

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. INFRASTRUTTURE NORD

PROGETTO DEFINITIVO

POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA

QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA

FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA

IDRAULICA - INQUADRAMENTO

Relazione idrologica

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

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

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorezzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	CONSORZIO INTEGRA	novembre 2018	M. Ventura	novembre 2018	S. Boelli	novembre 2018		
File: NM0Z20D26RHID0001001_A								n. Elaborazione	

ITALFERR U.S. INFRASTRUTTURE NORD  
Data Ing. Ernesto Sacchi  
novembre 2018  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
33122 Sez. A

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA  QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA  FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NMOZ</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>1 di 49</p>

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Riferimenti normativi .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Inquadramento fisico ed idrografico .....</b>	<b>7</b>
3.1	Idrografia.....	9
3.2	Cenni geologici .....	16
3.3	Caratterizzazione climatologia.....	17
<b>4</b>	<b>Analisi pluviometrica .....</b>	<b>19</b>
4.1	Analisi statistica regionale delle piogge – PAI .....	20
4.1.1	a relazione intensità–durata delle precipitazioni – AdB Po.....	21
4.2	Analisi statistica regionale delle piogge - ARPA.....	25
4.2.1	L’atlante delle piogge intense della Lombardia .....	25
4.2.2	Il modello probabilistico di GEV (o distribuzione generalizzata del valore estremo) .....	28
4.3	Confronto studi idrologici.....	35
4.4	La relazione intensità – durata delle precipitazioni - piogge brevi .....	37
4.5	Sintesi dei risultati.....	42
<b>5</b>	<b>Stima delle portate di piena .....</b>	<b>44</b>
5.1	Coefficiente di deflusso .....	45
5.2	Coefficiente di deflusso .....	47
<b>6</b>	<b>Interferenze reticolo idrografico superficiale .....</b>	<b>48</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA          QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA          FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
	NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	2 di 49

## INDICE TABELLE

<i>Tabella 1- Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per <math>T_r</math> 20, 100, 200 e 500 anni .....</i>	23
<i>Tabella 2- Parametri <math>k</math>, <math>\alpha</math>, <math>\varepsilon</math>, <math>a_1</math> e <math>n</math> nelle celle interessate dal progetto per eventi con durata inferiore all'ora .....</i>	34
<i>Tabella 3- Coefficiente di crescita nelle celle interessate dal progetto al variare del <math>T_r</math> .....</i>	34
<i>Tabella 4 - Altezza di pioggia oraria nelle celle interessate dal progetto al variare del <math>T_r</math> .....</i>	34
<i>Tabella 5 – Parametri delle CPP al variare del <math>T_r</math> per piogge extraorarie <math>t &gt; 1h</math> .....</i>	35
<i>Tabella 6 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – U.S. Water Bureau .....</i>	38
<i>Tabella 7 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – curva inviluppo massime piogge mondiali .....</i>	39
<i>Tabella 8 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – Roma Macao .....</i>	39
<i>Tabella 9 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – Milano Monviso .....</i>	39
<i>Tabella 10 – Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora – equazione di Bell .....</i>	40
<i>Tabella 11 – Parametri delle CPP al variare del <math>T_r</math> per piogge sub-orarie <math>t &lt; 1h</math> .....</i>	40
<i>Tabella 12 – Parametri delle CPP al variare del <math>T_r</math> per piogge sub-orarie <math>t &gt; 1h</math> .....</i>	43
<i>Tabella 13 – Parametri delle CPP al variare del <math>T_r</math> per piogge sub-orarie <math>t &lt; 1h</math> .....</i>	43
<i>Tabella 14 - Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, con riferimento prevalente a bacini urbani .....</i>	47

