

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO

IDRAULICA DI SEDE
RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

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

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

Re	Descrizione	Redatto	Data	Verifica	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau <i>F. Serrau</i>	Marzo 2020	S.Scafa <i>S.Scafa</i>	Marzo 2020	M. Berlingieri <i>MB</i>	Marzo 2020	

File: NB1R00D26RHID0101001A

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NB1R	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 2 di 59

INDICE

1	PREMESSA	5
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
3	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	7
3.1	INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO.....	7
3.2	BACINO IDROGRAFICO DELL'ADDA.....	9
3.3	CONSORZIO DI BONIFICA MEDIA PIANURA BERGAMASCA	11
3.4	ASPETTI IDROLOGICI	13
4	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	14
4.1	ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE – PAI.....	14
4.1.1	ESTRAPOLAZIONE DELLE CURVE PER Tr 25 E 50 ANNI.....	16
4.2	LSPP – ARPA LOMBARDIA	23
4.2.1	L'ATLANTE DELLE PIOGGE INTENSE DELLA LOMBARDIA	23
4.2.2	IL MODELLO PROBABILISTICO DI GEV (O DISTRIBUZIONE GENERALIZZATA DEL VALORE ESTREMO).....	28
4.3	CONFRONTO CURVE DI PIOGGIA PAI ADBPO – ARPA LOMBARDIA.....	29
4.3.1	ARPA LOMBARDIA.....	29
4.3.2	PAI – ADBPO	35
4.3.3	CONFRONTO TRA LE CURVE MASSIME INDIVIDUATE	36
4.3.4	CONFRONTO TRA LE CURVE MASSIME ARPA E DATI ELABORATI STATISTICAMENTE	37
5	RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI.....	39
6	VALORI ADOTTATI.....	41
7	ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI.....	42
7.1	STIMA DELLE PORTATE	43
7.1.1	METODO RAZIONALE.....	43
7.1.2	TEMPO DI CORRIVAZIONE	44
8	INTEGRAZIONE DERIVANTE DALLO STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO DICAR DELL'UNIVERSITÀ DI PAVIA.....	45
8.1	SCARICATORE CASCINA LUPO (IN11).....	45
8.2	SCARICATORE VALLE D'ASTINO (IN10)	46
8.3	ROGGIA SERIO (VI05)	47
9	ALLEGATI.....	48
9.1	TOMBINI DI ATTRAVERSAMENTO.....	48
9.2	FORNICI DI TRASPARENZA	49

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	00	D 26 RH	ID 0001 001	A	3 di 59

INDICE DELLE TABELLE

FIGURA 1.1 - LOCALIZZAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO.	5
FIGURA 3.1 - LOCALIZZAZIONE INTERVENTI.	7
FIGURA 3.2 - INQUADRAMENTO AREA DI INTERVENTO.	8
FIGURA 3.3 - SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI.	8
FIGURA 3.4 - BACINO FIUME PO.	9
FIGURA 3.5 - BACINO ADDA.	9
FIGURA 3.6 - SOTTOBACINO ADDA SUBLACUALE.	10
FIGURA 3.7 - INQUADRAMENTO SOTTOBACINI.	10
FIGURA 3.8 - INQUADRAMENTO CONSORZIO BONIFICA MEDIA PIANURA BERGAMASCA.	11
FIGURA 3.9 - INTERSEZIONI CON CANALI IRRIGUI.	12
FIGURA 4.1 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO PAI.	16
FIGURA 4.2 - DATI ED INTERPOLAZIONE DU71.	17
FIGURA 4.3 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DU71.	18
FIGURA 4.4 - DATI ED INTERPOLAZIONE DV71.	18
FIGURA 4.5 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DV71.	19
FIGURA 4.6 - DATI ED INTERPOLAZIONE DW71.	20
FIGURA 4.7 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DW71.	21
FIGURA 4.8 - DATI ED INTERPOLAZIONE EB71.	21
FIGURA 4.9 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (CURNO_1) – DA PK 3+950 A PK 5+500.	24
FIGURA 4.10 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (BERGAMO_1) – DA PK 2+400 A PK 3+950.	25
FIGURA 4.11 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (BERGAMO_2) – DA PK 0+900 A PK 2+400.	26
FIGURA 4.12 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (BERGAMO_3) – DA PK 0+000 A PK 0+900.	26
FIGURA 4.13 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (ALBANO SANT'ALESSANDRO) – NV02.	27
FIGURA 4.14 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (MONTELLO 1) – NV03.	27
FIGURA 4.15 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA - PROGETTO STRADA (MONTELLO 2) – NV03.	28
FIGURA 4.16 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 200 ANNI.	30
FIGURA 4.17 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 100 ANNI.	31
FIGURA 4.18 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 50 ANNI.	32
FIGURA 4.19 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE Tr 25 ANNI.	33
FIGURA 4.20 - CONFRONTO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE CELLE PIÙ IMPATTANTI.	34
FIGURA 4.21 - CONFRONTO CELLE ADBPO PER I TEMPI DI RITORNO RICHIESTI.	35
FIGURA 4.22 - CONFRONTO CURVE PAI-ARPA.	37
FIGURA 4.23 - CONFRONTO CURVE MASSIME ARPA E DATI ELABORATI CON GUMBEL.	38
FIGURA 5.1 - RELAZIONE ALTEZZA-FREQUENZA PER 2, 25, 100 ANNI.	39
FIGURA 5.2 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA INFERIORE AD UN'ORA.	40
FIGURA 7.1 - ESTRATTO COROGRAFIA BACINI.	43
FIGURA 8.1 - ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO DELLO SCARICATORE VALLE DI ASTINO.	46
FIGURA 9.1 - IDENTIFICAZIONE BACINO IN51.	49
FIGURA 9.2 - IDENTIFICAZIONE BACINO IN52.	50
FIGURA 9.3 - IDENTIFICAZIONE BACINO IN53 E IN54 (DA DESTRA A SINISTRA).	51
FIGURA 9.4 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN55, IN56, IN57, IN58 (DA DESTRA VERSO SINISTRA).	52
FIGURA 9.5 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN59.	53
FIGURA 9.6 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN60.	54
FIGURA 9.7 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN61.	55
FIGURA 9.8 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN62.	56
FIGURA 9.9 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN63.	57
FIGURA 9.10 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN64.	58
FIGURA 9.11 - IDENTIFICAZIONE BACINO DEGLI ATTRAVERSAMENTI IN65, IN66, IN67, IN68 (DA DESTRA VERSO SINISTRA).	59

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 4.I - ESTRAPOLAZIONE ALLEGATO 3_DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE DEL PAI 7. NORME DI ATTUAZIONE.	16
TABELLA 4.II - ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 200 ANNI.....	30
TABELLA 4.III - ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 100 ANNI.....	31
TABELLA 4.IV - TABELLA ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE Tr 50 ANNI.	32
TABELLA 4.V - TABELLA ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE Tr 25 ANNI.	33
TABELLA 4.VI -	34
TABELLA 5.I - RAPPORTO TRA ALTEZZA DI PIOGGIA DI DURATA INFERIORE AD UN ORA – U.S. WATER BUREAU.	39
TABELLA 6.I - PARAMETRI LSPP DI PROGETTO LINEA FERROVIARIA, NV01, NV05.	41
TABELLA 6.II - PARAMETRI LSPP DI PROGETTO VIABILITÀ NV02, NV03.	41
TABELLA 7.I - TOMBINI DI ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO.....	42
TABELLA 7.II - FORNICI DI TRASPARENZA.	42
TABELLA 8.I - BACINO DELLO SCARICATORE CASCINA LUPO.....	45
TABELLA 8.II - DATI IN11.	45
TABELLA 8.III - DATI UTILIZZATI PER L'IN10.....	46
TABELLA 8.IV - AREE DEI SOTTOBACINI FORMANTI IL BACINO DELL'IN10.	46
TABELLA 8.V - AREA DEL BACINO DEL VI05.	47

1 PREMESSA

Obiettivo della presente relazione è la definizione dei dati pluviometrici per piogge intense di breve durata con la stima dei necessari parametri pluviometrici a supporto della progettazione definitiva del progetto di raddoppio della linea ferroviaria Ponte San Pietro-Bergamo.

Nella relazione, inoltre, si riporta l'inquadramento idraulico dell'area in esame con individuazione delle interferenze con i corsi d'acqua maggiori e minori.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- Reperimento della cartografia di base;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e del bacino di interesse;
- Reperimento di informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- Raccolta ed analisi preliminare dei dati pluviometrici;
- Analisi statistica delle piogge intense e determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative;
- Reperimento di progetti propedeutici allo sviluppo di analisi dimensionali.

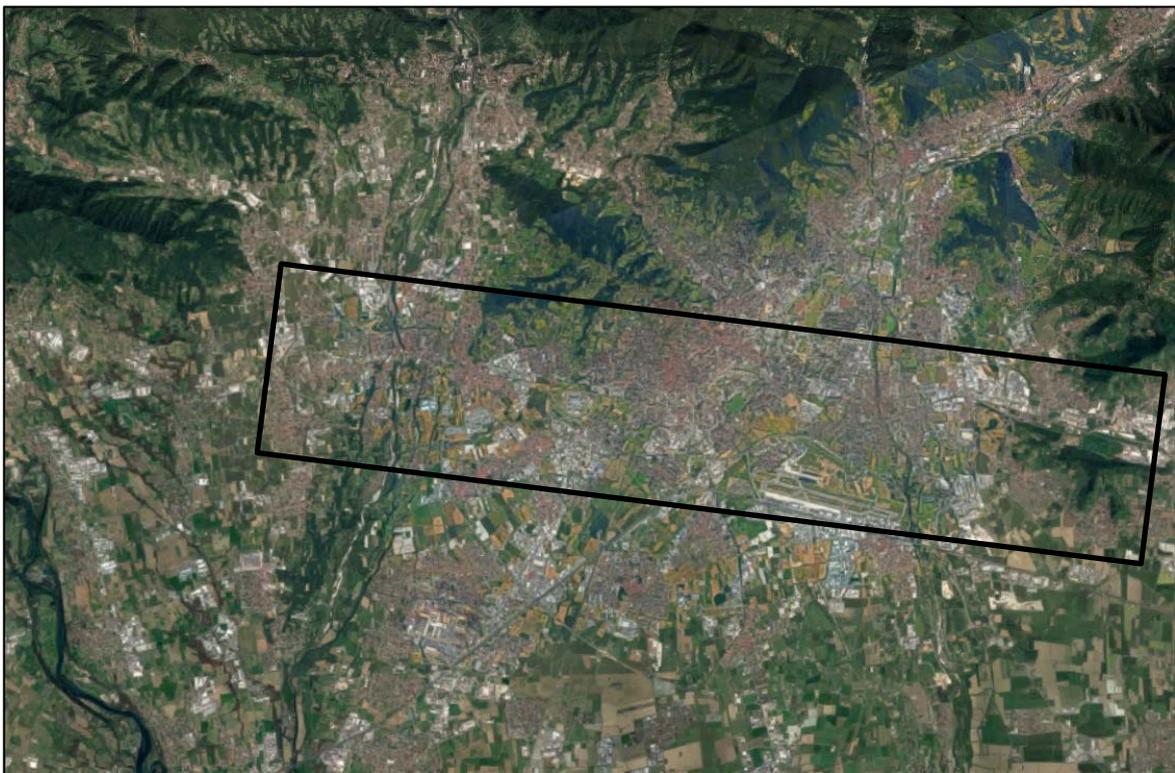


Figura 1.1 - Localizzazione dell'area di intervento.

Lo studio idrologico è finalizzato alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno, che verranno assunte nelle successive verifiche idrauliche. La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme tecniche delle costruzioni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NB1R	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 6 di 59

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- PAI - 1. Relazione Generale;
- 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;
- 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 del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016);
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016;
- 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";
- 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;
- 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";
- Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8. "Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 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")".

Il progetto in essere considera inoltre:

- "Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico e quadro degli interventi Bacino dell'Adda Sottolacuale" dell'Autorità di bacino del Fiume Po.

	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	00	D 26 RH	ID 0001 001	A	7 di 59

3 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Il progetto in essere prevede la realizzazione dell'ACC di Bergamo su ferro attuale, il raddoppio da Bergamo (e) a Curno (i) della linea esistente a semplice binario con inserimento di un bivio per il passaggio da doppio a singolo prima della radice ovest di Bergamo, la soppressione dei passaggi a livello (PL) esistenti sulla linea da Bergamo a Curno ad eccezione del PL di Martin Luther King e di via Moroni che saranno a cura RFI, l'ampliamento della fermata di Bergamo Ospedale conseguente al raddoppio della linea e la realizzazione della fermata di Curno e la sistemazione del PRG di Ponte S. Pietro.

In Figura 3.1 si riporta una foto aerea con indicazione dell'area oggetto di studio (Google Earth).



Figura 3.1 - Localizzazione interventi.

3.1 INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO

Il tracciato in progetto si sviluppa complessivamente in affiancamento all'esistente rilevato ferroviario, in particolare parte del raddoppio si posiziona a nord e parte a sud del rilevato esistente contemplando anche una leggera variante della linea storica.

Gli interventi in progetto ricadono all'interno del sottobacino idrografico "Adda sublacuale" ricadente nell'area di giurisdizione dell'Autorità di bacino del Fiume Po. Nell'immagine a seguire i principali bacini idrografici gestiti, fino a febbraio 2017, dall'Autorità di Bacino del fiume Po (in rosso il bacino idrografico di interesse).

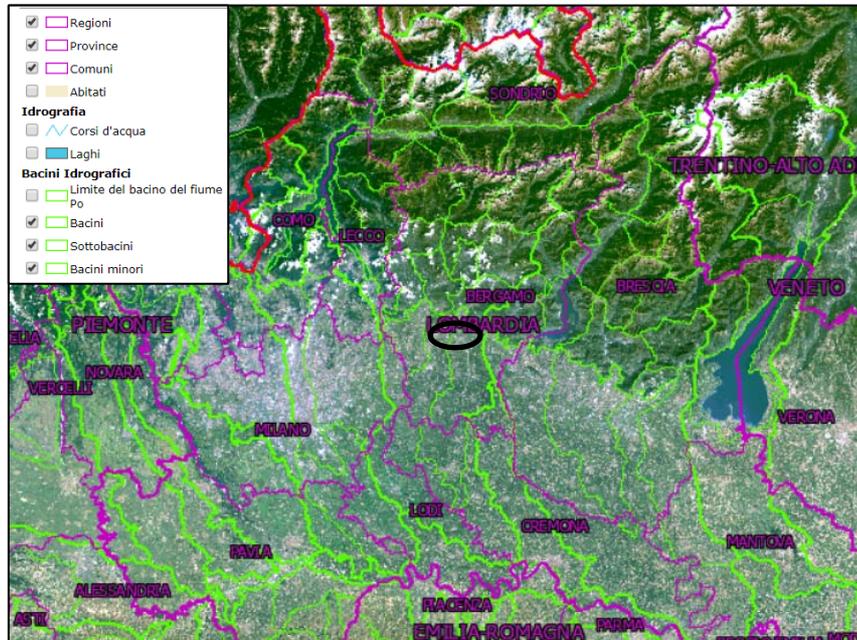


Figura 3.2 - Inquadramento area di intervento.

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



Figura 3.3 - Suddivisione territoriale in distretti.

L'intervento, secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, ricade nel Distretto idrografico Padano le cui competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po con il PGRA in vigore.

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi da analizzare sono:

- Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI);
- Piano di Gestione Rischio Alluvione (PGRA).

3.2 BACINO IDROGRAFICO DELL'ADDA

Il bacino dell'Adda ha una superficie complessiva di circa 7.927 km², per il 94% circa in territorio italiano e per il rimanente 6% in territorio svizzero.

Complessivamente il bacino si trova per il 79% in ambito montano e per il 21% in pianura; la parte italiana del bacino si trova per l'81% in ambito montano e per il 19% in pianura. La quota in territorio italiano di questo bacino costituisce l'11% della superficie complessiva del bacino del fiume Po.

Il bacino imbrifero dell'Adda si compone dei seguenti sottobacini:

- Adda sopralacuale (Valtellina e Valchiavenna)
formato dal bacino dell'Adda montano, si sviluppa in direzione est-ovest e dal bacino del fiume Mera che raccoglie i deflussi della Valchiavenna. Gli affluenti principali sono i torrenti Frodolfo, Mallero, Masino, Tartano e Bitto;
- lago di Como
è drenato da una serie di torrenti quali Pioverna, Breggia, Faloppia, Albano, Liro e Livo;
- Brembo;
- Serio;
- Adda sottolacuale
oltre a ricevere il Brembo e il Serio, è alimentato da un bacino di pianura incerta definizione, in relazione alla fitta rete di canali e corsi d'acqua minori fittamente sviluppati che determinano interscambi con i bacini limitrofi; i principali affluenti in destra sono i torrenti Brembo di Mezzoldo, Enna, Brembilla, Imagna, Lesina e Dordo; in sinistra i torrenti Valsecca, Parina, Serina e Quisa. Ai fini delle analisi conoscitive e della successiva delineazione degli interventi di Piano, il bacino idrografico del Ticino viene suddiviso nell' asta principale e nel suo bacino montano.



Figura 3.4 - Bacino Fiume Po.

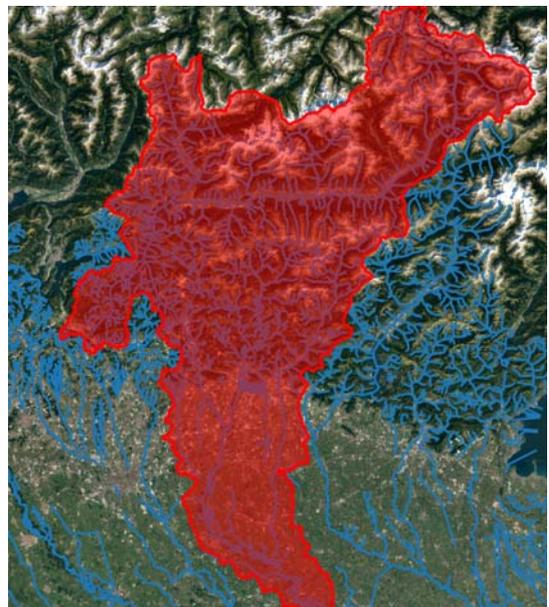


Figura 3.5 - Bacino Adda.

