

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J81D1900000009

## U.O. INFRASTRUTTURE NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

#### NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – AEROPORTO “ORIO AL SERIO”

LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO

#### IDROLOGIA ED IDRAULICA

##### Relazione idrologica

SCALA:

-

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

N M 2 7    0 1    D    2 6    R H    I D 0 0 0 1    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau 	Giugno 2020	S. Scafa 	Giugno 2020	I. Legramandi 	Giugno 2020	A. Perego Giugno 2020




File: NM2701D26RHID0001001A

n. Elab.:

Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	2 di 60


**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE DELL’AREA .....</b>	<b>9</b>
3.1	INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO .....	9
3.2	BACINO IDROGRAFICO DELL’ADDA.....	11
3.3	CONSORZIO DI BONIFICA MEDIA PIANURA BERGAMASCA .....	13
3.4	ASPETTI IDROLOGICI .....	15
<b>4</b>	<b>ANALISI PLUVIOMETRICA.....</b>	<b>17</b>
4.1	ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE – PAI .....	17
4.1.1	ESTRAPOLAZIONE DELLE CURVE PER Tr 25 E 50 ANNI.....	20
4.2	LSPP – ARPA LOMBARDIA .....	26
4.2.1	L’ATLANTE DELLE PIOGGE INTENSE DELLA LOMBARDIA .....	26
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.....	30
4.3.1	ARPA LOMBARDIA.....	30
4.3.2	PAI – ADBPO .....	34
4.3.3	CONFRONTO TRA LE CURVE MASSIME INDIVIDUATE .....	36
4.3.4	CONFRONTO TRA LE CURVE MASSIME ARPA E DATI ELABORATI STATISTICAMENTE .....	37
<b>5</b>	<b>RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI.....</b>	<b>40</b>
<b>6</b>	<b>VALORI ADOTTATI.....</b>	<b>43</b>
<b>7</b>	<b>ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI.....</b>	<b>44</b>
7.1	ANALISI TERRITORIALE .....	44
7.2	STIMA DELLE PORTATE .....	46
7.2.1	METODO RAZIONALE.....	46
7.2.2	TEMPO DI CORRIVAZIONE .....	47
<b>8</b>	<b>BACINI AFFERENTI.....</b>	<b>49</b>
8.1	FORNICI DI TRASPARENZA .....	57
<b>9</b>	<b>TABULATI DI CALCOLO.....</b>	<b>59</b>
9.1	FORNICI DI TRASPARENZA .....	59
9.2	TOMBINI DI ATTRAVERSAMENTO.....	60

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>LOTTO</b>	<b>CODIFICA</b>	<b>DOCUMENTO</b>	<b>REV.</b>	<b>FOGLIO</b>
	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	3 di 60


## INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1.1 - LOCALIZZAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO. ....	5
FIGURA 3.1 - LOCALIZZAZIONE INTERVENTI. ....	9
FIGURA 3.2 - INQUADRAMENTO AREA DI INTERVENTO. ....	10
FIGURA 3.3 - SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI. ....	10
FIGURA 3.4 - BACINO FIUME PO. ....	12
FIGURA 3.5 - BACINO ADDA. ....	12
FIGURA 3.6 - SOTTOBACINO ADDA SUBLACUALE. ....	12
FIGURA 3.7 - INQUADRAMENTO SOTTOBACINI. ....	13
FIGURA 3.8 - INQUADRAMENTO CONSORZIO BONIFICA MEDIA PIANURA BERGAMASCA. ....	14
FIGURA 3.9 - INTERSEZIONI CON CANALI IRRIGUI. ....	15
FIGURA 4.1 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO PAI. ....	19
FIGURA 4.2 - DATI ED INTERPOLAZIONE DW71. ....	20
FIGURA 4.3 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DW71. ....	21
FIGURA 4.4 - DATI ED INTERPOLAZIONE DW72. ....	22
FIGURA 4.5 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DW72. ....	23
FIGURA 4.6 - DATI ED INTERPOLAZIONE DX71. ....	23
FIGURA 4.7 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DX71. ....	24
FIGURA 4.8 - DATI ED INTERPOLAZIONE DX72. ....	25
FIGURA 4.9 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA SUPERIORE AD UN'ORA PER LA CELLA DX72. ....	26
FIGURA 4.10 - INDIVIDUAZIONE CELLE DI RIFERIMENTO ARPA LOMBARDIA. ....	28
FIGURA 4.11 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 200 ANNI. ....	31
FIGURA 4.12 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 100 ANNI. ....	32
FIGURA 4.13 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE PER Tr 50 ANNI. ....	33
FIGURA 4.14 - GRAFICO ALTEZZE DI PIOGGIA ORARIE Tr 25 ANNI. ....	34
FIGURA 4.15 - CONFRONTO CELLE ADBPO PER I TEMPI DI RITORNO RICHIESTI. ....	35
FIGURA 4.16 - CONFRONTO CURVE PAI-ARPA. ....	37
FIGURA 4.17 - CONFRONTO CURVE MASSIME ARPA E DATI ELABORATI CON GUMBEL. ....	39
FIGURA 5.1 - RELAZIONE ALTEZZA-FREQUENZA PER 2, 25, 100 ANNI. ....	41
FIGURA 5.2 - CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI DURATA INFERIORE AD UN'ORA. ....	42
FIGURA 7.1 - PERIMETRAZIONE BACINI ArcMAP. ....	44
FIGURA 7.2 - BACINI IDROGRAFICI. ....	45
FIGURA 8.1 - SEZIONE TRATTO IN GALLERIA. ....	51

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b>	<b>LOTTO</b>	<b>CODIFICA</b>	<b>DOCUMENTO</b>	<b>REV.</b>	<b>FOGLIO</b>
	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	4 di 60

## INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 3.I – CARATTERISTICHE CANALI IRRIGUI.....	15
TABELLA 4.I - ESTRAPOLAZIONE ALLEGATO 3_ DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE DEL PAI 7. NORME DI ATTUAZIONE. ....	19
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 5.I - RAPPORTO TRA ALTEZZA DI PIOGGIA DI DURATA INFERIORE AD UN ORA – U.S. WATER BUREAU. ....	40
TABELLA 6.I - PARAMETRI LSPP DI PROGETTO LINEA FERROVIARIA. ....	43
TABELLA 7.I - TOMBINI DI ATTRAVERSAMENTO FERROVIARIO.....	46
TABELLA 7.II - FORNICI DI TRASPARENZA. ....	46

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 5 di 60

## 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 della nuova linea ferroviaria di collegamento tra la Stazione di Bergamo e l’aeroporto di Orio al Serio, facente parte della linea Bergamo-Brescia.

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.

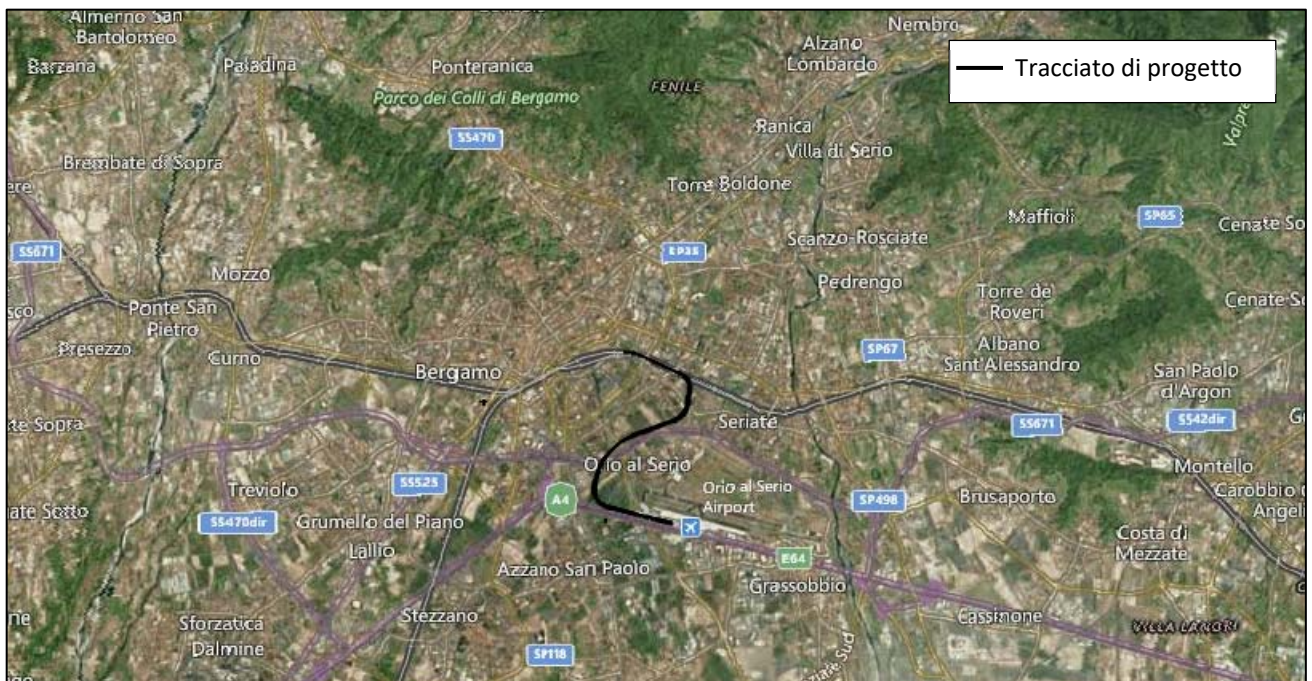




Figura 1.1 - Localizzazione dell’area di intervento.

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

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

	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>												
<p><b>Relazione idrologica</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01</td> <td>D 26 RH</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>6 di 60</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	6 di 60
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	6 di 60								

è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme tecniche delle costruzioni.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 7 di 60

## 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


	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>												
<p><b>Relazione idrologica</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01</td> <td>D 26 RH</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>8 di 60</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	8 di 60
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	8 di 60								

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.



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 9 di 60

### 3 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Il progetto di raddoppio ferroviario viene eseguito in parte su ferrovia esistente, mentre la maggior parte si sviluppa su terreno attualmente non occupato da sede ferroviaria.

Inizialmente la sezione è in rilevato (da km 0+214 a km 2+295), proseguendo da Bergamo verso Orio al Serio la livelletta si abbassa assumendo sezione in trincea alla pk 2+295 e dal km 2+771 al km 3+396 si incontra la galleria ferroviaria. La linea continua in trincea fino alla pk 3+872 km da dove inizia il rilevato ferroviario fino alla 4+612 km, ivi riprende la sezione in trincea fino alla progressiva 5+026 km dove inizia il marciapiede della stazione di Orio al Serio. L'intervento termina alla progressiva 5+293.676 km.

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).

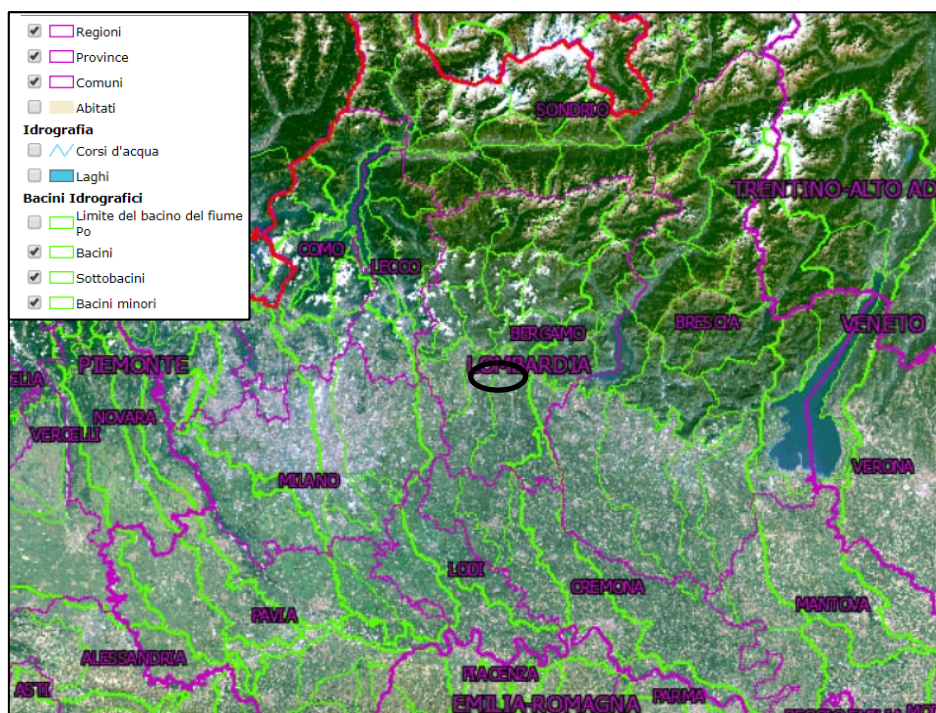



Figura 3.2 - Inquadramento area di intervento.

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.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 11 di 60

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 km<sup>2</sup>, 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:

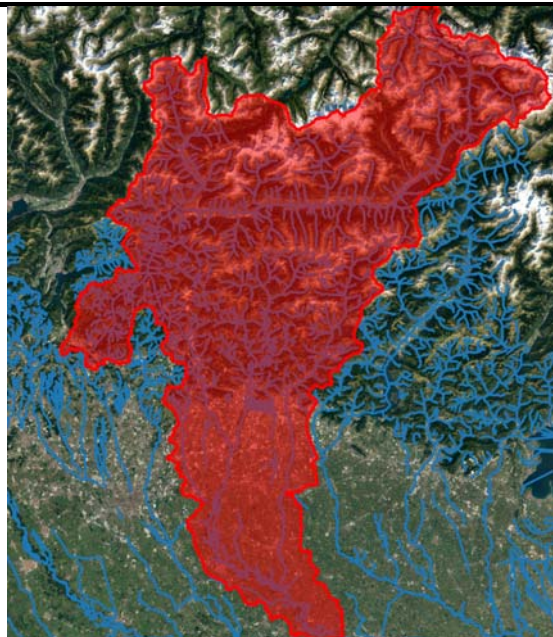
- Adda sopralacuale (Valtellina e Valchiavenna)  
formato dal bacino dell'Adda montano, si sviluppa in direzione est-ovest e dal bacino del fiume Mera che raccoglie i deflussi della Valchiavenna. Gli affluenti principali sono i torrenti Frodolfo, Mallero, Masino, Tartano e Bitto;
- lago di Como  
è drenato 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.

