.83	120.39	119.58	119.49	119.55	119.51	118.99	118.86	118.26	
16	127.05	126.54	126.43	126.40	125.86	125.18	125.63	125.75	125.01	125.10	125.13	124.06	123.37	123.60	123.50	123.01	123.38	122.95	122.97	122.38	122.83	122.38	121.55	121.47	121.53	121.48	120.95	120.82	120.20	
17	129.07	128.55	128.44	128.42	127.85	127.16	127.62	127.74	126.99	127.08	127.10	126.00	125.31	125.54	125.43	124.94	125.31	124.87	124.90	124.29	124.74	124.28	123.43	123.35	123.41	123.36	122.83	122.69	122.06	
18	131.01	130.48	130.37	130.35	129.76	129.06	129.52	129.65	128.88	128.98	129.02	127.86	127.17	127.40	127.28	126.78	127.16	126.71	126.74	126.13	126.57	126.09	125.22	125.15	125.21	125.16	124.62	124.48	123.83	
19	132.87	132.32	132.22	132.21	131.59	130.88	131.34	131.48	130.69	130.80	130.80	129.64	128.95	129.19	129.06	128.55	128.93	128.47	128.51	127.88	128.32	127.84	126.94	126.88	126.94	126.89	126.33	126.20	125.53	
20	134.66	134.10	133.99	134.00	133.36	132.64	133.09	133.24	132.44	132.55	132.55	131.35	130.66	130.90	130.77	130.25	130.64	130.17	130.21	129.58	130.01	129.52	128.60	128.54	128.61	128.55	127.99	127.85	127.17	
21	136.39	135.81	135.71	135.70	135.05	134.33	134.78	134.93	134.12	134.23	134.23	133.00	132.31	132.55	132.41	131.89	132.28	131.80	131.85	131.20	131.63	131.13	130.20	130.15	130.20	130.15	129.58	129.44	128.74	
22	138.05	137.46	137.36	137.38	136.69	135.96	136.41	136.57	135.74	135.86	135.85	134.60	133.90	134.15	134.00	133.47	133.87	133.38	133.43	132.78	133.20	132.69	131.73	131.69	131.75	131.70	131.11	130.98	130.26	
23	139.66	139.06	138.96	138.99	138.28	137.53	137.98	138.15	137.31	137.44	137.44	136.14	135.44	135.69	135.53	135.00	135.40	134.90	134.96	134.30	134.72	134.20	133.22	133.19	133.25	133.19	132.60	132.46	131.73	
24	141.22	140.61	140.51	140.54	139.81	139.06	139.51	139.68	138.83	138.96	138.93	137.63	136.93	137.18	137.02	136.48	136.88	136.38	136.44	135.77	136.19	135.66	134.66	134.63	134.70	134.64	134.03	133.90	133.16	

Figura 26 – LSPP – Tr100anni – Fonte ARPA

Tr200 anni																													
Durate (ore)	9672	9673	9674	9497	9498	9499	9500	9323	9324	9501	9502	9503	9680	9681	9682	9683	9684	9685	9686	9683	9684	9685	9686	9687	9688	10045	10046	10047	10048
1	68.83	68.71	68.55	68.29	68.01	68.01	68.50	68.48	68.14	68.06	68.31	67.97	67.29	67.52	67.63	67.36	67.57	67.42	67.30	66.97	67.53	67.39	67.13	66.85	66.93	66.94	66.67	66.51	66.32
2	82.46	82.26	82.11	81.87	81.41	81.41	81.94	81.95	81.51	81.45	81.69	81.18	80.43	80.68	80.77	80.44	80.70	80.48	80.39	79.98	80.57	80.37	79.98	79.71	79.80	79.80	79.47	79.29	79.00
3	91.66	91.43	91.25	91.03	90.43	90.43	90.99	91.02	90.52	90.48	90.71	90.06	89.27	89.55	89.62	89.25	89.54	89.27	89.20	88.73	89.33	89.10	88.61	88.35	88.45	88.06	87.87	87.51	
4	98.80	98.53	98.35	98.14	97.43	97.43	98.01	98.06	97.51	97.48	97.70	96.95	96.12	96.42	96.47	96.08	96.39	96.08	96.02	95.52	96.12	95.85	95.29	95.04	95.14	95.14	94.71	94.52	94.11
5	104.72	104.41	104.23	104.04	103.24	103.24	103.83	103.89	103.30	103.28	103.49	102.65	101.80	102.11	102.15	101.73	102.06	101.72	101.68	101.14	101.74	101.45	100.82	100.58	100.69	100.68	100.22	100.02	99.56
6	109.82	109.48	109.30	109.13	108.24	108.24	108.84	108.92	108.28	108.28	108.48	107.56	106.69	107.01	107.03	106.59	106.94	106.57	106.54	105.97	106.26	105.57	105.04	105.45	105.44	105.44	104.95	104.75	104.25
7	114.33	113.96	113.78	113.62	112.65	112.65	113.26	113.35	112.68	112.68	112.88	111.89	111.00	111.33	111.34	110.89	111.25	110.86	110.84	110.24	110.84	110.50	109.77	109.54	109.66	109.65	109.13	108.92	108.38
8	118.38	117.99	117.81	117.66	116.62	116.62	117.24	117.34	116.64	116.66	116.84	115.78	114.88	115.22	115.22	114.75	115.12	114.71	114.70	114.07	114.67	114.31	113.54	113.32	113.44	113.42	112.88	112.67	112.10
9	122.07	121.66	121.47	121.34	120.24	120.24	120.86	120.98	120.25	120.27	120.44	119.32	118.41	118.76	118.75	118.26	118.64	118.21	118.22	117.57	118.16	117.79	116.97	116.76	116.88	116.86	116.30	116.09	115.48
10	125.47	125.03	124.85	124.73	123.57	123.57	124.20	124.32	123.57	123.60	123.76	122.59	121.67	122.02	122.00	121.50	121.89	121.44	121.45	120.78	121.37	120.98	120.12	119.92	120.04	120.03	119.44	119.23	118.59
11	128.63	128.17	127.99	127.86	126.66	126.66	127.29	127.43	126.65	126.65	126.85	125.62	124.69	125.04	125.01	124.50	124.90	124.43	124.46	123.77	124.36	123.95	123.05	122.86	122.98	122.96	122.36	122.14	121.48