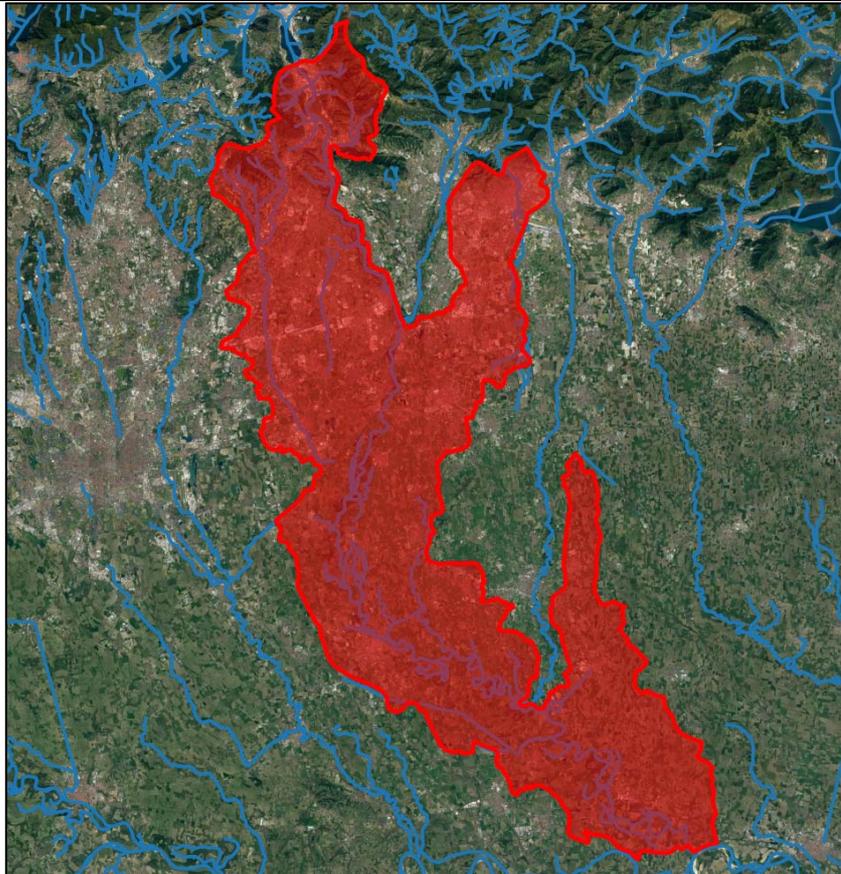


Figura 3.6 - Sottobacino Adda sublacuale.

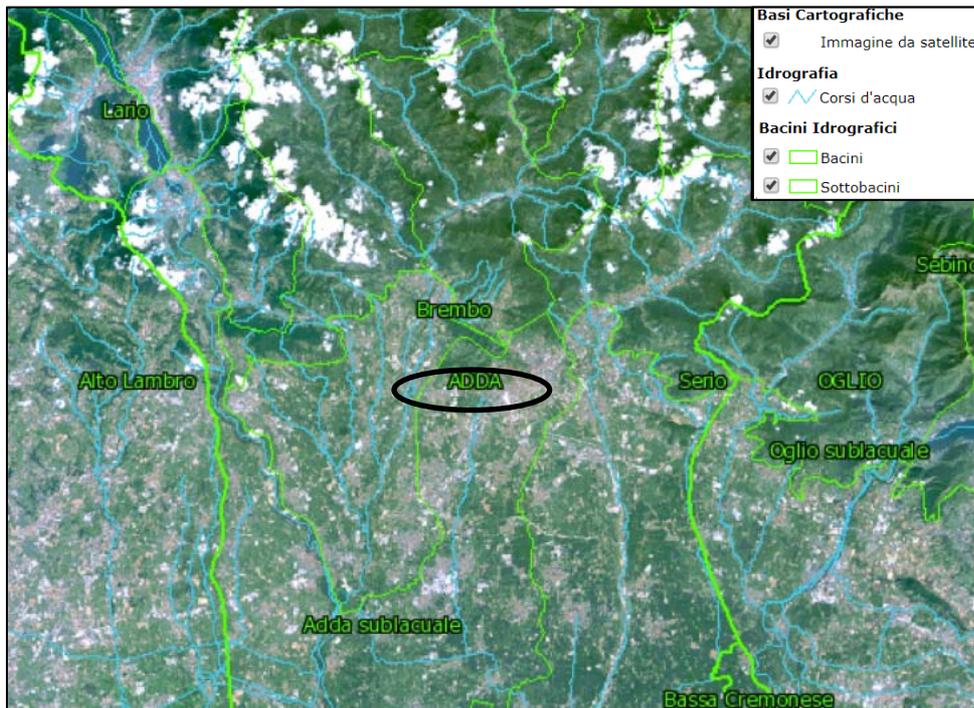


Figura 3.7 - Inquadramento sottobacini.

Nel progetto in essere si ricade nel sottobacino dell'Adda sublacuale.

3.3 CONSORZIO DI BONIFICA MEDIA PIANURA BERGAMASCA

Il Consorzio di Bonifica della Media Pianura Bergamasca è un ente di diritto pubblico la cui costituzione risale al 1955.

Opera in base a quanto previsto dalla Legge dello Stato (Regio Decreto 13.2.1933 n°215) dal Codice Civile (art.862) per assicurare lo scolo delle acque, la difesa del suolo, la tutela delle risorse idriche e naturali, l'irrigazione e la valorizzazione di un comprensorio, classificato di bonifica.

L'estensione del comprensorio è di ha. 76031.00.00, comprendente in tutto o in parte il territorio di 105 Comuni, appartenenti alle provincie di Bergamo, Brescia, Cremona e Lecco. Si tratta dell'area che si sviluppa dalle pendici delle Prealpi Orobie (delle quali comprende una superficie di circa 3.000 ha.) e discende lungo la sponda sinistra del Fiume Adda (da Brivio a Fara Gera d'Adda) da una parte e dall'altra lungo la sponda destra del Fiume Oglio (da Castelli Calepio a Calcio) estendendosi a sud fino al confine con la provincia di Cremona.



Figura 3.8 - Inquadramento Consorzio Bonifica Media Pianura Bergamasca.

L'attività di bonifica riguarda, oltre allo smaltimento delle acque da precipitazioni atmosferiche, anche lo smaltimento di acque reflue depurate derivanti da attività commerciali, industriali, artigianali e residenziali. Se non esistessero le strutture della bonifica (canali, arginature, scolmatori), gli immobili (terreni, fabbricati e strade) verrebbero a trovarsi in un territorio non più idraulicamente sicuro, per il riformarsi di esondazioni ed allagamenti, con conseguente perdita o annullamento del valore patrimoniale e della possibilità di utilizzazione o pregiudizio per lo sviluppo di tutte le attività economiche e sociali.

Il tracciato ferroviario in progetto interseca differenti canali consortili, di seguito una sintesi:



Figura 3.9 - Intersezioni con canali irrigui.

Gli attraversamenti ferroviari di interesse del progetto in essere sono:

Identificativo Opera	Progressiva [km]	Canale irriguo
IN02	1+343.992	Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso
IN03	1+440.092	Roggia Ponte Perduto di Monasterolo
IN04	1+464.767	Roggia Colleonesca
IN05	1+702.,709	Roggia Oriolo Solza
IN07	2+739.220	Roggia Piuggia di Loreto
IN08	3+283.498	Roggia Piuggia di Loreto
VI05	3+337.113	Roggia Serio
IN10	3+722.929	Scaricatore valle d'Astino
IN11	4+198.474	Scaricatore Cascina Lupo
IN12	5+168.889	Roggia Curna

Nella nota del Consorzio del 2/12/2019, prot. 17448, sono state fornite le caratteristiche idrauliche dei canali interessati (con le progressive storiche):

Tratto Linea Bergamo Curno

- km 0+750 Roggia Morlana Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario completamente coperta a scorrere con funzione irrigua e di colo idraulico;
- km 1+320 Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario completamente interrata a scorrere con funzione irrigua;
- km 1+430 Roggia Ponte Perduto di Monasterolo Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario completamente coperta a scorrere con funzione irrigua, di competenza della Compagnia Roggia Ponte Perduto di Monasterolo con referente Sig Coccioli o Signorelli via Mocchi Mauro n 26 MI;
- km 1+440 Roggia Colleonesca Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua e di colo idraulico;
- km 1+670 Roggia Oriolo Solza Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua;
- km 2+720 Roggia Piuggia di Loreto Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua;
- km 3+260 Roggia Piuggia di Loreto Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua;
- km 3+330 Roggia Serio Roggia nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario scoperta a scorrere con funzione irrigua e di colo idraulico;
- km 3+710 Scaricatore valle d'Astino canale nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario coperta a scorrere con funzione di colo idraulico;
- km 4+180 Scaricatore Cascina lupo canale nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario coperta a scorrere con funzione di colo idraulico;
- km 5+150 Roggia Curna Roggia a scorrere con funzione di colo idraulico;

3.4 ASPETTI IDROLOGICI

L'area di interesse è caratterizzata da un regime pluviometrico di tipo continentale, con massimi estivi e minimi invernali. I sottobacini dell'Adda alpino, in riferimento ad eventi a tempo di ritorno 100 anni presentano contributi specifici unitari assai elevati, dell'ordine di $2 \text{ m}^3/\text{s km}^2$. L'Adda a Tirano presenta, a causa della confluenza di molti bacini secondari dotati di apporto di piena elevato, un contributo specifico unitario di piena di $0,7 \text{ m}^3/\text{s km}^2$. Tale contributo unitario di piena diminuisce lungo lo sviluppo del corso d'acqua, dallo 0,7 di Tirano allo 0,55 di Fuentes, allo 0,2 di Olgiate e Pizzighettone.

Il regime di deflusso a valle del lago di Como è influenzato dall'effetto di laminazione e regolazione sulle portate. Il massimo livello idrometrico del lago alla stazione di Malgrate con frequenza cinquantennale è di 2,8 m. Nel periodo di non regolazione (1845-1945) si sono verificati 5 colmi con livello superiore a 3 m, mentre nel periodo regolato dello sbarramento di Olgiate (1946-94) i colmi si sono ridotti a due. Il volume regolato nel lago è di circa 247 milioni di m^3 .

Nei bacini dell'Adda e del Mera sono stati costruiti numerosi serbatoi e si sono regolati laghi naturali prevalentemente a scopo idroelettrico; la capacità utile complessiva è di 405 milioni di m^3 .

I sottobacini del Brembo e del Serio si distinguono per l'elevata piovosità che interessa le aree che si trovano in prossimità dello spartiacque della Valtellina, nonché in alcuni settori delle medie valli. I contributi specifici unitari del Brembo di Mezzoldo e del Brembo orientale sono dell'ordine di $3 \text{ m}^3/\text{s km}^2$, il Brembo a Ponte Cene presenta un contributo unitario di $1,15 \text{ m}^3/\text{s km}^2$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	00	D 26 RH	ID 0001 001	A	14 di 59

4 ANALISI PLUVIOMETRICA

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

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

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

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

Nel progetto in essere esistono differenti analisi validate e autorevoli:

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

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

4.1 ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE – PAI

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

"L'Autorità di bacino definisce, con propria direttiva:
- i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto e relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino;
- i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d'acqua;
[...]"

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NB1R	00	D 26 RH	ID 0001 001	A	15 di 59

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

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

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

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

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

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

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



Figura 4.1 - Individuazione celle di riferimento PAI.

Dall'Allegato 3_Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense del PAI 7. Norme di attuazione 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 questa fase progettuale sono state individuate le celle intersecate dal tracciato ferroviario di progetto, si riportano di seguito i valori di "a" ed "n" di riferimento:

Cella	Coordinate Est UTM cella di calcolo	Coordinate Nord UTM cella di calcolo	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
DS70	545000,00000	5061000,00000	52,64	0,248	68,09	0,237	74,54	0,232	83,19	0,228
DU71	549000,00000	5059000,00000	50,42	0,237	65,12	0,223	71,25	0,219	79,49	0,214
DV71	551000,00000	5059000,00000	49,76	0,236	64,12	0,222	70,15	0,217	78,21	0,213
DW71	553000,00000	5059000,00000	49,94	0,237	64,26	0,224	70,27	0,220	78,30	0,215
DZ71	559000,00000	5059000,00000	51,29	0,246	65,77	0,236	71,84	0,232	79,96	0,229
EA71	561000,00000	5059000,00000	51,55	0,249	66,02	0,240	72,10	0,237	80,21	0,234
EB71	563000,00000	5059000,00000	51,69	0,252	66,10	0,244	72,17	0,241	80,26	0,238

Tabella 4.1 - Estrapolazione Allegato 3_Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense del PAI 7. Norme di attuazione.

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.

4.1.1 Estrapolazione delle curve per Tr 25 e 50 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 e per alcuni manufatti il Tempo di ritorno di riferimento è di 25 anni. Si ricavano anche i parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno pari a 25 anni e di 50 anni per effettuare le verifiche di invarianza idraulica. Questi possono essere ottenuti attraverso l'interpolazione dei parametri precedentemente definiti.

CELLA DU71

CELLA PAI	Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 25 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]
DU71	43.979	0.241	50.416	0.237	52.488	0.235	58.758	0.228	65.115	0.223	71.254	0.219	79.486	0.214

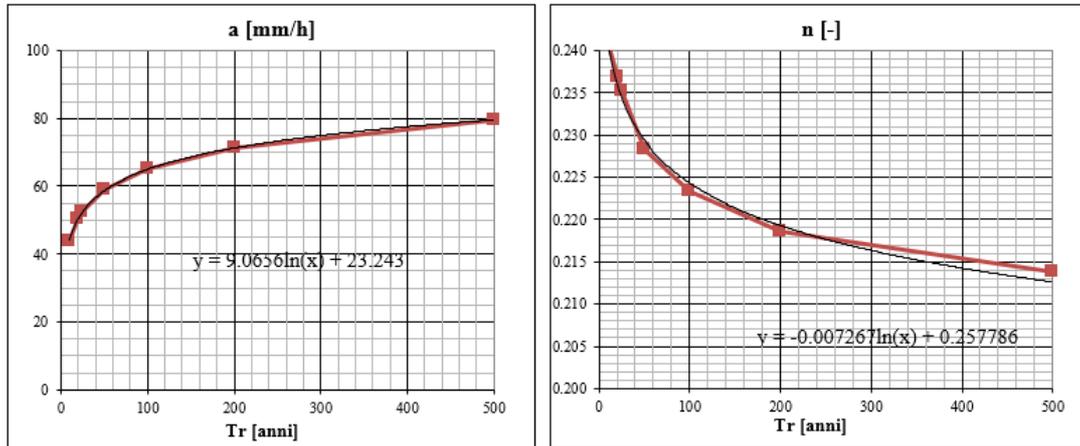


Figura 4.2 - Dati ed interpolazione DU71.

t [h] \ Tr [anni]	h(t,Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1.0	50.42	52.49	58.76	65.12	71.25	79.49
2.0	59.41	61.78	68.83	76.02	82.91	92.19
3.0	65.40	67.96	75.50	83.23	90.59	100.54
4.0	70.01	72.72	80.63	88.75	96.47	106.92
5.0	73.81	76.64	84.84	93.29	101.29	112.14
6.0	77.07	79.99	88.44	97.17	105.41	116.60
7.0	79.93	82.95	91.61	100.57	109.02	120.51
8.0	82.50	85.59	94.45	103.62	112.25	124.00
9.0	84.83	88.00	97.02	106.38	115.18	127.16
10.0	86.98	90.20	99.38	108.91	117.86	130.06
11.0	88.96	92.25	101.57	111.26	120.34	132.74
12.0	90.81	94.16	103.60	113.44	122.66	135.23
13.0	92.55	95.95	105.51	115.49	124.82	137.57
14.0	94.19	97.63	107.31	117.42	126.86	139.76
15.0	95.74	99.23	109.02	119.24	128.79	141.84
16.0	97.22	100.75	110.63	120.97	130.62	143.81
17.0	98.62	102.19	112.17	122.62	132.36	145.69
18.0	99.97	103.58	113.65	124.20	134.02	147.48
19.0	101.26	104.90	115.06	125.71	135.61	149.19
20.0	102.49	106.17	116.41	127.15	137.14	150.84
21.0	103.68	107.40	117.72	128.55	138.61	152.42
22.0	104.83	108.58	118.97	129.89	140.03	153.95
23.0	105.94	109.72	120.19	131.19	141.40	155.42
24.0	107.02	110.83	121.36	132.44	142.72	156.84

Nella figura successiva si riporta la curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, calcolata per piogge di durata maggiori di 1 h.

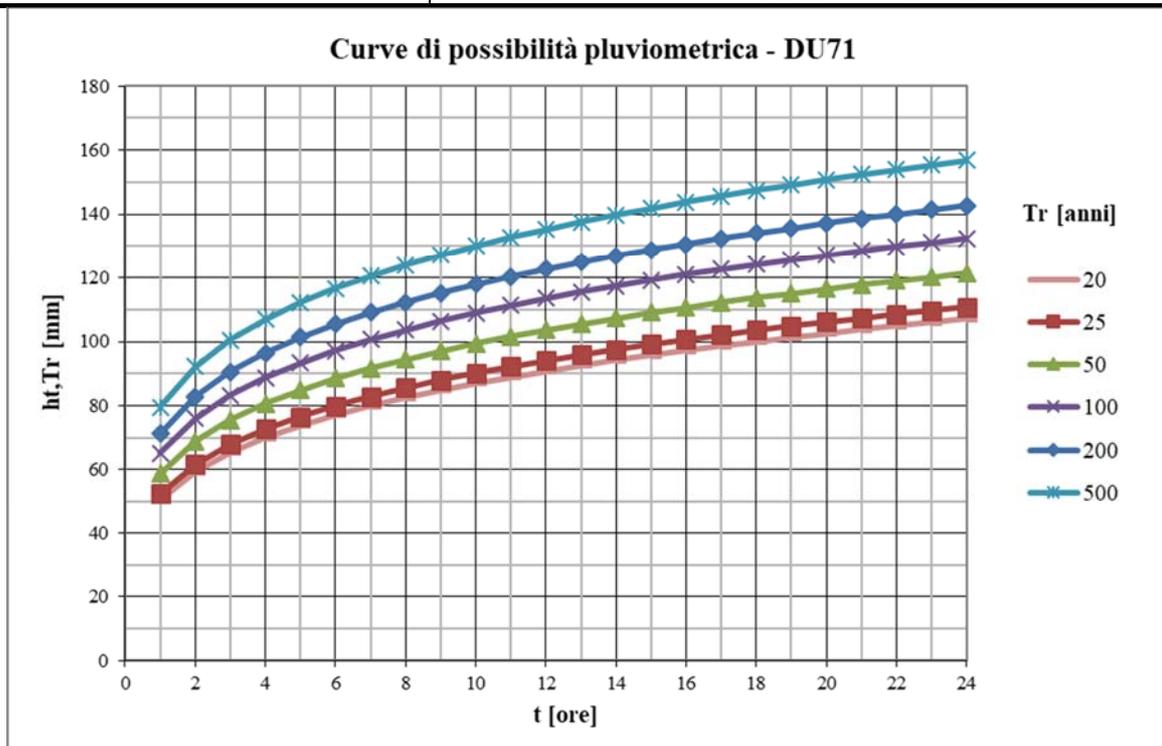


Figura 4.3 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DU71.