**Relazione idrologica**

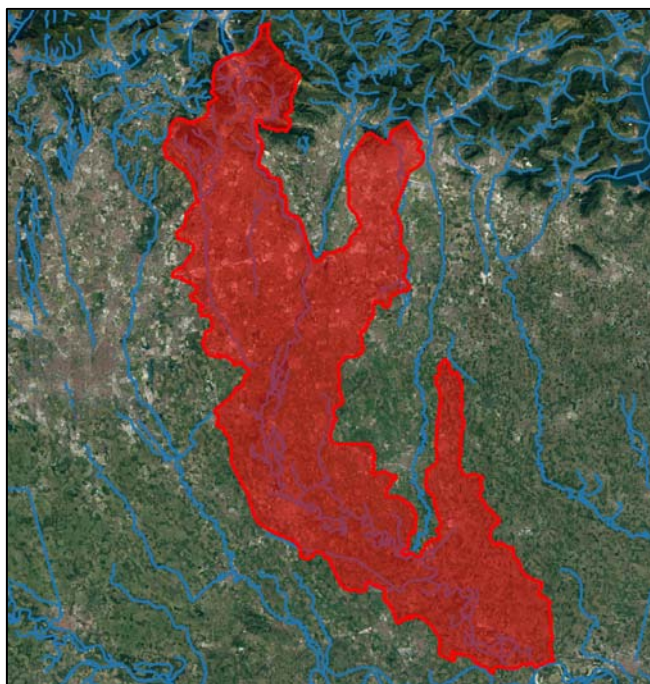
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID_0001_001	A	12 di 60



**Figura 3.4 - Bacino Fiume Po.**



**Figura 3.5 - Bacino Adda.**



**Figura 3.6 - Sottobacino Adda sublacuale.**

L'intero tratto in progetto ricade nel sottobacino dell'Adda sublacuale.

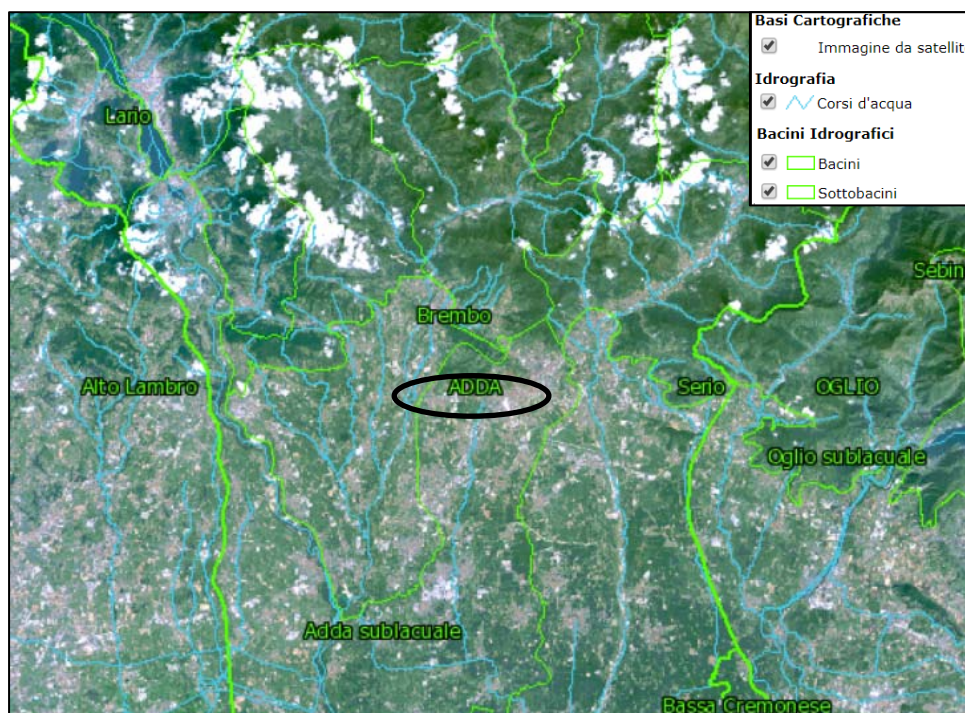


Figura 3.7 - Inquadramento sottobacini.

### 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, 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 sono:

WBS	Canale irriguo	Progressiva km
IN 01	Livelli Maddalena	0+307.45
IN 02	Morlino Passi	0+854
IN 03	Roggia Ponte perduto	1+008
IN 04	Scolmatore Torrente Morla	2+189
IN 05	Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo B	2+859
IN 06	Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo A	3+023
IN 07	Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo C	4+022
IN 08	Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo C	4+154
IN 09B	Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo A	4+304
IN 10	Roggia Urgnana	5+299

**Tabella 3.1 – Caratteristiche canali irrigui.**

### 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

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>  <b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>												
<b>Relazione idrologica</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01</td> <td>D 26 RH</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>16 di 60</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	16 di 60
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	16 di 60								

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 Olginate (1946-94) i colmi si sono ridotti a due. Il volume regolato nel lago è di circa 247 milioni di  $\text{m}^3$ .

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  $\text{m}^3$ .

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  $1,15 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ .



	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 17 di 60

#### 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;*

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 18 di 60

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

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

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

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

La 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 Tr20	n Tr20	a Tr100	n Tr100	a Tr200	n Tr200	a Tr500	n Tr500
DW71	553000,00000	5059000,00000	49,94	0,237	64,26	0,224	70,27	0,220	78,30	0,215
DW72	553000,00000	5057000,00000	50,62	0,234	65,39	0,221	71,51	0,216	79,76	0,212
DX71	555000,00000	5059000,00000	50,47	0,240	64,87	0,228	70,91	0,224	78,99	0,219
DX72	555000,00000	5057000,00000	50,85	0,236	65,57	0,224	71,68	0,219	79,90	0,215

Tabella 4.I - 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 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

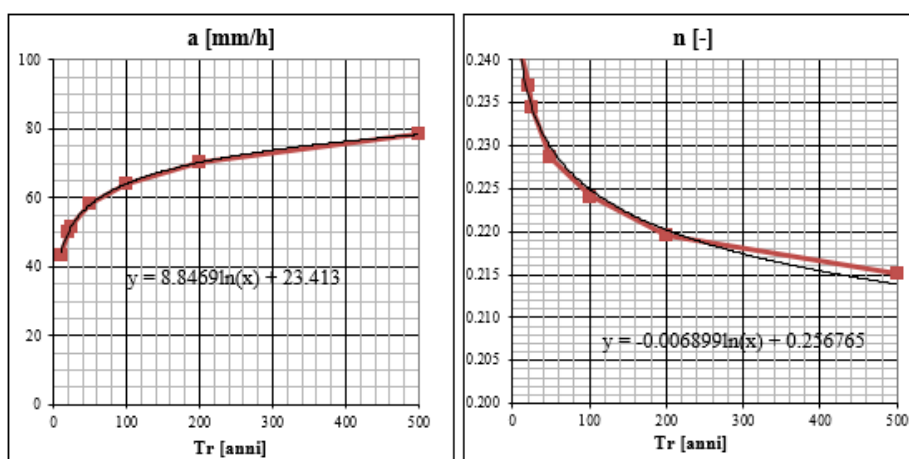


Figura 4.2 - Dati ed interpolazione DW71.

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.

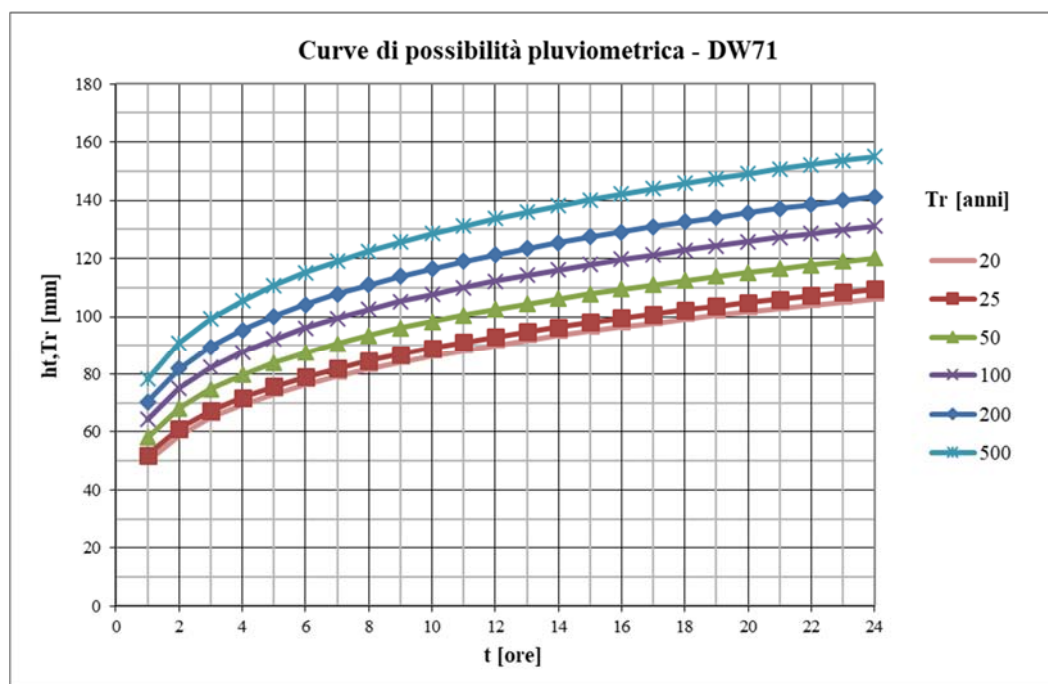


Figura 4.3 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DW71.

**CELLA DW72**

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 [-]
DW72	44.175	0.237	50.622	0.234	52.704	0.232	58.978	0.225	65.393	0.221	71.506	0.216	79.758	0.212

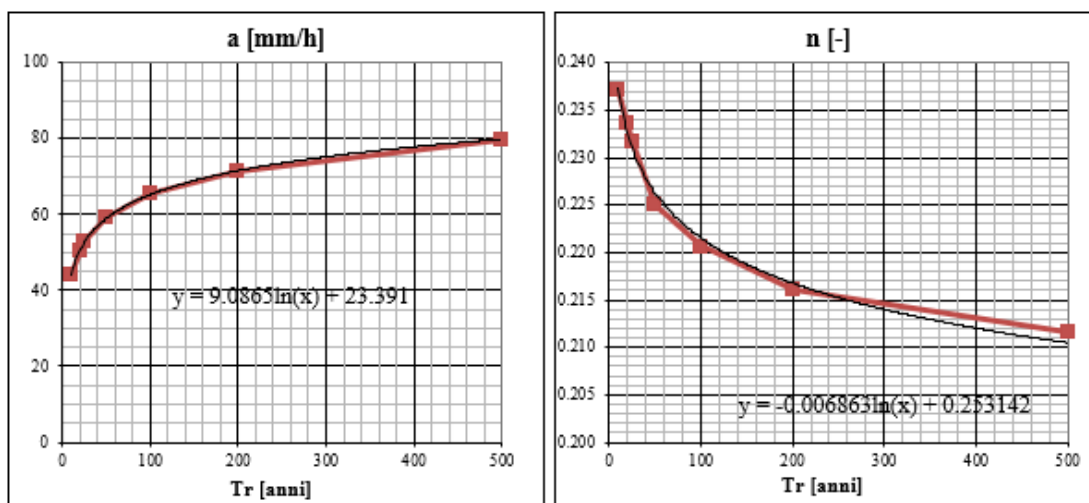


Figura 4.4 - Dati ed interpolazione DW72.

t [h] \ Tr [anni]	h(t, Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1.0	50.62	52.70	58.98	65.39	71.51	79.76
2.0	59.52	61.88	68.94	76.20	83.06	92.36
3.0	65.43	67.97	75.52	83.34	90.67	100.64
4.0	69.97	72.65	80.57	88.80	96.49	106.96
5.0	73.72	76.51	84.72	93.29	101.25	112.13
6.0	76.92	79.81	88.27	97.12	105.32	116.54
7.0	79.74	82.71	91.39	100.48	108.89	120.41
8.0	82.27	85.30	94.18	103.48	112.08	123.86
9.0	84.56	87.66	96.71	106.21	114.97	126.99
10.0	86.67	89.83	99.03	108.71	117.62	129.85
11.0	88.62	91.83	101.18	111.02	120.07	132.50
12.0	90.44	93.70	103.18	113.17	122.34	134.96
13.0	92.15	95.46	105.05	115.19	124.48	137.27
14.0	93.76	97.11	106.82	117.09	126.49	139.44
15.0	95.28	98.67	108.49	118.89	128.39	141.49
16.0	96.73	100.16	110.08	120.59	130.19	143.44
17.0	98.10	101.57	111.59	122.22	131.91	145.29
18.0	99.42	102.93	113.03	123.77	133.55	147.06
19.0	100.69	104.22	114.42	125.25	135.12	148.75
20.0	101.90	105.47	115.75	126.68	136.63	150.37
21.0	103.07	106.67	117.03	128.05	138.07	151.94
22.0	104.19	107.82	118.26	129.37	139.47	153.44
23.0	105.28	108.94	119.45	130.65	140.82	154.89
24.0	106.33	110.02	120.60	131.88	142.12	156.29

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.