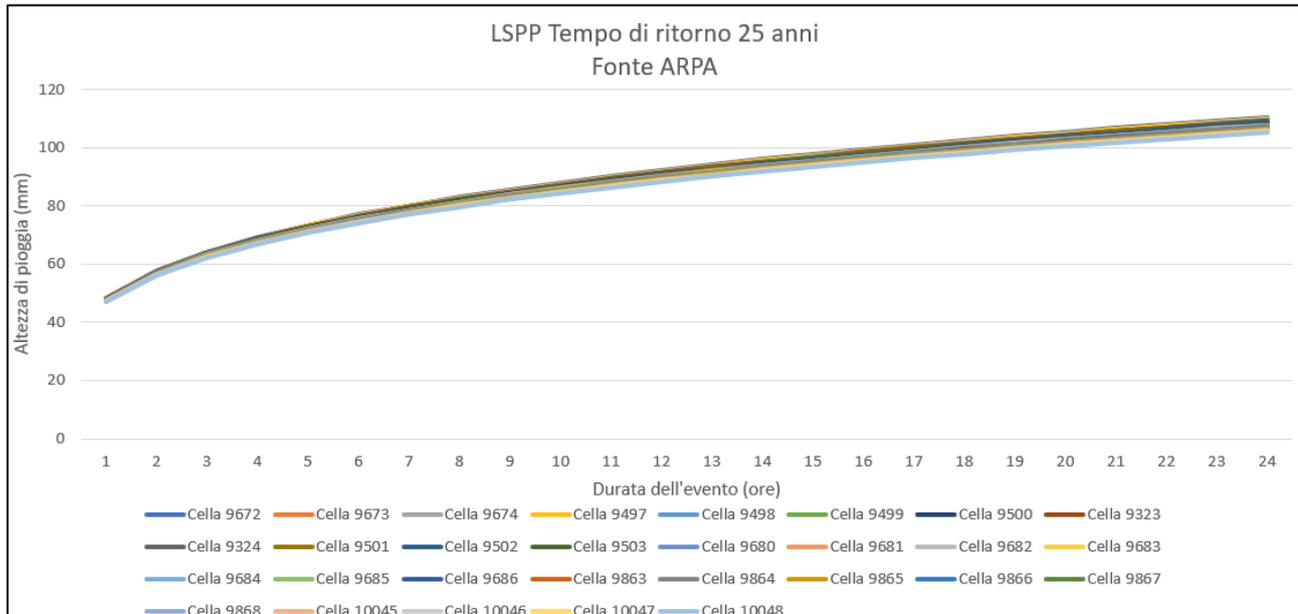


Figura 28 – LSPP 25 anni – Fonte ARPA

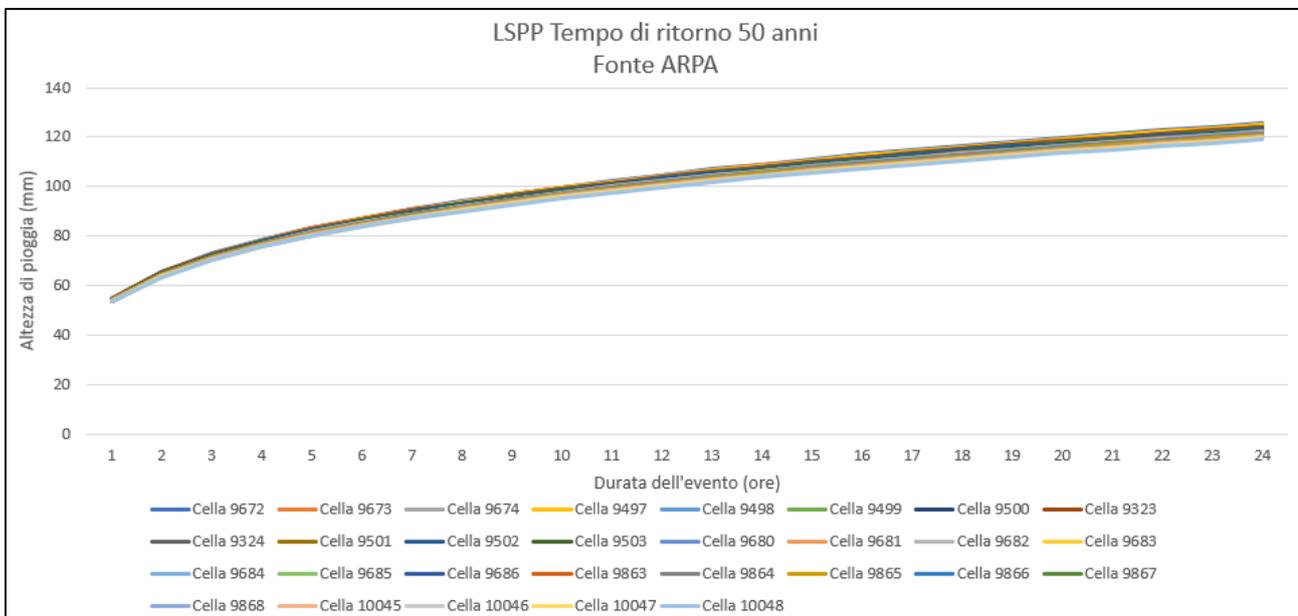


Figura 29 – LSPP 50 anni – Fonte ARPA

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

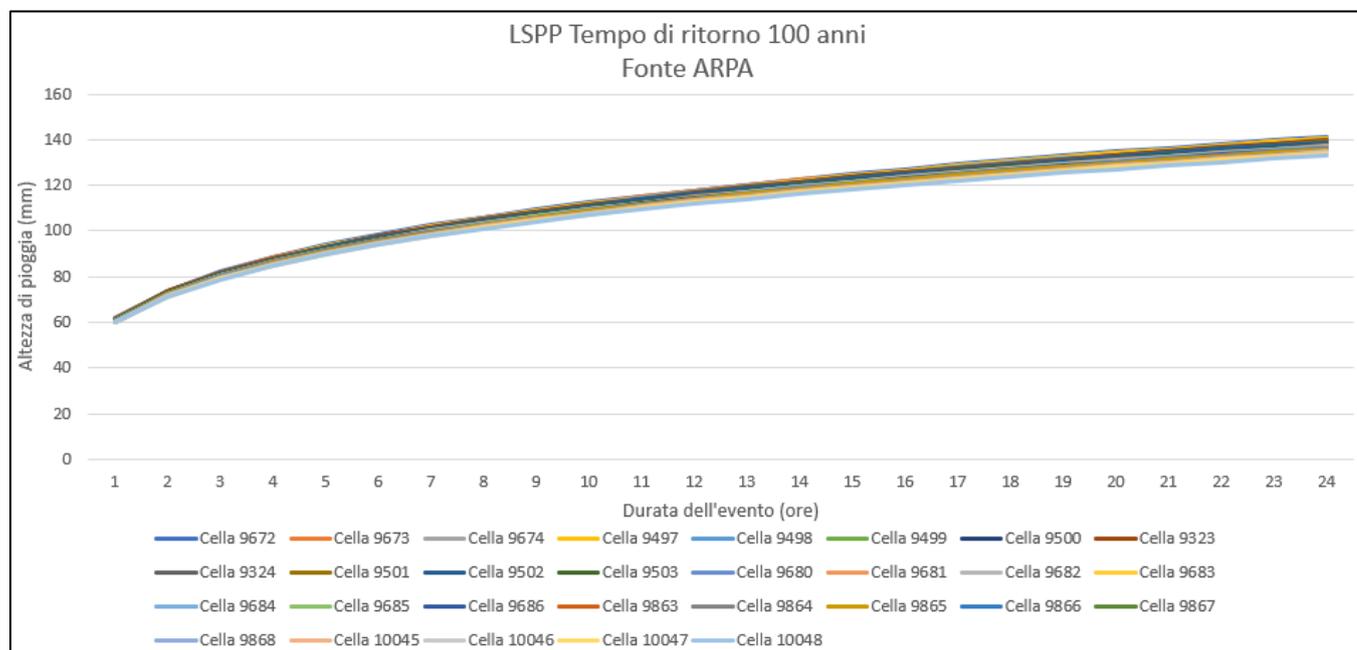


Figura 30 – LSPP 100 anni – Fonte ARPA

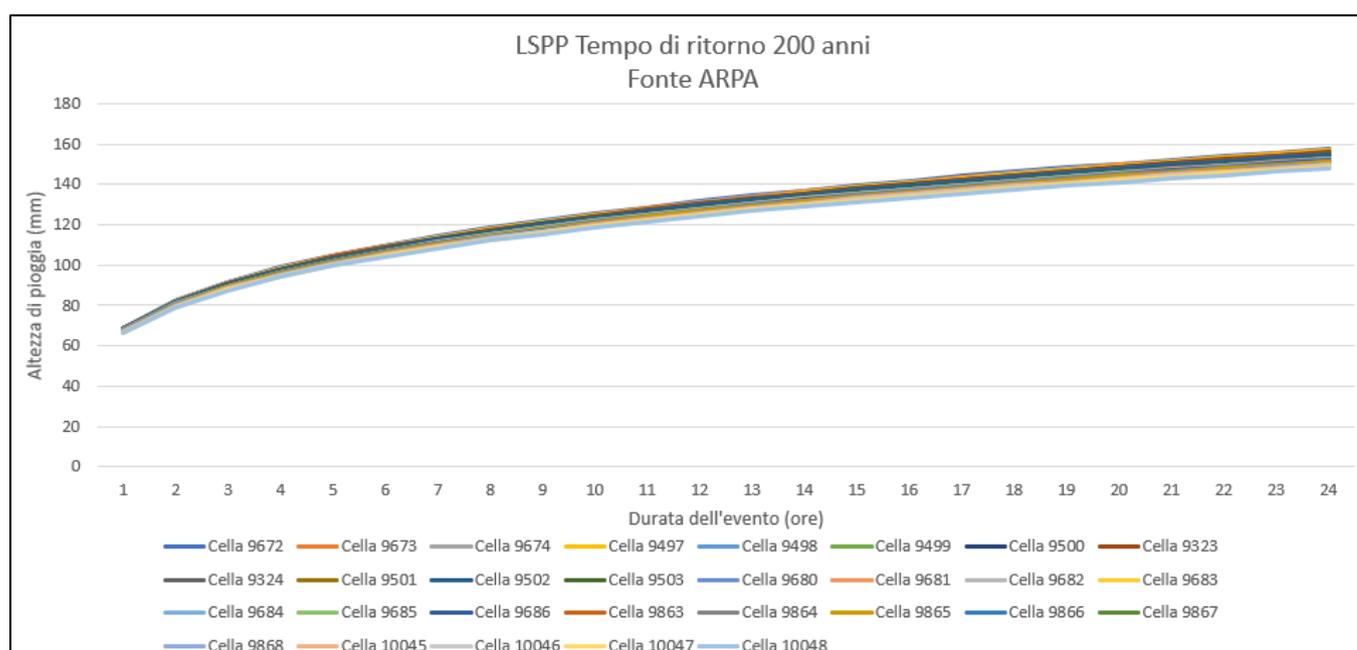


Figura 31 – LSPP 200 anni – Fonte ARPA

4.3. Analisi statistica delle piogge – Dati rilevati dalle centraline meteorologiche

L'analisi statistica degli eventi osservati consente di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno T_r , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato. Il metodo utilizzato per l'analisi statistica dei dati di pluviometrici è il cosiddetto metodo di Gumbel.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Il metodo di Gumbel, prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

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

Introducendo la variabile ridotta

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

Si ha la forma canonica

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

I parametri α e u sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione. Per una durata di precipitazione si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 a N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento calcolata con la formula di Weibull:

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

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè:

$$F(h_i) \cong F_i$$

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

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

e

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

$$y_i = -\ln[-\ln(1/N+1)]$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Con questa assunzione la variabile ridotta dipende solamente da h con la relazione lineare:

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

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

Si ottengono quindi per α e u le seguenti espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{\sigma}$$

$$u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

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

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

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

Grazie all'espressione del metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione che fornisce il valore di h in funzione di T_r per una prefissata precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che per un dato tempo di ritorno fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

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

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

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

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

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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

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

Per sviluppare l'analisi statistica sopra descritta sono stati considerati i dati di pioggia registrati nelle stazioni pluviometriche più vicine all'infrastruttura ferroviaria di progetto. Le stazioni più vicine all'area di interesse sono:

- Mantova Triboldino, dati dal 30/12/2004, UTM Zone 32 WGS84 Nord 5001664m, Est 646147m, quota 22 m slm;
- Mantova Lunetta 2 SMR, dati dal 08/01/2006, UTM Zone 32 WGS84 Nord 5002119m, Est 643358 m, quota 25 m slm;
- Pieve San Giacomo, dati dal 04/07/2002, UTM Zone 32 WGS84 Nord 4997179m, Est 594005m, quota 39 m slm;
- Cremona Via Fatebenefratelli, dati dal 10/04/2006, UTM Zone 32 WGS84 Nord 4999315m, Est 582066m, quota 43 m slm.

Non sono state considerate le seguenti stazioni meteorologiche in quanto non erano disponibili dati relativi alle precipitazioni dal sito di ARPA Lombardia oppure la rilevazione era stata fermata:

- Marcaria sensore livello idrometrico Oglio dal 2018
- Mantova S.Agnese sensori Temperatura gradi giorno e umidità relativa
- Virgilio Mantova Cerese precipitazione dal 26/09/2003 al 19/09/2018

L'immagine seguente mostra in blu l'ubicazione delle stazioni meteorologiche prossime all'area di intervento, quest'ultima segnata in rosso.

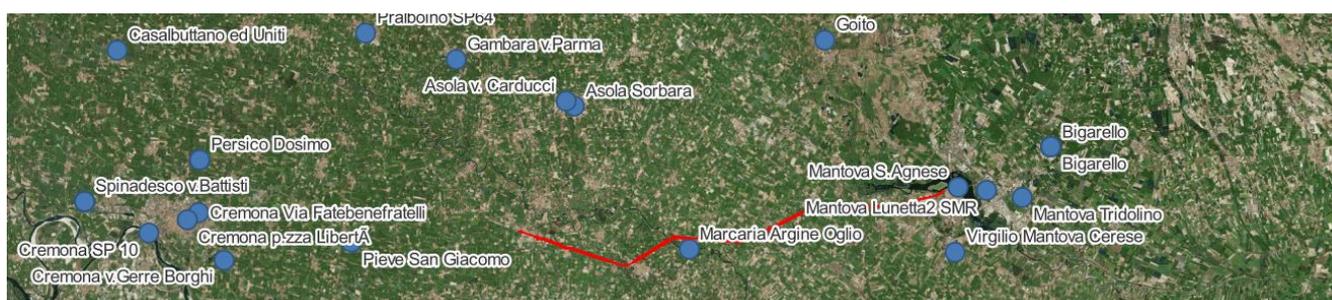


Figura 32 – Ubicazione stazioni meteorologiche prossime all'area di intervento

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

I dati idrologici disponibili per l'analisi pluviometrica sono quelli registrati dalle centraline di ARPA¹. Essendo la serie storica disponibile dal portale di ARPA molto recente, risalente dai primi anni 2000, sono stati implementati i dati riportati nell'allegato 2 della “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” dell'ADBPO.

Dall'analisi dei valori storici del massimo annuo della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore è stato deciso di scartare i dati registrati dalla centralina di Modena Triboldino. Infatti, come è possibile notare dall'immagine seguente, gli anni dal 2007 al 2010 e il 2012 non mostrano valori di precipitazioni. Data l'esigua durata della serie e l'elevato numero di anni mancanti, è stato deciso di scartarla.

Stazione	Mantova Triboldino				
	h (mm) Max_1h	h (mm) Max_3h	h (mm) Max_6h	h (mm) Max_12h	h (mm) Max_24h
2005	26.60	35.20	43.00	48.40	52.60
2006	13.80	21.80	31.00	51.60	60.80
2007	0.00	0.00	0.00	0.20	0.20
2008	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2010	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2011	11.00	16.80	27.40	35.60	42.20
2012	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2013	22.20	29.80	30.40	33.00	42.00
2014	40.00	40.40	46.60	49.60	52.60
2015	22.80	22.80	24.40	39.00	56.60
2016	25.40	34.80	35.20	37.60	48.00
2017	15.40	15.60	25.80	29.60	35.40
2018	19.20	19.20	23.40	25.80	29.60
2019	22.60	32.60	40.80	45.60	45.80
2020	20.60	29.60	34.80	45.80	54.80
2021	32.60	38.40	38.80	38.80	43.00

Figura 33 – Massimi di pioggia registrati nella stazione di Mantova Triboldino

L'analisi pluviometrica ha quindi considerato i dati rilevati a Mantova Lunetta 2 SMR, Cremona e Pieve San Giacomo.

Secondo le coordinate riportate nell'allegato 2 della “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” dell'ADBPO, la stazione considerata per Mantova non corrisponde a Mantova Lunetta2 SMR, ma data la vicinanza, è stato scelto di incrementare la serie storica disponibile dal portale di ARPA considerando i dati disponibili nell'allegato nel periodo compreso tra 1941 e 1986. L'immagine seguente mostra l'ubicazione delle varie centraline citate.

¹ I dati sono disponibile nel portale di ARPA all'indirizzo: <https://www.arpalombardia.it/Pages/Meteorologia/Richiesta-dati-misurati.aspx>

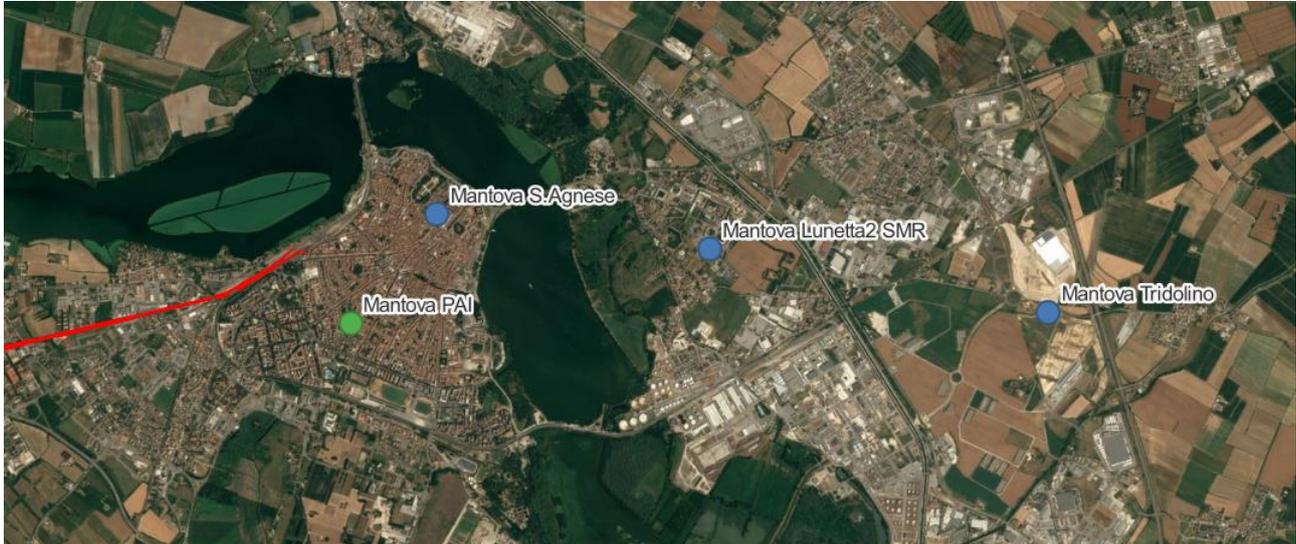


Figura 34 – Ubicazione centraline ADBPO in verde e ARPA in blu

Stazione	Mantova Lunetta2 SMR										
ANNO	h (mm) Max_1h	h (mm) Max_3h	h (mm) Max_6h	h (mm) Max_12h	h (mm) Max_24h	ANNO	h (mm) Max_1h	h (mm) Max_3h	h (mm) Max_6h	h (mm) Max_12h	h (mm) Max_24h
1941	28.60	29.20	29.20	29.60	35.40	1974	23.00	31.20	31.60	33.60	35.40
1942	23.00	34.00	41.00	68.00	92.00	1975	24.80	25.80	26.40	34.80	49.00
1943	14.00	21.80	35.00	41.40	46.00	1976	31.60	36.60	36.80	36.80	49.20
1944	42.60	43.60	43.60	46.10	55.40	1977	58.20	89.00	93.20	102.20	115.60
1945	30.40	30.80	31.20	31.20	35.60	1978	46.20	59.00	59.20	59.20	59.20
1946	25.00	38.40	39.40	45.40	48.60	1979	18.00	18.60	23.40	30.20	52.60
1947	28.00	28.20	34.20	34.20	34.40	1980	16.60	19.20	27.00	38.00	56.80
1948	28.00	31.00	32.00	39.00	58.00	1981	27.00	38.40	48.60	50.00	50.00
1949	27.00	27.60	27.60	28.40	41.80	1982	35.60	46.20	59.40	65.40	77.80
1950	19.00	22.80	22.80	22.80	27.80	1983	38.40	39.40	39.40	39.40	44.40
1951	18.40	23.00	32.40	48.20	48.80	1984	23.40	39.40	40.60	43.40	44.40
1952	15.00	15.20	26.20	31.20	56.00	1985	14.40	18.10	29.40	35.70	38.20
1953	28.20	30.00	51.00	69.00	81.00	1986	51.60	56.60	57.20	69.20	74.40
1954	27.00	27.60	27.60	27.60	27.60	2004	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1955	23.40	23.40	23.40	28.00	35.40	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1956	45.00	74.40	105.00	115.00	118.20	2006	18.40	28.60	48.80	79.60	92.40
1957	20.40	33.00	34.20	34.80	35.60	2007	15.80	27.80	39.20	55.60	61.60
1958	43.60	47.80	48.00	48.00	48.00	2008	38.80	52.40	57.60	58.00	63.60
1959	28.00	29.00	29.00	35.60	62.00	2009	50.40	51.80	52.20	52.20	54.40
1960	16.40	24.20	33.40	49.60	49.60	2010	64.60	68.80	70.20	100.60	118.80
1962	15.80	17.80	20.80	39.00	41.60	2011	54.00	60.20	67.40	87.40	93.80
1963	24.60	26.40	33.80	37.80	52.00	2012	28.80	38.80	47.40	51.40	59.80
1964	17.40	22.20	26.60	26.60	38.80	2013	23.80	25.40	30.80	39.40	53.00
1965	20.60	27.20	32.40	46.00	54.60	2014	38.20	38.40	45.80	48.20	68.80
1966	15.00	29.00	46.60	49.50	90.80	2015	21.20	28.40	44.60	69.20	79.20
1968	33.60	37.60	45.20	46.20	46.20	2016	59.60	66.80	67.80	67.80	69.20
1969	28.00	52.00	59.00	59.20	61.60	2017	40.20	40.20	40.20	40.20	41.60
1970	15.80	17.40	21.40	21.60	28.40	2018	35.60	35.60	35.60	35.60	36.80
1971	19.40	21.60	30.00	38.20	38.40	2019	42.60	49.60	55.20	70.60	79.20
1972	20.40	28.00	35.20	35.40	46.00	2020	27.80	32.60	38.60	52.80	63.60
1973	37.00	39.80	39.80	40.40	47.80	2021	47.00	51.40	51.60	51.60	56.80