CELLA DV71

CELLA PAI	Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 25 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]
DV71	43.457	0.240	49.760	0.236	51.777	0.234	57.923	0.227	64.125	0.222	70.150	0.217	78.205	0.213

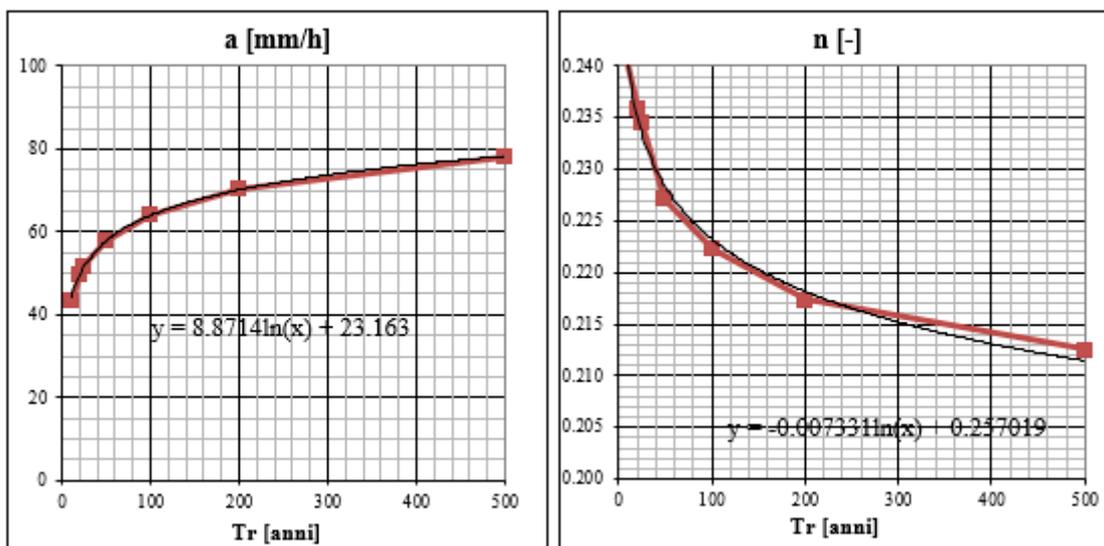


Figura 4.4 - Dati ed interpolazione DV71.

t [h] \ Tr [anni]	h(t,Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1.0	49.76	51.78	57.92	64.12	70.15	78.21
2.0	58.60	60.91	67.80	74.81	81.56	90.63
3.0	64.48	66.98	74.34	81.87	89.08	98.79
4.0	69.01	71.65	79.36	87.27	94.83	105.02
5.0	72.73	75.50	83.48	91.71	99.55	110.13
6.0	75.93	78.80	87.01	95.50	103.57	114.48
7.0	78.74	81.70	90.11	98.83	107.10	118.30
8.0	81.26	84.29	92.88	101.81	110.26	121.71
9.0	83.55	86.65	95.40	104.51	113.12	124.79
10.0	85.65	88.82	97.71	106.99	115.74	127.62
11.0	87.60	90.83	99.85	109.28	118.17	130.24
12.0	89.42	92.70	101.84	111.42	120.42	132.67
13.0	91.12	94.45	103.71	113.42	122.54	134.95
14.0	92.73	96.11	105.47	115.30	124.53	137.09
15.0	94.25	97.67	107.14	117.08	126.41	139.12
16.0	95.70	99.16	108.72	118.78	128.20	141.04
17.0	97.07	100.58	110.23	120.39	129.90	142.87
18.0	98.39	101.94	111.67	121.93	131.53	144.62
19.0	99.65	103.24	113.05	123.40	133.08	146.29
20.0	100.87	104.49	114.37	124.82	134.57	147.89
21.0	102.03	105.69	115.64	126.18	136.01	149.44
22.0	103.16	106.85	116.87	127.49	137.39	150.92
23.0	104.25	107.97	118.06	128.76	138.73	152.36
24.0	105.30	109.05	119.21	129.98	140.02	153.74

Nella figura successiva si riporta la curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, calcolata per piogge di durata maggiori di 1 h.

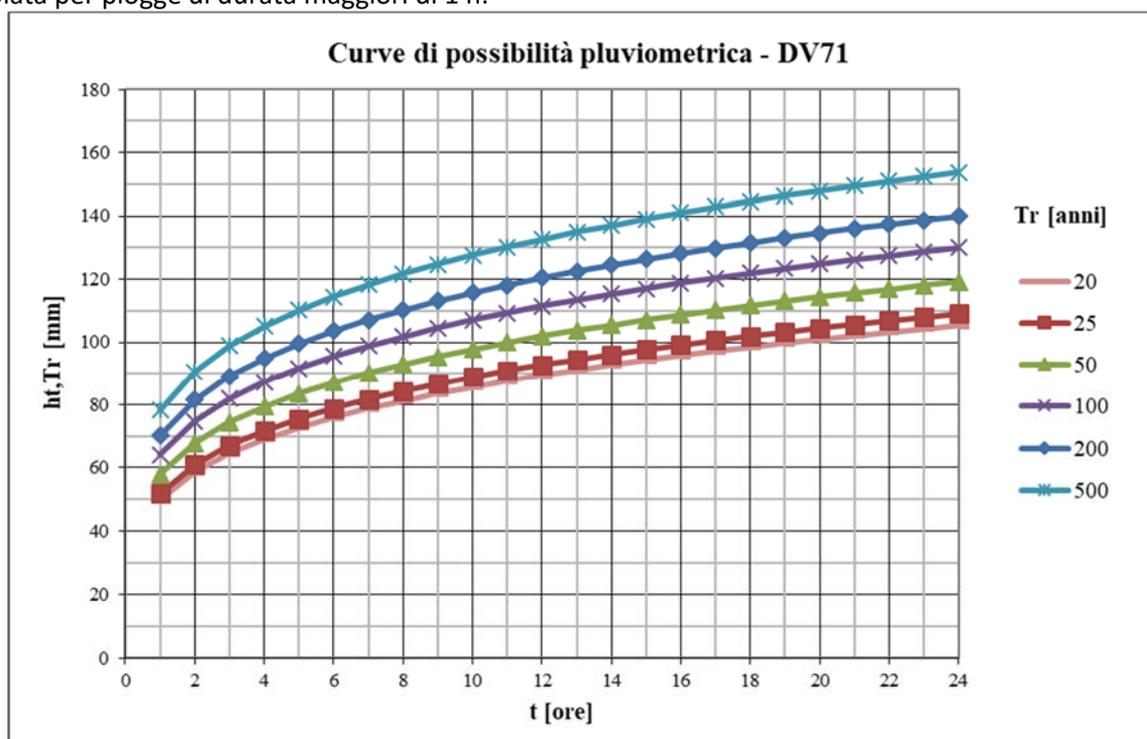


Figura 4.5 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DV71.

CELLA DW71

CELLA PAI	Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 25 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni		Tr = 200 anni		Tr = 500 anni	
	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]
DW71	43.650	0.241	49.935	0.237	51.952	0.234	58.075	0.229	64.259	0.224	70.270	0.220	78.304	0.215

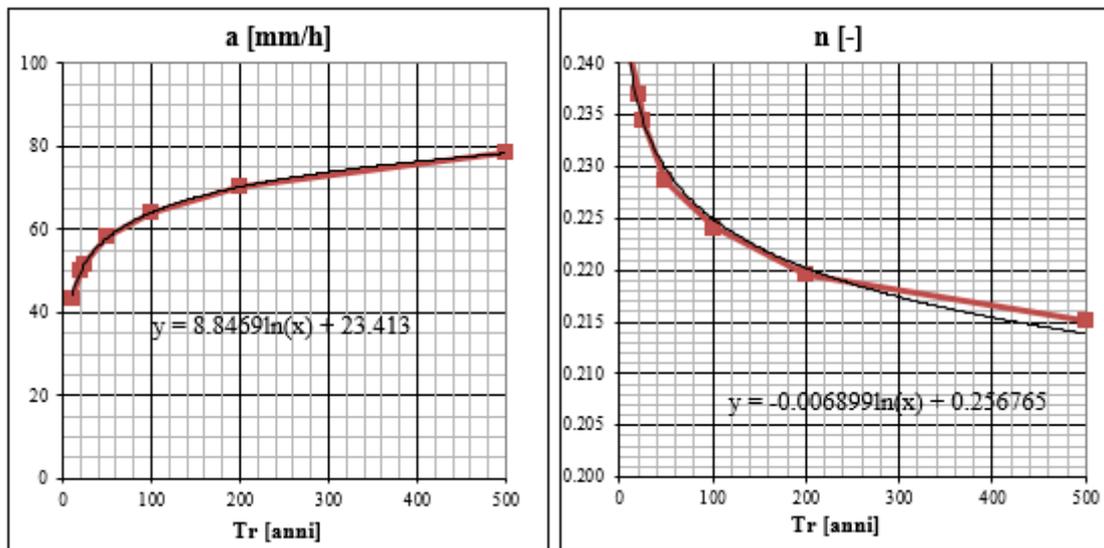


Figura 4.6 - Dati ed interpolazione DW71.

t [h] \ Tr [anni]	h(t,Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1.0	49.94	51.95	58.07	64.26	70.27	78.30
2.0	58.86	61.12	68.05	75.07	81.82	90.89
3.0	64.80	67.21	74.66	82.21	89.45	99.17
4.0	69.38	71.90	79.74	87.69	95.28	105.50
5.0	73.15	75.76	83.91	92.19	100.07	110.69
6.0	76.39	79.06	87.49	96.04	104.15	115.11
7.0	79.23	81.97	90.63	99.42	107.74	118.99
8.0	81.78	84.58	93.44	102.44	110.95	122.46
9.0	84.10	86.95	95.99	105.18	113.85	125.60
10.0	86.23	89.12	98.33	107.70	116.52	128.48
11.0	88.20	91.13	100.49	110.02	118.98	131.14
12.0	90.04	93.01	102.51	112.19	121.28	133.62
13.0	91.77	94.77	104.41	114.22	123.43	135.94
14.0	93.40	96.43	106.19	116.14	125.46	138.12
15.0	94.94	98.00	107.88	117.95	127.37	140.19
16.0	96.40	99.50	109.49	119.67	129.19	142.14
17.0	97.80	100.92	111.01	121.31	130.92	144.01
18.0	99.13	102.28	112.47	122.87	132.58	145.79
19.0	100.41	103.59	113.87	124.37	134.16	147.50
20.0	101.64	104.84	115.22	125.81	135.68	149.13
21.0	102.83	106.04	116.51	127.19	137.14	150.71
22.0	103.97	107.21	117.76	128.53	138.55	152.22
23.0	105.07	108.33	118.96	129.82	139.91	153.68
24.0	106.14	109.42	120.12	131.06	141.22	155.10

Nella figura successiva si riporta la curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, calcolata per piogge di durata maggiori di 1 h.

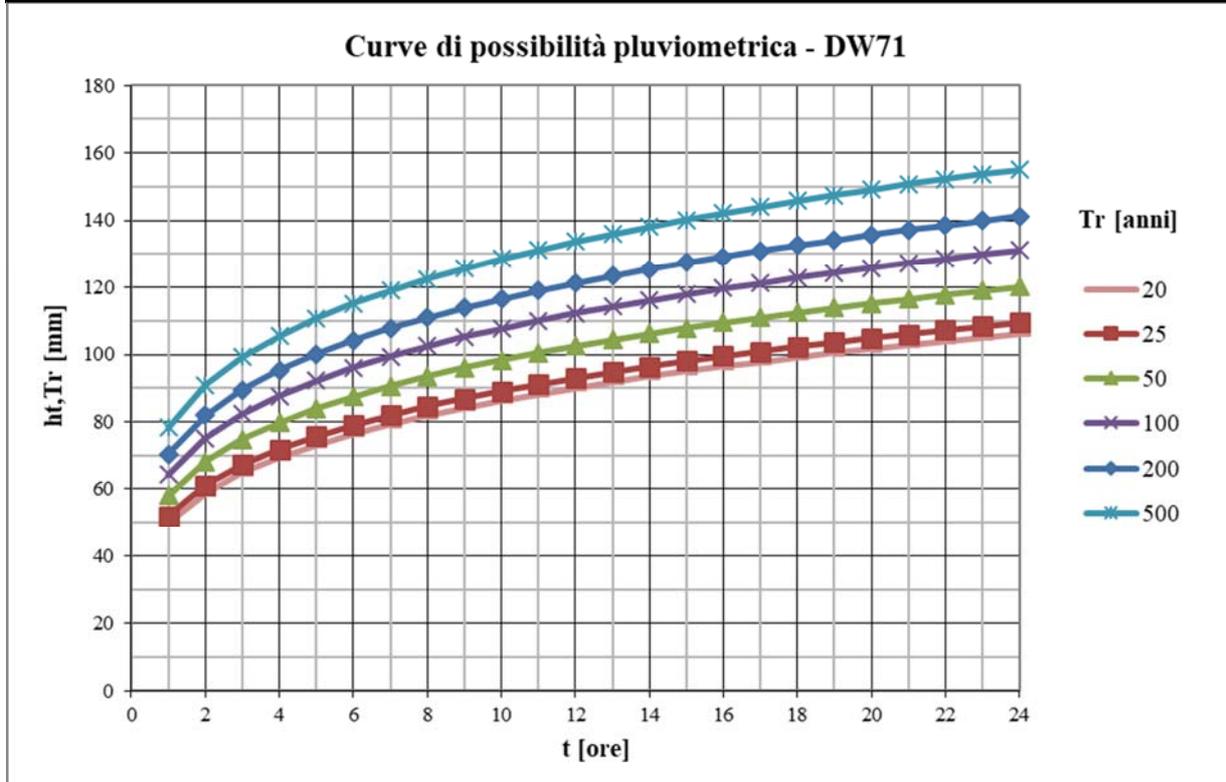


Figura 4.7 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DW71.

CELLA EB71

	T=10 anni		T=20 anni		T=25 anni		T=50 anni		T=100 anni		T=200 anni		T=500 anni	
Cella PAI	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]	a [mm/h]	n [-]						
EB71	45.580	0.256	51.690	0.252	53.712	0.252	59.865	0.249	66.100	0.244	72.170	0.241	80.260	0.238

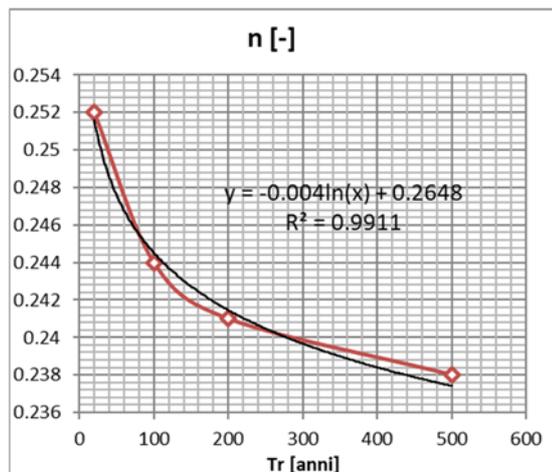
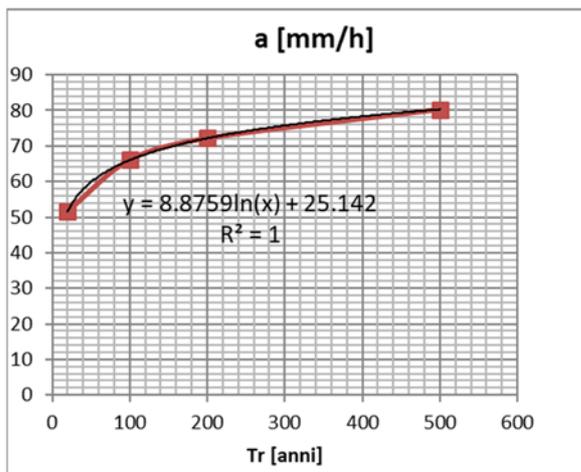
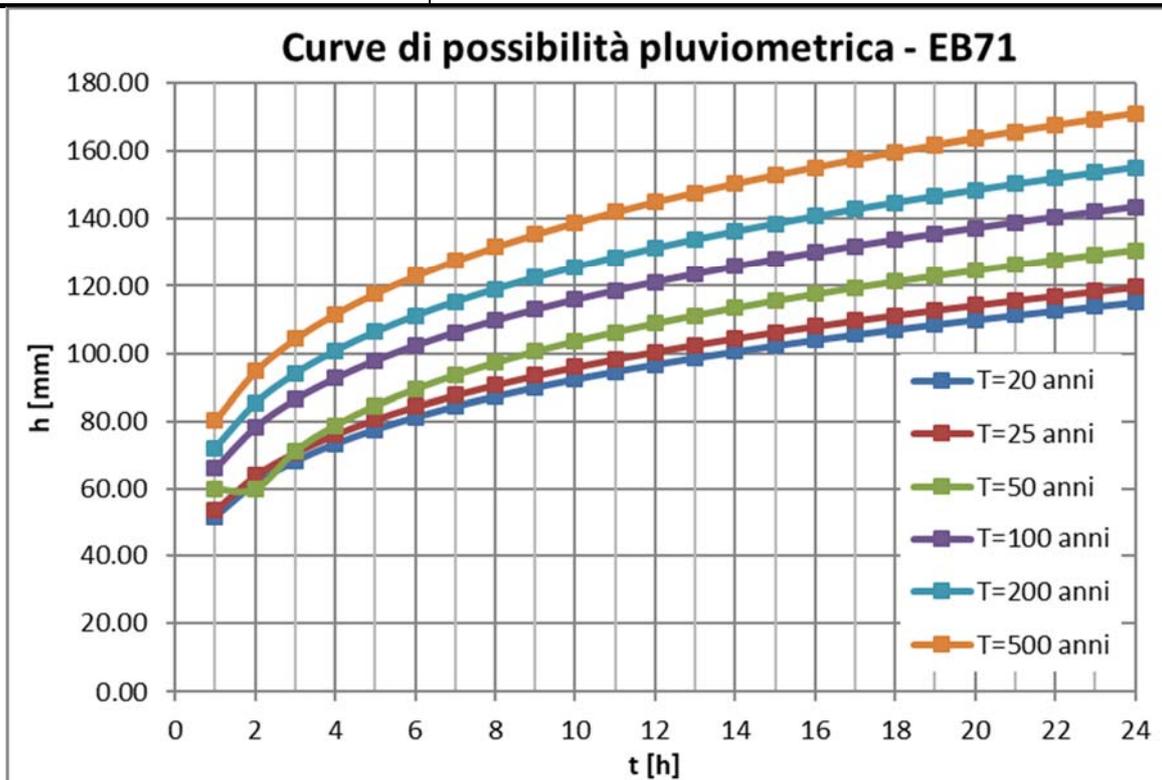


Figura 4.8 - Dati ed interpolazione EB71.

t [h]\Tr[anni]	h (t,Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1	51.69	53.71	59.86	66.10	72.17	80.26
2	61.56	63.96	71.15	78.28	85.29	94.66
3	68.18	70.84	78.71	86.42	94.05	104.24
4	73.30	76.16	84.56	92.71	100.80	111.63
5	77.54	80.57	89.40	97.89	106.37	117.72
6	81.19	84.35	93.55	102.35	111.15	122.94
7	84.41	87.70	97.21	106.27	115.35	127.54
8	87.29	90.70	100.50	109.79	119.12	131.65
9	89.92	93.43	103.50	112.99	122.55	135.40
10	92.34	95.94	106.25	115.93	125.71	138.84
11	94.59	98.27	108.80	118.66	128.63	142.02
12	96.69	100.45	111.19	121.21	131.35	144.99
13	98.66	102.50	113.43	123.60	133.91	147.78
14	100.51	104.43	115.54	125.85	136.32	150.41
15	102.28	106.26	117.54	127.99	138.61	152.90
16	103.95	108.00	119.45	130.02	140.78	155.27
17	105.56	109.66	121.27	131.96	142.85	157.52
18	107.09	111.25	123.01	133.81	144.84	159.68
19	108.56	112.78	124.67	135.59	146.74	161.75
20	109.97	114.24	126.28	137.29	148.56	163.74
21	111.33	115.66	127.82	138.94	150.32	165.65
22	112.64	117.02	129.31	140.52	152.01	167.49
23	113.91	118.34	130.75	142.06	153.65	169.27
24	115.14	119.61	132.15	143.54	155.23	171.00

Nella figura successiva si riporta la curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, calcolata per piogge di durata maggiori di 1 h.