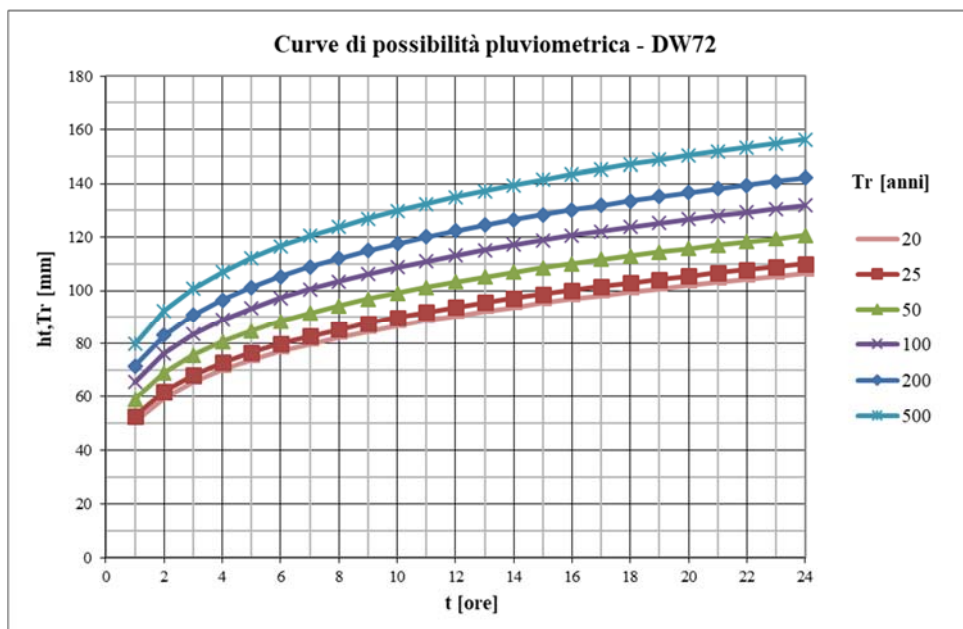


Figura 4.5 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DW72.

### CELLA DX71

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 [-]
DX71	44.146	0.243	50.467	0.240	52.493	0.237	58.647	0.232	64.870	0.228	70.909	0.224	78.986	0.219

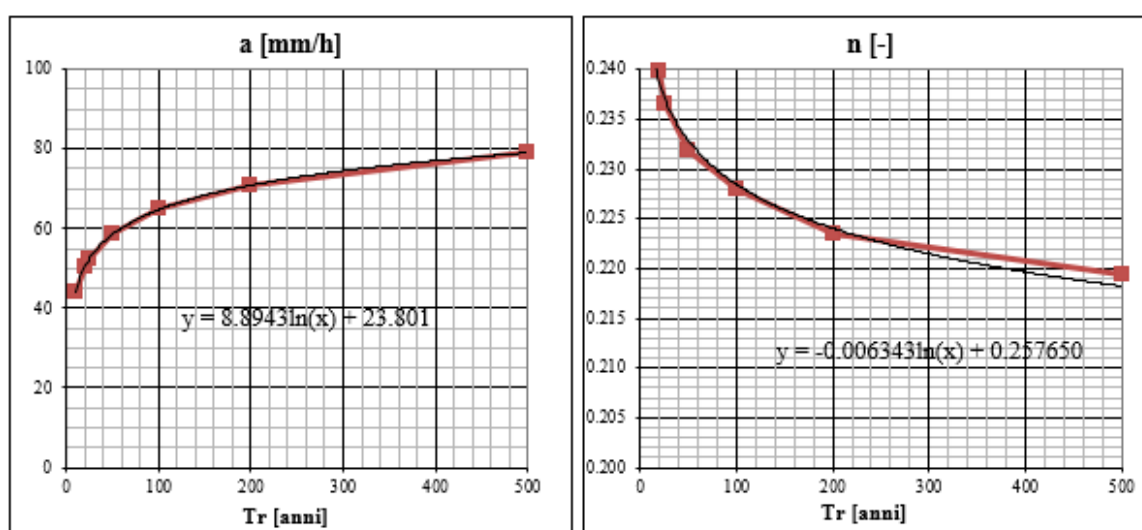


Figura 4.6 - Dati ed interpolazione DX71.

t [h] \ Tr [anni]	h(t,Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1.0	50.47	52.49	58.65	64.87	70.91	78.99
2.0	59.60	61.85	68.87	75.97	82.79	91.95
3.0	65.69	68.07	75.66	83.32	90.65	100.50
4.0	70.38	72.87	80.87	88.97	96.67	107.05
5.0	74.25	76.82	85.17	93.61	101.61	112.42
6.0	77.57	80.20	88.84	97.58	105.84	117.00
7.0	80.50	83.18	92.07	101.07	109.55	121.03
8.0	83.12	85.85	94.97	104.19	112.87	124.62
9.0	85.50	88.28	97.60	107.02	115.88	127.88
10.0	87.69	90.50	100.01	109.63	118.65	130.87
11.0	89.72	92.57	102.24	112.03	121.20	133.64
12.0	91.61	94.49	104.33	114.28	123.58	136.21
13.0	93.38	96.30	106.28	116.38	125.81	138.62
14.0	95.06	98.00	108.12	118.36	127.91	140.89
15.0	96.65	99.61	109.87	120.24	129.90	143.04
16.0	98.16	101.15	111.52	122.02	131.79	145.08
17.0	99.59	102.61	113.10	123.72	133.59	147.02
18.0	100.97	104.01	114.61	125.34	135.31	148.88
19.0	102.29	105.34	116.05	126.89	136.95	150.65
20.0	103.55	106.63	117.44	128.38	138.53	152.36
21.0	104.77	107.87	118.78	129.82	140.05	154.00
22.0	105.95	109.06	120.07	131.20	141.51	155.58
23.0	107.08	110.21	121.31	132.54	142.93	157.10
24.0	108.18	111.33	122.51	133.83	144.29	158.57

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.

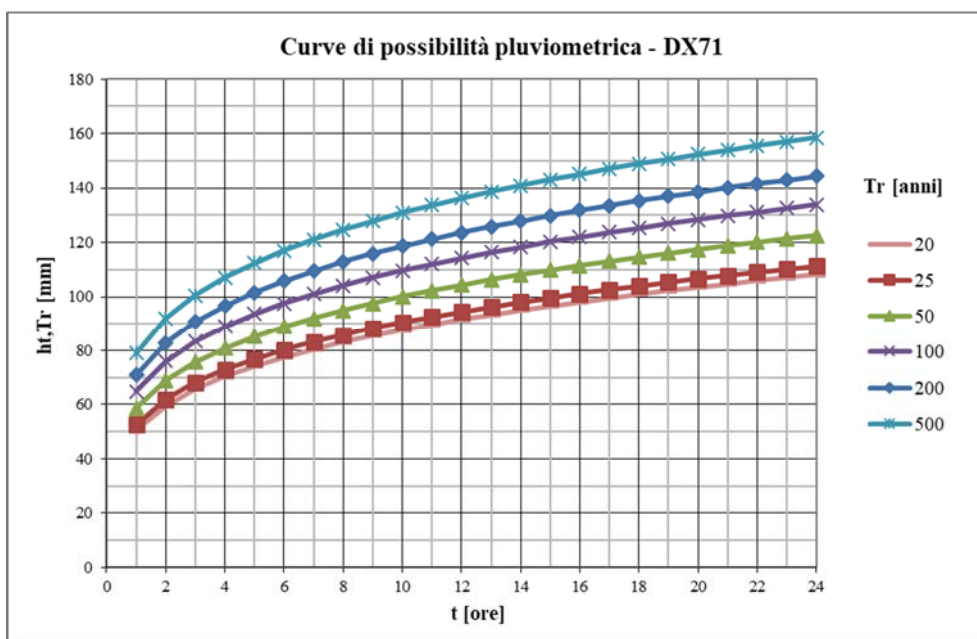


Figura 4.7 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DX71.



**CELLA DX72**

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 [-]
DX72	44.417	0.239	50.848	0.236	52.927	0.233	59.179	0.228	65.572	0.224	71.675	0.219	79.905	0.215

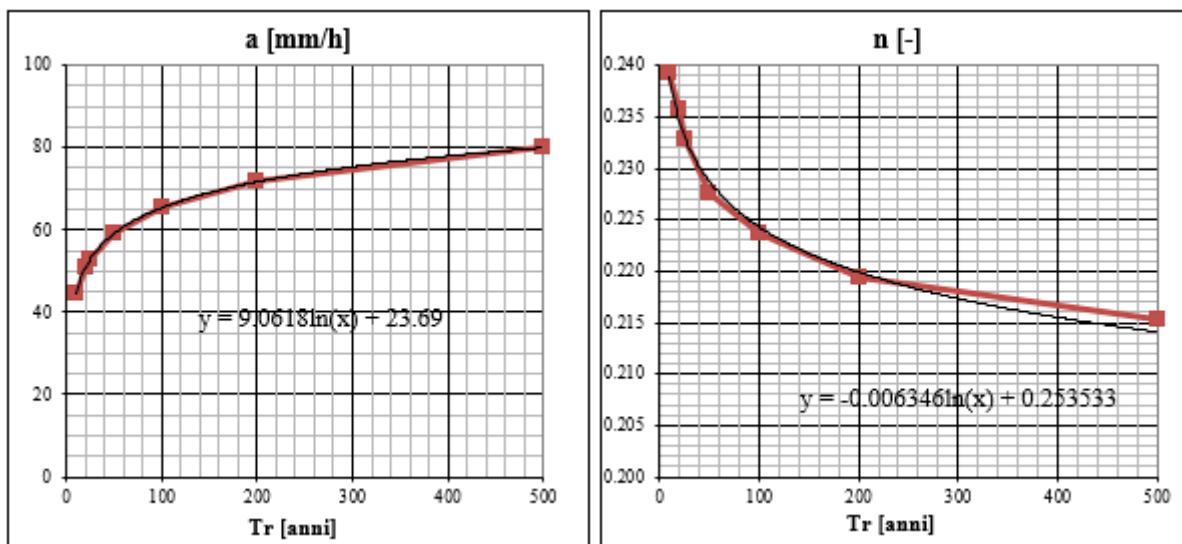


Figura 4.8 - Dati ed interpolazione DX72.

t [h] \ Tr [anni]	h(t,Tr) [mm]					
	20	25	50	100	200	500
1.0	50.85	52.93	59.18	65.57	71.68	79.90
2.0	59.87	62.19	69.29	76.57	83.45	92.76
3.0	65.88	68.35	75.99	83.84	91.21	101.22
4.0	70.50	73.08	81.13	89.41	97.15	107.68
5.0	74.31	76.98	85.36	93.99	102.03	112.98
6.0	77.57	80.32	88.97	97.90	106.19	117.50
7.0	80.44	83.25	92.15	101.33	109.84	121.46
8.0	83.02	85.88	95.00	104.41	113.11	125.00
9.0	85.35	88.27	97.58	107.19	116.07	128.21
10.0	87.50	90.46	99.94	109.75	118.78	131.15
11.0	89.49	92.49	102.14	112.11	121.29	133.87
12.0	91.34	94.38	104.18	114.32	123.63	136.40
13.0	93.08	96.15	106.09	116.38	125.82	138.77
14.0	94.72	97.83	107.90	118.33	127.88	141.00
15.0	96.28	99.41	109.61	120.17	129.83	143.11
16.0	97.75	100.92	111.23	121.91	131.68	145.11
17.0	99.16	102.35	112.77	123.58	133.45	147.02
18.0	100.50	103.72	114.25	125.17	135.13	148.84
19.0	101.79	105.03	115.66	126.69	136.74	150.58
20.0	103.03	106.30	117.02	128.15	138.29	152.25
21.0	104.22	107.51	118.33	129.56	139.78	153.86
22.0	105.37	108.68	119.59	130.92	141.21	155.40
23.0	106.48	109.81	120.80	132.22	142.59	156.90
24.0	107.56	110.90	121.98	133.49	143.93	158.34

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.

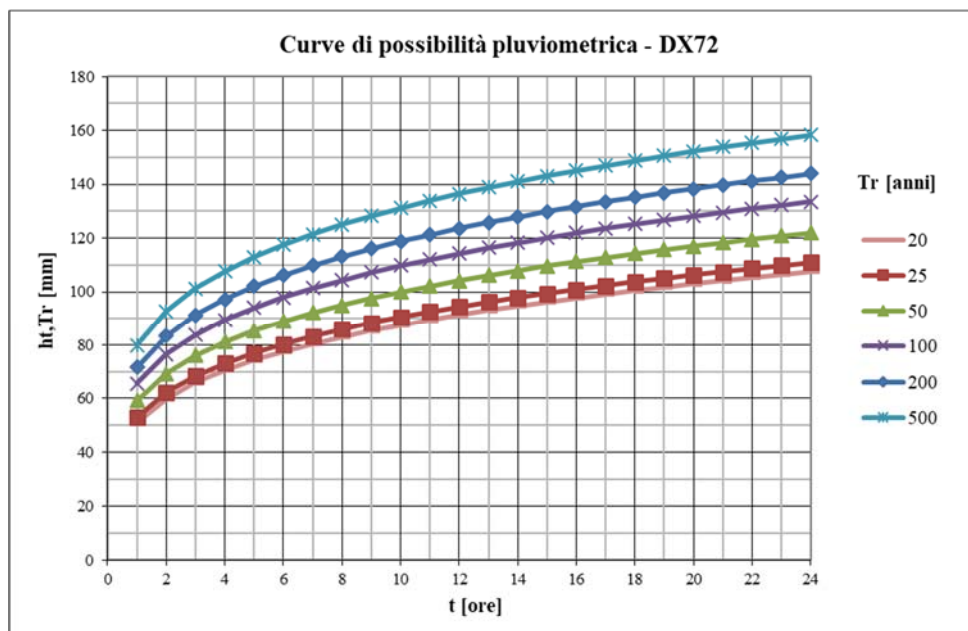


Figura 4.9 - Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora per la cella DX72.

## 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

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 27 di 60

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.