Figura 35 – Altezze di pioggia rilevate a Modena – Fonte dei dati dal 1941 al 1986 Allegato 2 “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” dell’ADBPO per la stazione di Mantova dal 2004 al 2021 ARPA Lombardia per la stazione di Mantova Lunetta2 SMR

Stazione	PIEVE SAN GIACOMO										
	ANNO	h (mm) Max 1h	h (mm) Max 3h	h (mm) Max 6h	h (mm) Max 12h	h (mm) Max 24h	ANNO	h (mm) Max 1h	h (mm) Max 3h	h (mm) Max 6h	h (mm) Max 12h
1951	24.80	35.00	42.40	53.40	60.00	1980	18.00	31.60	34.60	48.00	60.40
1954	16.40	21.60	28.20	33.60	33.60	1981	23.20	27.20	39.60	39.80	43.20
1955	51.40	53.00	53.00	53.00	53.00	1982	24.60	40.40	54.60	60.60	72.40
1956	15.00	15.80	32.00	46.00	47.60	1983	24.00	24.20	24.20	24.60	46.20
1957	17.40	31.40	42.00	52.80	61.60	1984	37.80	37.80	40.00	55.00	93.00
1958	15.60	24.80	36.00	74.00	89.40	1985	15.30	20.10	30.00	35.30	47.60
1959	30.80	33.80	40.20	53.00	73.40	1986	20.60	25.00	34.40	36.40	41.80
1960	30.00	54.60	67.00	67.80	71.00	2002	11.70	22.30	37.00	64.30	96.60
1961	33.00	45.00	49.00	56.00	73.00	2005	37.80	51.20	51.60	54.80	54.80
1962	50.00	100.00	103.00	104.00	105.00	2006	15.00	15.20	15.20	17.80	22.60
1963	85.00	101.00	101.20	101.40	104.00	2007	17.80	26.60	35.40	57.40	73.80
1964	26.40	26.40	33.60	46.20	66.60	2008	23.60	26.60	27.00	34.20	49.80
1965	46.40	47.60	47.60	51.80	68.40	2009	21.60	26.60	27.00	33.60	42.60
1966	43.60	47.60	50.40	51.80	78.80	2010	61.00	65.80	67.60	78.80	81.60
1967	21.00	21.80	26.80	36.20	38.40	2011	24.20	34.80	55.40	75.60	86.20
1968	21.40	26.40	38.40	38.60	40.60	2012	37.40	43.40	51.00	59.80	60.00
1969	23.60	24.00	27.00	33.00	35.00	2013	20.60	25.80	36.80	43.00	52.20
1970	13.80	18.20	18.60	24.80	29.00	2014	45.80	52.80	56.00	56.00	56.60
1971	14.00	20.00	29.20	46.40	50.60	2015	85.60	99.20	101.80	101.80	101.80
1972	23.80	30.80	31.20	41.00	47.60	2016	21.00	24.80	25.60	32.00	32.20
1973	24.20	32.20	58.40	66.00	66.60	2017	22.60	28.20	28.60	31.20	34.40
1974	24.00	24.80	31.40	50.20	68.40	2018	44.00	49.60	55.80	59.80	61.20
1975	22.00	23.40	30.40	32.00	51.00	2019	27.20	29.40	35.20	42.20	49.20
1976	61.00	85.20	95.80	95.80	95.80	2020	35.40	41.60	42.00	42.00	49.80
1979	39.00	68.60	100.40	153.00	184.60						

Figura 36 – Altezze di pioggia rilevate a Modena – Fonte dei dati dal 1951 al 1986 Allegato 2 “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” dell’ADBPO e dal 2002 al 2021 ARPA Lombardia per la stazione di Mantova Lunetta2 SMR per la stazione di Pieve San Giacomo

Stazione	CREMONA										
	ANNO	h (mm) Max 1h	h (mm) Max 3h	h (mm) Max 6h	h (mm) Max 12h	h (mm) Max 24h	ANNO	h (mm) Max 1h	h (mm) Max 3h	h (mm) Max 6h	h (mm) Max 12h
1951	20.00	38.00	45.60	65.00	98.00	1977	41.20	63.40	66.20	66.60	69.00
1953	22.20	34.00	38.00	49.00	83.60	1978	50.20	55.20	58.20	61.60	69.20
1954	15.80	21.60	23.40	26.80	32.60	1979	37.00	85.60	141.00	182.40	199.00
1955	22.20	26.80	26.80	37.20	46.20	1980	16.00	24.20	27.80	47.60	59.60
1956	27.80	40.00	51.40	62.80	67.00	1981	33.80	35.80	39.60	39.60	49.40
1957	35.60	35.80	40.00	50.60	73.80	1983	12.00	12.00	16.40	24.40	44.40
1958	37.00	58.20	58.20	58.40	58.40	1984	13.00	21.20	31.40	44.00	81.00
1959	37.40	45.80	53.60	89.00	89.40	1985	19.30	20.40	29.60	44.60	54.40
1960	36.00	50.60	65.00	89.80	91.60	1986	20.20	21.80	26.80	26.80	27.00
1961	35.00	39.00	40.60	41.00	51.80	2006	33.60	59.00	59.40	59.40	70.20
1962	13.00	20.00	24.00	39.00	45.40	2007	22.40	30.40	38.60	65.20	94.20
1963	64.00	80.00	80.00	80.00	80.20	2008	46.60	48.60	48.60	73.60	86.60
1964	41.80	46.80	52.40	63.60	69.20	2009	45.60	75.60	90.80	96.20	96.20
1965	19.40	29.00	34.00	40.20	55.40	2010	39.60	61.60	87.40	100.00	100.40
1966	28.00	41.20	42.80	46.40	81.80	2011	40.00	42.00	50.80	66.40	76.40
1967	37.40	39.60	44.40	67.40	73.00	2012	24.80	36.40	44.80	56.00	62.80
1968	19.40	28.00	44.60	47.00	50.80	2013	36.00	44.60	44.80	63.60	72.20
1969	11.00	22.20	29.40	33.20	51.60	2014	29.00	43.80	51.40	64.00	78.40
1970	35.60	38.20	38.60	48.00	64.20	2015	32.00	41.40	53.60	66.40	85.60
1971	11.40	16.40	25.00	41.80	48.40	2016	24.60	27.00	27.00	35.00	42.40
1972	22.40	24.40	31.40	42.40	54.20	2017	73.80	79.20	81.20	83.60	92.00
1973	35.20	39.00	40.20	44.40	44.80	2018	66.00	80.20	86.80	87.00	87.20
1974	24.60	24.60	36.80	59.00	81.60	2019	38.00	38.20	40.40	48.80	56.60
1975	27.00	36.80	36.80	36.80	58.40	2020	48.00	48.20	48.20	48.20	48.20
1976	37.00	42.00	59.20	60.00	75.80						

Figura 37 – Altezze di pioggia rilevate a Modena – Fonte dei dati dal 1951 al 1986 Allegato 2 “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” dell’ADBPO e dal 2002 al 2021 ARPA Lombardia per la stazione di Mantova Lunetta2 SMR per la stazione di Cremona

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

La tabella seguente riporta i parametri ottenuti con il metodo Gumbel a partire dei dati registrati nelle centraline di interesse.

Stazione di Mantova					
	<i>Max 1ora</i>	<i>Max 3ora</i>	<i>Max 6ora</i>	<i>Max 12ora</i>	<i>Max 24ora</i>
<i>Media m_h</i>	28.94	34.97	40.36	46.95	55.21
<i>Dev. Std σ</i>	13.56	16.36	17.71	21.13	23.54
$u = m_h - 0.45 \sigma$	22.84	27.61	32.39	37.45	44.61
$\alpha = 1.283/\sigma$	0.095	0.078	0.072	0.061	0.054
Stazione di Pieve San Giacomo					
	<i>Max 1ora</i>	<i>Max 3ora</i>	<i>Max 6ora</i>	<i>Max 12ora</i>	<i>Max 24ora</i>
<i>Media m_h</i>	30.40	38.43	45.30	54.00	63.33
<i>Dev. Std σ</i>	16.73	21.51	22.16	24.60	27.38
$u = m_h - 0.45 \sigma$	22.87	28.75	35.32	42.93	51.01
$\alpha = 1.283/\sigma$	0.077	0.060	0.058	0.052	0.047
Stazione di Cremona					
	<i>Max 1ora</i>	<i>Max 3ora</i>	<i>Max 6ora</i>	<i>Max 12ora</i>	<i>Max 24ora</i>
<i>Media m_h</i>	31.81	41.10	48.02	58.57	69.99
<i>Dev. Std σ</i>	13.95	17.89	22.20	25.69	26.16
$u = m_h - 0.45 \sigma$	25.54	33.05	38.03	47.01	58.22
$\alpha = 1.283/\sigma$	0.092	0.072	0.058	0.050	0.049

Tabella 8 – Parametri calcolati con il metodo Gumbel a partire dei dati registrati nelle centraline di studio

Si riportano di seguito sotto forma tabellare i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica delle stazioni di riferimento sopra elencate per diversi tempi di ritorno.

Centralina di Mantova			Centralina di Pieve San Giacomo			Centralina di Cremona		
TR [anni]	a [mm/h]	n [-]	TR [anni]	a [mm/h]	n [-]	TR [anni]	a [mm/h]	n [-]
2	26.22	0.206	2	27.28	0.240	2	29.09	0.251
5	38.09	0.197	5	42.46	0.210	5	41.75	0.240
10	45.95	0.193	10	52.53	0.199	10	50.13	0.236
25	55.88	0.190	25	65.27	0.190	25	60.74	0.232
30	57.82	0.189	30	67.76	0.188	30	62.82	0.231
50	63.25	0.188	50	74.72	0.185	50	68.61	0.230
100	70.56	0.187	100	84.10	0.181	100	76.42	0.228
200	77.85	0.186	200	93.45	0.177	200	84.20	0.226

Tabella 9 – Parametri pluviometrici a e n per le stazioni oggetto di studio

A seguire si riporta un confronto sia in forma tabulare che grafica dei valori di precipitazione ottenuti con i vari parametri delle LSPP ricavate.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA						
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE		COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Tempo di ritorno Tr25 anni				Tempo di ritorno Tr50 anni			
Durata	h(Mantova)	h(Pieve San Giacomo)	h(Cremona)	Durata	h(Mantova)	h(Pieve San Giacomo)	h(Cremona)
(ore)	(mm)	(mm)	(mm)	(ore)	(mm)	(mm)	(mm)
1	55.88	65.27	60.74	1	63.25	74.72	68.61
2	63.74	74.44	71.32	2	72.06	84.91	80.44
3	68.84	80.39	78.35	3	77.77	91.51	88.29
4	72.70	84.89	83.75	4	82.09	96.51	94.31
5	75.85	88.56	88.20	5	85.61	100.56	99.27
6	78.52	91.68	92.00	6	88.60	104.01	103.51
7	80.85	94.40	95.35	7	91.20	107.01	107.24
8	82.92	96.82	98.35	8	93.53	109.68	110.58
9	84.80	99.01	101.07	9	95.62	112.09	113.61
10	86.51	101.01	103.57	10	97.53	114.29	116.39
11	88.09	102.85	105.88	11	99.30	116.32	118.97
12	89.56	104.56	108.04	12	100.94	118.20	121.37
13	90.93	106.16	110.06	13	102.47	119.96	123.62
14	92.22	107.67	111.97	14	103.91	121.62	125.74
15	93.43	109.08	113.77	15	105.27	123.18	127.75
16	94.58	110.43	115.49	16	106.55	124.65	129.65
17	95.68	111.70	117.12	17	107.77	126.05	131.47
18	96.72	112.92	118.68	18	108.94	127.39	133.21
19	97.72	114.09	120.18	19	110.05	128.67	134.87
20	98.68	115.20	121.62	20	111.12	129.89	136.47
21	99.60	116.27	123.00	21	112.14	131.07	138.01
22	100.48	117.30	124.33	22	113.13	132.20	139.49
23	101.33	118.30	125.62	23	114.08	133.29	140.92
24	102.15	119.25	126.86	24	115.00	134.34	142.30

Tempo di ritorno Tr100 anni				Tempo di ritorno Tr200 anni			
Durata	h(Mantova)	h(Pieve San Giacomo)	h(Cremona)	Durata	h(Mantova)	h(Pieve San Giacomo)	h(Cremona)
(ore)	(mm)	(mm)	(mm)	(ore)	(mm)	(mm)	(mm)
1	70.56	84.10	76.42	1	77.85	93.45	84.20
2	80.31	95.32	89.49	2	88.54	105.68	98.51
3	86.63	102.56	98.15	3	95.46	113.56	107.98
4	91.41	108.03	104.80	4	100.70	119.51	115.24
5	95.30	112.47	110.26	5	104.96	124.34	121.21
6	98.60	116.24	114.94	6	108.57	128.43	126.32
7	101.48	119.52	119.05	7	111.73	131.99	130.80
8	104.05	122.44	122.72	8	114.53	135.15	134.82
9	106.36	125.07	126.06	9	117.06	138.00	138.46
10	108.48	127.48	129.12	10	119.38	140.61	141.80
11	110.42	129.69	131.96	11	121.51	143.01	144.90
12	112.23	131.74	134.60	12	123.49	145.23	147.78
13	113.92	133.66	137.08	13	125.34	147.31	150.48
14	115.51	135.46	139.41	14	127.07	149.26	153.03
15	117.01	137.16	141.62	15	128.71	151.10	155.43
16	118.43	138.77	143.71	16	130.26	152.84	157.72
17	119.78	140.30	145.71	17	131.74	154.49	159.90
18	121.06	141.76	147.62	18	133.14	156.07	161.98
19	122.29	143.15	149.45	19	134.49	157.57	163.98
20	123.47	144.48	151.21	20	135.78	159.01	165.89
21	124.60	145.76	152.90	21	137.01	160.39	167.74
22	125.69	146.99	154.53	22	138.20	161.72	169.51
23	126.74	148.17	156.10	23	139.34	163.00	171.23
24	127.75	149.32	157.62	24	140.45	164.24	172.88