4.2 LSPP – ARPA LOMBARDIA

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

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

4.2.1 L'atlante delle piogge intense della Lombardia

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

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

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

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

La parametrizzazione delle linee segnalatrici sviluppata per Arpa Lombardia da De Michele et al. (6) 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 (3);
- 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 (1), 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.

Nelle figure successive si evidenziano le celle della Griglia di Dati in cui ricadono gli interventi in oggetto.

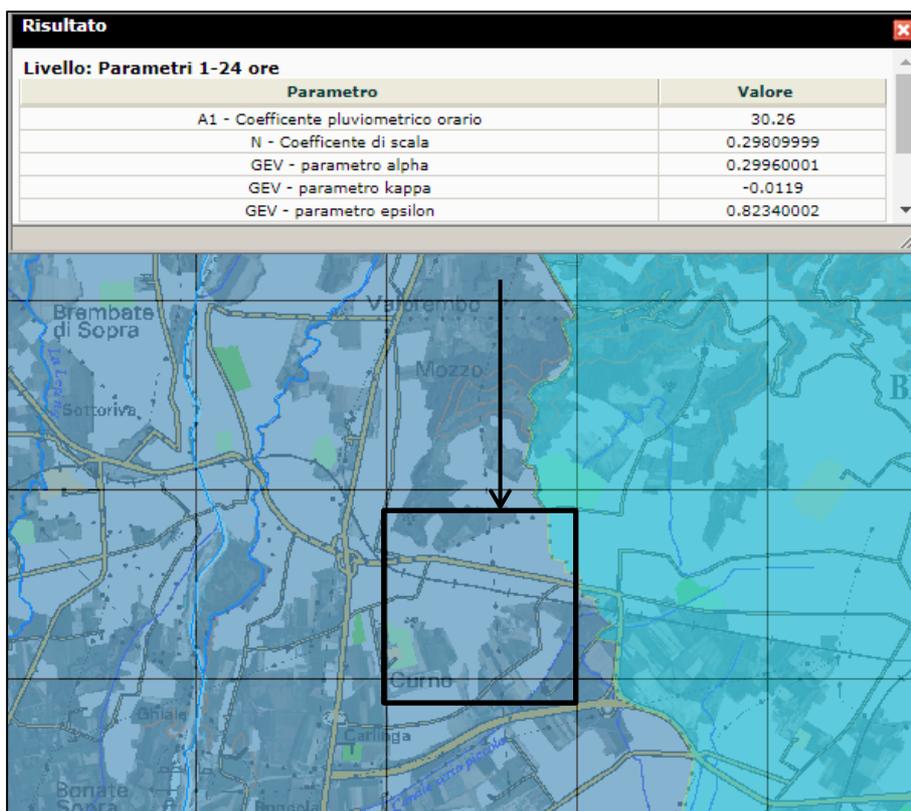


Figura 4.9 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Curno_1) – da pk 3+950 a pk 5+500.

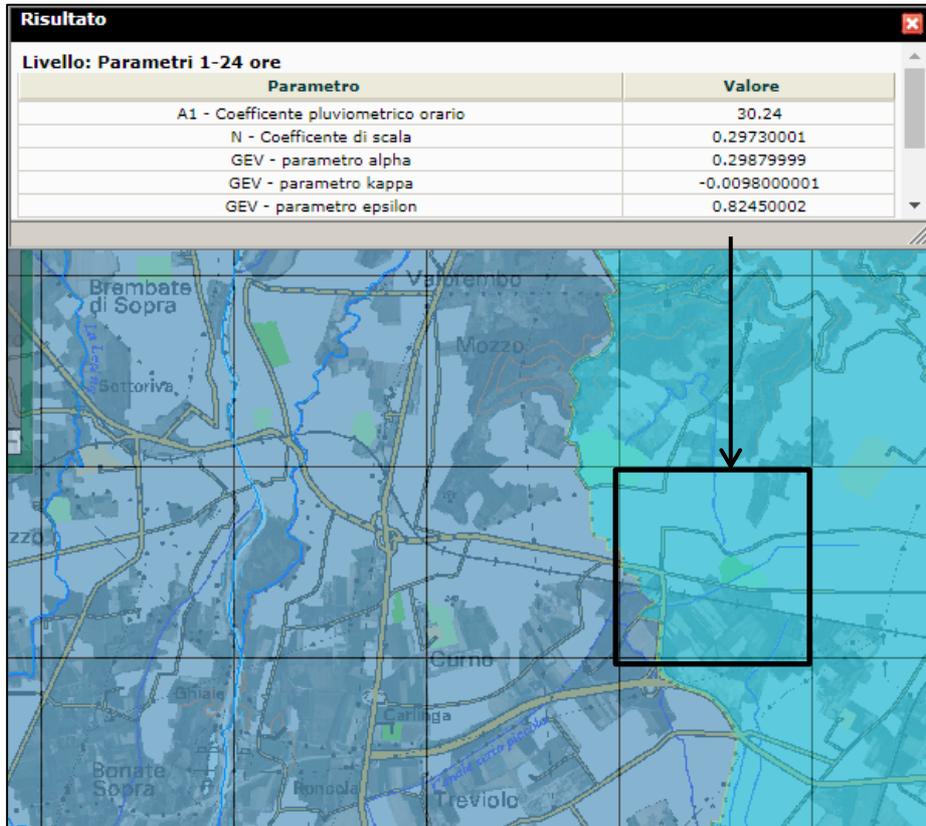


Figura 4.10 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Bergamo_1) – da pk 2+400 a pk 3+950.

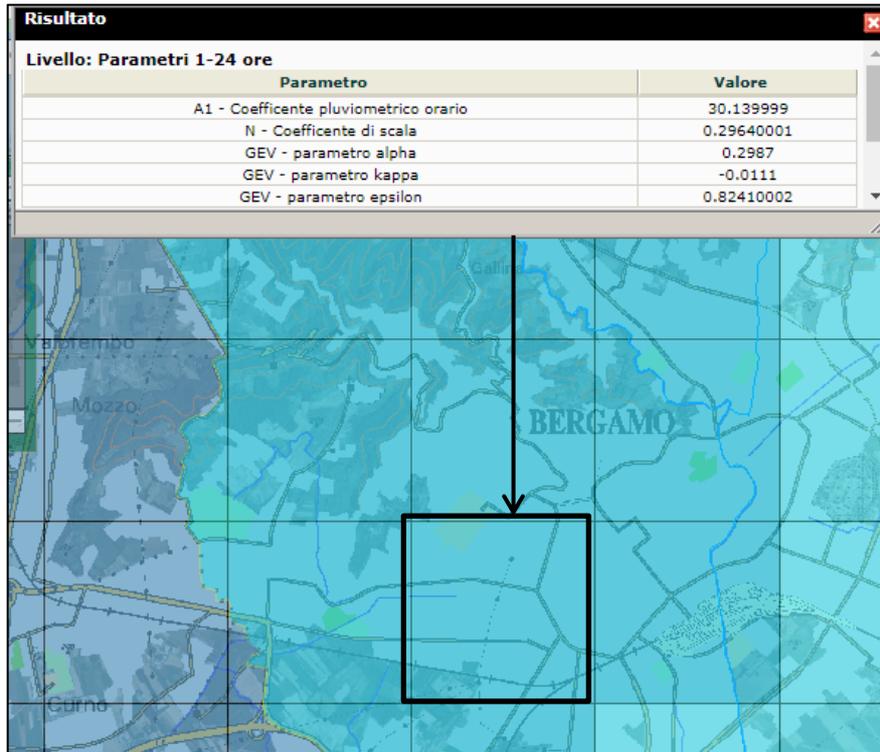


Figura 4.11 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Bergamo_2) – da pk 0+900 a pk 2+400.

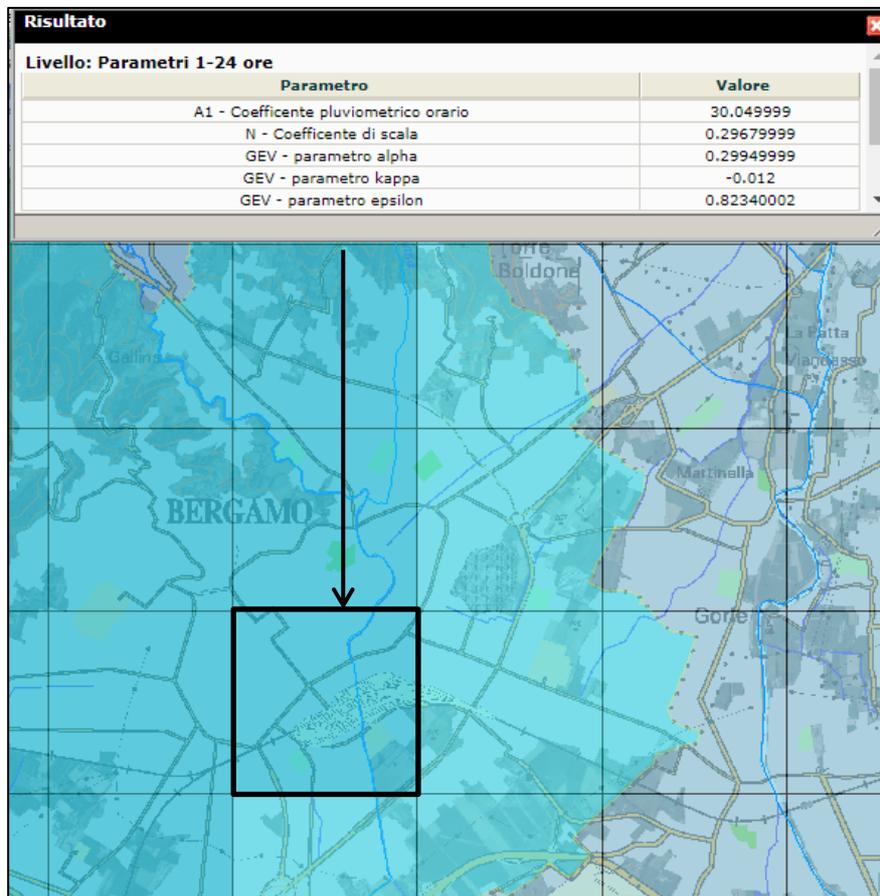


Figura 4.12 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Bergamo_3) – da pk 0+000 a pk 0+900.

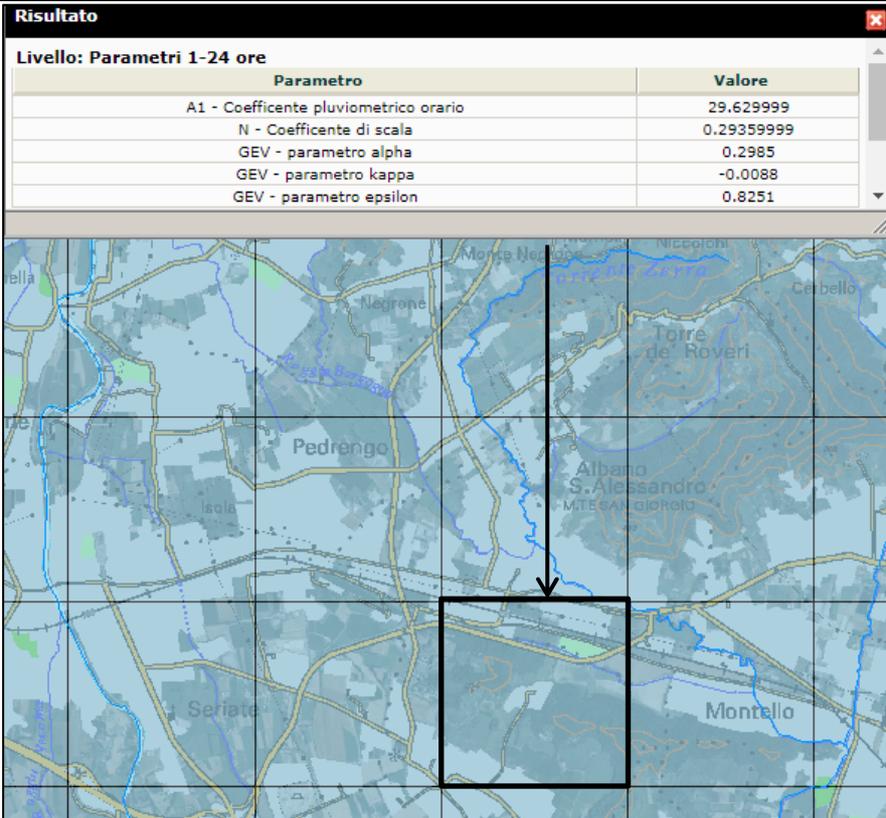


Figura 4.13 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Albano sant'Alessandro) – NV02.

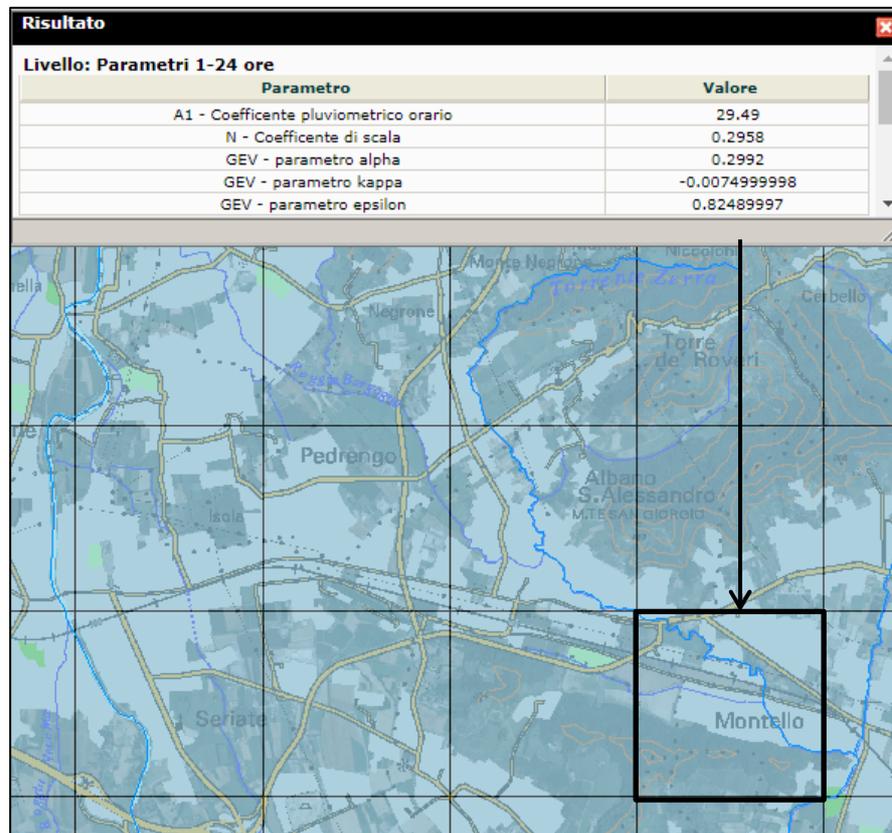


Figura 4.14 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Montello 1) – NV03.

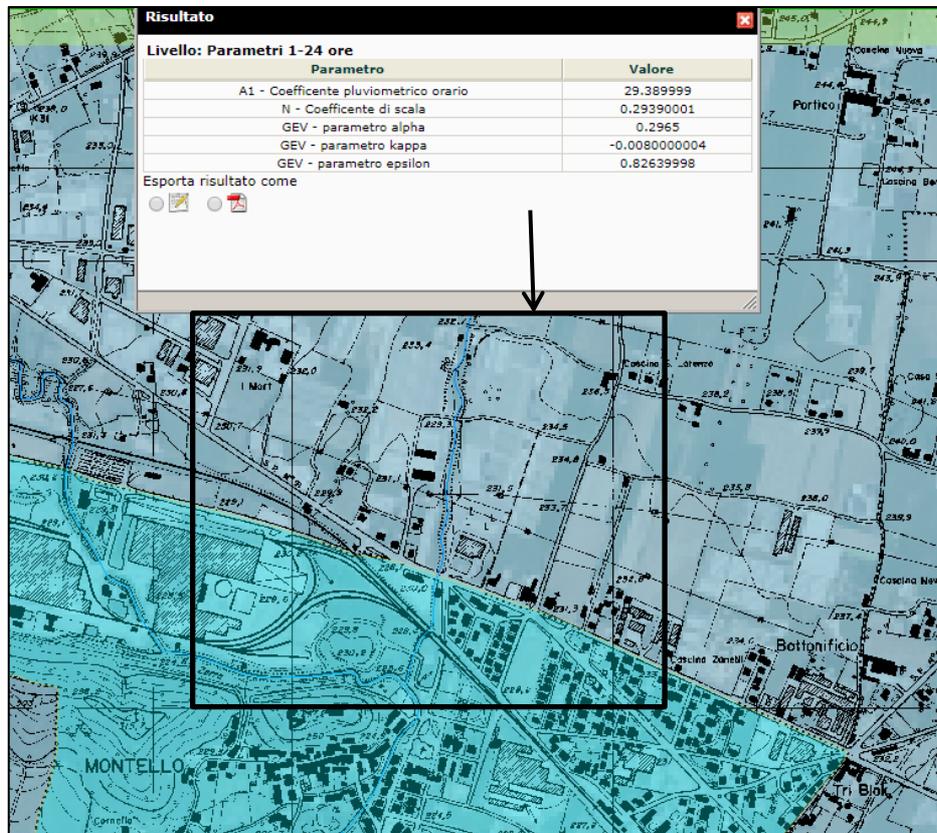


Figura 4.15 - Individuazione celle di riferimento ARPA - Progetto Strada (Montello 2) – NV03.