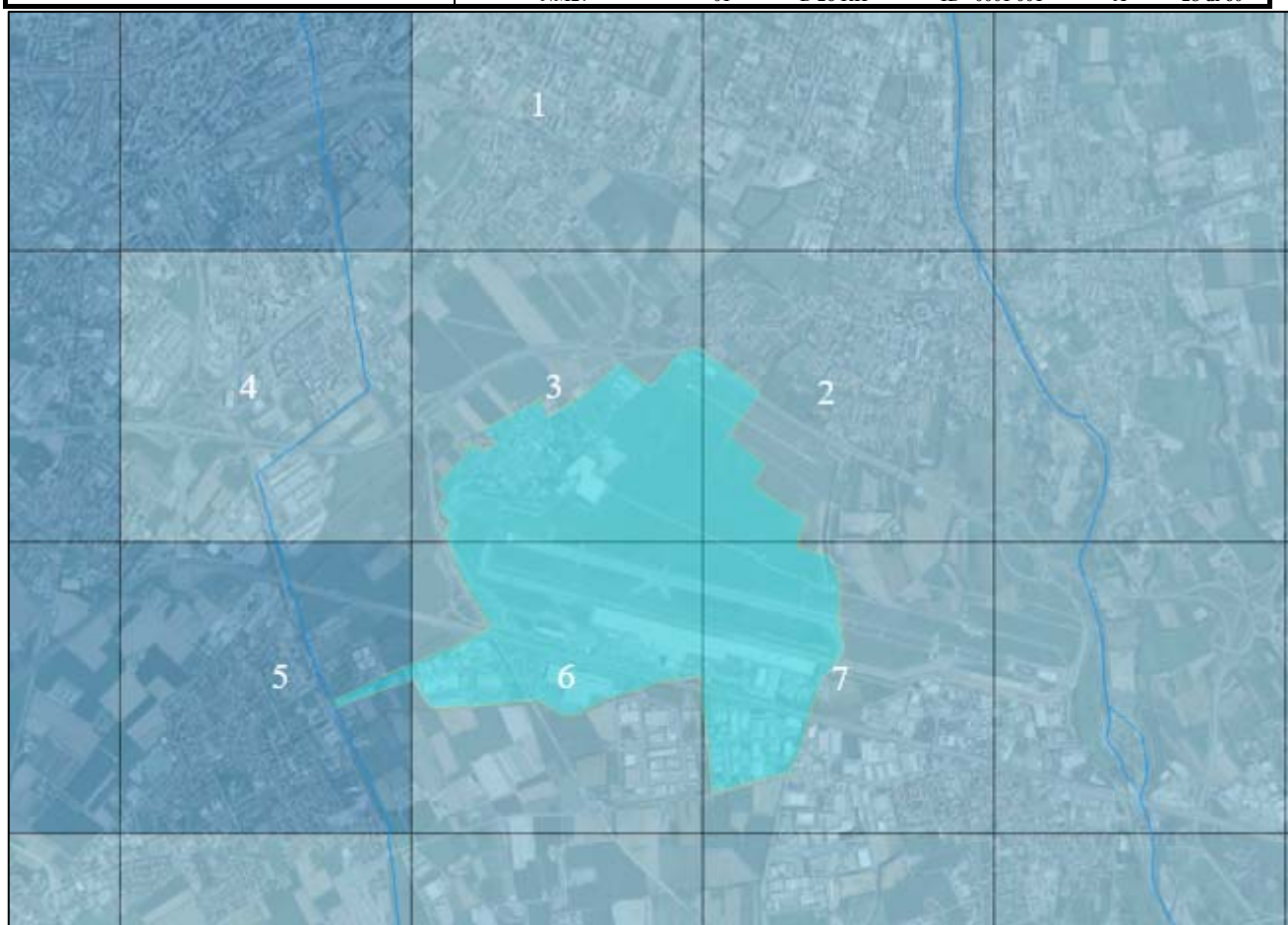


Figura 4.10 - Individuazione celle di riferimento ARPA Lombardia.

Cella	a1	n	GEV-alpha	GEV-kappa	GEV-epsilon
1	29.809999	0.29899999	0.29960001	-0.0109	0.82359999
2	29.799999	0.29589999	0.29920000	-0.0105	0.82410002
3	29.959999	0.29429999	0.29870000	-0.0103	0.82440001
4	29.940001	0.29710001	0.29820001	-0.0134	0.82359999
5	30.010000	0.29359999	0.29760000	-0.0146	0.82370001
6	29.959999	0.29269999	0.29730001	-0.0132	0.82429999
7	29.790001	0.29420000	0.29740000	-0.0125	0.82440001

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


L'espressione della probabilità cumulata GEV è

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

1

Dove:  $\varepsilon$  è un parametro di posizione,  $\alpha$  è un parametro di scala,  $\kappa$  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.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 29 di 60

La stima dei tre parametri  $\varepsilon$ ,  $\alpha$  e  $\kappa$  può essere effettuata tramite la tecnica basata sui momenti lineari raccomandata da Hosking (1990).

Stimati i parametri di forma  $\kappa$ , di scala ( $\alpha$ ) e di posizione ( $\varepsilon$ ) della GEV per la stazione in esame la relazione 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:

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}(1 - \exp(-ky_T)) \quad \text{Eq. 3}$$

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 Lombardi) 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  $\alpha$ , e di posizione  $\varepsilon$ , 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,  $\alpha$ , e di posizione,  $\varepsilon$ , 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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	COMMESSA NM27	LOTTO 01	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 30 di 60

I valori dei parametri  $k$ ,  $\alpha$  e  $\varepsilon$  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

Per tempi di ritorno pari a 200 anni:

t [h]	h [mm]						
	Cella 1	Cella 2	Cella 3	Cella 4	Cella 5	Cella 6	Cella 7
1	73.241	73.114	73.408	73.658	73.893	73.554	73.065
2	90.107	89.758	90.019	90.502	90.570	90.099	89.593
3	101.721	101.200	101.428	102.088	102.020	101.452	100.944
4	110.858	110.192	110.390	111.197	111.011	110.365	109.859
5	118.507	117.713	117.883	118.819	118.527	117.814	117.313
6	125.147	124.238	124.381	125.432	125.045	124.272	123.778
7	131.050	130.036	130.153	131.311	130.834	130.007	129.520
8	136.388	135.277	135.370	136.625	136.065	135.189	134.710
9	141.277	140.075	140.145	141.490	140.853	139.931	139.460
10	145.798	144.511	144.558	145.989	145.278	144.314	143.850
11	150.013	148.644	148.670	150.182	149.401	148.396	147.941
12	153.967	152.521	152.527	154.115	153.267	152.224	151.777
13	157.696	156.177	156.162	157.824	156.911	155.833	155.393
14	161.229	159.639	159.606	161.338	160.363	159.250	158.819
15	164.590	162.932	162.880	164.679	163.644	162.499	162.075
16	167.797	166.073	166.003	167.867	166.775	165.597	165.182
17	170.866	169.079	168.991	170.918	169.770	168.562	168.154
18	173.811	171.963	171.858	173.845	172.643	171.406	171.006
19	176.644	174.736	174.614	176.660	175.405	174.140	173.748
20	179.374	177.409	177.270	179.373	178.067	176.774	176.390
21	182.010	179.989	179.834	181.992	180.636	179.317	178.940
22	184.559	182.483	182.313	184.525	183.120	181.775	181.406
23	187.029	184.899	184.714	186.978	185.526	184.156	183.794
24	189.424	187.243	187.042	189.357	187.858	186.464	186.109

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

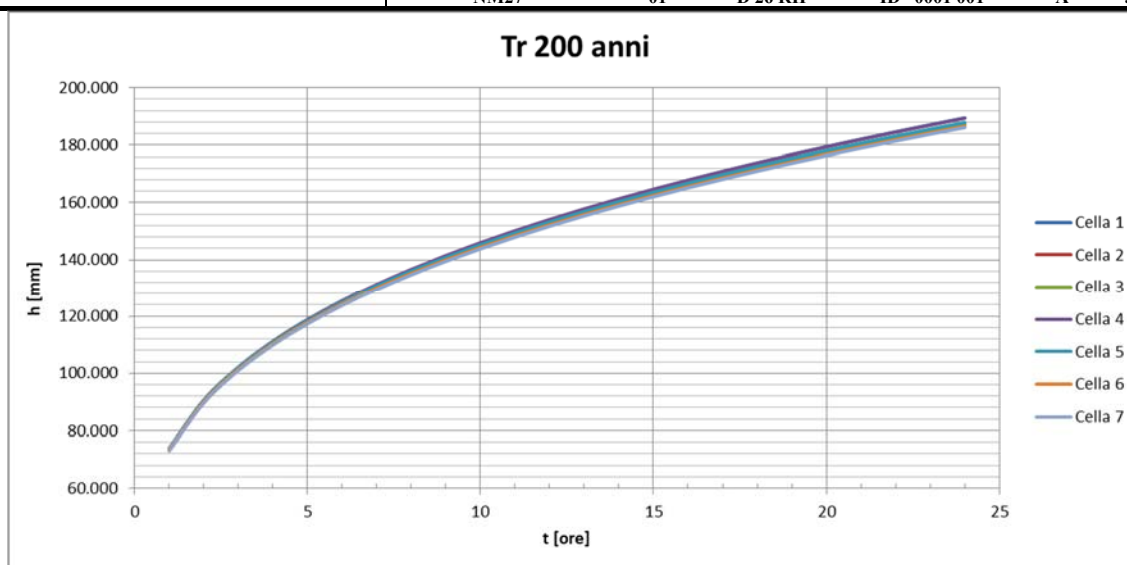
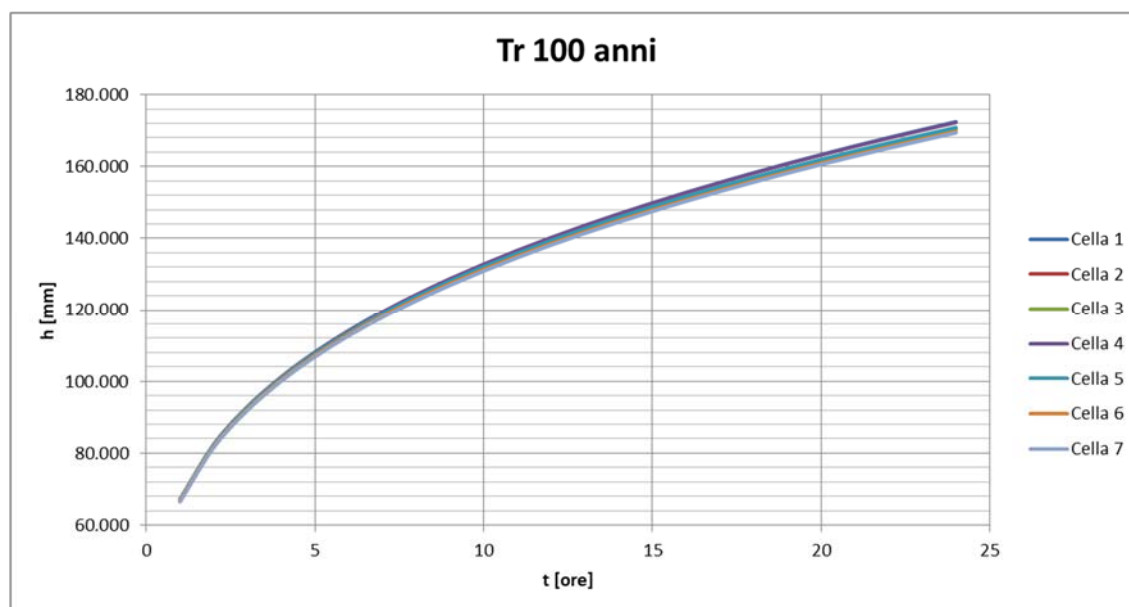


Figura 4.11 - Grafico altezze di pioggia orarie per Tr 200 anni.

Per tempi di ritorno pari a 100 anni:

t [h]	h [mm]						
	Cella 1	Cella 2	Cella 3	Cella 4	Cella 5	Cella 6	Cella 7
1	66.683	66.581	66.857	67.021	67.214	66.940	66.509
2	82.040	81.738	81.986	82.347	82.384	81.996	81.553
3	92.614	92.157	92.377	92.890	92.799	92.329	91.886
4	100.933	100.345	100.538	101.178	100.978	100.440	100.001
5	107.897	107.195	107.363	108.113	107.815	107.219	106.786
6	113.942	113.136	113.281	114.131	113.743	113.096	112.671
7	119.317	118.416	118.538	119.479	119.009	118.316	117.898
8	124.177	123.189	123.289	124.315	123.768	123.032	122.622
9	128.628	127.558	127.638	128.742	128.123	127.347	126.945
10	132.745	131.597	131.658	132.835	132.148	131.336	130.942
11	136.582	135.362	135.403	136.651	135.898	135.051	134.665
12	140.182	138.892	138.915	140.229	139.415	138.535	138.157
13	143.577	142.221	142.226	143.604	142.730	141.819	141.449
14	146.794	145.374	145.362	146.801	145.869	144.929	144.567
15	149.854	148.372	148.344	149.841	148.854	147.885	147.531
16	152.774	151.233	151.188	152.742	151.702	150.706	150.359
17	155.568	153.970	153.910	155.518	154.426	153.404	153.065
18	158.250	156.597	156.521	158.181	157.039	155.992	155.661
19	160.829	159.122	159.032	160.743	159.552	158.480	158.157
20	163.314	161.556	161.450	163.211	161.973	160.877	160.561
21	165.714	163.905	163.785	165.594	164.310	163.191	162.883
22	168.036	166.177	166.043	167.899	166.570	165.429	165.127
23	170.284	168.377	168.230	170.131	168.758	167.595	167.301
24	172.465	170.511	170.350	172.296	170.880	169.696	169.409