Tabella 10 – Altezze di pioggia per durate superiori a 1 ora calcolate dalle LSPP ottenute a partire dai dati registrati nelle stazioni di Modena, Pieve San Giacomo e Cremona

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

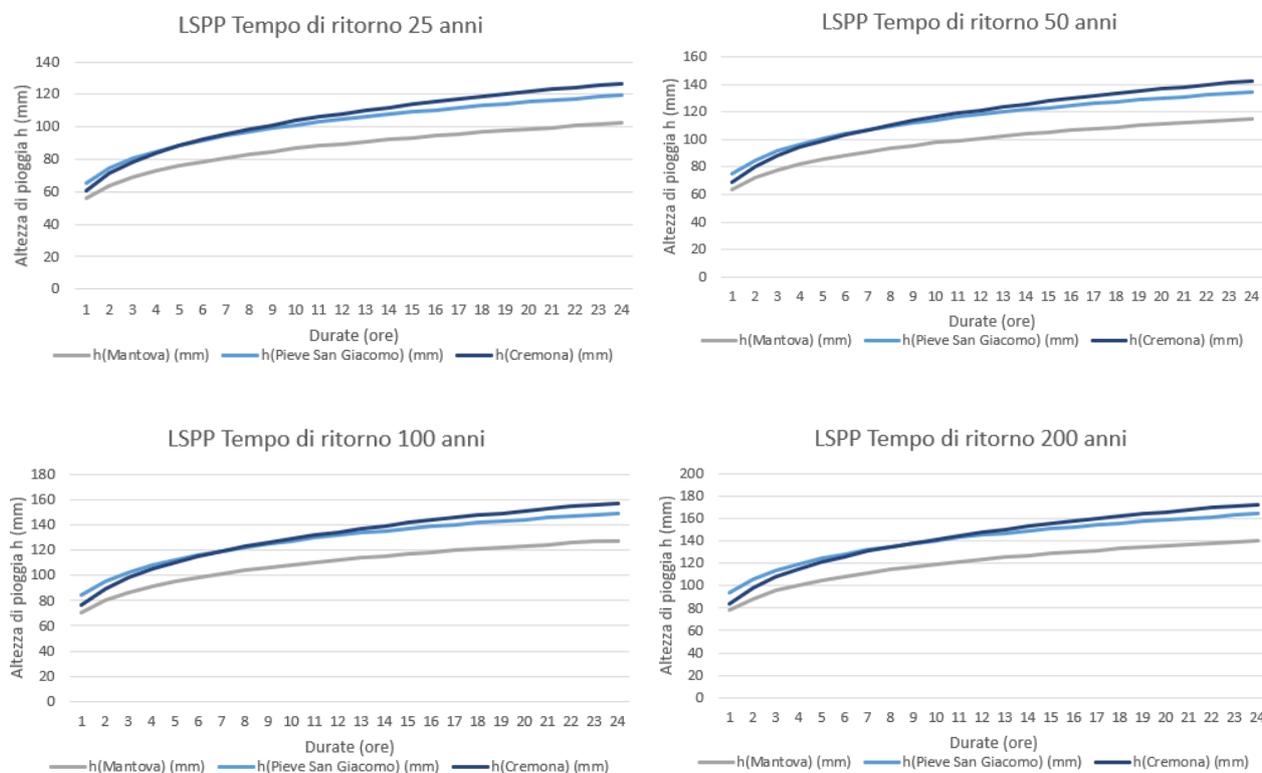


Figura 38 – Confronto LSPP per durate superiori a 1 ora calcolate a partire dei dati registrati nelle stazioni di Modena, Pieve San Giacomo e Cremona

Dal confronto è emerso che le altezze di piogge stimate a partire dei valori registrati nella stazione a Mantova sono più basse rispetto a quelle ottenute considerando le stazioni di Cremona e Pieve San Giacomo per tutte le durate da 1 a 24 ore.

Per quanto riguarda le LSPP ricavate dai dati Cremona e Pieve San Giacomo si può concludere quanto segue:

- Per tempi di ritorno 25 anni, le LSPP di Pieve San Giacomo portano a valori più cautelativi di precipitazione fino a una durata dell'evento di 5 ore, oltre tale durata è più cautelativa quella ottenuta a partire dai dati di Cremona;
- Per tempi di ritorno 50 anni, le LSPP di Pieve San Giacomo portano a valori più cautelativi di precipitazione fino a una durata dell'evento di 6 ore, oltre tale durata è più cautelativa quella ottenuta a partire dai dati di Cremona;
- Per tempi di ritorno 100 anni, le LSPP di Pieve San Giacomo portano a valori più cautelativi di precipitazione fino a una durata dell'evento di 7 ore, oltre tale durata è più cautelativa quella ottenuta a partire dai dati di Cremona;
- Per tempi di ritorno 200 anni, le LSPP di Pieve San Giacomo portano a valori più cautelativi di precipitazione fino a una durata dell'evento di 7 ore, oltre tale durata è più cautelativa quella ottenuta a partire dai dati di Cremona.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

4.4. Confronto LSPP per durate superiori a 1 ora

Nel presente paragrafo si confrontano le LSPP più cautelative ottenute dai parametri della *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica* dell'ADBPO, del progetto STRADA dell'ARPA Lombardia e quelle ottenute con il metodo Gumbel a partire dei dati registrati nelle centraline prossime all'area di intervento.

A seguire si riportano sia in forma tabulare che grafiche le LSPP a confronto, dove in azzurro si evidenziano i valori più cautelativi a parità di tempo di ritorno e durata dell'evento meteorico.

Tempo di ritorno 25 anni						Tempo di ritorno 50 anni					
Durata	Celle ADBPO		ARPA Progetto STRADA	Elaborazione Gumbel		Durata	Celle ADBPO		ARPA Progetto STRADA	Elaborazione Gumbel	
	FB102	FB103	9672	Stazione Pieve San Giacomo	Stazione Cremona		FB102	FB103	9672	Stazione Pieve San Giacomo	Stazione Cremona
ore	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	ore	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	60.72	60.37	48.22	65.27	60.74	1	68.46	68.03	54.79	74.72	68.61
2	70.67	70.47	57.77	74.44	71.32	2	79.42	79.16	65.65	84.91	80.44
3	77.23	77.13	64.21	80.39	78.35	3	86.62	86.50	72.97	91.51	88.29
4	82.26	82.24	69.22	84.89	83.75	4	92.13	92.11	78.66	96.51	94.31
5	86.38	86.44	73.36	88.56	88.20	5	96.64	96.72	83.37	100.56	99.27
6	89.89	90.03	76.94	91.68	92.00	6	100.49	100.65	87.43	104.01	103.51
7	92.98	93.18	80.09	94.40	95.35	7	103.86	104.10	91.02	107.01	107.24
8	95.74	95.99	82.93	96.82	98.35	8	106.88	107.19	94.24	109.68	110.58
9	98.24	98.55	85.52	99.01	101.07	9	109.61	109.99	97.18	112.09	113.61
10	100.54	100.89	87.90	101.01	103.57	10	112.11	112.55	99.89	114.29	116.39
11	102.66	103.06	90.11	102.85	105.88	11	114.42	114.92	102.41	116.32	118.97
12	104.63	105.08	92.18	104.56	108.04	12	116.58	117.13	104.76	118.20	121.37
13	106.48	106.97	94.13	106.16	110.06	13	118.59	119.19	106.97	119.96	123.62
14	108.22	108.75	95.96	107.67	111.97	14	120.49	121.14	109.05	121.62	125.74
15	109.87	110.44	97.70	109.08	113.77	15	122.29	122.98	111.03	123.18	127.75
16	111.43	112.04	99.36	110.43	115.49	16	123.99	124.73	112.92	124.65	129.65
17	112.92	113.56	100.95	111.70	117.12	17	125.61	126.40	114.72	126.05	131.47
18	114.35	115.02	102.46	112.92	118.68	18	127.16	127.99	116.44	127.39	133.21
19	115.71	116.42	103.92	114.09	120.18	19	128.64	129.51	118.09	128.67	134.87
20	117.02	117.76	105.32	115.20	121.62	20	130.06	130.97	119.68	129.89	136.47
21	118.27	119.04	106.67	116.27	123.00	21	131.43	132.37	121.22	131.07	138.01
22	119.48	120.28	107.97	117.30	124.33	22	132.74	133.73	122.70	132.20	139.49
23	120.65	121.48	109.23	118.30	125.62	23	134.01	135.03	124.13	133.29	140.92
24	121.78	122.64	110.45	119.25	126.86	24	135.24	136.30	125.51	134.34	142.30

Tempo di ritorno 100 anni						Tempo di ritorno 200 anni					
Durata	Celle ADBPO		ARPA Progetto STRADA	Elaborazione Gumbel		Durata	Celle ADBPO		ARPA Progetto STRADA	Elaborazione Gumbel	
	FB102	FB103	9672	Stazione Pieve San Giacomo	Stazione Cremona		FB102	FB103	9672	Stazione Pieve San Giacomo	Stazione Cremona
ore	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	ore	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	76.05	75.53	61.65	84.10	76.42	1	83.64	83.03	68.83	93.45	84.20
2	88.04	87.73	73.87	95.32	89.49	2	96.57	96.19	82.46	105.68	98.51
3	95.92	95.75	82.11	102.56	98.15	3	105.04	104.83	91.66	113.56	107.98
4	101.93	101.89	88.50	108.03	104.80	4	111.50	111.43	98.80	119.51	115.24
5	106.85	106.92	93.81	112.47	110.26	5	116.78	116.83	104.72	124.34	121.21
6	111.04	111.21	98.37	116.24	114.94	6	121.28	121.44	109.82	128.43	126.32
7	114.72	114.98	102.41	119.52	119.05	7	125.22	125.48	114.33	131.99	130.80
8	118.00	118.34	106.04	122.44	122.72	8	128.73	129.08	118.38	135.15	134.82
9	120.97	121.39	109.35	125.07	126.06	9	131.91	132.35	122.07	138.00	138.46
10	123.69	124.18	112.39	127.48	129.12	10	134.83	135.34	125.47	140.61	141.80
11	126.21	126.77	115.22	129.69	131.96	11	137.52	138.11	128.63	143.01	144.90
12	128.55	129.17	117.87	131.74	134.60	12	140.02	140.68	131.58	145.23	147.78
13	130.74	131.42	120.35	133.66	137.08	13	142.36	143.09	134.36	147.31	150.48
14	132.80	133.54	122.70	135.46	139.41	14	144.57	145.36	136.98	149.26	153.03
15	134.75	135.55	124.93	137.16	141.62	15	146.65	147.51	139.47	151.10	155.43
16	136.60	137.45	127.05	138.77	143.71	16	148.63	149.54	141.84	152.84	157.72
17	138.36	139.26	129.07	140.30	145.71	17	150.51	151.48	144.10	154.49	159.90
18	140.05	140.99	131.01	141.76	147.62	18	152.30	153.32	146.26	156.07	161.98
19	141.65	142.64	132.87	143.15	149.45	19	154.02	155.09	148.34	157.57	163.98
20	143.20	144.23	134.66	144.48	151.21	20	155.67	156.79	150.34	159.01	165.89
21	144.68	145.76	136.39	145.76	152.90	21	157.25	158.42	152.26	160.39	167.74
22	146.11	147.23	138.05	146.99	154.53	22	158.77	159.99	154.12	161.72	169.51
23	147.49	148.65	139.66	148.17	156.10	23	160.24	161.51	155.92	163.00	171.23
24	148.82	150.03	141.22	149.32	157.62	24	161.66	162.98	157.66	164.24	172.88