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

L'espressione della probabilità cumulata GEV è

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - k(K - \varepsilon) / \alpha\right]^{1/k}\right\} \quad \text{Eq. 1}$$

Dove: ε è un parametro di posizione, α è un parametro di scala, k 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.

La stima dei tre parametri ε , α e k può essere effettuata tramite la tecnica basata sui momenti lineari raccomandata da Hosking (1990).

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

relazione $T = \frac{1}{1 - F_k(K_T)}$ che individua la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente può essere esplicitata nella:

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K_T)} = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K_T - \varepsilon)\right]^{1/k}\right\}} \quad \text{Eq. 2}$$

Più utile da un punto di vista pratico è la forma inversa della precedente espressione, per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno in anni si può ottenere il tempo di ritorno corrispondente a un dato valore x tramite la relazione:

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA NB1R	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGGIO 29 di 59

dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a:

$$y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right) \quad \text{Eq. 4}$$

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:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n \quad \text{Eq. 5}$$

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

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right) \right]^k \right\} \quad \text{Eq. 6}$$

Stimati i parametri di forma, k , di scala, α , e di posizione, ε , della distribuzione di probabilità cumulata generalizzata del valore estremo GEV per la zona in esame resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T (Eq. 3) valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive.

I valori dei parametri k , α e ε per i siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche sono stati ricavati ed elencati su una tabella mentre per le zone non servite sono riportati sulle mappe dell'intero territorio, ricavandoli per interpolazione con metodi di Kriging secondo la procedura illustrata da Rosso et al. [1997].

4.3 CONFRONTO CURVE DI PIOGGIA PAI ADBPO – ARPA LOMBARDIA

Ai capitoli precedenti sono state riportate le curve di possibilità pluviometrica rese disponibili da ARPA Lombardia e dall'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po. La scelta delle curve di progetto è stata effettuata previa un confronto interno agli strumenti tra le varie celle individuate e tra i massimi risultati nei due strumenti.

Si riporta di seguito l'analisi eseguita.

4.3.1 Arpa Lombardia

t [h]	h [mm]			
	Curno_1	Bergamo_1	Bergamo_2	Bergamo_3
1	74.47249469	74.04779503	73.94478913	73.9524004
2	91.56572552	90.99307705	90.80983123	90.8443611
3	103.3298368	102.6503146	102.4062161	102.4617712
4	112.5822644	111.8161596	111.521387	111.5947271
5	120.3258265	119.4856967	119.1467749	119.2357713
6	127.0465225	126.1410685	125.7626307	125.8657473
7	133.0208196	132.0565012	131.6420517	131.7581126
8	138.4226051	137.4044484	136.9567545	137.0848226
9	143.3691085	142.3011594	141.8224763	141.9617821
10	147.9435011	146.8291014	146.3213114	146.4712086
11	152.207149	151.0491155	150.5138196	150.6737557
12	156.2067587	155.007505	154.446086	154.6155815

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NB1R	00	D 26 RH	ID 0001 001	A	30 di 59

13	159.9787888	158.740411	158.1540783	158.3327122
14	163.5523008	162.2766401	161.6664627	161.8538613
15	166.9508731	165.6395622	165.0064937	165.2023227
16	170.1939261	168.8484249	168.1933225	168.3972806
17	173.2976659	171.9192894	171.2429289	171.4547427
18	176.2757712	174.8657114	174.1687993	174.3882189
19	179.1399043	177.6992477	176.9824305	177.209227
20	181.9000971	180.429839	179.6937113	179.9276737
21	184.5650483	183.0661046	182.3112157	182.5521485
22	187.1423548	185.6155716	184.8424307	185.0901526
23	189.6386943	188.0848565	187.2939371	187.548279
24	192.0599713	190.4798089	189.6715532	189.9323571

Tabella 4.II - Altezze di pioggia orarie per Tr 200 anni.

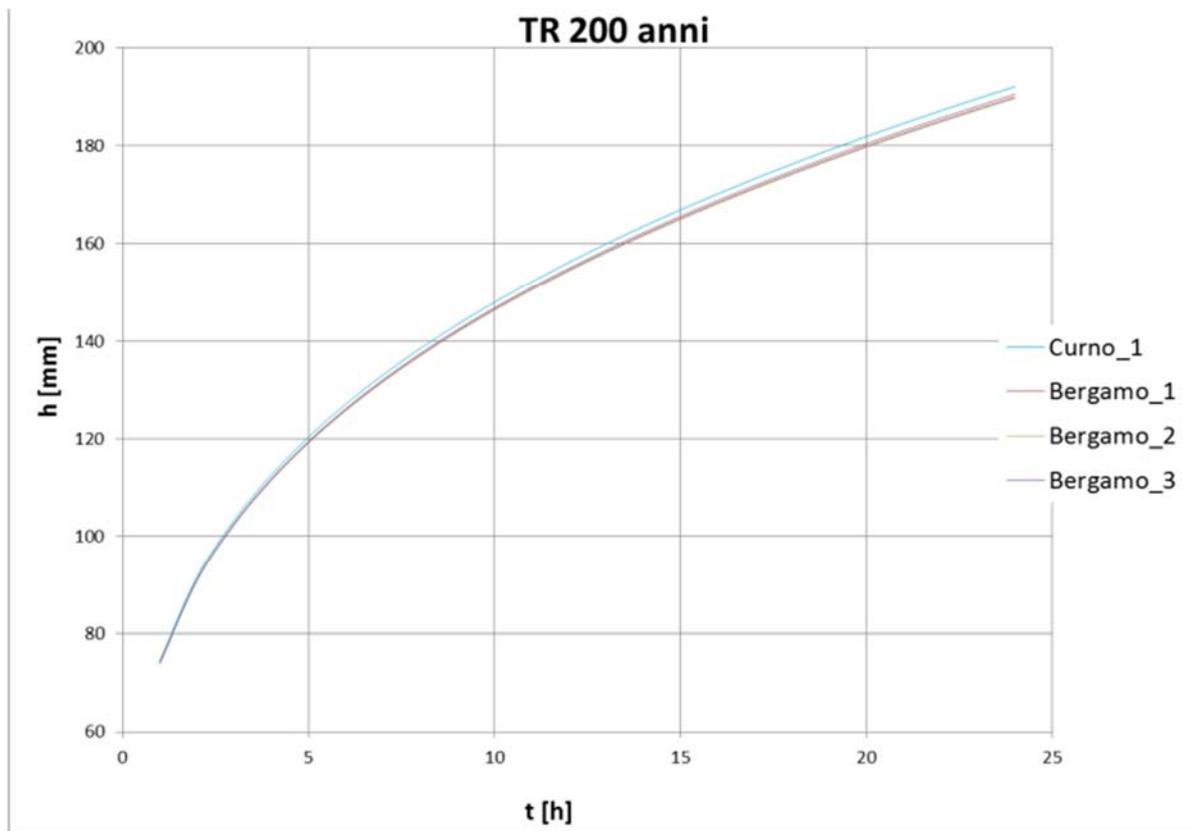


Figura 4.16 - Grafico altezze di pioggia orarie per Tr 200 anni.

t [h]	h [mm]			
	Curno_1	Bergamo_1	Bergamo_2	Bergamo_3
1	67.78316421	67.47687847	67.32824881	67.30842591
2	83.34103261	82.91845499	82.68421592	82.68279211
3	94.04845808	93.54124214	93.24296249	93.25647978
4	102.4698064	101.8937202	101.5425127	101.5689198
5	109.5178198	108.882671	108.4855849	108.5234832
6	115.6348439	114.9474524	114.5094575	114.5578139
7	121.0725127	120.3379561	119.8627911	119.9208019
8	125.9890945	125.2113323	124.7019371	124.7689537
9	130.4912889	129.6735145	129.1322767	129.2077612
10	134.6547967	133.7996519	133.2285584	133.3120553
11	138.5354716	137.6451866	137.0459233	137.1370404

12	142.175825	141.252313	140.6263326	140.7247278
13	145.6090407	144.653965	144.0025357	144.1079068
14	148.8615698	147.876393	147.2006338	147.3127116
15	151.9548727	150.940893	150.2418005	150.3603431
16	154.9066255	153.8650047	153.1434736	153.2682621
17	157.7315785	156.663364	155.9202029	156.051038
18	160.442182	159.3483238	158.584268	158.7209672
19	163.0490505	161.9304151	161.1461369	161.2885324
20	165.561315	164.4186967	163.6148138	163.7627505
21	167.9868927	166.8210229	165.9981052	166.1514393
22	170.3326983	169.1442531	168.3028285	168.4614259
23	172.6048095	171.3944163	170.5349754	170.6987113
24	174.8086005	173.5768432	172.6998437	172.8686008

Tabella 4.III - Altezze di pioggia orarie per Tr 100 anni.

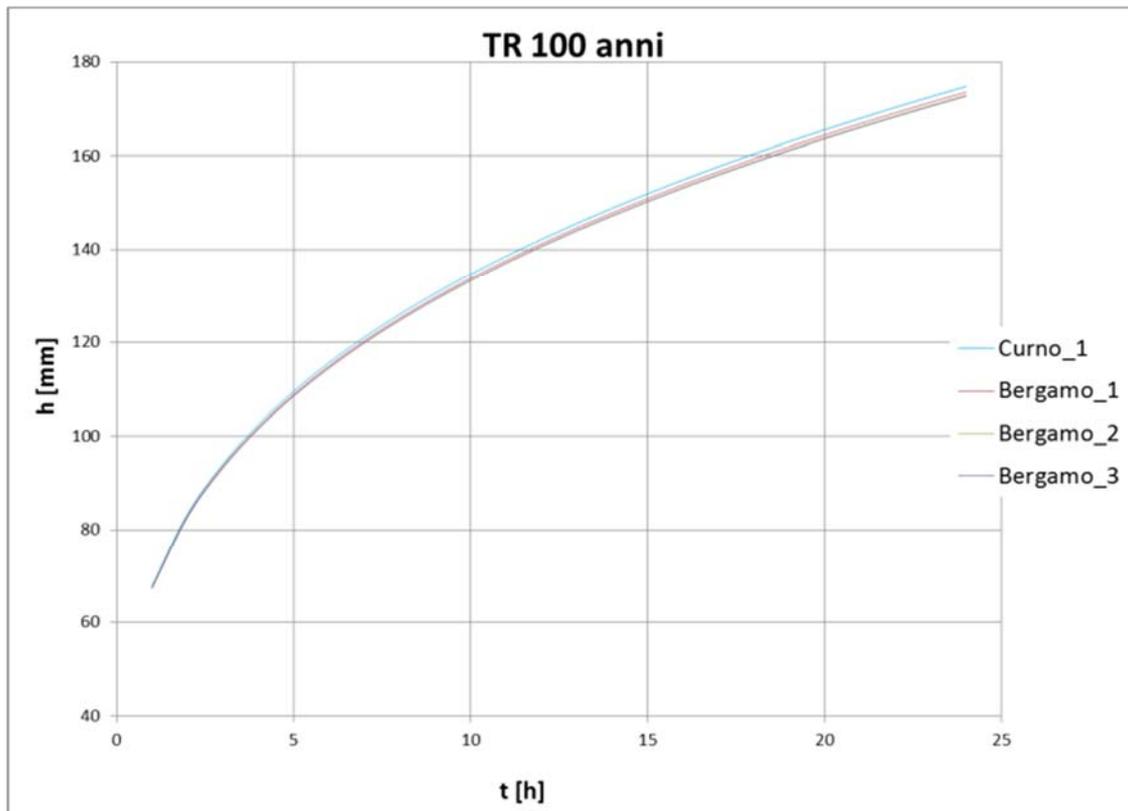


Figura 4.17 - Grafico altezze di pioggia orarie per Tr 100 anni.

t [h]	h [mm]			
	Curno_1	Bergamo_1	Bergamo_2	Bergamo_3
1	61.12478939	60.89965718	60.73865209	60.69565585
2	75.15440096	74.83608604	74.59168943	74.55955516
3	84.81003097	84.42343078	84.11702309	84.09442244
4	92.40414633	91.96176189	91.60427404	91.59020013
5	98.75983008	98.26947372	97.86780909	97.8615069
6	104.275976	103.7430984	103.302109	103.30299
7	109.1795001	108.6081698	108.1314975	108.139087
8	113.6131238	113.00652	112.4970233	112.5109282
9	117.6730656	117.0337567	116.4937536	116.5136415
10	121.4275901	120.7577042	120.1891212	120.214706
11	124.9270645	124.2284004	123.6328703	123.6639024
12	128.2098244	127.4839268	126.8628553	126.8991145
13	131.3057937	130.5540072	129.9086204	129.9499104
14	134.2388253	133.4623332	132.793712	132.8398566
15	137.0282717	136.228125	135.5372316	135.5880711
16	139.6900724	138.8672128	138.1549102	138.2102993
17	142.2375291	141.3928056	140.6598735	140.7196791
18	144.6818687	143.8160524	143.0631993	143.127299
19	147.0326634	146.1464577	145.3743313	145.4426117
20	149.298147	148.3921973	147.6013921	147.6737482
21	151.4854591	150.5603599	149.7514244	149.8277584
22	153.6008351	152.6571362	151.8305782	151.9107986
23	155.6497558	154.6879676	153.8442589	153.92828
24	157.6370674	156.6576654	155.7972457	155.8849871

Tabella 4.IV - Tabella altezze di pioggia orarie Tr 50 anni.

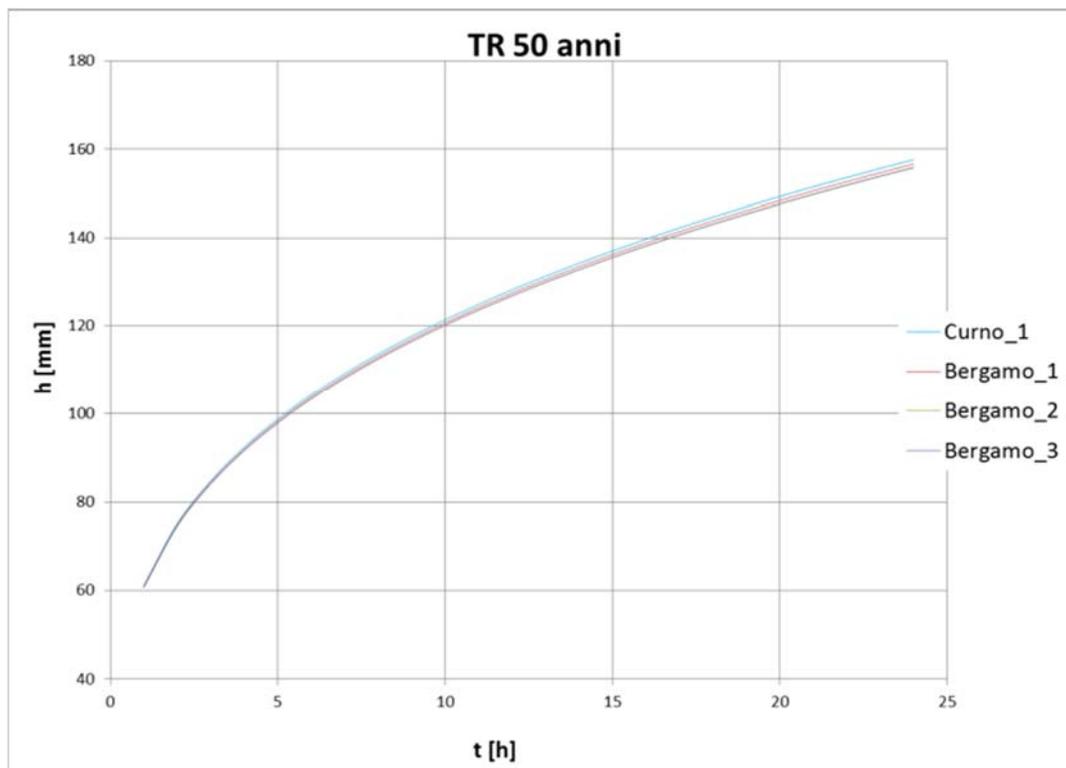


Figura 4.18 - Grafico altezze di pioggia orarie per Tr 50 anni.

t [h]	h [mm]			
	Curno_1	Bergamo_1	Bergamo_2	Bergamo_3
1	54.47259286	54.29164516	54.15147785	54.08948473
2	66.97536508	66.71588012	66.5021379	66.44442446
3	75.58017514	75.26293511	74.99443855	74.941508
4	82.3478247	81.98330789	81.66968883	81.62143833
5	88.01182088	87.60659163	87.25393655	87.2101703
6	92.92764594	92.48629217	92.09888064	92.05939736
7	97.29752065	96.82347139	96.40451653	96.36912906
8	101.2486341	100.7445718	100.2965962	100.2651351
9	104.8667334	104.3348269	103.8598767	103.8321894
10	108.2126538	107.6547017	107.1544776	107.1304266
11	111.3312813	110.7488046	110.2247483	110.2042093
12	114.2567792	113.6510851	113.1044379	113.0872979
13	117.0158149	116.3880416	115.8198863	115.8060424
14	119.6296454	118.9807951	118.3920866	118.3814442
15	122.1155169	121.4464804	120.8380684	120.8305405
16	124.4876345	123.7992098	123.1718568	123.1673629
17	126.7578521	126.0507594	125.4051541	125.4036195
18	128.9361748	128.211068	127.5478365	127.5491918
19	131.031133	130.288609	129.6083237	129.6125038
20	133.0500646	132.2906711	131.5938573	131.6008014
21	134.999332	134.2235739	133.5107162	133.5203671
22	136.8844922	136.0928362	135.3643834	135.3766873
23	138.7104293	137.9033091	137.1596782	137.1745842
24	140.4814622	139.6592817	138.9008615	138.9183214

Tabella 4.V - Tabella altezze di pioggia orarie Tr 25 anni.