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

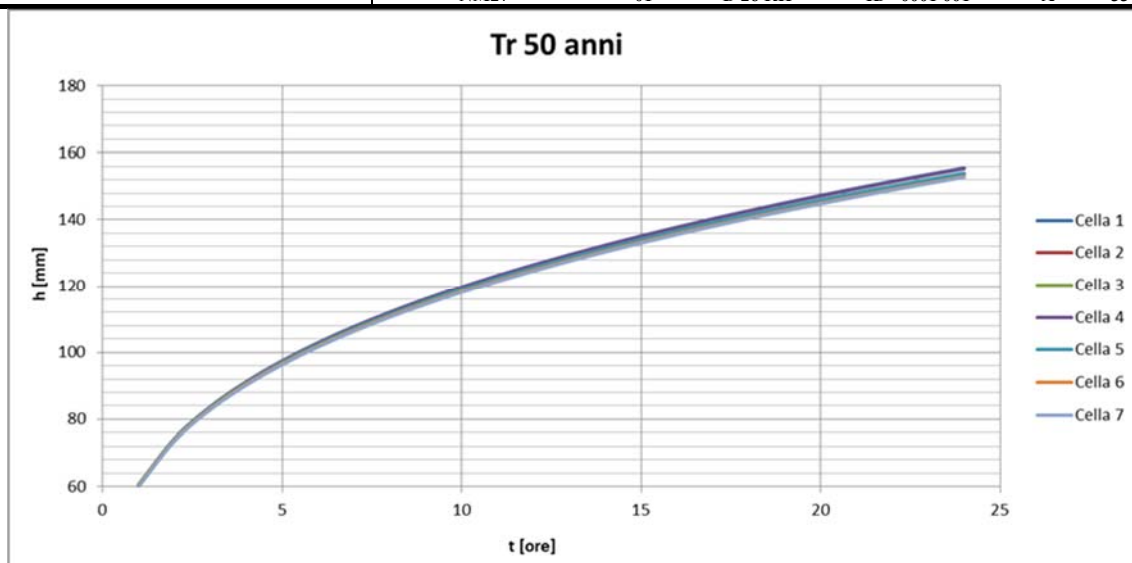

**Figura 4.12 - Grafico altezze di pioggia orarie per Tr 100 anni.**

Per tempi di ritorno pari a 50 anni:

t [h]	h [mm]						
	Cella 1	Cella 2	Cella 3	Cella 4	Cella 5	Cella 6	Cella 7
1	60.152	60.071	60.329	60.422	60.579	60.362	59.985
2	74.004	73.746	73.981	74.239	74.251	73.939	73.554
3	83.542	83.147	83.357	83.743	83.638	83.256	82.873
4	91.047	90.535	90.722	91.216	91.010	90.570	90.192
5	97.329	96.714	96.880	97.468	97.172	96.683	96.312
6	102.782	102.075	102.220	102.893	102.515	101.983	101.619
7	107.630	106.839	106.964	107.715	107.261	106.689	106.334
8	112.014	111.145	111.251	112.074	111.550	110.942	110.594
9	116.029	115.087	115.175	116.065	115.475	114.833	114.494
10	119.742	118.731	118.802	119.756	119.103	118.430	118.098
11	123.204	122.127	122.182	123.196	122.483	121.780	121.457
12	126.451	125.313	125.351	126.422	125.652	124.922	124.606
13	129.514	128.316	128.339	129.464	128.640	127.883	127.575
14	132.416	131.161	131.169	132.346	131.470	130.687	130.387
15	135.176	133.866	133.859	135.087	134.160	133.353	133.061
16	137.810	136.447	136.426	137.702	136.726	135.896	135.611
17	140.331	138.917	138.882	140.205	139.182	138.329	138.052
18	142.749	141.286	141.238	142.606	141.537	140.663	140.393
19	145.076	143.565	143.503	144.916	143.802	142.907	142.644
20	147.318	145.760	145.686	147.141	145.984	145.068	144.813
21	149.483	147.880	147.793	149.289	148.090	147.155	146.907
22	151.577	149.930	149.830	151.367	150.127	149.172	148.931
23	153.605	151.915	151.803	153.379	152.099	151.126	150.891
24	155.572	153.840	153.717	155.331	154.011	153.020	152.793

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




**Figura 4.13 - Grafico altezze di pioggia orarie per Tr 50 anni.**

Per tempi di ritorno pari a 25 anni:

t [h]	h [mm]						
	Cella 1	Cella 2	Cella 3	Cella 4	Cella 5	Cella 6	Cella 7
1	53.622	53.561	53.800	53.738	53.963	53.796	53.471
2	65.970	65.754	65.974	66.027	66.142	65.896	65.566
3	74.473	74.136	74.335	74.480	74.504	74.199	73.873
4	81.163	80.723	80.903	81.125	81.070	80.718	80.397
5	86.763	86.233	86.394	86.686	86.559	86.166	85.852
6	91.624	91.013	91.157	91.511	91.319	90.889	90.583
7	95.946	95.261	95.387	95.800	95.547	95.084	94.786
8	99.854	99.100	99.211	99.677	99.367	98.874	98.583
9	103.433	102.615	102.710	103.226	102.863	102.342	102.059
10	106.743	105.864	105.945	106.509	106.095	105.547	105.272
11	109.829	108.892	108.958	109.568	109.106	108.533	108.266
12	112.724	111.732	111.785	112.437	111.929	111.333	111.073
13	115.454	114.410	114.449	115.143	114.590	113.972	113.720
14	118.041	116.947	116.973	117.706	117.111	116.471	116.227
15	120.501	119.359	119.372	120.144	119.507	118.847	118.610
16	122.849	121.660	121.661	122.470	121.793	121.114	120.883
17	125.096	123.862	123.851	124.696	123.981	123.282	123.059
18	127.253	125.975	125.952	126.831	126.079	125.362	125.146
19	129.327	128.007	127.972	128.885	128.096	127.362	127.152
20	131.325	129.964	129.919	130.864	130.040	129.288	129.086
21	133.255	131.854	131.798	132.775	131.916	131.148	130.952
22	135.122	133.682	133.615	134.623	133.730	132.946	132.756
23	136.929	135.452	135.374	136.413	135.487	134.687	134.504
24	138.683	137.168	137.080	138.148	137.191	136.375	136.199

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

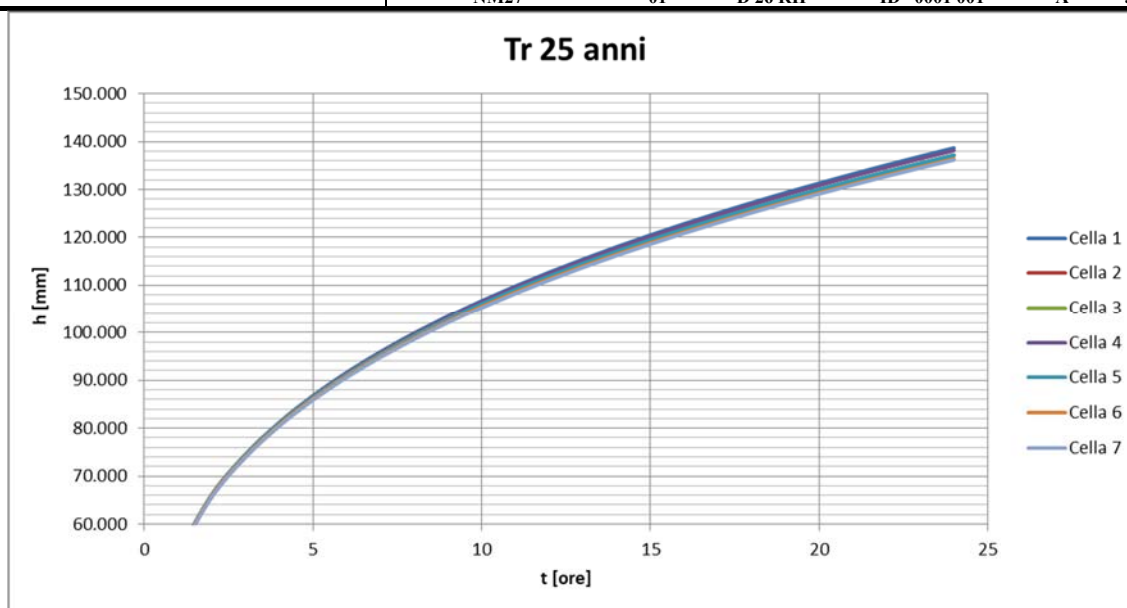
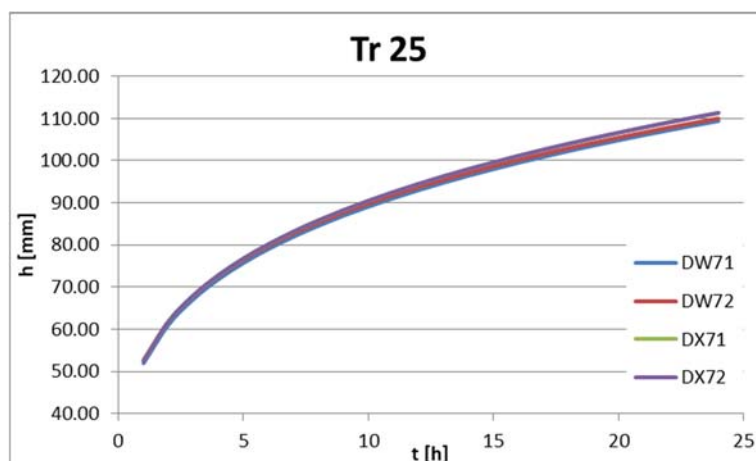


Figura 4.14 - Grafico altezze di pioggia orarie Tr 25 anni.

Come si può notare per tutti i tempi di ritorno indagati la cella che massimizza le altezze di pioggia è **Cella 4**.

#### 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.



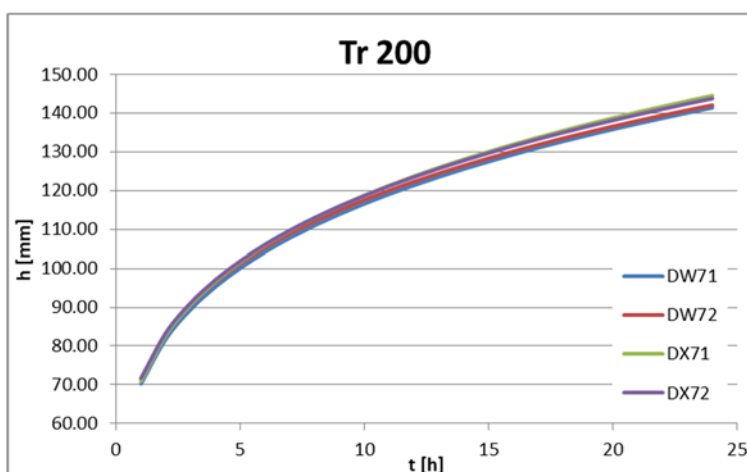
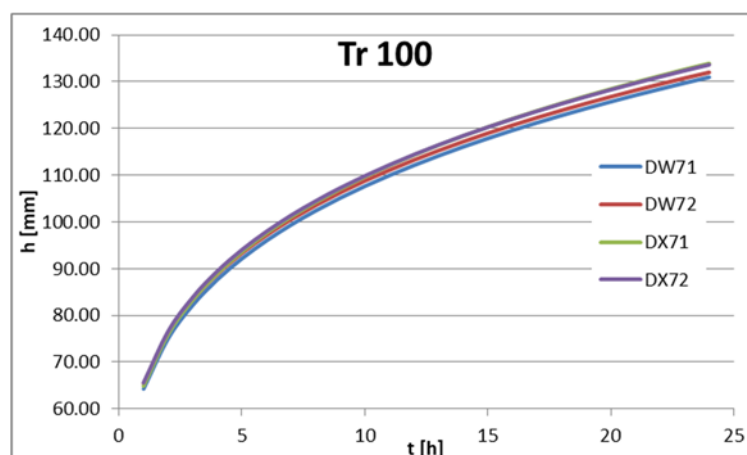
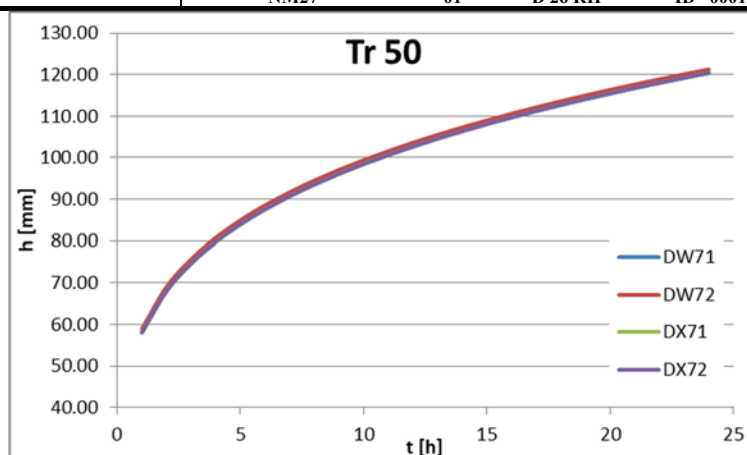


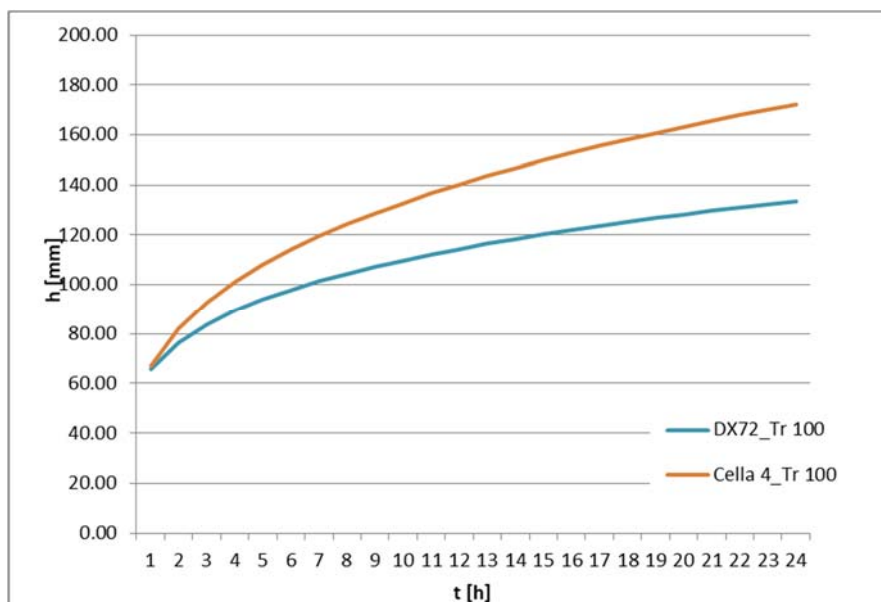
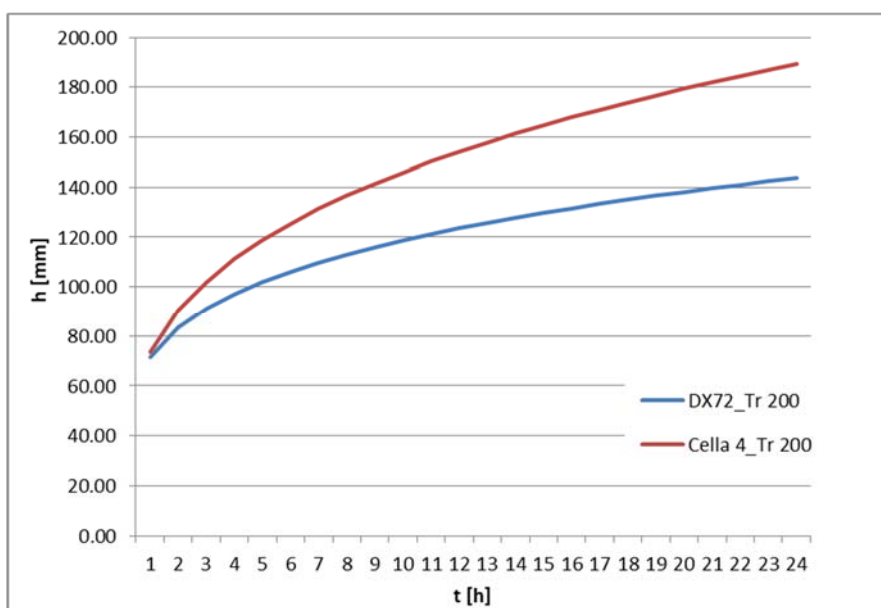
Figura 4.15 - Confronto celle ADBPO per i tempi di ritorno richiesti.