Figura 39 Confronto LSPP più cautelative

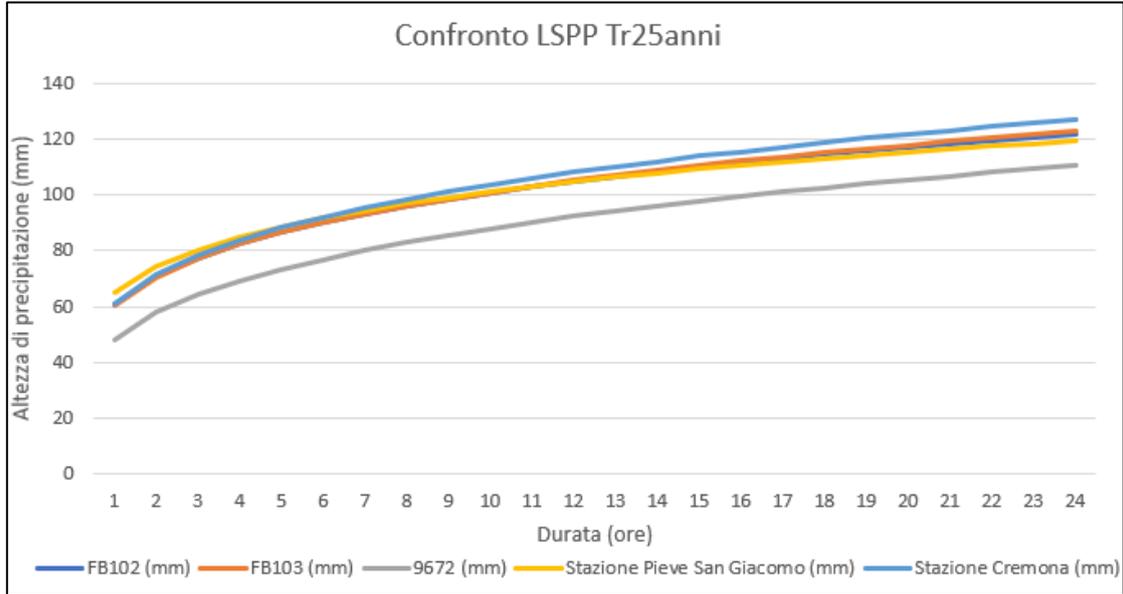


Figura 40 Confronto LSPP più cautelative – Tr25 anni

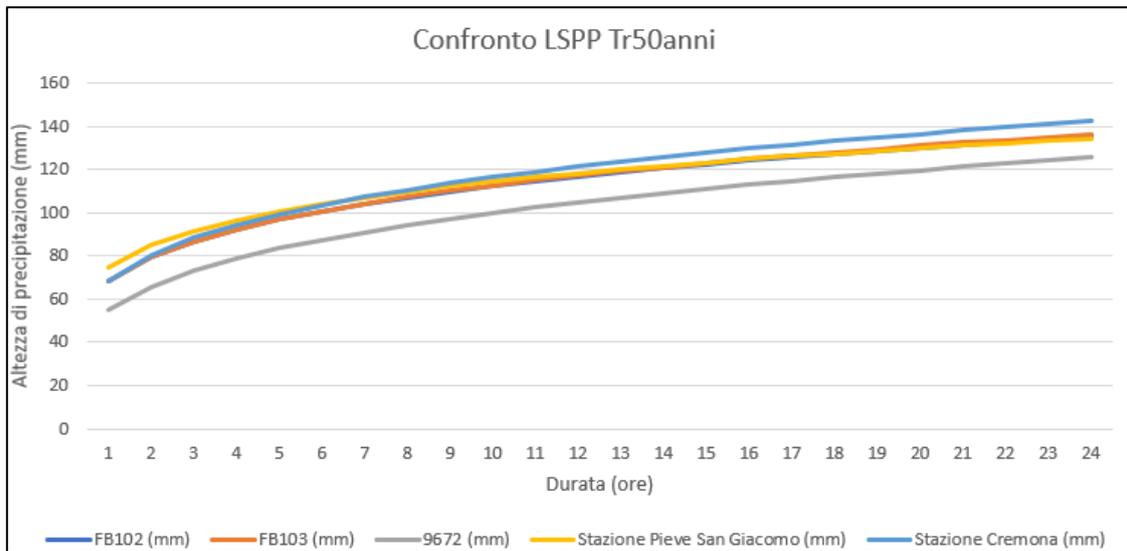


Figura 41 Confronto LSPP più cautelative – Tr50 anni

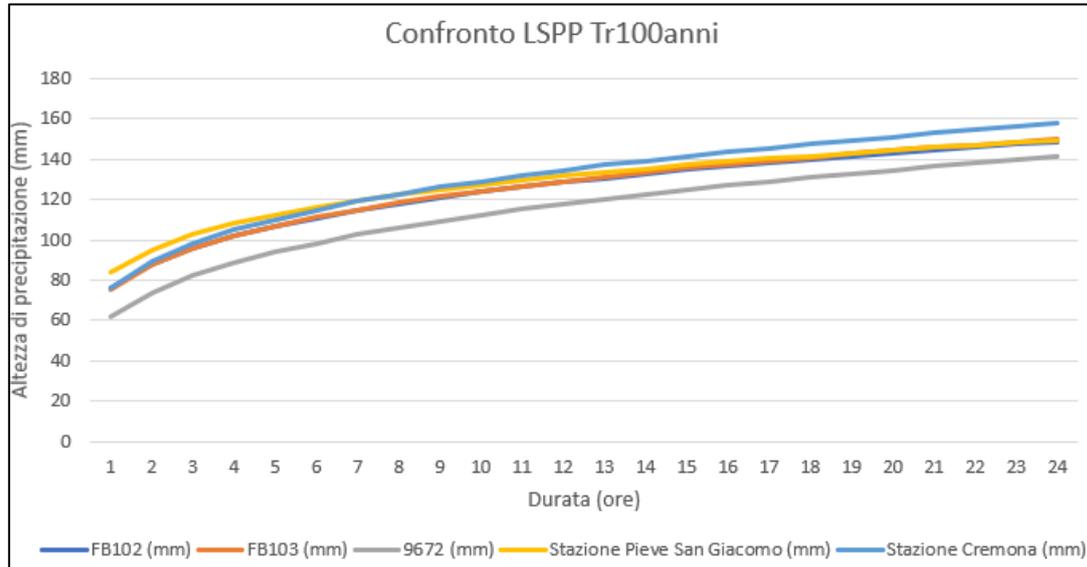


Figura 42 Confronto LSPP più cautelative – Tr100 anni

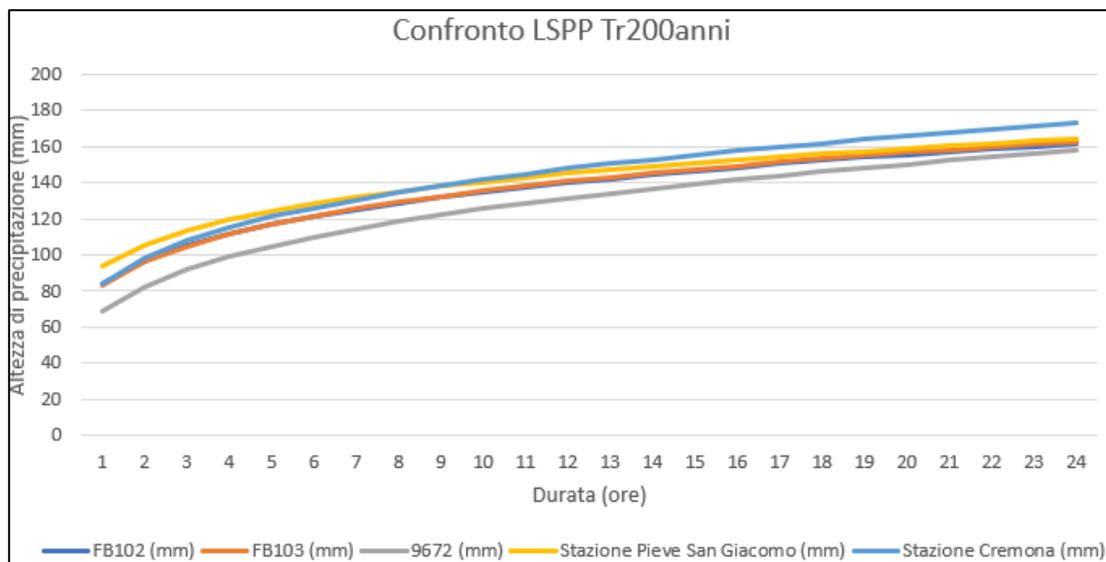


Figura 43 Confronto LSPP più cautelative – Tr200 anni

Dal confronto è emerso che le LSPP più cautelative per tutte le durate comprese tra 1 e 24 ore e per i tempi di ritorno analizzati sono quelle ottenute con il metodo Gumbel a partire dai dati registrati nelle stazioni di Pieve San Giacomo e Cremona.

4.5. Stima delle piogge di forte intensità e breve durata

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi. Gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

egual modo, in quanto l'estrapolazione delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora conduce ad una sovrastima delle intensità

Per la determinazione dei parametri delle curve per durate inferiori all'ora, è stata seguita la seguente metodologia:

- I. Sono state eseguite le elaborazioni statistiche sulle registrazioni pluviometriche ricavando i parametri della distribuzione di Gumbel con il *metodo dei momenti*;
- II. È stata imposta la continuità delle curve di pioggia in corrispondenza di durate pari a 1 ora, mantenendo, per ogni tempo di ritorno, lo stesso parametro "a", mentre cambiando il parametro "n";
- III. Si sono confrontati i valori di pioggia restituiti dai pluviometri analizzati applicando la formula di Bell (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969), imponendo $n' = 0.4638$;

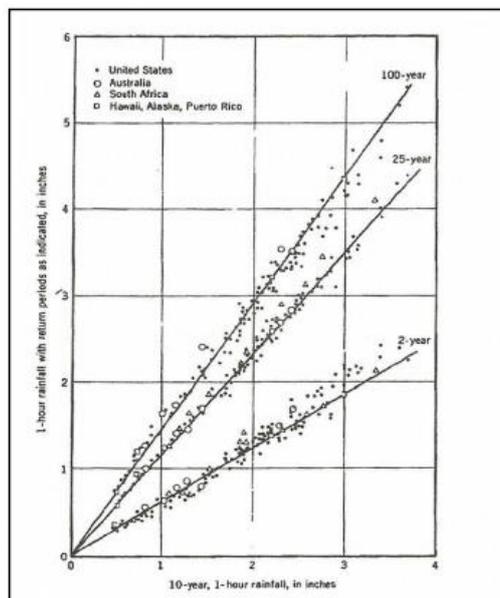
In particolare Bell ha osservato che i rapporti r_δ tra le altezze di durata τ molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione 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:

τ (minuti)	5	10	15	30
$r_\delta = h_\delta / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora – U.S. Water Bureau

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 Figura seguente

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B



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:

$$\frac{h_{t,Tr}}{h_{60,Tr}} = (0.54 \cdot t^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per durate:

$$5 \leq \tau \leq 120 \text{ min}$$

dove

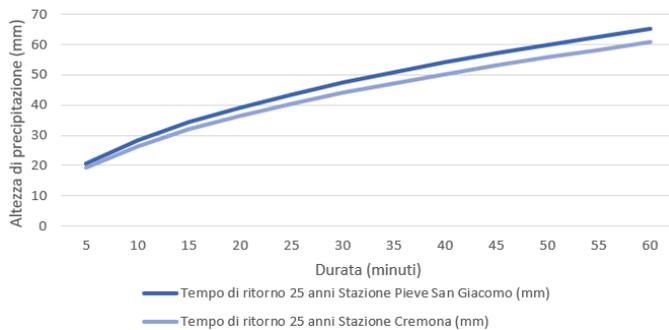
- $h_{t,Tr}$ indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo τ riferita al periodo di ritorno Tr
- $h_{60,Tr}$ è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno Tr
- τ è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia h_{τ} relativa all'evento di durata τ ($5 \leq \tau \leq 120 \text{ min}$), valutata sulla base dei parametri relative alle LSPP considerate (parametro $a = h_{60,Tr}$) e la relazione di Bell, 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' .

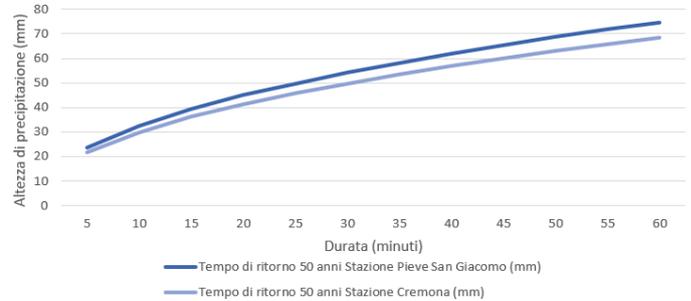
Di seguito, si riportano i confronti grafici per Tr 25, 50, 100, 200 anni ed una tabella di sintesi:

Durata	Tempo di ritorno 25 anni		Tempo di ritorno 50 anni		Tempo di ritorno 100 anni		Tempo di ritorno 200 anni	
	Stazione Pieve San Giacomo	Stazione Cremona						
(minuti)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
5	20.60	19.17	23.59	21.66	26.55	24.12	29.50	26.58
10	28.42	26.45	32.53	29.87	36.62	33.28	40.69	36.67
15	34.30	31.92	39.27	36.06	44.20	40.16	49.12	44.26
20	39.20	36.48	44.88	41.21	50.51	45.90	56.13	50.58
25	43.48	40.46	49.77	45.70	56.02	50.91	62.25	56.09
30	47.32	44.03	54.17	49.74	60.97	55.40	67.75	61.04
35	50.82	47.30	58.18	53.43	65.49	59.51	72.77	65.57
40	54.07	50.32	61.90	56.84	69.68	63.31	77.42	69.76
45	57.11	53.15	65.38	60.03	73.59	66.87	81.77	73.68
50	59.97	55.81	68.65	63.04	77.28	70.22	85.87	77.37
55	62.68	58.33	71.76	65.89	80.77	73.39	89.75	80.87
60	65.27	60.74	74.72	68.61	84.10	76.42	93.45	84.20

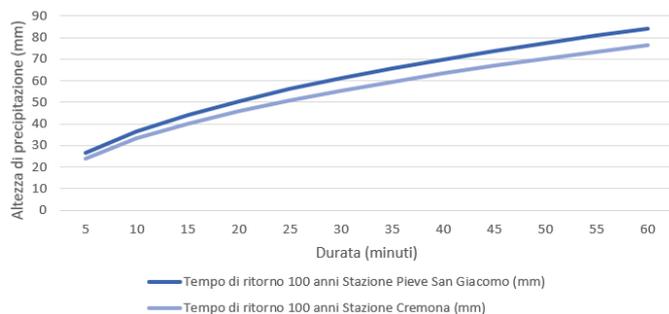
Confronto LSPP Tr25 anni per durate inferiori a 1 ora



Confronto LSPP Tr50 anni per durate inferiori a 1 ora



Confronto LSPP Tr100 anni per durate inferiori a 1 ora



Confronto LSPP Tr200 anni per durate inferiori a 1 ora

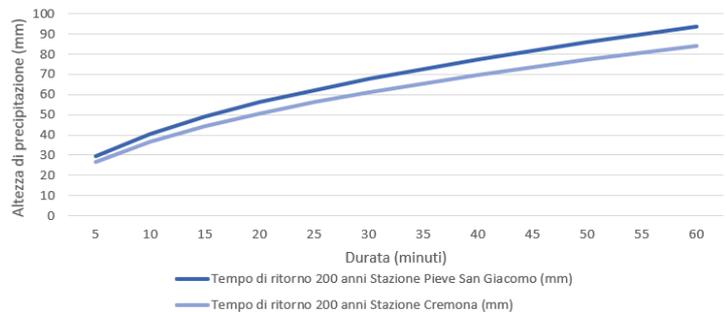


Figura 44 Confronto LSPP più cautelative con durata inferiore a 1 ora

Dai risultati sopra esposti si evince che per tutte le durate inferiori a 1 ora le LSPP ottenute a partire dai dati della stazione di Pieve San Giacomo portano a valori più cautelativi.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

4.6. 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:

<ul style="list-style-type: none"> Drenaggio della piattaforma (cunetta, tubazioni.): <table border="1" data-bbox="805 1361 1085 1440"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tr [anni]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Linea ferroviaria</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Deviazione stradali</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> Fossi di guardia: <table border="1" data-bbox="805 1473 1085 1552"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tr [anni]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Linea ferroviaria</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>Deviazione stradali</td> <td>25</td> </tr> </tbody> </table> 		Tr [anni]	Linea ferroviaria	100	Deviazione stradali	25		Tr [anni]	Linea ferroviaria	100	Deviazione stradali	25
	Tr [anni]											
Linea ferroviaria	100											
Deviazione stradali	25											
	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

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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 delle LSPP di progetto per eventi meteorici con durate inferiori e superiori all’ora in funzione del tempo di ritorno.