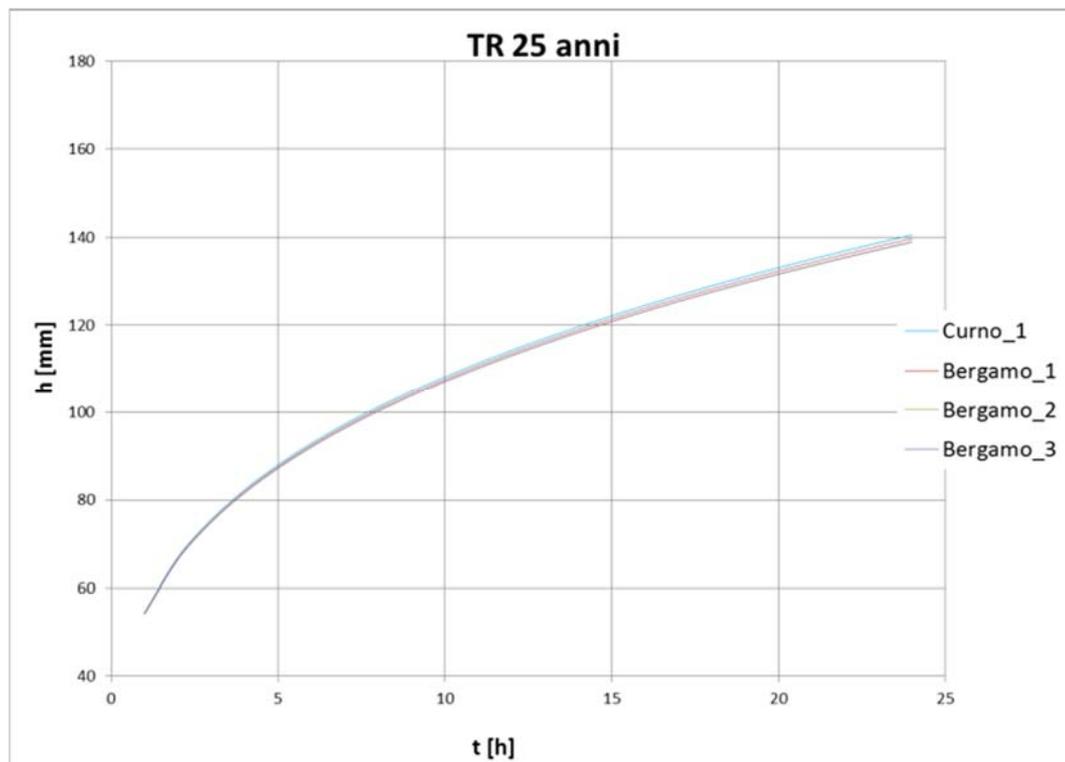


Figura 4.19 - Grafico altezze di pioggia orarie Tr 25 anni.

Come si può notare per tutti i tempi di ritorno indagati la cella che massimizza le altezze di pioggia è *Curno_1*. Effettuando un confronto tra le celle delle viabilità (WBS: NV02 e NV03) per i soli tempi di ritorno Tr25 anni, emerge che la cella più gravosa è la cella di Montello 1 (NV03). Tali conclusioni si possono trarre dalla tabella seguente:

Tr25	Albano Sant'Alessandro			Montello 1			Montello 2		
Parametri	wt	a*wt	n	wt	a*wt	n	wt	a*wt	n
t [ore]	1,793426	53,13922	0,2936	1,793473	52,8895	0,2958	1,787003	52,52002	0,2939
1		53,14		52,89			52,52		
2		65,13		64,93			64,39		
3		73,37		73,20			72,54		
4		79,83		79,70			78,94		
5		85,24		85,14			84,29		
6		89,92		89,86			88,92		
7		94,09		94,05			93,05		
8		97,85		97,84			96,77		
9		101,29		101,31			100,18		
10		104,48		104,51			103,33		
11		107,44		107,50			106,26		
12		110,22		110,30			109,02		
13		112,84		112,95			111,61		
14		115,32		115,45			114,07		
15		117,68		117,83			116,41		
16		119,93		120,10			118,64		
17		122,09		122,27			120,77		
18		124,15		124,36			122,81		
19		126,14		126,36			124,78		
20		128,06		128,30			126,68		
21		129,90		130,16			128,51		
22		131,69		131,96			130,28		
23		133,42		133,71			131,99		
24		135,10		135,41			133,65		

Tabella 4.VI -

Essendo il fenomeno associato al drenaggio stradale tipicamente riferito a tempi di corrvazione inferiori all'unità oraria, si ritiene opportuno considerare come base progettuale la cella di Albano sant'Alessandro (NV02), che per una durata oraria è superiore alle altre celle.

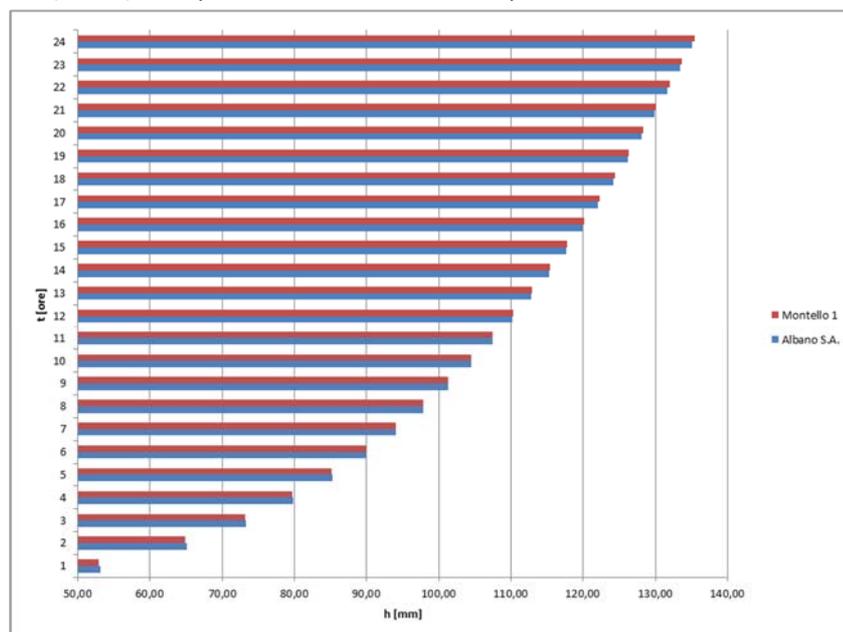


Figura 4.20 - Confronto altezze di pioggia orarie celle più impattanti.

4.3.2 PAI – ADBPO

Nei grafici seguenti si riportano i raffronti tra le celle individuate nel PAI per i vari tempi di ritorno, per i valori numerici si faccia riferimento a quanto riportato nel capitolo 4.1.

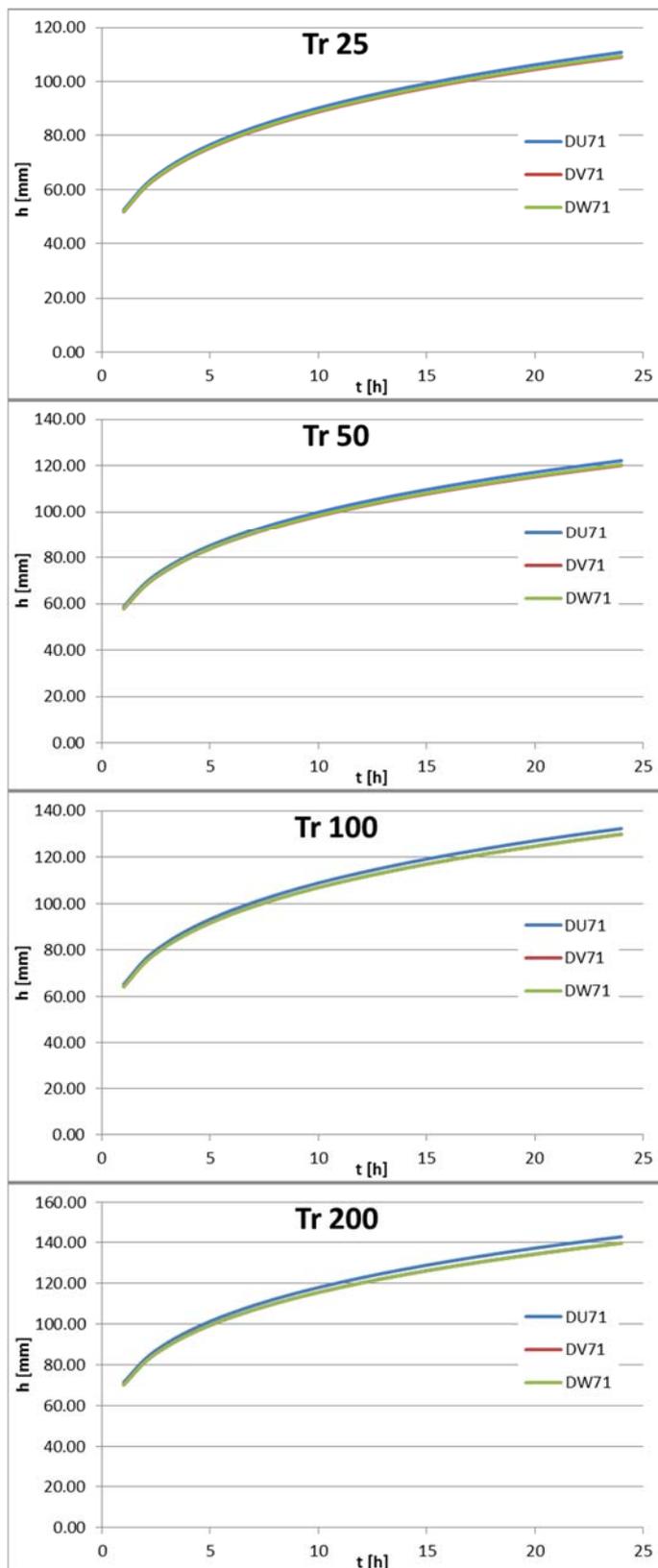
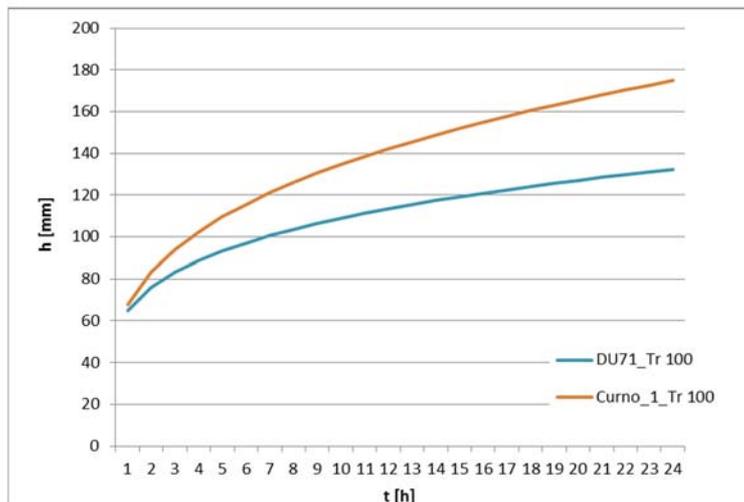
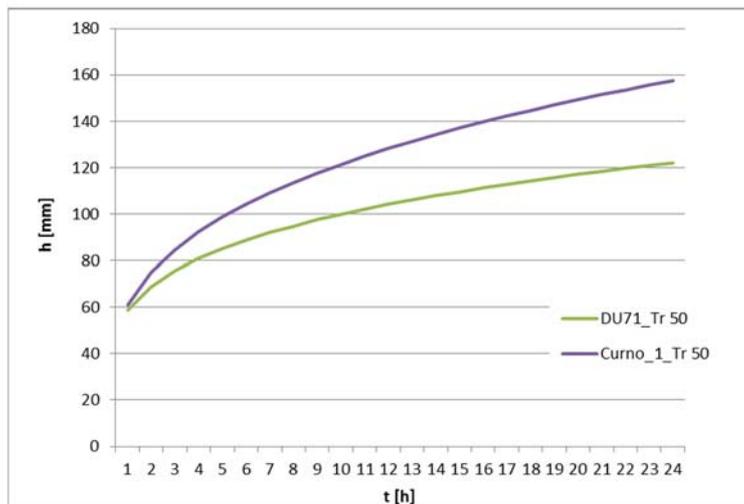
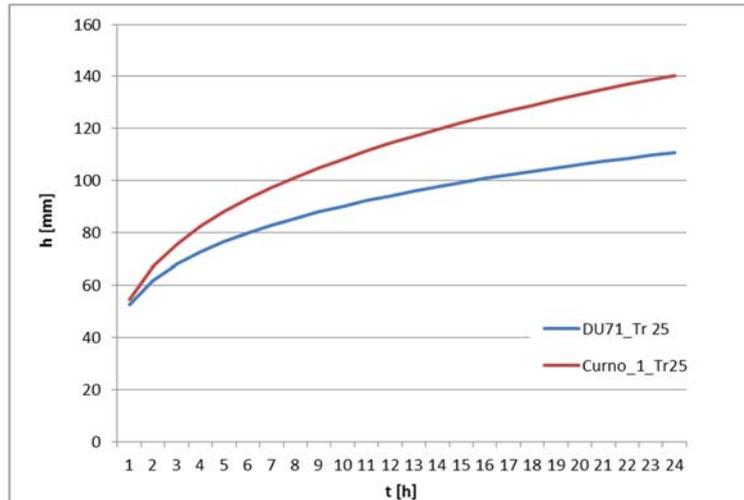


Figura 4.21 - Confronto celle ADBPO per i tempi di ritorno richiesti.

4.3.3 Confronto tra le curve massime individuate

A seguito dell'analisi svolta nel corso del capitolo, è necessario svolgere un'analisi conclusiva tra le curve massime individuate. Tale confronto è stato svolto discretizzando per tempi di ritorno. È emerso che le curve orarie fornite dal Progetto STRADA (Arpa Lombardia) sono le più gravose, per tale motivo sono state scelte come base progettuale, ovvero le celle Curno_1.



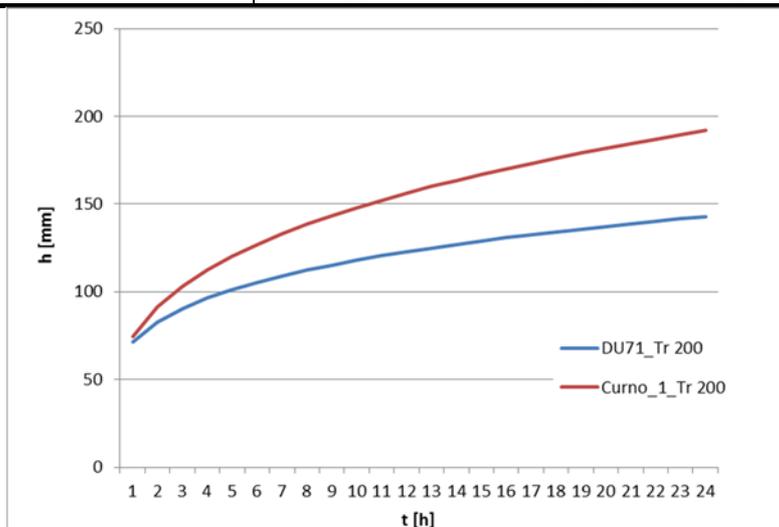


Figura 4.22 - Confronto curve PAI-ARPA.

4.3.4 Confronto tra le curve massime Arpa e dati elaborati statisticamente

Per avallare ulteriormente la scelta delle curve di pioggia è stato eseguito un confronto con i dati riportati nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Bergamo. Nella sezione "Studi e Analisi" D2 Idrologia – Idraulica, è riportato il *Quadro di sintesi delle attuali caratteristiche idrologiche e idrauliche delle acque superficiali*.

I dati relativi alle precipitazioni di breve durata sono stati ricavati dagli annuali pubblicati dal S.I.M.N., la stazione di riferimento nel caso in essere è quella di Bergamo, codice S.I.M.N. 1021, ubicata a quota 366 m.s.l.m.

Le elaborazioni statistiche sono state condotte con il metodo di Gumbel (EV1), in questa sede si omette la descrizione teorica. Le curve di possibilità pluviometrica sono riportate nella tabella sottostante:

Stazione	Tr=5anni		Tr=10anni		Tr=50anni		Tr=100anni	
	n	a	n	a	n	a	n	a
Bergamo	0.26	38.0	0.25	44.2	0.25	57.8	0.25	63.5

Effettuando un'interpolazione tra le curve disponibili si ricavano le curve a 25 e 200 anni:

Stazione	Tr=25anni		Tr=200anni	
	n	a	n	a
Bergamo	0.251	51.82	0.245	69.49

Nella Figura a seguire si riporta l'output del confronto tra le due famiglie di curve, ovvero la curva finora denominata **Curno_1** e quella del PTCP elaborata con Gumbel. Emerge che per le durate orarie le curve di Arpa Lombardia del Progetto STRADA sono maggiori e quindi progettualmente più gravose. Il grafico di qui sotto riporta per semplicità solo alcune durate, tuttavia si sottolinea che tale trend è stato confermato per tutte le durate comprese tra 1 e 24 ore.

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA
NB1R

LOTTO
00

CODIFICA
D 26 RH

DOCUMENTO
ID 0001 001

REV.
A

FOGLIO
38 di 59

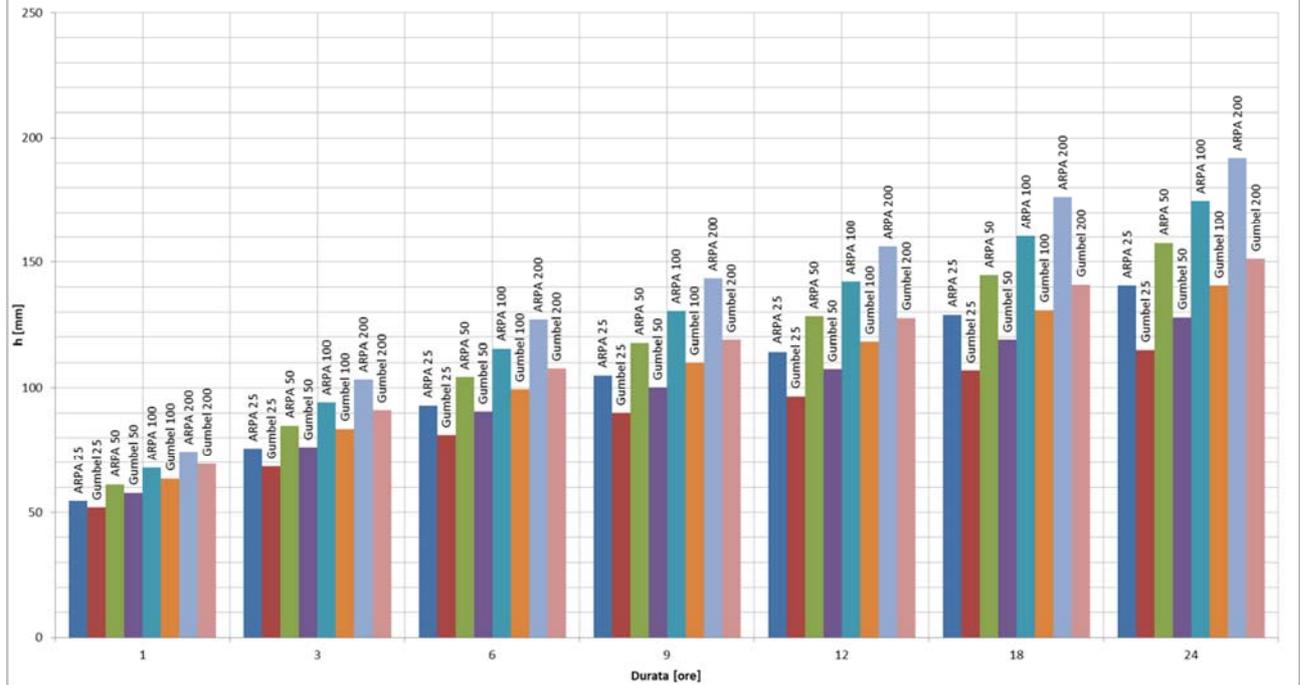


Figura 4.23 - Confronto curve massime Arpa e dati elaborati con Gumbel.