Analizzando i grafici appare evidente che per durate fino a 10-12 ore la cella DX72 restituisce altezze di pioggia maggiori, mentre da 12 a 24 ore la cella DX71 massimizza i valori.

Data la natura dei fenomeni oggetto del presente progetto definitivo si adotta come curva PAI quella estratta dalla cella **DX72**.

### 4.3.3 Confronto tra le curve massime individuate

A seguito dell’analisi svolta nel corso del capitolo, è necessario eseguire 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 la **Cella 4**.



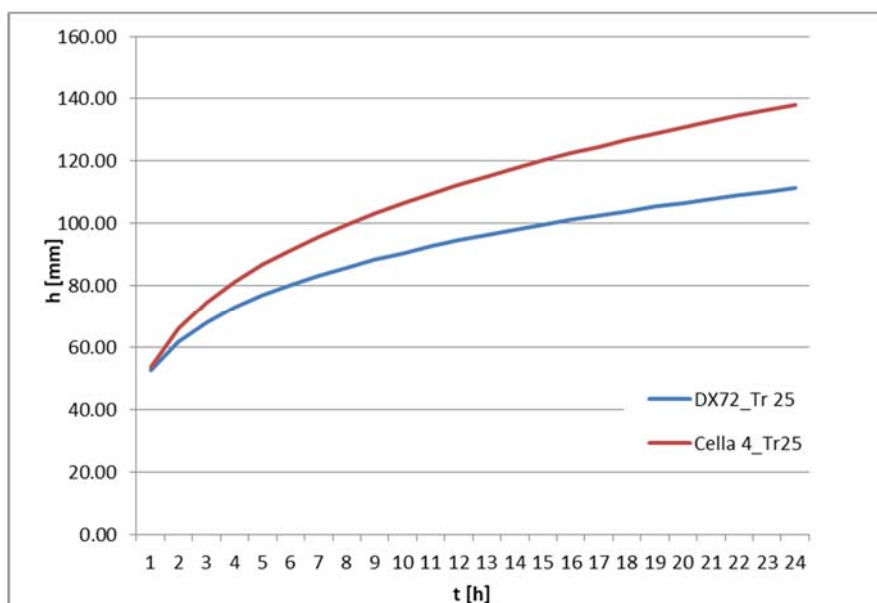
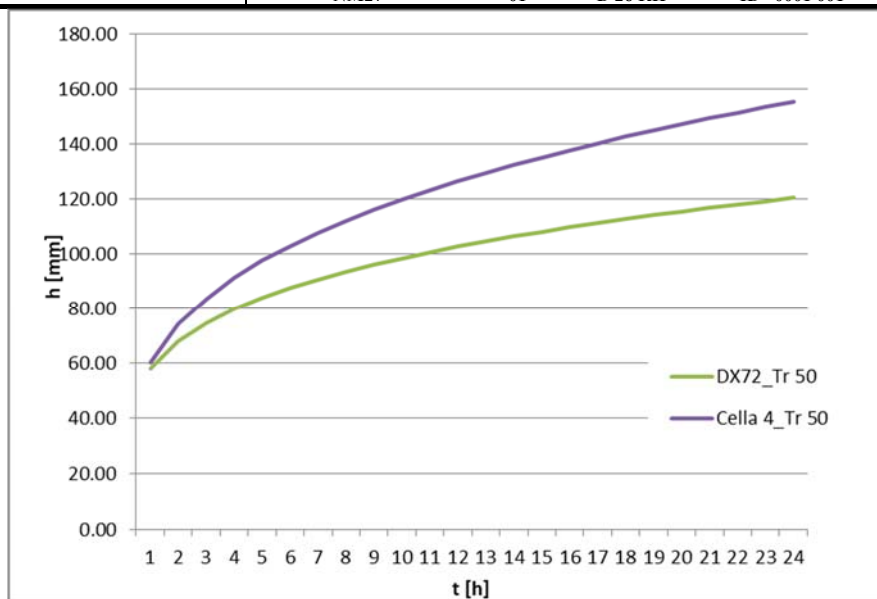



Figura 4.16 - Confronto curve PAI-ARPA.

#### 4.3.4 Confronto tra le curve massime Arpa e dati elaborati statisticamente

Per avvallare 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.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	38 di 60

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 seguente figura si riporta l'output del confronto tra le due famiglie di curve, ovvero la curva finora denominata **Cella 4** 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.

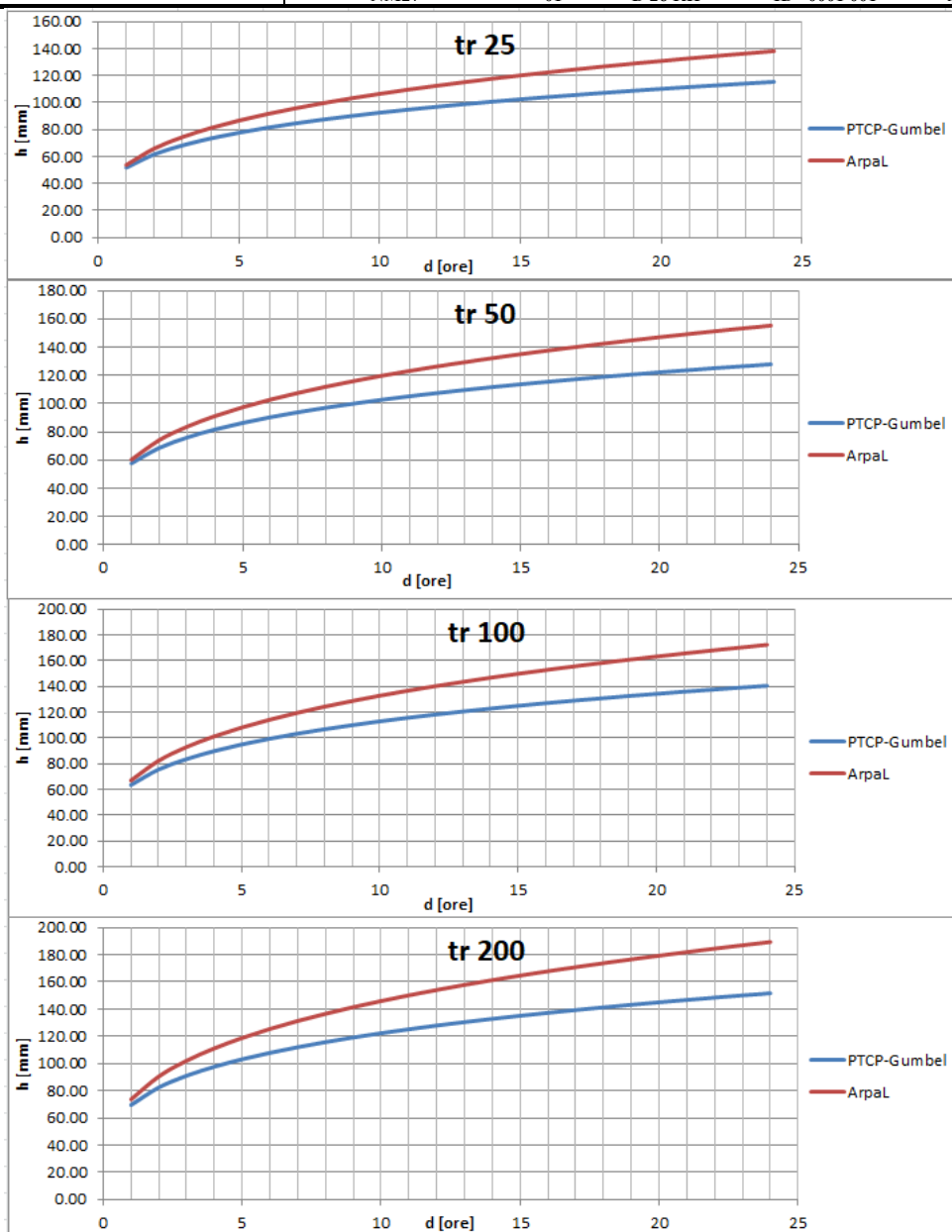



Figura 4.17 - Confronto curve massime Arpa e dati elaborati con Gumbel.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	COMMESSA NM27	LOTTO 01	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 40 di 60

## 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  $r_\tau$  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.



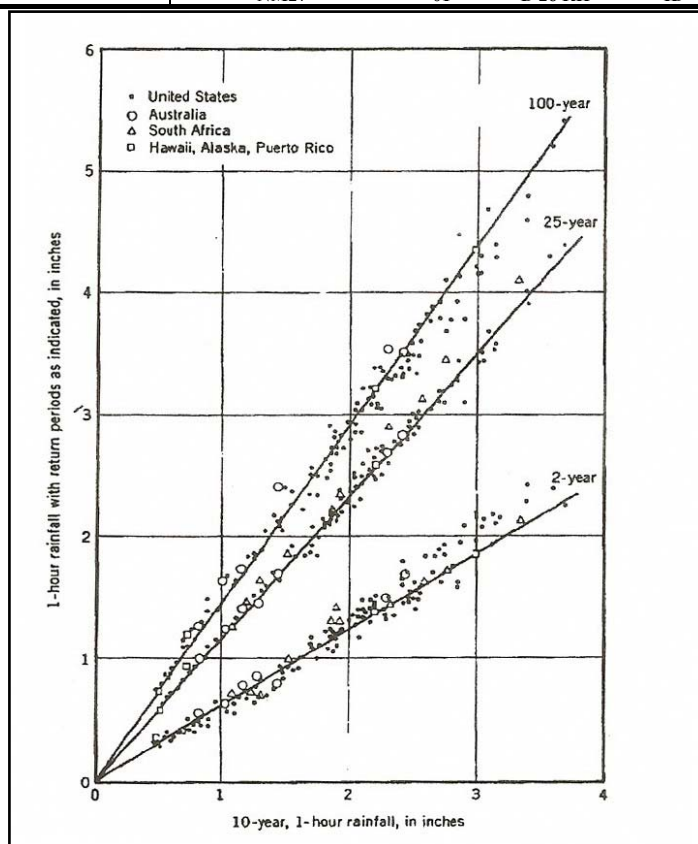


Figura 5.1 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni.

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:

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

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

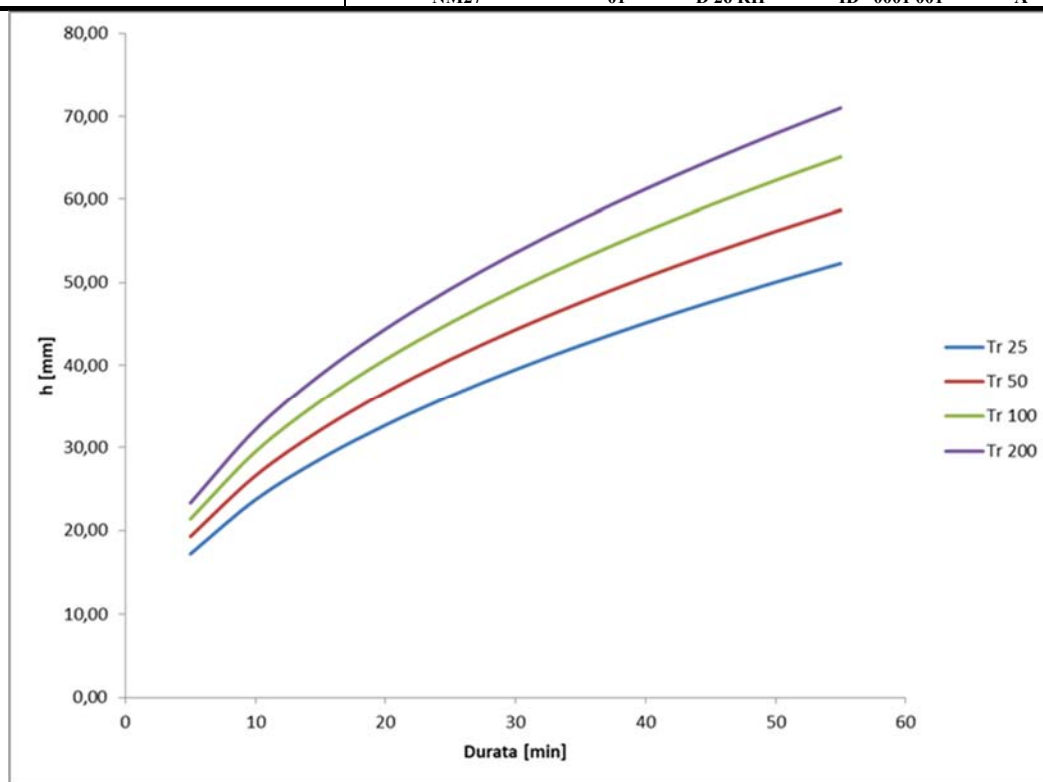
- $P_T^t$  indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo  $t$  riferita al periodo di ritorno  $T$

- $h_T^{60}$  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.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 43 di 60

## 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 (Tr) 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
Deviazioni stradali	25


- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazioni 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 del metodo 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
<b>a1</b>	29.94				29.94			
<b>n</b>	0.464				0.29710001			
<b>wT</b>	1.7982	2.01821	2.2386	2.4602	1.79824	2.01821	2.23863	2.46029

Tabella 6.I - Parametri LSPP di progetto linea ferroviaria.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	<b>COMMESSA</b> NM27	<b>LOTTO</b> 01	<b>CODIFICA</b> D 26 RH	<b>DOCUMENTO</b> ID 0001 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 44 di 60

## 7 ATTRAVERSAMENTI FERROVIARI

Nel presente progetto definitivo l’analisi idrologica fonda le basi nell’analisi dell’andamento plano-altimetrico del territorio interessato. Utilizzando il Modello Digitale del Terreno (DTM) ricavato dalla nuvola di punti rilevata, è stato possibile ricavare l’estensione di bacini aggiuntivi rispetto alla precedente fase progettuale di fattibilità tecnico economica.