Per durate d inferiori a 1 ora:

- Tr25 anni $h=65.27d^{0.464}$
- Tr50 anni $h=74.72d^{0.464}$
- Tr100 anni $h=84.10d^{0.464}$
- Tr200 anni $h=93.45d^{0.464}$

Per durate d superiori a 1 ora:

- Tr25 anni per durate fino a 5ore $h=65.27d^{0.190}$ Per durate maggiori $h=60.74d^{0.232}$
- Tr50 anni per durate fino a 6ore $h=74.72d^{0.185}$ Per durate maggiori $h=68.61d^{0.230}$
- Tr100 anni per durate fino a 7ore $h=84.10d^{0.181}$ Per durate maggiori $h=76.42d^{0.228}$
- Tr200 anni per durate fino a 8ore $h=93.45d^{0.177}$ Per durate maggiori $h=84.20d^{0.226}$

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

5. STIMA PORTATE DI PIENA

In questo paragrafo vengono riassunti i parametri calcolati per i bacini idrografici. Più precisamente si riporteranno i valori dei tempi di corrivazione dei bacini, i coefficienti di deflusso calcolati mediante l'utilizzo delle due metodologie adottate, ovvero metodo razionale e SCS, la stima delle portate al colmo al variare dei tempi di ritorno definiti ed un confronto dei risultati ottenuti con i due metodo citati.

5.1. Descrizione dei bacini individuati

Per poter conoscere l'entità delle portate che i viadotti e i tombini di attraversamento idraulico dovranno smaltire, si è studiato il bacino idrologico che contribuisce alla formazione delle stesse.

Ad ogni manufatto idraulico è stato appunto associato un bacino idrografico avente sezione di chiusura proprio sull'opera stessa.

La maggior parte dei suddetti bacini sono stati perimetrati in funzione delle strade esistenti che, nel caso in esame, si identificano come spartiacque. Tali bacini risultano prevalentemente di tipo agricolo essendo la zona prevalentemente coltivata. Per la corografia dei bacini si rimanda agli elaborati NM2500D26C5ID0000001B, NM2500D26C5ID0000002B, NM2500D26C5ID0000003B e NM2500D26C5ID0000004B.

Per lo studio idraulico dei bacini, in primo luogo, si sono determinate le grandezze fisiche quali: area, quota altimetrica massima e minima del bacino, lunghezza e pendenza dell'asta maggiore.

Per poter calcolare le portate, oltre alle caratteristiche fisiche dei bacini, si è proceduto nel calcolo del tempo di corrivazione, questo è definito come il tempo che impiega l'ultima goccia d'acqua caduto nel punto idraulicamente più lontano ad arrivare alla sezione di chiusura. Il punto idraulicamente più lontano non è quello che presenta una distanza maggiore, bensì il tragitto più lento che una goccia d'acqua percorre per arrivare, appunto, alla sezione di chiusura del bacino stesso.

Il tempo di corrivazione è stato stimato utilizzando la formulazione presente nel Soil Conservation Service per quanto riguarda il metodo SCS e la formulazione di Ventura per quanto riguarda il metodo razionale a meno del bacino 24 che, data la grande estensione si è adottata la formulazione di Giandotti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Per quanto riguarda la scelta del coefficiente di deflusso, cioè quel parametro che tiene conto della tipologia di terreno e del suo uso, come riportato nei paragrafi precedenti si è deciso di utilizzare due differenti metodologie; il Metodo Razionale e il Metodo SCS.

Essendo i bacini individuati di modesta estensione, per la stima del coefficiente di deflusso è stato fatto uno studio del differente uso del suolo sia in termini agricoli che antropici. Tale studio ha evidenziato che l'uso del suolo è omogeneo nell'area oggetto di interesse, di conseguenza il coefficiente di deflusso stimato è pari a 0.30 ed il Curve Number pari a 85.54. Per il solo bacino IN24 si è considerato più cautelativo utilizzare un coefficiente di deflusso pari a 0.35.

Rimandando alle corografie dei bacini scolanti per maggiori dettagli, si riporta di seguito uno stralcio della delimitazione delle aree afferenti ai vari attraversamenti di progetto.

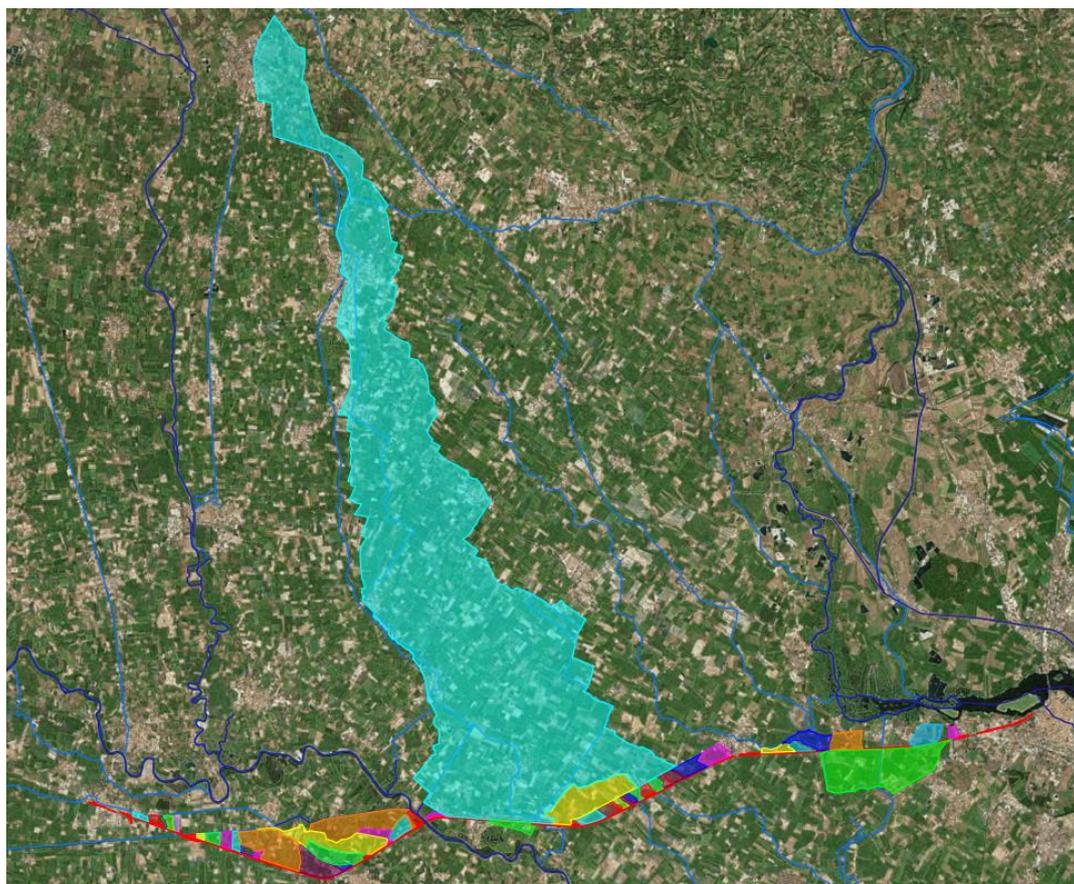


Figura 45 – Delimitazione bacini scolanti, in blu i canali in gestione a AIPO e in azzurro quelli del Piano di Gestione della Regione Lombardia, in rosso la linea di raddoppio in progetto

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

5.2. Calcolo portate al colmo di piena

Nel seguente paragrafo si riportano i metodi di trasformazione afflussi-deflussi e la metodologia per la stima dei coefficienti di deflusso che permetteranno il calcolo delle portate di piena.

La trasformazione afflussi-deflussi raggruppa l'insieme di diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica, prima ancora che il deflusso si incanali all'interno della rete idrografica.

Si può schematizzare tale metodo nella figura sottostante.

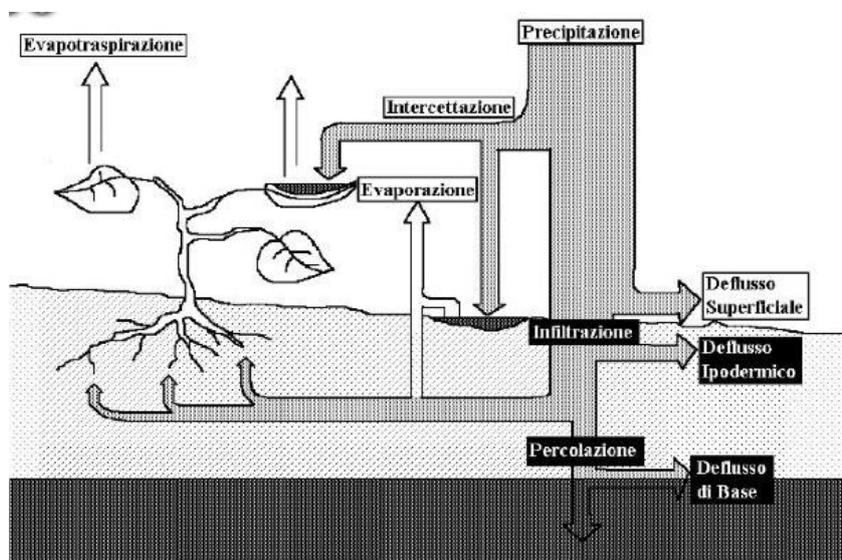


Figura 46 - Schema trasformazione afflussi-deflussi

La precipitazione viene in parte intercettata dalla vegetazione, in parte si infiltra nel terreno, in parte si accumula in piccoli invasi naturali e/o artificiali come per esempio avvallamenti nel terreno, pozze o impluvi artificiali mentre la parte rimanente costituisce il deflusso superficiale che scorrerà verso la rete idrografica in funzione della pendenza del bacino idrografico.

Il sistema suolo-vegetazione, quindi, costituisce una naturale capacità di invaso che tende a decurtare parte della pioggia che arriverà nella rete idrografica.

La riduzione della pioggia è dunque dipendente dalla capacità complessiva degli invasi che risulterà variabile nel tempo in quanto funzione del progressivo riempimento degli invasi e sia in funzione dei processi di trasferimento dell'acqua che agiscono nel sistema suolo-atmosfera.

La modellazione afflussi-deflussi è dunque la componente essenziale per la ricostruzione/stima degli idrogrammi di piena a partire dalla distribuzione areale delle piogge insistenti sul bacino idrografico.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Dal punto di vista matematico, il problema della ricostruzione di un idrogramma di piena può essere visto come la messa a punto di un filtro il cui ingresso è costituito da misure di una variabile $P(s,t)$ – la precipitazione insistente sul bacino durante un particolare evento – di tipo distribuito, ovvero dipendente sia dalla coordinata temporale t che dalla coordinata spaziale s e la cui uscita è una variabile $Q(t)$ – la portata nella sezione di chiusura del bacino – di tipo integrato nello spazio, ovvero dipendente solo dal tempo.

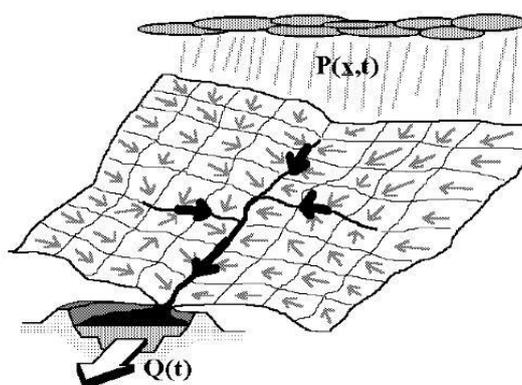


Figura 47 - Schema di trasferimento della pioggia

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi, ciascuno dei quali può essere rappresentato tramite un opportuno sotto-modello specializzato. In particolare, l'ingresso principale al modello sarà costituito da una serie di misure di pioggia, nel caso in esame si sono utilizzati i dati registrati dalle stazioni di Pieve San Giacomo e Cremona, che sono state interpolate mediante un opportuno modello estimativo, in modo da ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo in termini di afflussi per unità di area (ovvero con dimensioni di portata per unità di area).

La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale (ed eventualmente anche in deflusso ipodermico, nei limiti precedentemente accennati), detta anche precipitazione efficace o deflusso efficace, verrà stimata con un opportuno modello di trasformazione afflussi – deflussi, che stimerà la produzione di deflusso $q(s, t)$ idealmente in ciascun punto del bacino, avente questa ancora le dimensioni di una portata per unità di area.

Infine, il processo di concentrazione dei deflussi superficiali nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo sino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno modello di formazione dell'onda di piena.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Per il calcolo delle portate al colmo sono stati individuate due tipologie di trasformazione afflussi deflussi, più precisamente il metodo della corrivazione ed il metodo SCS CN Curve number.

Metodo razionale:

Il metodo razionale si basa sull'ipotesi che durante un evento meteorico, che inizi istantaneamente e continui con intensità costante nel tempo e nello spazio, la portata aumenti sino ad un tempo pari al tempo di corrivazione t_c , quando l'area di tutto il bacino contribuisce al deflusso. La portata al colmo Q_c è allora proporzionale al prodotto tra intensità di pioggia e area del bacino attraverso il coefficiente di afflusso C.