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 3 di 49

## INDICE FIGURE

<i>Figura 1 – Localizzazione intervento .....</i>	7
<i>Figura 2 – Principali sottobacini idrografici del fiume Po.....</i>	8
<i>Figura 3 – Suddivisione territoriale in distretti.....</i>	8
<i>Figura 4 – Attuale reticolo idrografico a Nord di Milano.....</i>	10
<i>Figura 5 - Bacino del Fiume Lambro – Ambito Fisiografico .....</i>	11
<i>Figura 6 - Bacino del Fiume Ticino - Ambito Fisiografico .....</i>	12
<i>Figura 7 - Rete gestita dal Consorzio Est Ticino - Villorresi.....</i>	15
<i>Figura 8 - Stralcio carta Gelitologica – Studio PAI – AdB Po – Tav. 4 II.....</i>	16
<i>Figura 9 - Carta delle precipitazioni medie annue del territorio alpino lombardo (periodo 1891-1990).....</i>	17
<i>Figura 10 - Carta delle precipitazioni massime annue del territorio alpino lombardo (periodo 1891-1990) ...</i>	18
<i>Figura 11 - Estratto Allegato 3 – Studio PAI – Individuazione celle di riferimento.....</i>	22
<i>Figura 12 - CPP per piogge extraorarie <math>t &gt; 1h</math> - Norme di attuazione del PAI .....</i>	24
<i>Figura 13 - Le 105 stazioni pluviografiche considerate nello studio, per durate comprese tra 1e 24 ore. ....</i>	27
<i>Figura 14 - Mappa del parametro di forma <math>k</math>, per durate comprese tra 1 a 24 ore .....</i>	30
<i>Figura 15 - Mappa del parametro di scala <math>\alpha</math>, per durate comprese tra 1 a 24 ore .....</i>	30
<i>Figura 16 - Mappa del parametro di scala <math>\alpha</math>, per durate comprese tra 1 a 24 ore .....</i>	31
<i>Figura 17 - Mappa del coefficiente pluviometrico orario <math>a_1</math>, per durate comprese tra 1 a 24 ore .....</i>	32
<i>Figura 18 - Mappa dell'esponente di scala <math>\epsilon</math>, per durate comprese tra 1 a 24 ore .....</i>	32
<i>Figura 19 - Celle individuate interessate dalla ferrovia oggetto dell'intero intervento.....</i>	33
<i>Figura 20 - Curve di Possibilità Pluviometrica per piogge extraorarie <math>t &gt; 1h</math> – ARPA.....</i>	35
<i>Figura 19 - Confronto CPP per piogge extraorarie <math>t &gt; 1h</math> – Dati ARPA e Norme di attuazione del PAI .....</i>	36
<i>Figura 21 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni .....</i>	38
<i>Figura 22 – Curve di possibilità pluviometrica per piogge sub-orarie <math>t &lt; 1h</math>.....</i>	41

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 4 di 49

## 1 PREMESSA

Il progetto prevede il potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Milano-Genova nella tratta tra la stazione di Milano Rogoredo e la stazione di Pavia; in particolare in questa fase denominata Fase 2 il quadruplicamento della tratta avviene dalla stazione di Pieve Emanuele dal km 11+310 circa fino alla stazione di Parma al km 28+030 circa.

Dal punto di vista idraulico la tratta ferroviaria attraversa un territorio pressoché pianeggiante caratterizzato dalla presenza di una fitta rete di canali di bonifica ed irrigui. L'opera d'arte più significativa è rappresentata dall'impalcato necessario all'attraversamento, da parte della nuova linea, del Naviglio di Pavia.

In corrispondenza della progressiva 14+663 circa è presente l'attraversamento della Roggia Olona facente parte del sistema di canali irrigui e, in corrispondenza della progressiva 26+426, l'attraversamento del Naviglio Pavese, facente parte della rete di canali gestita dal Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi insieme al Cavo Carona e al Cavo Barona.

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.

Le curve di probabilità pluviometrica sono state stimate per periodi di ritorno pari a 20, 25, 100, 200 e 500 anni.

Relativamente alla stima delle portate di piena dei canali costituenti la fitta rete irrigua è di difficile se non impossibile determinazione una classificazione idrologica; non si tratta di bacini imbriferi la cui portata è dipendente dagli eventi meteorici ma di fossi ad uso irriguo regolati artificialmente dall'uomo; pertanto nella relazione idraulica si procederà al loro dimensionamento in equivalenza idraulica agli attuali canali e tombini esistenti.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 5 di 49

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale.
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE.
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE.
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008).
- Dlgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- Dm Ambiente 16 giugno 2008, n. 131. Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici.
- Dm Ambiente 12 giugno 2003, n. 185. Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue.
- Dlgs 27 gennaio 1992, n. 132. Protezione delle acque sotterranee.
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato.
- 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 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.3 - Disciplina e regime autorizzatorio degli scarichi di acque reflue domestiche e di reti fognarie, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 6 di 49

regionale 12 dicembre 2003, n. 26 e relative "Norme tecniche regionali in materia di trattamento degli scarichi di acque reflue in attuazione dell'articolo 3, comma 1 del Regolamento reg. 2006, n.3".