Attraverso l’implementazione degli strumenti di analisi idrologica, propri del software ESRI ArcMap (versione 10.6) sono stati perimetrati n°4 nuovi bacini.

Nel seguito del capitolo verranno ripercorsi brevemente i passi che hanno condotto a tale conclusione, verranno nominati diversamente i tombini (INx) e gli attraversamenti di trasparenza idraulica (IN5x).

### 7.1 ANALISI TERRITORIALE

Il territorio nel quale insiste la livelletta ferroviaria è declive da nord verso sud, la linea ferroviaria dove ha andamento ovest-est si trova ad essere uno sbarramento al naturale deflusso delle acque. Lungo il tracciato ferroviario sono stati riscontrati tre attraversamenti della linea storica (IN01, IN02, IN03). I restanti attraversamenti insistono sul nuovo tratto di linea, alcuni di essi sono tombini associati ad un corso d’acqua definito (Tabella 7.I), molti altri al contrario sono fornic di trasparenza idraulica (Tabella 7.II).

Dopo aver ricreato il modello del terreno con celle 0.30x0.30 cm e aver ottenuto le linee preferenziali di drenaggio sono state individuate delle sezioni di chiusura e con esse sono stati tracciati i bacini:

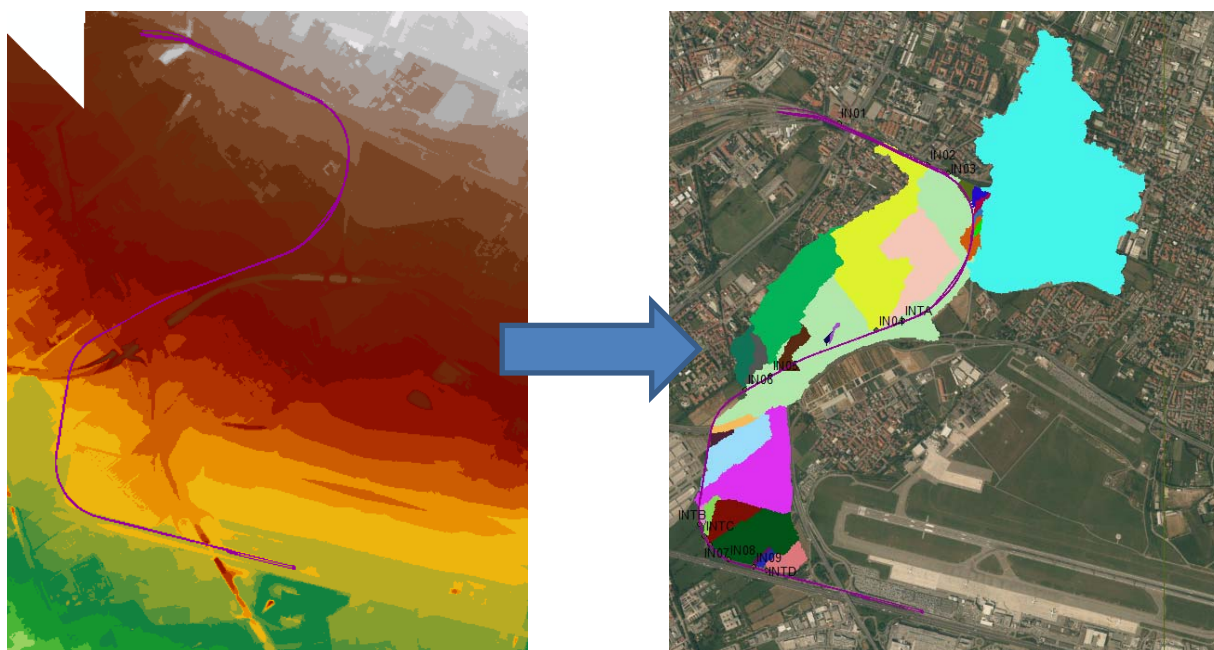


Figura 7.1 - Perimetrazione bacini ArcMap.

Non tutti i bacini sono tuttavia utilizzabili e ben perimetrati ai fini progettuali, quindi è stata eseguita un’analisi puntuale e critica delle aree.

**Relazione idrologica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	45 di 60

Utilizzando il PGT del Comune di Bergamo, aggiornato al 21/09/2011 (Tavola della *Rete fognaria attuale estensione*) sono stati perimetrati i bacini dell'IN02 e IN03. I bacini degli IN51, IN52, IN53, IN05 ed IN06 sono stati ridotti alla sola superficie agricola afferente, considerando presenze di fognatura nell'area urbanizzata. I bacini degli IN54 e IN55 sono stati mantenuti come da analisi morfologica e previsti per mantenere continuità idraulica alle scoline di campo.


Infine per gli IN07, IN08 ed IN09B la perimetrazione è stata rettificata per considerare l'attuale sistema di smaltimento del parcheggio. Si è scelto di comprendere anche l'area adibita a sosta veicoli, seppur il sistema di smaltimento proprio sia a dispersione tramite pozzi, in quanto il tempo di ritorno di calcolo (fissato a 200 anni come da Manuale di Progettazione RFI e Norme tecniche per le costruzioni, v.2018) è maggiore rispetto all'usuale tempo di dimensionamento delle opere di smaltimento stradale. La superficie non è tuttavia stata considerata completamente impermeabile, ma il coefficiente di deflusso è stato scelto pari a 0.50 (vedi par.7.2).

Di seguito si riporta un'immagine esplicativa delle modifiche sopra esposte. Per maggior chiarezza si rimanda alla tavola di corografia allegata (NM2700D26C5ID0002001A).

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 fornicci sono vicini tra loro si provvede ad inserire un fosso di gronda per raccogliere in maniera più efficiente le acque.



Figura 7.2 – Bacini idrografici.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	COMMESSA NM27	LOTTO 01	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 46 di 60

Di seguito le tabelle riepilogative degli attraversamenti individuati e le progressive di riferimento.

Identificativo	Progressiva km
IN 01	0+307.45
IN02	0+854
IN 03	1+008
IN 04	2+189
IN 05	2+859
IN 06	3+023
IN 07	4+049
IN 08	4+154
IN 09B	4+304
IN 10	5+293.67

Tabella 7.I - Tombini di attraversamento ferroviario.

Identificativo	Progressiva km
IN51	1+910
IN52	1+935
IN53	2+072
IN54	3+944.5
IN55	3+954.5


Tabella 7.II - Fornici di trasparenza.

## 7.2 STIMA DELLE PORTATE

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

### 7.2.1 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:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
<b>Relazione idrologica</b>	COMMESSA NM27	LOTTO 01	CODIFICA D 26 RH	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 47 di 60

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

Con h altezza di pioggia [mm], S area del bacino [km<sup>2</sup>], φ coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino, t<sub>c</sub> tempo di corrivazione [ore].

### 7.2.2 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<sup>2</sup>

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

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

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

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

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

- Kirpich, utilizzando dati di sei piccoli bacini americani di estensione inferiore a 0.43 km<sup>2</sup>, 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<sup>2</sup>] 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 in seguito.

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

- Ventura

**Relazione idrologica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	48 di 60

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

- Turazza

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

Per evitare di sovradimensionare i fornici è stato scelto coscientemente il valore maggiore tra i due.

Negli allegati si riportano le tabelle con i dati dei bacini e la portata afferente.



	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>												
<p><b>Relazione idrologica</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01</td> <td>D 26 RH</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>49 di 60</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	49 di 60
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	49 di 60								

## 8 BACINI AFFERENTI

Nel presente capitolo si elencano i bacini delineati, riportandone le caratteristiche salienti.

### IN01

L’IN01 è riferito al canale consortile denominato Roggia Livelli Maddalena, nel tratto interessato dall’attraversamento ferroviario è costituito da un collettore con DN400, coperta e con funzione irrigua. Se ne prevede la protezione strutturale per rendere il presidio idraulico adeguato al raddoppio ferroviario.

### IN02

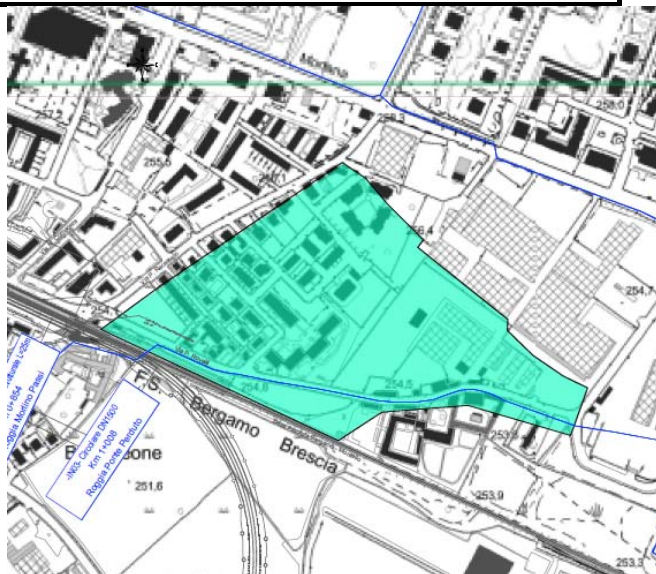
Il bacino dell’IN02 è riferito al canale consortile denominato Roggia Morlino Passi, nel tratto interessato dall’attraversamento ferroviario è costituito da un collettore con DN1000, coperta e con funzione irrigua. Se ne prevede la protezione strutturale per rendere il presidio idraulico adeguato al raddoppio ferroviario.

### IN03

Il bacino dell’IN03 è riferito al canale consortile denominato Roggia Ponte Perduto, nel tratto interessato dall’attraversamento ferroviario è scoperta e con funzione irrigua (per 250 l/s) e di colo idraulico.

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	50 di 60



WBS	Prog inizio km	L asta	Area	Pendenza	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	h Tr 200
		m	kmq	m/m						millimetri
IN 03	00+999	1200.00	0.119	0.0050	0.62	0.93	0.80	0.59	0.59	57.54

#### IN04

L'IN04 è relativo allo Scolmatore del Torrente Morla, il quale a monte della linea ferroviaria di progetto si interra e assume una sezione policentrica. La sua profondità all'estradosso in corrispondenza della sezione interessata si attesta sugli 243.44 m, per cui si ritiene l'opera direttamente interferente e se ne studiano interventi di scavalco.

Nella figura a seguire si riporta una sezione del tratto in galleria dello scolmatore, reperita dall'”Appalto concorso per la progettazione e l'esecuzione dei lavori dello scolmatore delle acque di piena del Torrente Morla nel fiume Serio” del 1989.

Il tratto in galleria che sottopassa la futura linea ferroviaria è lungo 440.28 m con una Pendenza di 0.1938 %, prosegue per 240 m allo 0.3417 %, sotto la zona aeroportuale per 1222.1 m allo 0.3417%, per poi raccordarsi con uno scatolare chiuso e proseguire verso lo sbocco nel fiume Serio.

**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	51 di 60

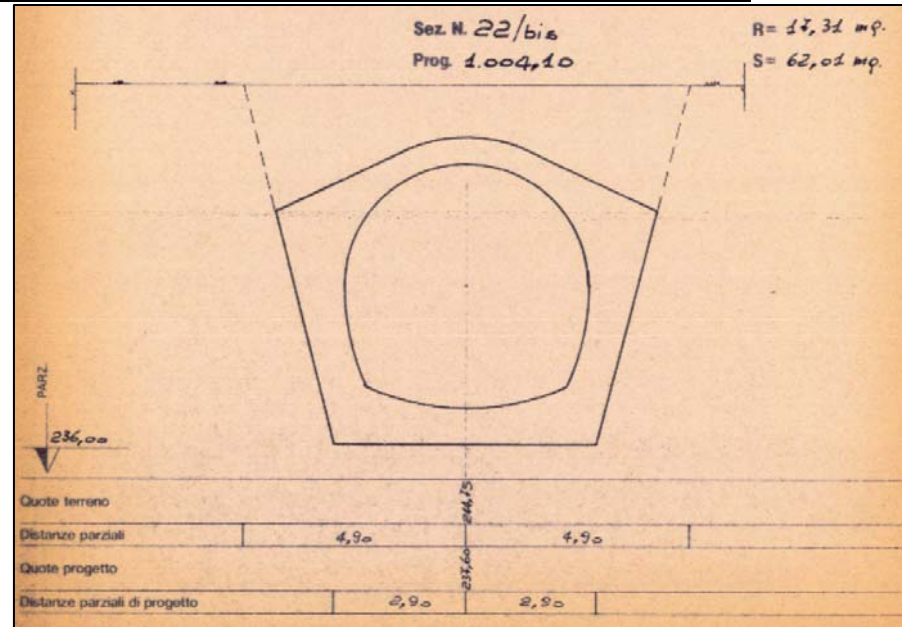


Figura 8.1 - Sezione tratto in galleria.

**IN05 e IN06**

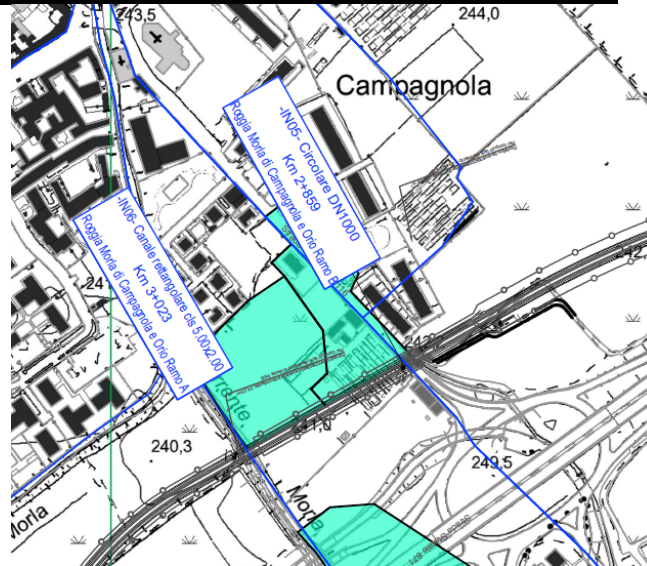
Questi due bacini sono riferiti rispettivamente alla Roggia Morla di Campagnola e Orio ramo B e alla Roggia Morla di Campagnola e Orio ramo A, nei tratti interessati dagli attraversamenti ferroviari, peraltro la linea in progetto qui sottopassa l'area in galleria, hanno anche funzione irrigua (per 250 l/s ciascuna).

**NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”**

**LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO**

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	52 di 60



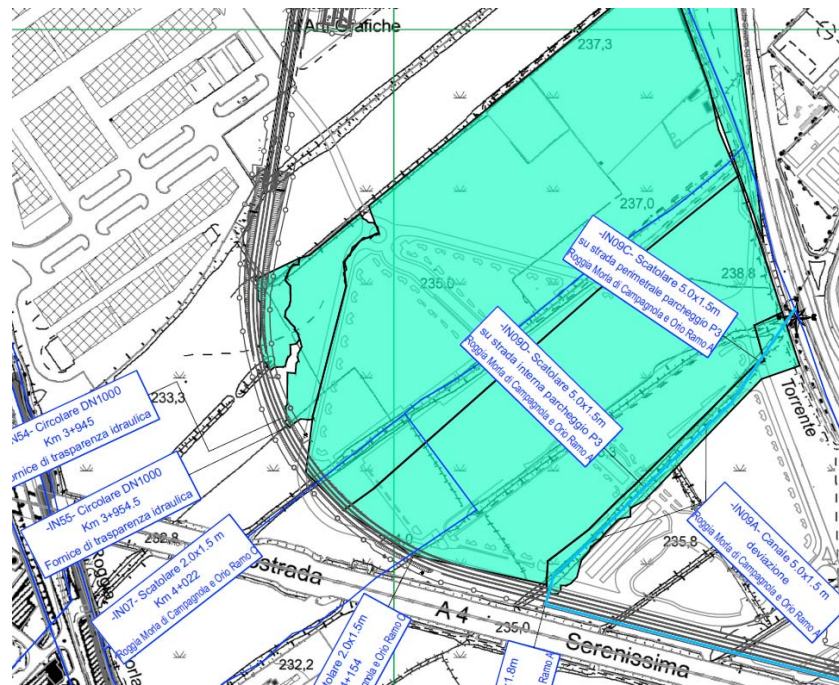
WBS	Prog inizio km	L asta m	Area kmq	Pendenza m/m	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	h <sub>Tr 200</sub> millimetri
IN 05	02+859	505.00	0.010	0.0030	0.23	0.51	0.35	0.37	0.37	46.27
IN 06	03+023	353.00	0.012	0.0020	0.31	0.43	0.40	0.33	0.33	43.77

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	53 di 60

**IN07**

Il bacino dell'IN07 è riferito al canale consortile denominato Roggia Morla di Campagnola e Orio ramo C, nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario è scoperta e anche con funzione irrigua (per 250 l/s).



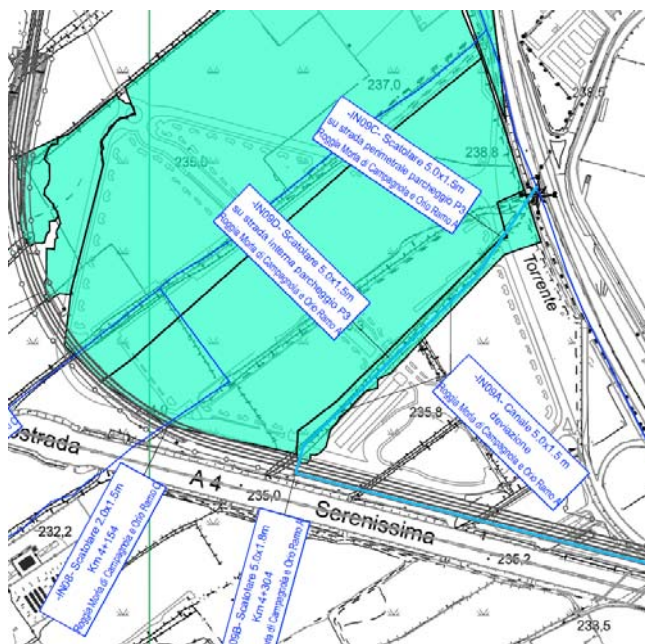
WBS	Prog inizio km	L asta m	Area kmq	Pendenza m/m	Tc Ventura	Tc Pezzoli ore	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	h Tr 200 millimetri
IN 07	04+049	610.00	0.118	0.0098	0.44	0.34	0.46	0.27	0.27	40.03

**Relazione idrologica**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	54 di 60

**IN08**

Il bacino dell'IN08 è riferito al canale consortile denominato Roggia Morla di Campagnola e Orio ramo C, nel tratto interessato dall'attraversamento ferroviario è scoperta e anche con funzione irrigua (per 250 l/s).



WBS	Prog inizio km	L asta	Area	Pendenza	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	h Tr 200
		m	kmq	m/m						millimetri
IN 08	04+154	580.00	0.085	0.0098	0.37	0.32	0.40	0.26	0.26	39.31

**IN09A-IN09C-IN09D-IN09E**

Questi interventi sono riferiti alla deviazione del canale (IN09A, IN09E) e ai relativi tombini stradali (IN09C, IN09D), per considerazioni circa la Roggia interessata si rimanda all'IN09B che sottoattraversa la ferrovia alla progressiva 4+304 km.

	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	55 di 60


**IN09B**

Il bacino dell'IN09B è dato dalla somma del contributo dell'IN06 e delle aree evidenziate in rosso nell'estratto di qui sotto:



Esso è associato alla Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo A, soggetta a deviazione. Essa ha anche funzione irrigua con una portata di 250 l/s.

WBS	Prog inizio km	L asta	Area	Pendenza	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	h Tr 200
		m	kmq	m/m			ore			millimetri
IN 09B	04+304	440.00	0.060	0.0050	0.44	0.34	0.46	0.27	0.27	40.20

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b></p> <p><b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b></p>												
<p><b>Relazione idrologica</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NM27</td> <td>01</td> <td>D 26 RH</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>56 di 60</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	56 di 60
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	56 di 60								

**IN10**

L'IN10 è associato alla Roggia Urganana, la cui competenza di Polizia idraulica spetta alla Compagnia Roggia Urganana e Vescovada. La portata irrigua della roggia si attesta sui 1200 l/s. Come attestato dal “Progetto esecutivo per la copertura di un tratto della Roggia Urganana” risalente al 10/09/2004 e commissionato dall'Aeroporto Civile di Bergamo Orio al Serio, si ravvede la necessità di garantire la portata di 1.35 mc/s.

Avendo a disposizione già la portata di calcolo, seppur senza riferimenti circa il tempo di ritorno, si prende tale valore come progettuale e non si esegue l'analisi idrologica.



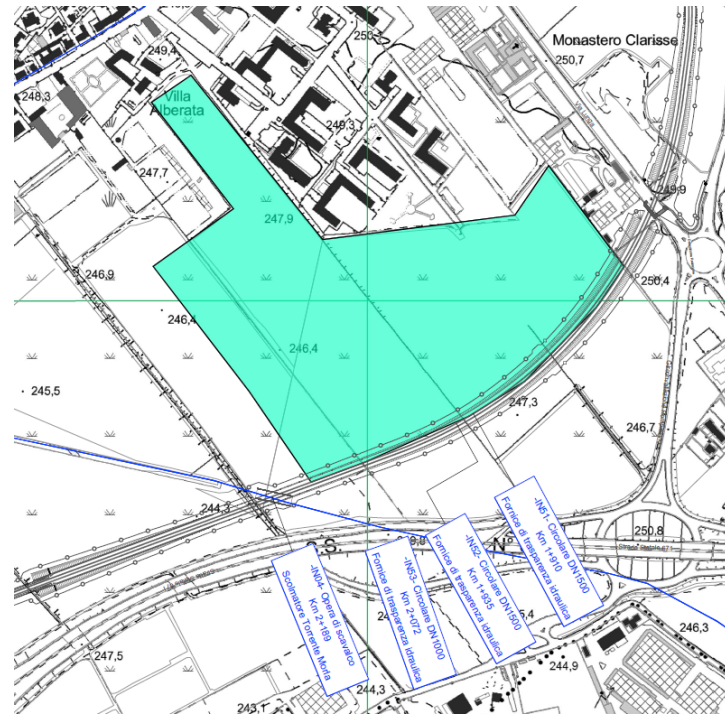
Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	57 di 60

## 8.1 FORNICI DI TRASPARENZA

Di seguito le caratteristiche salienti degli attraversamenti di trasparenza.

### IN51, IN52, IN53



WBS	Prog km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h <sub>Tr 200</sub>
		kmq	m/m	ore			millimetri
IN51	1+910	0.056	0.000	0.26	-	0.26	39.16
IN52	1+935	0.056	0.000	0.26	-	0.26	39.16
IN53	2+072	0.016	0.000	0.14	-	0.14	29.23


Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	58 di 60

IN54 e IN55



WBS	Prog inizio km	Area	Pendenza	Tc	Tc	Tc scelto	h <sub>Tr 200</sub>
				Turazza	Ventura		
		kmq	m/m	ore		millimetri	
IN54	3+944.5	0.003	0.006	0.06	0.10	0.10	24.77
IN55	3+954.5	0.009	0.006	0.10	0.15	0.15	30.97

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO STAZIONE DI BERGAMO – “AEROPORTO ORIO AL SERIO”</b>					
	<b>LOTTO 1: NUOVA LINEA BERGAMO – ORIO AL SERIO CON MODIFICHE ALLA RADICE EST DEL PRG DI BERGAMO E PRG DI ORIO AL SERIO</b>					
Relazione idrologica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	59 di 60

## 9 TABULATI DI CALCOLO

Nel presente capitolo si riportano le informazioni relative ai bacini afferenti agli attraversamenti idraulici, ovvero i dati geometrici e idrologici ricavati.

Non si riportano dati rispetto all'IN04 in quanto trattasi dello Scolmatore del torrente Morla, per il quale non sono previste opere in progetto e all'IN09A e IN09E che consistono nella deviazione della Roggia Morla di Campagnola e Orio Ramo A, per la quale invece si rimanda alla Relazione degli attraversamenti ferroviari (NM2701D26RIID0002003A). L'intervento sulla Roggia Urgnana infine consiste in una deviazione dell'esistente e l'analisi si esegue in riferimento alla portata di 1.35 mc/s, in linea con il progetto esecutivo di copertura della Roggia Urgnana, su commissione dell'Aeroporto civile di Bergamo Orio al Serio.

### 9.1 FORNICI DI TRASPARENZA

WBS	Prog inizio km	Area	Pendenza	Tc Turazza	Tc Ventura	Tc scelto	h <sub>Tr 200</sub>	Tr	hcalcolo	φ	Q calcolo idrologico Tr200	Ks	Piano campagna	Quota fondo manufatto o fosso esistente monte	Q verifica manufatto esistente e di progetto
		kmq	m/m	ore			millimetri	anni	mm		l/s	m1/3s-1	m	m	l/s
IN51	1+910	0.056	0.000	0.26	-	0.26	39.16	200	39.16	0.30	711.00	67.00	<b>247.06</b>	247.06	<b>711.00</b>
IN52	1+935	0.056	0.000	0.26	-	0.26	39.16	200	39.16	0.30	711.00	67.00	<b>246.66</b>	246.56	<b>711.00</b>
IN53	2+072	0.016	0.000	0.14	-	0.14	29.23	200	29.23	0.30	282.38	67.00	<b>245.47</b>	245.37	<b>282.38</b>
IN54	3+944.5	0.003	0.006	0.06	0.10	0.10	24.77	200	24.77	0.60	146.27	67.00	<b>233.96</b>	233.46	<b>146.27</b>
IN55	3+954.5	0.009	0.006	0.10	0.15	0.15	30.97	200	30.97	0.30	148.06	67.00	<b>233.48</b>	232.98	<b>148.06</b>

Relazione idrologica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NM27	01	D 26 RH	ID 0001 001	A	60 di 60

## 9.2 TOMBINI DI ATTRAVERSAMENTO

WBS	Prog inizio km	L asta	Area	Pendenza	Tc Ventura	Tc Pezzoli	Tc Pasini	Tc Kirpich	Tc scelto	h <sub>Tr 200</sub>	Tr	φ	Q calcolo idrologico Tr200	Q consorzio	Q idrologica+consorzio	Ks	Q verifica manufatto esistente e di progetto
		m	kmq	m/m	ore					millimetri	anni		l/s	l/s	l/s	m1/3s-1	l/s
<b>IN 03</b>	1+008	1200.00	0.119	0.0050	0.62	0.93	0.80	0.59	0.59	57.54	200.00	0.50	1627.33	250.00	1877.33	60	<b>1877.33</b>
<b>IN 05</b>	2+859	505.00	0.010	0.0030	0.23	0.51	0.35	0.37	0.37	46.27	200.00	0.35	124.67	250.00	374.67	60	<b>374.67</b>
<b>IN 06</b>	3+023	353.00	0.012	0.0020	0.31	0.43	0.40	0.33	0.33	43.77	200.00	0.35	153.80	250.00	403.80	60	<b>403.80</b>
<b>IN 07</b>	4+022	610.00	0.118	0.0098	0.44	0.34	0.46	0.27	0.27	40.03	200.00	0.50	2448.23	250.00	2698.23	60	<b>2698.23</b>
<b>IN 08</b>	4+154	580.00	0.085	0.0098	0.37	0.32	0.40	0.26	0.26	39.31	200.00	0.50	1790.37	250.00	2040.37	60	<b>2040.37</b>
<b>IN 09A</b>	-	440.00	-	0.0050						0.00		-	-	-	-	60	-
<b>IN 09B</b>	4+304	440.00	0.060	0.0050	0.44	0.34	0.46	0.27	0.27	40.20	200.00	0.50	1228.34	250.00	1478.34	60	<b>1478.34</b>
<b>IN 09C</b>	-		-							0.00		-	-	-	-	60	
<b>IN 09D</b>	-		-							0.00		-	-	-	-	60	
<b>IN 09E</b>	-		-							0.00		-	-	-	-	60	
<b>IN 10</b>	5+293.67	-	-	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	1200.00	-	60	<b>1350.00</b>