Il calcolo del tempo di corrivazione, definito come il tempo che impiega la particella di acqua idraulicamente più lontana ad arrivare alla sezione di chiusura, è stato eseguito per ogni bacino idrografico in esame utilizzando differenti formulazioni:

- Per bacini di $A > 8 \text{ km}^2$ si è scelto di utilizzare la Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_{\text{media}} - h_{\text{min}}}}$$

- Per bacini di $A < 8 \text{ km}^2$ si è scelto di utilizzare il tempo di corrivazione calcolato con la formulazione di Ventura.

$$t_c = 0.127 \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{i}}$$

dove:

- t_c è il tempo di corrivazione (ore);
- S/A è l'area del bacino (km^2);
- i è la pendenza (m/m);
- L è la lunghezza dell'asta fluviale (km);
- h_{min} è la quota alla sezione di chiusura (m slm);
- h_{med} è la quota media del bacino (m slm).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Nella tabella seguente si riportano i valori del tempo di corrivazione dei bacini:

Bacini	Dati bacini imbriferi										
	Superficie (mq)	Superficie (kmq)	Lunghezza d'asta (km)	Quota massima (m slm)	Quota media (m slm)	Quota minima (m slm)	Pendenza media (m/m)	CN (III) (-)	Tc Giandotti (h)	Tc Ventura (h)	Tc SCS (h)
Bacino 01	133548	0.134	0.50	25.40	24.50	23.60	0.004	85.54	2.91	0.77	1.09
Bacino 03	620846	0.621	1.39	24.40	23.85	23.30	0.001	85.54	8.83	3.56	5.27
Bacino 04	5310149	5.310	3.50	29.00	27.00	25.00	0.001	85.54	12.79	8.66	9.18
Bacino 05	663216	0.663	1.20	25.00	24.25	23.50	0.001	85.54	7.29	2.92	3.71
Bacino 06	626643	0.627	1.46	28.00	24.80	21.60	0.004	85.54	3.74	1.52	2.33
Bacino 07	98836	0.099	0.67	23.00	21.54	20.08	0.004	85.54	2.34	0.60	1.25
Bacino 08	142339	0.142	0.78	24.00	22.50	21.00	0.004	85.54	2.73	0.77	1.51
Bacino 09	205636	0.206	0.88	27.00	26.20	25.39	0.002	85.54	4.36	1.34	2.40
Bacino 10	511513	0.512	1.00	27.10	25.68	24.25	0.003	85.54	4.57	1.70	2.13
Bacino 11	422482	0.422	0.65	26.00	25.25	24.50	0.002	85.54	5.16	1.72	1.68
Bacino 12	330138	0.330	0.58	27.00	26.30	25.60	0.002	85.54	4.72	1.48	1.48
Bacino 13	167710	0.168	0.48	26.00	25.25	24.50	0.003	85.54	3.39	0.93	1.12
Bacino 14	182129	0.182	0.55	27.00	25.85	24.70	0.004	85.54	2.95	0.84	1.09
Bacino 15	115433	0.115	0.49	27.00	25.00	23.00	0.008	85.54	1.85	0.48	0.71
Bacino 16	89875	0.090	0.67	26.90	26.30	25.70	0.002	85.54	3.56	0.90	1.95
Bacino 17	75304	0.075	0.50	26.80	25.90	25.00	0.004	85.54	2.43	0.58	1.09
Bacino 18	92294	0.092	0.49	27.60	25.75	23.90	0.008	85.54	1.79	0.44	0.74
Bacino 19	83670	0.084	0.47	27.90	27.35	26.80	0.002	85.54	3.14	0.76	1.29
Bacino 20 (*)	246861	0.247	0.85	26.80	25.90	25.00	0.002	85.54	4.30	1.37	2.17
Bacino 21	276365	0.276	0.70	29.10	27.20	25.30	0.005	85.54	2.85	0.90	1.15
Bacino 22	31125	0.031	0.26	29.20	27.30	25.40	0.015	85.54	0.99	0.19	0.32
Bacino 23	2628989	2.629	3.40	27.50	26.00	24.50	0.001	85.54	11.82	6.93	10.21
Bacino 24	98398944	98.399	28.00	57.00	38.50	20.00	0.001	85.54	23.74	34.66	45.05
Bacino 25	340623	0.341	1.10	25.70	25.60	25.50	0.000	85.54	15.75	5.50	9.12
Bacino 28	68692	0.069	0.23	28.00	26.10	24.20	0.017	85.54	1.26	0.26	0.27
Bacino 29	103408	0.103	0.48	23.50	22.20	20.90	0.005	85.54	2.19	0.55	0.85
Bacino 30	2125567	2.126	4.40	25.00	23.40	21.80	0.001	85.54	12.29	6.87	13.82
Bacino 31	368312	0.368	1.10	22.40	21.80	21.20	0.001	85.54	6.58	2.33	3.72
Bacino 32	283062	0.283	1.20	23.40	22.40	21.40	0.002	85.54	4.91	1.66	3.23
Bacino 33	1741515	1.742	3.70	28.50	26.25	24.00	0.001	85.54	9.02	4.81	9.30
Bacino 34	28829	0.029	0.12	29.00	25.60	22.20	0.059	85.54	0.58	0.09	0.08
Bacino 35	799647	0.800	1.10	24.50	23.10	21.70	0.003	85.54	5.52	2.25	2.44
Bacino 36	89470	0.089	0.36	24.00	23.50	23.00	0.003	85.54	3.06	0.72	0.94
Bacino 37	950209	0.950	1.58	29.00	28.00	27.00	0.001	85.54	7.84	3.48	4.62
Bacino 38 (**)	2856394	2.856	3.40	30.00	28.25	26.50	0.001	85.54	11.21	6.69	9.45
Bacino 40	77504	0.078	0.70	30.00	29.25	28.50	0.002	85.54	3.12	0.76	1.85

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Bacini	Dati bacini imbriferi										
	Superficie (mq)	Superficie (kmq)	Lunghezza d'asta (km)	Quota massima (m slm)	Quota media (m slm)	Quota minima (m slm)	Pendenza media (m/m)	CN (III) (-)	Tc Giandotti (h)	Tc Ventura (h)	Tc SCS (h)
Bacino 41	129465	0.129	1.10	30.00	29.25	28.50	0.001	85.54	4.46	1.24	1.99
Bacino 42(***)	306879	0.307	1.20	30.00	29.12	28.23	0.001	85.54	5.34	1.83	3.43
Bacino 43	240562	0.241	0.85	30.00	29.25	28.50	0.002	85.54	4.67	1.48	2.38
Bacino 44	191141	0.191	0.76	30.50	30.00	29.50	0.001	85.54	5.09	1.53	2.50
Bacino 45	64929	0.065	0.28	29.00	28.50	28.00	0.004	85.54	2.54	0.54	0.69
Bacino 46	42294	0.042	0.18	30.30	29.30	28.30	0.011	85.54	1.37	0.25	0.27
Bacino 49	96441	0.096	0.59	31.50	30.65	29.80	0.003	85.54	2.88	0.73	1.39
Bacino 50	126873	0.127	0.57	31.60	30.65	29.70	0.003	85.54	2.92	0.78	1.26
Bacino 51	51578	0.052	0.43	31.60	30.93	30.26	0.003	85.54	2.37	0.52	1.04
Bacino 52	120767	0.121	0.52	31.50	30.78	30.06	0.003	85.54	3.20	0.84	1.28
Bacino 53	0.081	0.20	31.60	30.76	29.91	0.008	85.54	1.95	0.39	0.30	0.34

Note:
 (*) Il bacino IN20 comprende le aree scolanti da IN29
 (**) Il bacino IN38 comprende le aree scolanti dal bacino IN37
 (***) Il bacino IN42 comprende le aree scolanti dal bacino IN41

Tabella 11 – Dati bacini scolanti

Stimato il tempo di concentrazione si è individuato il coefficiente di deflusso che consentirà di tener conto della tipologia di terreno.

Il coefficiente di deflusso C è dato dal rapporto tra il volume (che coincide con la pioggia efficace) defluito dal bacino in un dato intervallo di tempo e il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale:

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

Per bacini di ridotte dimensioni, sono stati assunti i valori dei coefficienti di afflusso C e le percentuali di ripartizione tra aree boschive, aree ad uso agricolo e aree urbanizzate, sulla base dei valori riportati nella tabella seguente e da cui deriva un valore stimato di C=0.30, ad eccezione del bacino IN24, per i quali è stato considerato più cautelativo adottare un coefficiente C pari a 0.35.

Metodo SCS:

Il “CN” (Curve Number) è un parametro sintetico che esprime l’attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale) proposto dal Soil Conservation Service (USDA) nel 1972.

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

Il CN varia da zero a cento. Più alto è il valore maggiore è il deflusso prodotto a parità di precipitazione.

Tale modello è concentrato nello spazio e nel tempo e si basa sulla semplificazione concettuale del processo idrologico. La sua formulazione deriva dall'equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo dei principali termini dell'afflusso e quelli del deflusso. Si ipotizza che durante l'intero evento preso in considerazione resti invariata la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite per infiltrazione e il deflusso superficiale:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a}$$

Dove

- F = perdite effettive generate durante l'evento (mm);
- S = massima capacità di ritenzione idrica del suolo (mm);
- Q = pioggia netta cumulata (mm),
- P = pioggia lorda cumulata (mm);
- I_a = perdite iniziali dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali (mm).

Lo sviluppo successivo richiede la stima della portata massima adottando come forzante del bacino una pioggia netta desunta dal metodo del Curve Number introdotto dal Soil Conservation Service (SCS). Il volume specifico di pioggia netta P_e , dall'inizio dell'evento meteorico fino all'istante generico t è legato al volume specifico di pioggia lorda P , caduta nel medesimo intervallo temporale, dalla relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale. Questa relazione è valida soltanto per:

$$P \geq I_a$$

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

mentre nel caso in cui l'altezza di pioggia risulti minore di I_a si ha $P_e = 0$.

I parametri S ed I_a possono essere determinati attraverso operazioni di taratura del modello, ma in maniera semplificata si adotta $I_a = 0,2S$ verificata con buona approssimazione.

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN, tramite:

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

Con S espresso in millimetri.

L'indice CN, numero adimensionale compreso tra 0 e 100, è una funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione. Nella fattispecie esistono quattro gruppi che distinguono le tipologie di terreno sulla base delle capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento: a ciascuno di essi corrisponde un determinato valore di CN. Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC).

La stima del valore CN medio è stata eseguita utilizzando i dati del Corine Land Cover 2012 IV livello e ricavando il corrispettivo Curve Number, tale tabella ci fornisce il CN(II) che a sua volta è stato utilizzato per stimare il CN(III) mediante la seguente formulazione:

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

Nel caso in esame il CN(III) è pari a 85.54.

Il calcolo del tempo di corrvazione è stato eseguito per ogni bacino idrografico in esame utilizzando la formulazione del metodo SCS:

$$t_c = \left(\frac{1000}{CN(III)} - 9 \right)^{0.7} \left(\frac{L^{0.8}}{441i} \right)^{0.5}$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta fluviale espressa in m;
- i è la pendenza;

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID00000D	REV. B	FOGLIO 18 di 66

- CN(III) è il curve number.

5.3. Portate stimate con il metodo SCS e metodo Razionale

Nel seguente paragrafo si riportano i valori delle portate dei bacini idrografici individuati, calcolate con i due metodi afflussi/deflussi adottati, ovvero il metodo SCS e il metodo razionale.

Dal confronto dei risultati, riportati nella tabella seguente, si evince che entrambi i metodi restituiscono valori di portata confrontabili. In via cautelativa, si è deciso di verificare gli attraversamenti idraulici utilizzando la massima portata calcolata con i due metodi.

PROGETTO DEFINITIVO
RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA
TRATTA PIADENA MANTOVA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D26RH	ID000000D	B	1 di 66

Bacini	Stima della portata metodo SCS										Stima della portata con il metodo razionale						Portata di picco di progetto (mc/s)
	tc di progetto SCS (h)	a (Tr200) (mm/h)	n (Tr200) (-)	hlorda metodo SCS (Tr200) (mm)	S (potenziale di assorbimento) (-)	I (perdite inerziali)	hnetta (Tr200) (mm)	Tempo di ritardo (ore)	Tempo di accumulo (ore)	Portata di picco metodo SCS (mc/s)	tc di progetto metodo razionale (h)	a (Tr200) (mm/h)	n (Tr200) (-)	hlorda metodo razionale (Tr200) (mm)	Coefficiente di deflusso (-)	Portata di picco metodo SCS (mc/s)	
Bacino 01	1.09	93.45	0.177	94.89	42.95	8.59	57.6	0.65	1.20	1.33	0.77	93.45	0.464	82.95	0.30	1.19	1.33
Bacino 03	5.27	93.45	0.177	125.41	42.95	8.59	85.4	3.16	5.80	1.90	3.56	93.45	0.177	116.98	0.30	1.70	1.90
Bacino 04	9.18	84.2	0.226	138.96	42.95	8.59	98.1	5.51	10.10	10.73	8.66	93.45	0.177	136.93	0.35	8.17	10.73
Bacino 05	3.71	93.45	0.177	117.84	42.95	8.59	78.4	2.22	4.08	2.65	2.92	93.45	0.177	112.96	0.30	2.14	2.65
Bacino 06	2.33	93.45	0.177	108.53	42.95	8.59	69.9	1.40	2.56	3.56	1.52	93.45	0.177	100.62	0.30	3.46	3.56
Bacino 07	1.25	93.45	0.177	97.25	42.95	8.59	59.7	0.75	1.38	0.89	0.60	93.45	0.464	74.00	0.30	1.01	1.01
Bacino 08	1.51	93.45	0.177	100.47	42.95	8.59	62.6	0.90	1.66	1.12	0.77	93.45	0.464	82.91	0.30	1.27	1.27
Bacino 09	2.40	93.45	0.177	109.09	42.95	8.59	70.4	1.44	2.64	1.14	1.34	93.45	0.177	98.48	0.30	1.25	1.25
Bacino 10	2.13	93.45	0.177	106.86	42.95	8.59	68.4	1.28	2.35	3.10	1.70	93.45	0.177	102.67	0.30	2.57	3.10
Bacino 11	1.68	93.45	0.177	102.43	42.95	8.59	64.4	1.01	1.85	3.06	1.72	93.45	0.177	102.85	0.30	2.11	3.06
Bacino 12	1.48	93.45	0.177	100.19	42.95	8.59	62.4	0.89	1.63	2.63	1.48	93.45	0.177	100.15	0.30	1.86	2.63
Bacino 13	1.12	93.45	0.177	95.30	42.95	8.59	58.0	0.67	1.23	1.65	0.93	93.45	0.464	90.15	0.30	1.36	1.65
Bacino 14	1.09	93.45	0.177	94.91	42.95	8.59	57.6	0.65	1.20	1.82	0.84	93.45	0.464	86.10	0.30	1.56	1.82
Bacino 15	0.71	93.45	0.177	88.01	42.95	8.59	51.5	0.43	0.78	1.58	0.48	93.45	0.464	66.32	0.30	1.34	1.58
Bacino 16	1.95	93.45	0.177	105.21	42.95	8.59	66.9	1.17	2.15	0.58	0.90	93.45	0.464	88.97	0.30	0.74	0.74
Bacino 17	1.09	93.45	0.177	94.89	42.95	8.59	57.6	0.65	1.20	0.75	0.58	93.45	0.464	72.63	0.30	0.78	0.78
Bacino 18	0.74	93.45	0.177	88.61	42.95	8.59	52.1	0.44	0.81	1.23	0.44	93.45	0.464	64.12	0.30	1.11	1.23
Bacino 19	1.29	93.45	0.177	97.72	42.95	8.59	60.1	0.77	1.42	0.74	0.76	93.45	0.464	82.24	0.30	0.76	0.76
Bacino 20	2.17	93.45	0.177	107.21	42.95	8.59	68.7	1.30	2.39	1.48	1.37	93.45	0.177	98.82	0.30	1.48	1.48
Bacino 21	1.15	93.45	0.177	95.81	42.95	8.59	58.4	0.69	1.27	2.65	0.90	93.45	0.464	89.12	0.30	2.27	2.65