5 RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI

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

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

Bell ("GeneralizedRainfallDurationFrequencyRelationship" – Journal of the HydraulicsDivision – Proceedings of american Society of CivilEngineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti r_T tra le altezze di durata t molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano.

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

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

Tabella 5.1 - 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.

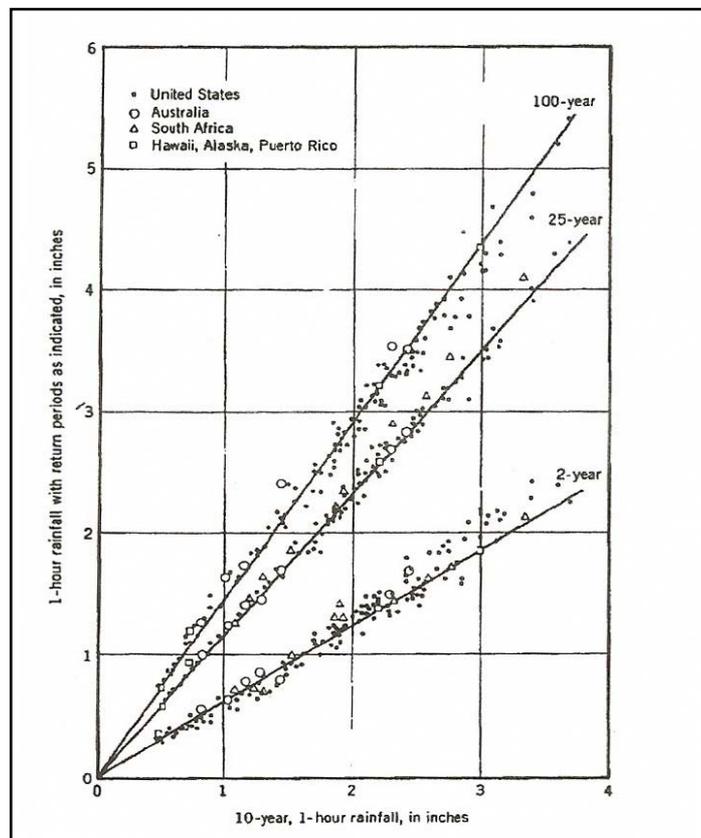


Figura 5.1 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni.

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

$$\frac{P_T^t}{h_{60}^t} = (0.54t^{0.25} - 0.50) \quad \text{Eq. 7}$$

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

- P_T^t indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo t riferita al periodo di ritorno T

- h_T^{60} è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita al periodo di ritorno T

- t è il tempo di pioggia espresso in minuti.

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

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

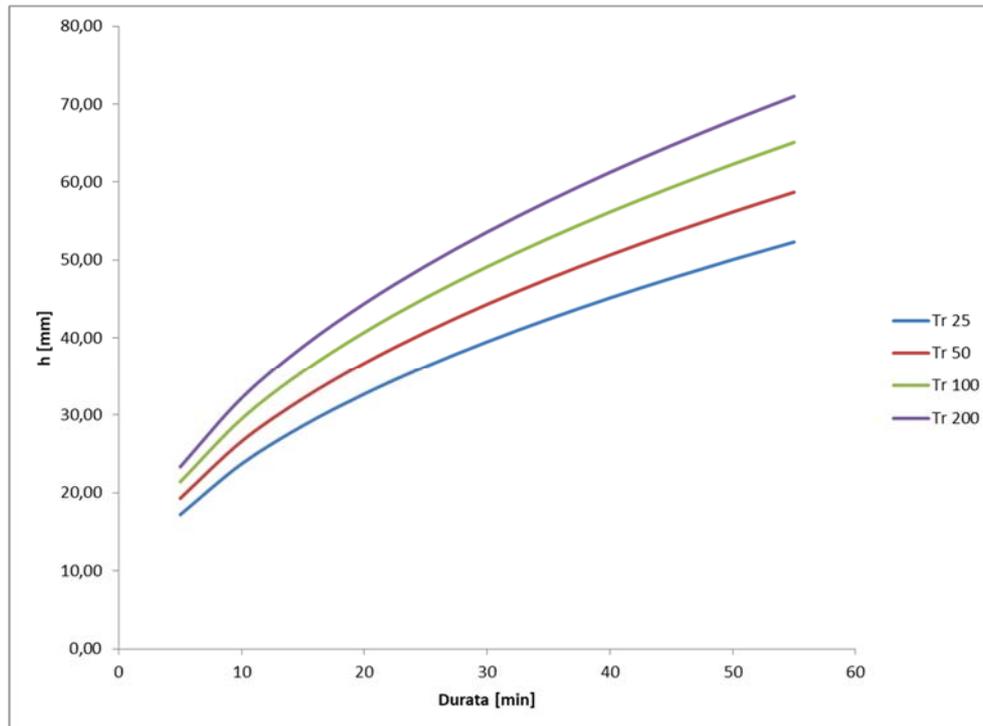


Figura 5.2 - Curve di possibilità pluviometrica di durata inferiore ad un'ora.

Nel Regolamento Regionale n.8 del 19 aprile 2019 si riporta all' Allegato G – Metodologie di calcolo dei volumi di laminazione, il valore di $n=0.5$ per durate inferiori dell'ora, in carenza di dati specifici. Si è scelto di utilizzare il metodo di Bell in quanto restituisce, seppur di poco, altezze di pioggia maggiori.

6 VALORI ADOTTATI

Nell'ambito dello studio idrologico vengono stimati i parametri della legge di possibilità pluviometrica per i differenti tempi di ritorno al fine di calcolare, mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi, le portate di progetto che interessano i manufatti idraulici.

I tempi di ritorno (T_r) prescritti dal Manuale di Progettazione ferroviaria variano infatti a seconda del tipo di manufatto idraulico:

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

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

Per l'area oggetto d'intervento, con riferimento a tempi di ritorno di 25, 50, 100 anni, secondo lo studio di Arpa Lombardia e con l'applicazione dei metodi di Bell, si ottengono i seguenti valori per $a_1 * w_T$ ed n e le seguenti leggi di probabilità pluviometrica per precipitazioni di durata superiore all'ora:

Tr [anni]	t ≤ 1 ora				t > 1ora			
	25	50	100	200	25	50	100	200
a1	30.26				30.26			
n	0.464				0.298			
w _T	1.80015	2.01999	2.24003	2.46109	1.80015	2.01999	2.24003	2.46109

Tabella 6.I - Parametri LSPP di progetto linea ferroviaria, NV01, NV05.

Tr [anni]	t ≤ 1 ora			t > 1ora		
	25	50	100	25	50	100
a1	29.63			29.63		
n	0.464			0.2936		
w _T	1.793426	2.010056	2.21575	1.793426	2.010056	2.21575

Tabella 6.II - Parametri LSPP di progetto viabilità NV02, NV03.

7 ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI

Il territorio nel quale insiste la livelletta ferroviaria è declive verso la linea stessa, che quindi viene ad essere uno sbarramento al naturale deflusso delle acque. Lungo il tracciato ferroviario sono stati riscontrati numerosi attraversamenti della linea storica. Alcuni di essi sono tombini associati ad un corso d'acqua definito (Tabella 7.I), molti altri al contrario sono fornici di trasparenza idraulica (Tabella 7.II).

Identificativo opera	Progressiva km	Canale irriguo
IN02	1+342.422	Roggia Oriolo Grasso e San Tommaso
IN03	1+438.378	Roggia Ponte Perduto di Monasterolo
IN04	1+463.043	Roggia Colleonesca
IN05	1+701.095	Roggia Oriolo Solza
IN07	2+737.513	Roggia Piuggia di Loreto
IN08	3+281.776	Roggia Piuggia di Loreto
VI05	3+335.391	Roggia Serio
IN10	3+721.206	Scaricatore valle d'Astino
IN11	4+196.751	Scaricatore Cascina Lupo
IN12	5+167.167	Roggia Curna

Tabella 7.I - Tombini di attraversamento ferroviario.

Identificativo	Prog km
IN51	2+218.217
IN52	2+460.081
IN53	2+690.251
IN54	2+728.009
IN55	2+781.412
IN56	2+813.890
IN57	2+852.373
IN58	2+887.775
IN59	2+991.047
IN60	3+034.194
IN61	3+058.857
IN62	3+098.165
IN63	3+177.721
IN64	3+875.220
IN65	3+951.233
IN66	3+974.579
IN67	4+040.437
IN68	4+107.613

Tabella 7.II - Fornici di trasparenza.

Nel progetto in essere, per evitare ristagni a nord della ferrovia e consentire lo scorrimento delle acque verso sud garantendo il mantenimento delle attuali condizioni di funzionamento, sono stati ripristinati tutti gli attraversamenti esistenti. Se i fornici sono vicini tra loro si provvede ad inserire un fosso di gronda per raccogliere in maniera più efficiente le acque.

La delimitazione dei bacini idrografici è stata eseguita in riferimento a quanto già riportato nel PFTE, integrando con strumenti di pianificazione comunale, quali Piani di Governo del Territorio (PGT), facilmente reperibili nel sito della Regione Lombardia – piattaforma **PGTweb**.

In Figura 7.1 si riporta un estratto della corografia dei bacini (elaborato NB1R00D26C4ID0001001A), in essa sono contenute tre tipologie di aree afferenti:

- Bacini dei tombini ferroviari;
- Bacini dei fornici di trasparenza, uniti in funzione dell'area alla quale consentire lo scarico a sud;
- Bacini di reti di fognatura (estratte dai PGT).

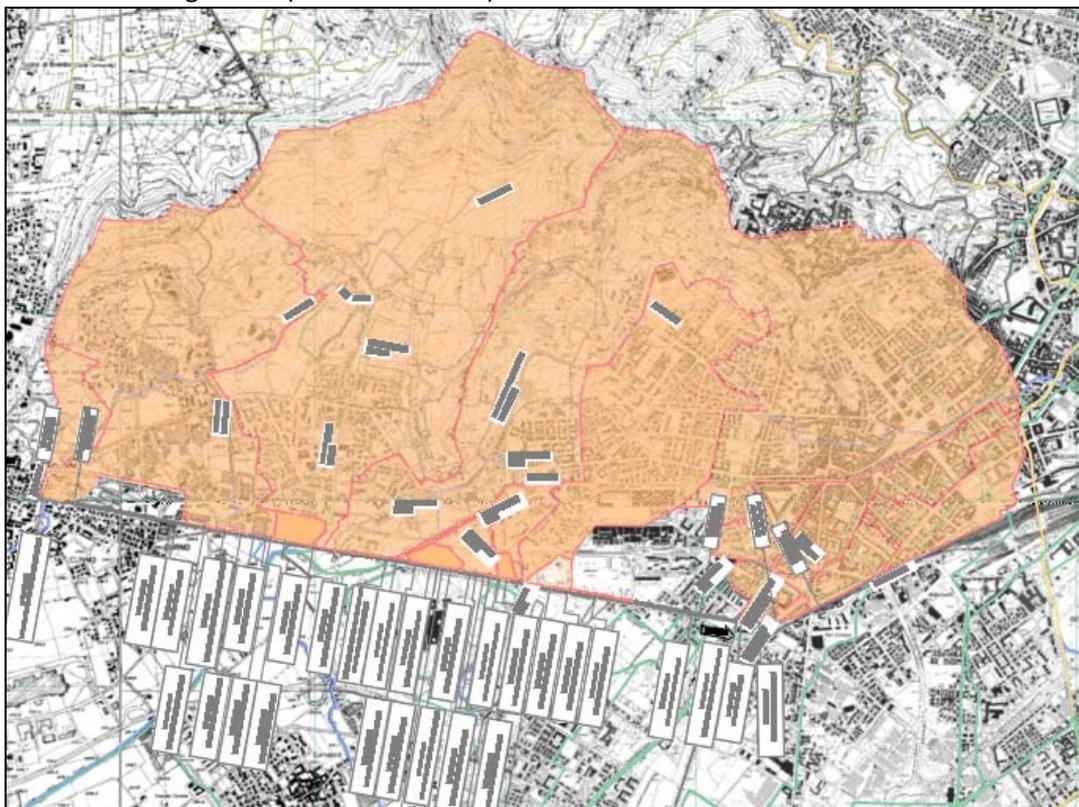


Figura 7.1 - Estratto Corografia Bacini.

7.1 STIMA DELLE PORTATE

Il calcolo delle portate di progetto, riportate in allegato, è stato effettuato con il metodo razionale descritto nel seguito.

7.1.1 Metodo Razionale

La formula razionale esprime che la massima portata defluente dalla sezione di sbocco del bacino sia una parte della pioggia caduta su tutta l'area del bacino in un certo intervallo di tempo. Alla base di tale metodologia vi è l'assunzione di una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio avente una durata pari ad un valore critico per il bacino e cioè il suo tempo di corrivazione t_c . Infatti, se la durata della pioggia t è minore di t_c , non tutto il bacino contribuirà contemporaneamente alla formazione del deflusso; alla fine della precipitazione tutte le parti più distanti del bacino non avranno ancora contribuito al deflusso nella sezione di controllo e quando questo avverrà (dopo un intervallo di tempo dato dalla differenza tra il tempo di corrivazione e la durata di precipitazione) le zone più vicine alla sezione di chiusura avranno cessato di impegnare la stessa. Viceversa, se la pioggia ha una durata maggiore di t_c , tutto il bacino contribuirà contemporaneamente al deflusso per un intervallo di tempo $t-t_c$ in cui la portata resterà costante e pari al valore massimo. L'espressione analitica per la valutazione della portata di piena assume la seguente forma:

$$Q = 2.78 \frac{\varphi S h}{t_c}$$

Con h altezza di pioggia [mm], S area del bacino [km^2], ϕ coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino, t_c tempo di corrivazione [ore].

7.1.2 Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo che impiega la goccia caduta nel punto più lontano del bacino a raggiungere la sezione di chiusura. In letteratura esistono svariate formule per definirlo, ognuna di esse è valida nel proprio campo di definizione. Nel progetto presente sono state utilizzate diverse formule, a seconda che si tratti di tombini o fornic di trasparenza.

Per i tombini le formule utilizzate sono le seguenti:

- Ventura, valido per bacini di estensione inferiore a 40 km^2

$$\tau_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{i}}$$

- Pasini, valido per bacini di estensione inferiore a 40 km^2

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

- Pezzoli, ha proposto la seguente espressione sulla base di misure relative a piccoli bacini piemontesi di estensione inferiore a 20 km^2

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

- Kirpich, utilizzando dati di sei piccoli bacini americani di estensione inferiore a 0.43 km^2 , e successivamente Rowe e Thomas integrando con ulteriori misure, sono pervenuti alla seguente relazione

$$\tau_c = 0.000325 \left(\frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.77}$$

Nelle precedenti formule il tempo è espresso in [ore], la lunghezza dell'asta L in [km], la superficie del bacino in [km^2] e la pendenza dell'asta in [m/m]. Il tempo scelto è funzione dei parametri di definizione delle formule, ad eccezione dell'attraversamento IN09, come si vedrà nel capitolo 8.3.

Per i fornic di trasparenza, essendo per definizione privi di linea idraulica direttamente afferente incisa, sono state analizzate le seguenti formule:

- Ventura

$$\tau_c = 0.1272 \sqrt{\frac{S}{i}}$$

- Turazza

$$\tau_c = 1.085\sqrt{S}$$

Per evitare di sovradimensionare i fornic è stato scelto coscientemente il valore maggiore tra i due. Negli allegati 0 e 9.1 si riportano le tabelle con i dati dei bacini e la portata di afferente.

8 INTEGRAZIONE DERIVANTE DALLO STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO DICAR DELL'UNIVERSITÀ DI PAVIA

Il Consorzio di bonifica Media pianura bergamasca ha commissionato, nel 2017, alla Università degli studi di Pavia uno studio idrologico e idraulico riguardante le problematiche di regimazione idraulica del territorio Bergasco definito "Problematiche di regimazione idraulica determinatesi nel comprensorio di Bergamo nell'estate 2016". Lo studio è stato messo a disposizione di Italferr dallo stesso Consorzio di bonifica Media Pianura Bergamasca ed è stato ricompreso nelle valutazioni idrauliche concernenti il presente Progetto Definitivo.

I tempi di ritorno considerati nello studio citato ($T_r=30$ anni) non sono compatibili con i tempi di ritorno assunti a base della progettazione ($T_r=200$ e 300 anni) del presente progetto definitivo di raddoppio della linea Ponte S.Pietro-Bergamo Montello. Tuttavia, lo studio è stato utilizzato per aggiornare le assunzioni fatte sui bacini afferenti e tempo di corrivazione per gli attraversamenti considerati nello studio dell'Università di Pavia che ricadono anche nel presente Progetto Definitivo. Sono state conseguentemente aggiornati anche i valori di portata di progetto sulla base dei nuovi valori di tempo di corrivazione.

Gli attraversamenti idraulici compresi nel presente Progetto Definitivo e facenti parte dello studio svolto dalla Università di Pavia sono: IN11 (Scaricatore Cascina Lupo), IN10 (Scaricatore Valle d'Astino) e IN09 (roggia Serio).

8.1 SCARICATORE CASCINA LUPO (IN11)

Lo scaricatore di Cascina Lupo serve un'area di circa 150 ha, ricadente nel territorio dei Comuni di Bergamo, Mozzo e Curno, per la maggior parte urbanizzata.

Il bacino dello scaricatore è riportato nella tabella successiva e fa parte del sistema idraulico della Roggia Curna. In Tabella 8.II si riportano la pendenza, la forma della sezione in corrispondenza dell'attraversamento della ferrovia e la scabrezza espressa come numero di Manning.