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA

TRATTA PIADENA MANTOVA

RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM25	03	D26RH	ID000000D	B	2 di 66

Bacini	Stima della portata metodo SCS										Stima della portata con il metodo razionale						Portata di picco di progetto (mc/s)
	tc di progetto SCS (h)	a (Tr200) (mm/h)	n (Tr200) (-)	hlorda metodo SCS (Tr200) (mm)	S (potenziale di assorbimento) (-)	I (perdite inerziali)	hnetta (Tr200) (mm)	Tempo di ritardo (ore)	Tempo di accumulo (ore)	Portata di picco metodo SCS (mc/s)	tc di progetto metodo razionale (h)	a (Tr200) (mm/h)	n (Tr200) (-)	hlorda metodo razionale (Tr200) (mm)	Coefficiente di deflusso (-)	Portata di picco metodo SCS (mc/s)	
Bacino 22	0.32	93.45	0.177	76.41	42.95	8.59	41.5	0.19	0.35	0.76	0.19	93.45	0.464	42.75	0.30	0.60	0.76
Bacino 23	10.21	84.2	0.226	142.33	42.95	8.59	101.2	6.12	11.23	4.93	6.93	93.45	0.177	131.65	0.30	4.16	4.93
Bacino 24	45.05	84.2	0.226	199.09	42.95	8.59	155.5	27.03	49.55	64.21	23.74	84.20	0.226	172.25	0.35	69.42	69.42
Bacino 25	9.12	84.2	0.226	138.75	42.95	8.59	97.9	5.47	10.03	0.69	5.50	93.45	0.177	126.35	0.30	0.65	0.69
Bacino 28	0.27	93.45	0.177	74.28	42.95	8.59	39.7	0.16	0.30	1.89	0.26	93.45	0.464	49.92	0.30	1.10	1.89
Bacino 29	0.85	93.45	0.177	90.77	42.95	8.59	54.0	0.51	0.93	1.24	0.55	93.45	0.464	70.93	0.30	1.11	1.24
Bacino 30	13.82	84.2	0.226	152.42	42.95	8.59	110.8	8.29	15.20	3.22	6.87	93.45	0.177	131.42	0.30	3.39	3.39
Bacino 31	3.72	93.45	0.177	117.92	42.95	8.59	78.5	2.23	4.09	1.47	2.33	93.45	0.177	108.57	0.30	1.43	1.47
Bacino 32	3.23	93.45	0.177	114.99	42.95	8.59	75.8	1.94	3.55	1.26	1.66	93.45	0.177	102.17	0.30	1.46	1.46
Bacino 33	9.30	84.2	0.226	139.38	42.95	8.59	98.5	5.58	10.23	3.49	4.81	93.45	0.177	123.38	0.30	3.73	3.73
Bacino 34	0.08	93.45	0.177	60.15	42.95	8.59	28.1	0.05	0.09	1.85	0.09	93.45	0.464	30.36	0.30	0.82	1.85
Bacino 35	2.44	93.45	0.177	109.40	42.95	8.59	70.7	1.46	2.68	4.39	2.25	93.45	0.177	107.88	0.30	3.19	4.39
Bacino 36	0.94	93.45	0.177	92.38	42.95	8.59	55.4	0.56	1.03	1.00	0.72	93.45	0.464	80.02	0.30	0.83	1.00
Bacino 37	4.62	93.45	0.177	122.50	42.95	8.59	82.7	2.77	5.08	3.22	3.48	93.45	0.177	116.53	0.30	2.65	3.22
Bacino 38	9.45	84.2	0.226	139.88	42.95	8.59	98.9	5.67	10.39	5.65	6.69	93.45	0.177	130.82	0.30	4.65	5.65
Bacino 40	1.85	93.45	0.177	104.20	42.95	8.59	66.0	1.11	2.03	0.52	0.76	93.45	0.464	82.47	0.30	0.70	0.70
Bacino 41	3.33	93.45	0.177	115.62	42.95	8.59	76.4	2.00	3.66	0.56	1.24	93.45	0.177	97.04	0.30	0.85	0.85
Bacino 42	1.81	93.45	0.177	103.84	42.95	8.59	65.6	1.09	2.00	1.21	1.09	93.45	0.177	94.89	0.30	1.29	1.29
Bacino 43	2.38	93.45	0.177	108.96	42.95	8.59	70.3	1.43	2.62	1.34	1.48	93.45	0.177	100.20	0.30	1.35	1.35
Bacino 44	2.50	93.45	0.177	109.90	42.95	8.59	71.1	1.50	2.75	1.03	1.53	93.45	0.177	100.70	0.30	1.05	1.05

Bacini	Stima della portata metodo SCS										Stima della portata con il metodo razionale						Portata di picco di progetto (mc/s)
	tc di progetto SCS (h)	a (Tr200) (mm/h)	n (Tr200) (-)	hlorda metodo SCS (Tr200) (mm)	S (potenziale di assorbimento) (-)	I (perdite inerziali)	hnetta (Tr200) (mm)	Tempo di ritardo (ore)	Tempo di accumulo (ore)	Portata di picco metodo SCS (mc/s)	tc di progetto metodo razionale (h)	a (Tr200) (mm/h)	n (Tr200) (-)	hlorda metodo razionale (Tr200) (mm)	Coefficiente di deflusso (-)	Portata di picco metodo SCS (mc/s)	
Bacino 45	0.69	93.45	0.177	87.47	42.95	8.59	51.1	0.41	0.76	0.91	0.54	93.45	0.464	70.30	0.30	0.70	0.91
Bacino 46	0.27	93.45	0.177	74.31	42.95	8.59	39.8	0.16	0.30	1.16	0.25	93.45	0.464	48.91	0.30	0.70	1.16
Bacino 49	1.39	93.45	0.177	99.07	42.95	8.59	61.4	0.83	1.53	0.80	0.73	93.45	0.464	81.00	0.30	0.89	0.89
Bacino 50	1.26	93.45	0.177	97.33	42.95	8.59	59.8	0.75	1.38	1.14	0.78	93.45	0.464	83.45	0.30	1.13	1.14
Bacino 51	1.04	93.45	0.177	94.08	42.95	8.59	56.9	0.62	1.14	0.53	0.52	93.45	0.464	68.79	0.30	0.57	0.57
Bacino 52	1.28	93.45	0.177	97.66	42.95	8.59	60.1	0.77	1.41	1.07	0.84	93.45	0.464	86.12	0.30	1.03	1.07
Bacino 53	0.34	93.45	0.177	77.28	42.95	8.59	42.3	0.21	0.38	1.89	0.39	93.45	0.464	60.56	0.30	1.04	1.89

Tabella 12 – Stima delle portate

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B	FOGLIO 1 di 66

6. CONSIDERAZIONI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici.

Mentre la conoscenza del clima presente, passato e delle variazioni in corso si fonda sulla 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.

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/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).

Recentemente l'ISPRA (rif. “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*”, 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

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

	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

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) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

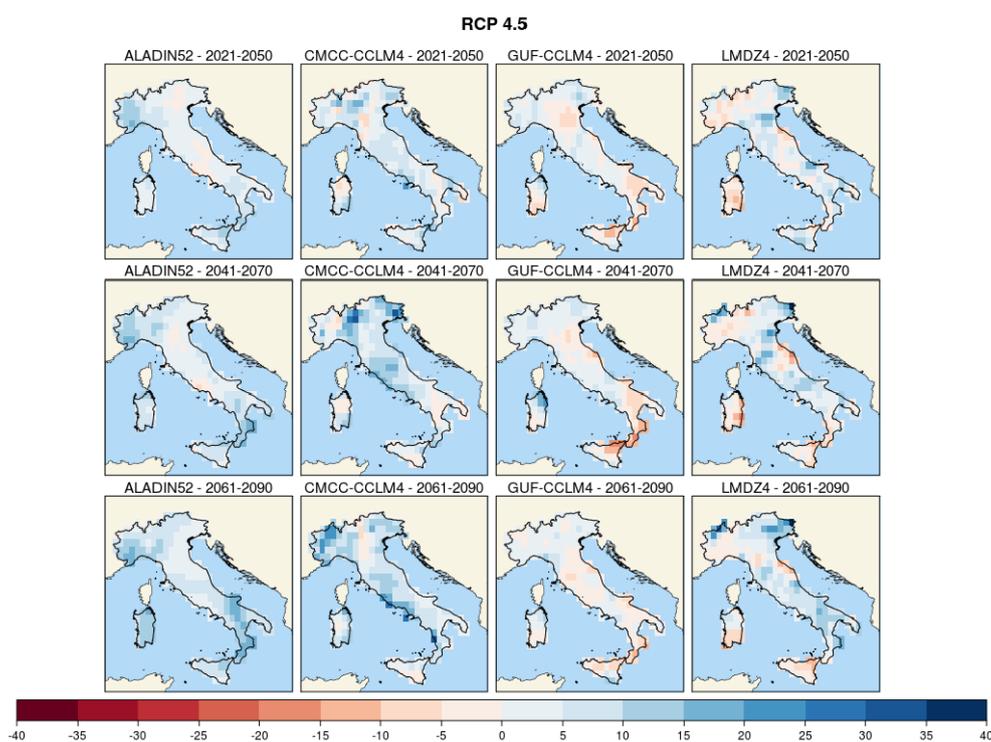


Figura 48 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5 Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

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) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO CODOGNO-CREMONA-MANTOVA TRATTA PIADENA MANTOVA					
	RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE	COMMESSA NM25	LOTTO 03	CODIFICA D26RH	DOCUMENTO ID000000D	REV. B

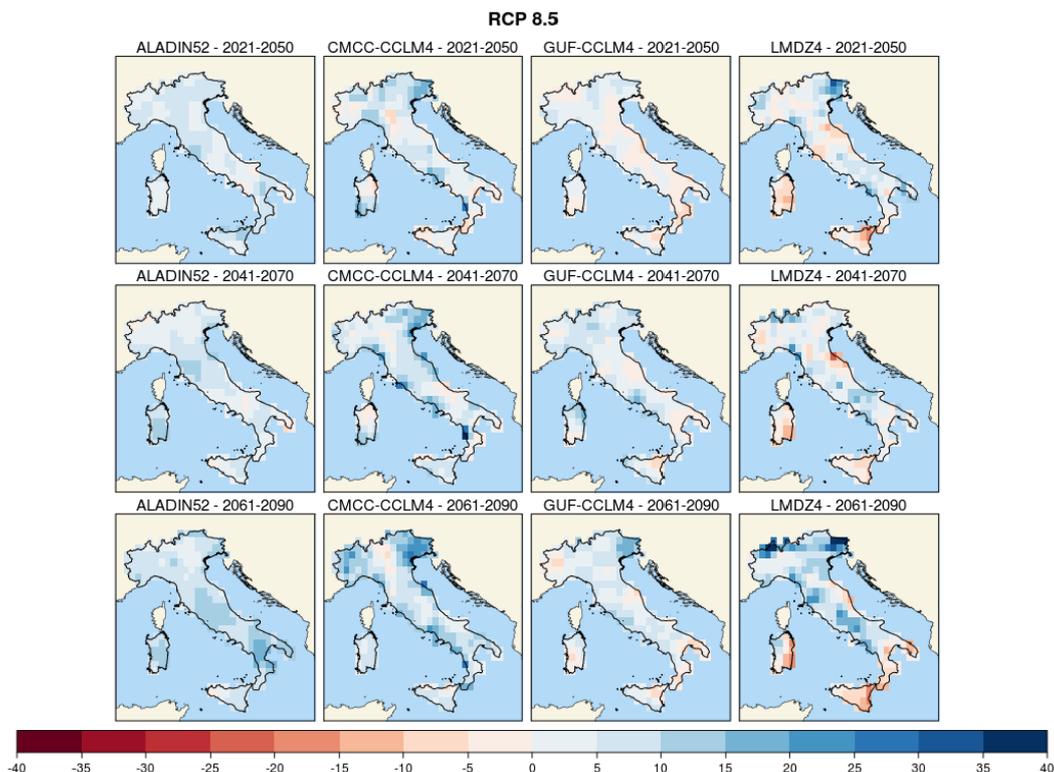


Figura 49 - Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h_{24}) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione $maxh_{24}$ (RCP4.5)	Variazione $maxh_{24}$ (RCP8.5)
2021-2050	+5-10 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (ALADIN52)
2041-2070	+0-5 mm (ALADIN52)	+5-10 mm (ALADIN52)
2061-2090	+15-20 mm (ALADIN52)	+20-25 mm (ALADIN52)

Tabella 13 Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015).

Con riferimento allo studio idrologico annesso, per l'aria di intervento nel presente progetto, la variazione massima prevista ammonta a +5-15 mm nel trentennio 2061-2090, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera che non pregiudica le analisi effettuate con i modelli classici.