Sottobacino	Area [m ²]
1-2-3-4-5	269239
L'	386720
L''	508000
L	333600

Tabella 8.I - Bacino dello Scaricatore Cascina Lupo.



Tratto	Lunghezza [m]	Pendenza (%)	Sezione	Coeff. Manning [m ^{-1/3s}]
3'c1-4c1	380	0.50	sezione rettangolare in cls B=1.6 m H=1.5 m chiusa	0.0143

Tabella 8.II - Dati IN11.

8.2 SCARICATORE VALLE D'ASTINO (IN10)

Lo scaricatore Valle di Astino fa parte del sistema di scaricatori che collegano direttamente il Canale di gronda nord ovest – Roggia Curna alla Roggia Serio. Il bacino tributario del Valle d'Astino ha un'estensione di 2.74 km², derivante dalla somma dei sottobacini riportati nella tabella successiva. La pendenza, la forma della sezione in corrispondenza dell'attraversamento della ferrovia e la scabrezza espressa come numero di Manning sono riportati in tabella Tabella 8.III **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, nella successiva Figura 8.1 l'inquadramento del tratto dello scaricatore interessato di cui sono stati utilizzati tali dati.

Tratto	Sezione	Pendenza (%)	Coefficiente di Manning [m ^{-1/3s}]
5 ^{va} - 6 ^{va}	Sezione rettangolare	0.13	0.0143

Tabella 8.III - Dati utilizzati per l'IN10.

Sottobacino	Area [mq]
B''	108300
C'	172500
C	543300
D	599600
E	244700
D'	18000
6-7	31000
G	83600
F	154900
G'	70300
H	165600
I	86500
M	221800

Tabella 8.IV - Aree dei sottobacini formanti il bacino dell'IN10.



Figura 8.1 - Attraversamento ferroviario dello Scaricatore Valle di Astino.

Lo studio dell'Università riporta un picco dell'idrogramma di piena che si attesta a circa un'ora, si implementerà nel calcolo del deflusso il tempo di corrivazione definito secondo la formulazione di Kirpich, pari a 2.75 ore.

8.3 ROGGIA SERIO (VI05)

La Roggia Serio ha avuto per molto tempo funzione irrigua, ma a seguito dello sviluppo urbanistico della zona interessata ha perso tale scopo ed è divenuta preponderante la funzione di colatore nell'ambito del drenaggio delle acque meteoriche urbane.

Secondo lo studio idrologico e idraulico dell'Università, poiché nella sezione a noi utile il canale è in cemento armato è stato adottato un coefficiente di Manning di $0.01667 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ (K di Strickler = $60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$, inoltre il bacino tributario complessivo ha un coefficiente di afflusso pari a 0.52. L'area del bacino afferente il VI05 va è stata modificata di conseguenza, come riportato nello studio dell'Università.

Fognatura	Recapito scaricatore	A [ha]	Coefficiente afflusso
mista	Serio	75.2	0.59
mista	Serio	14.0	0.,60
mista	Serio	9.3	0.62
mista	Serio	36.9	0.56
mista	Serio	7.8	0.48
mista	Serio	8.2	0.61
sc. diretto	Serio	1.3	0.60
sc. diretto	Serio	1.2	0.60
separata	Serio	0.5	0.62
separata	Serio	0.3	0.64
sc. diretto	Serio	17.0	0.28
mista	Serio	3.2	0.55
mista	Curna	35.3	0.38
sc. diretto	Curna	2.6	0.16
Totale		212.8	0.52

Tabella 8.V - Area del bacino del VI05.

In aggiunta a quanto detto, lo studio dell'Università riporta una portata massima di $23.64 \text{ m}^3/\text{s}$ per un tempo di ritorno di 30 anni. Ad essa si apportano delle correzioni associate a vari contributi, per la cui descrizione si rimanda alla Relazione dettagliata dello studio, che in totale ammontano a $3.38 \text{ m}^3/\text{s}$. L'idrogramma di piena raggiunge il picco a circa un'ora, per cui si sceglie di implementare il tempo di corrivazione secondo la formula di Kirpich, pari a 1.42 ore.

Il corso d'acqua tuttavia è in grado di convogliare solo la portata $27.02 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata di progetto è quindi quest'ultima.

9 ALLEGATI

9.1 TOMBINI DI ATTRAVERSAMENTO

Opera	Progressiva	Lasta	Area	Pendenza	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	Durata	n di calcoli	Tr	φ	Q
	km	m	kmq	m/m	ore						mm	anni	-	mc/s
IN02	1+342.422	1095,00	0,111	0,0020	0,95	1,35	1,20	0,78	0,78	< 1ora	66,31	200	0,75	1,27
IN03	1+438.378	600,00	0,073	0,0049	0,49	0,47	0,55	0,35	0,35	< 1ora	45,61	200	0,75	1,27
IN04	1+463.043	2400,00	0,324	0,0070	0,86	1,58	1,19	0,88	0,88	< 1ora	70,17	200	0,75	3,00
IN05	1+701.095	992,00	0,139	0,0049	0,68	0,78	0,80	0,51	0,51	< 1ora	54,54	200	0,75	2,03
IN07	2+737.513	381,00	0,059	0,0123	0,28	0,19	0,28	0,17	0,17	< 1ora	32,87	200	0,40	0,77
IN08	3+281.776	472,00	0,008	0,0080	0,13	0,29	0,19	0,24	0,24	< 1ora	38,32	200	0,40	0,12
VI05	3+335.391	2000,00	3,320	0,0014	6,19	2,94	5,39	1,42	2,94	> 1ora	102,71	200	0,52	27,02
IN10	3+721.206	1800,00	2,860	0,0013	5,97	2,75	5,14	1,35	2,75	> 1ora	100,64	200	0,40	11,74
IN11	4+196.751	900,00	1,497	0,0076	1,79	0,57	1,37	0,40	0,57	< 1ora	57,27	200	0,60	10,46
IN12	5+167.167	9000,00	0,150	0,00160	1,23	12,38	2,98	4,30	4,30	> 1ora	111,20	200	0,45	0,48

9.2 FORNICI DI TRASPARENZA

IN51

Il fornace IN51 garantisce trasparenza all'area collocata tra l'area commerciale e la linea ferroviaria, la cui superficie è 2207 m². Per esso è stato stimato un coefficiente di deflusso $\phi=0.4$.



Figura 9.1 - Identificazione bacino IN51.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN51	2+218.217	0,002	0,0024	0,051	0,122	0,122	28,06	0,0564

IN52

Il fornace IN52 garantisce trasparenza all'area collocata tra la rotatoria di via Briantea, il PL di via Martin Luther King (km 2+598 della linea storica) e l'area commerciale, la cui superficie è 27325 m². Per esso è stato stimato un coefficiente di deflusso $\varphi=0.5$.



Figura 9.2 - Identificazione bacino IN52.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN52	2+460.081	0,027	0,0024	0,179	0,429	0,429	50,30	0,4451

IN53, IN54

Il bacino scolante degli IN53 e IN54 ha una superficie di 10595m² e si colloca tra la Roggia Piuggia di Loreto ed i bacini della fognatura urbana, delimitati con il PGT del Comune di Bergamo. La superficie totale va suddivisa equamente tra il fornice IN53 ed il successivo IN54, le aperture saranno opportunamente collegate a monte con un fosso di gronda. Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.70.

Nell'estratto in figura 9.3 è riportata l'identificazione del bacino e degli attraversamenti associati e nella sottostante tabella sono annotati i valori delle portate afferenti.



Figura 9.3 - Identificazione bacino IN53 e IN54 (da destra a sinistra).

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN53	2+690.251	0,005	0,0070	0,079	0,111	0,111	26,82	0,2498
IN54	2+728.009	0,005	0,0070	0,079	0,111	0,111	26,82	0,2498

IN55, IN56, IN57, IN58

Il bacino scolante dei fornicI IN55, IN56, IN57, IN58 ha una superficie di 7912 m² e si colloca tra la Roggia Serio ed i bacini della fognatura delle opere di progetto del nuovo hotel, collocato in prossimità della fermata di Bergamo Ospedale. La superficie totale va suddivisa equamente tra i fornicI, le aperture saranno opportunamente collegate a monte con un fosso di gronda. Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.

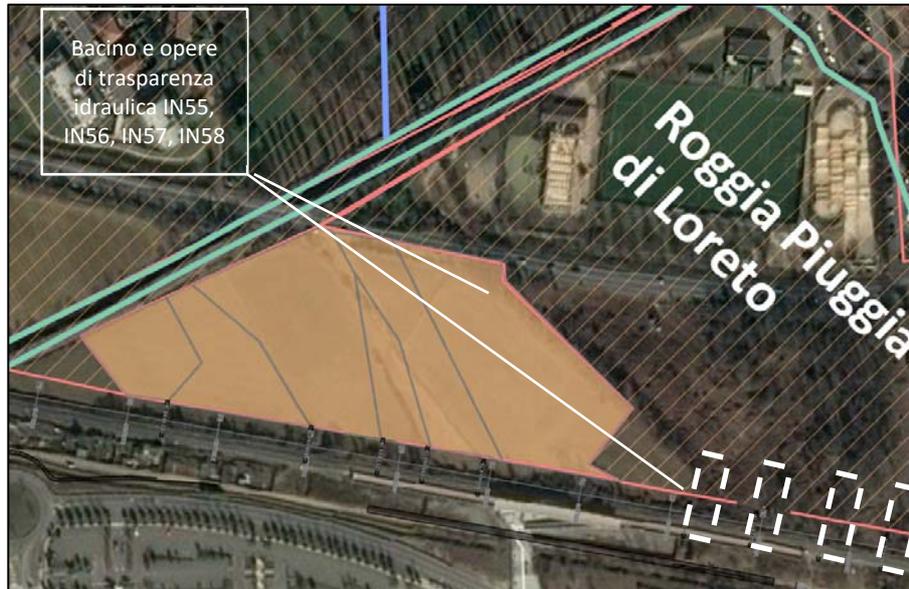


Figura 9.4 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN55, IN56, IN57, IN58 (da destra verso sinistra).

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN55	2+781.412	0,002	0,0070	0,048	0,068	0,068	21,34	0,0694
IN56	2+813.890	0,002	0,0070	0,048	0,068	0,068	21,34	0,0694
IN57	2+852.373	0,002	0,0070	0,048	0,068	0,068	21,34	0,0694
IN58	2+887.775	0,002	0,0070	0,048	0,068	0,068	21,34	0,0694

IN59

Il bacino scolante del fornice IN59 ha una superficie di 3497 m² e si colloca tra la Roggia Serio ed i bacini della fognatura delle opere di progetto del nuovo hotel, collocato in prossimità della fermata di Bergamo Ospedale.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.



Figura 9.5 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN59.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN59	2+991.047	0,003	0,0070	0,064	0,090	0,090	24,35	0,1053

IN60

Il bacino scolante del fornice IN60 ha una superficie di 1564 m² e si colloca tra la Roggia Serio ed i bacini della fognatura delle opere di progetto del nuovo hotel, collocato in prossimità della fermata di Bergamo Ospedale.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.

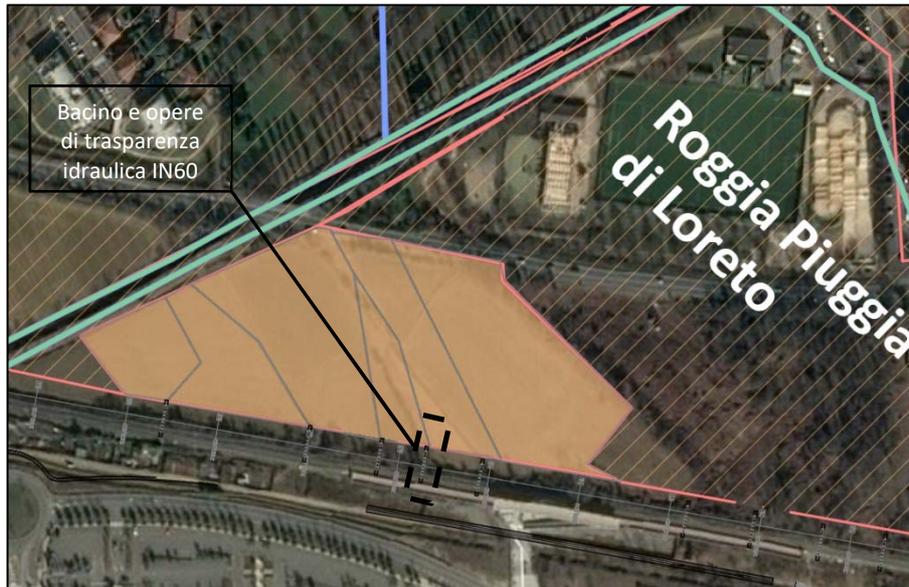


Figura 9.6 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN60.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN60	3+034.194	0,002	0,0100	0,043	0,050	0,050	18,60	0,0643

IN61

Il bacino scolante del fornice IN61 ha una superficie di 5974 m² e si colloca tra la Roggia Serio ed i bacini della fognatura delle opere di progetto del nuovo hotel, collocato in prossimità della fermata di Bergamo Ospedale.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.

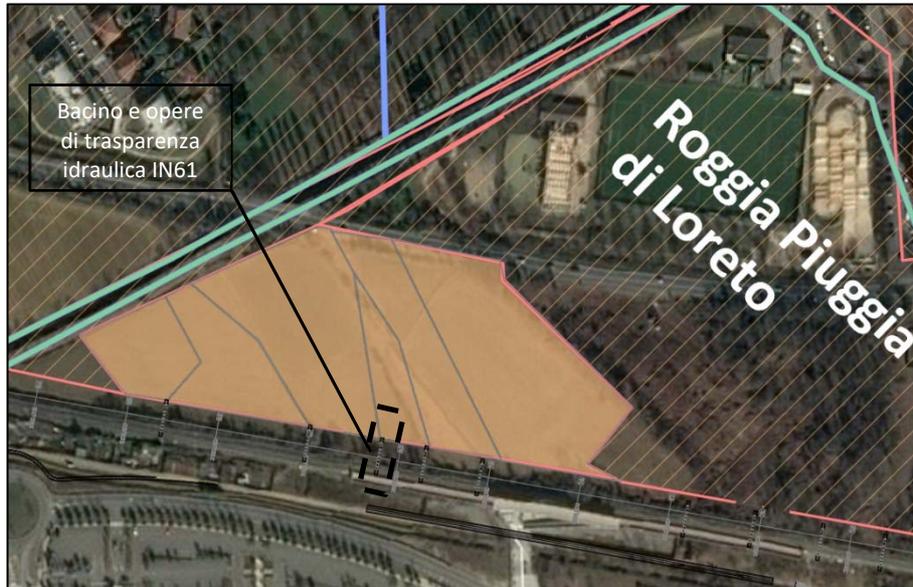


Figura 9.7 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN61.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN61	3+058.857	0,006	0,0100	0,084	0,098	0,098	25,38	0,1715

IN62

Il bacino scolante del fornice IN62 ha una superficie di 3170 m² e si colloca tra la Roggia Serio ed i bacini della fognatura delle opere di progetto del nuovo hotel, collocato in prossimità della fermata di Bergamo Ospedale.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.



Figura 9.8 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN62.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN62	3+098.165	0,003	0,0100	0,061	0,072	0,072	21,91	0,1079

IN63

Il bacino scolante del fornice IN63 ha una superficie di 2331 m² e si colloca tra la Roggia Serio ed i bacini della fognatura delle opere di progetto del nuovo hotel, collocato in prossimità della fermata di Bergamo Ospedale.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.

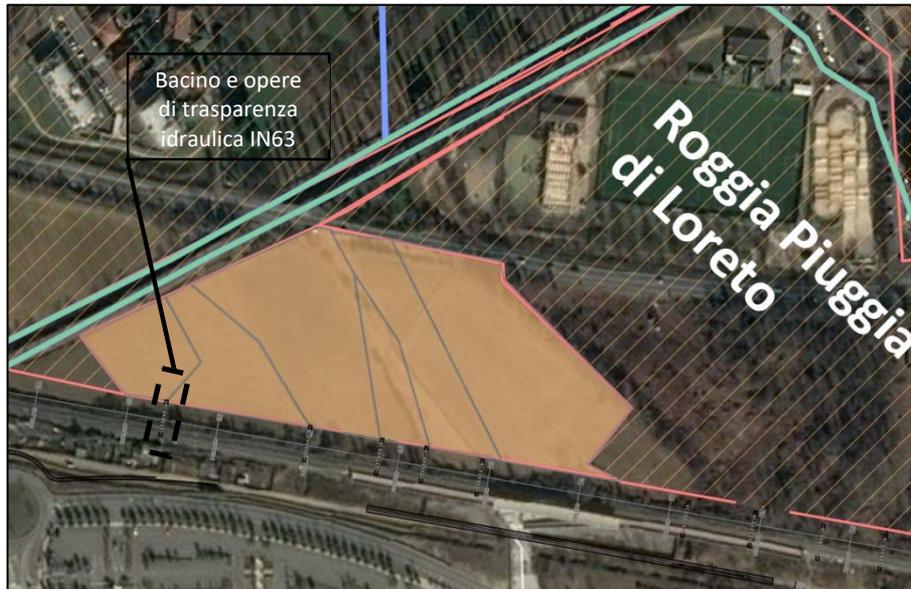


Figura 9.9 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN63.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN63	3+177.721	0,002	0,0100	0,052	0,061	0,061	20,41	0,0861

IN64

Il bacino scolante del fornice IN64 ha una superficie di 16661 m² e si colloca tra il bacino dello scaricatore di Valle d'astino e dello scaricatore di Cascina Lupo.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.



Figura 9.10 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN64.

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN64	3+875.220	0,017	0,0063	0,140	0,208	0,208	35,91	0,3204

IN65, IN66, IN67, IN68

Il bacino scolante dei forni IN65, IN66, IN67, IN68 ha una superficie di 18449 m² e si colloca tra il bacino dello scaricatore di Valle d'astino e dello scaricatore di Cascina Lupo. La superficie totale va suddivisa equamente tra i forni, le aperture saranno opportunamente collegate a monte con un fosso di gronda.

Il coefficiente di deflusso è stato stimato a 0.40, in quanto si tratta di area verde.



Figura 9.11 - Identificazione bacino degli attraversamenti IN65, IN66, IN67, IN68 (da destra verso sinistra).

	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h di calcolo	Q
		km ²	m/m	ore			mm	mc/s
IN65	3+951.233	0,005	0,0050	0,074	0,122	0,122	28,08	0,1179
IN66	3+974.579	0,005	0,0050	0,074	0,122	0,122	28,08	0,1179
IN67	4+040.437	0,005	0,0060	0,074	0,112	0,112	26,91	0,1238
IN68	4+107.613	0,005	0,0063	0,074	0,109	0,109	26,66	0,1251