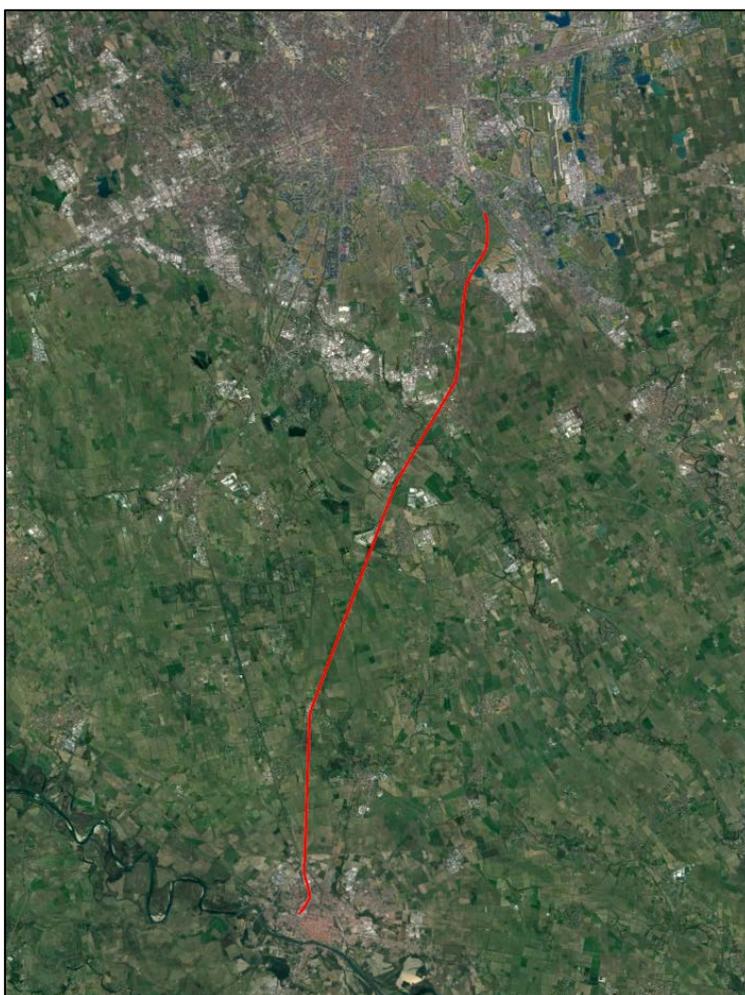
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.4 “Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26.
- DGR 6738 del 19 giugno 2017. “Disposizioni regionali concernenti 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 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)”.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA  NMOZ	LOTTO  20	CODIFICA  D26	DOCUMENTO  RHID0001001	REV.  0	FLAMBRO MERIDIONALE  7 di 49

### 3 INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO

Il progetto prevede il potenziamento infrastrutturale della linea ferroviaria Milano Genova nella tratta tra la stazione di Milano Rogoredo e la stazione di Pavia; in particolare in questa fase denominata Fase 2 il quadruplicamento della tratta avviene dalla stazione di Pieve Emanuele dal km 11+310 circa fino alla stazione di Parma al km 28+030 circa.

In Figura 1 si riporta una foto aerea con indicazione dell'area oggetto di intervento (Google Earth).



*Figura 1 – Localizzazione intervento*

Il tracciato in progetto si sviluppa nel tratto iniziale nel sottobacino idrografico Basso Lambro e Olona Meridionale, facenti parte del bacino Lambro-Olona Meridionale, e nel resto del tracciato nel sottobacino idrografico Ticino sublacuale, facente parte del bacino Ticino; tutti i sottobacini ricadono all'interno del bacino idrografico del fiume Po, pertanto le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino del fiume Po e al PAI in vigore.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	8 di 49



Figura 2 – Principali sottobacini idrografici del fiume Po

Il 22 dicembre 2000 è stata adottata la Direttiva 2000/60/CE per la tutela delle acque, recepita in Italia attraverso il d.lgs. n.152 del 3 aprile 2006. L'articolo n. 64 prevede la ripartizione del territorio nazionale in 8 distretti idrografici e non più in Bacini Idrografici. Ciascun distretto deve dotarsi di piano di gestione, la cui competenza spetta alla corrispondente Autorità di distretto idrografico.



Figura 3 – Suddivisione territoriale in distretti

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NM0Z</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>9 di 49</p>

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).

### 3.1 Idrografia

Il tracciato in progetto si sviluppa nel bacino idrografico del Lambro Meridionale facente parte del bacino del Fiume Lambro.

#### Lambro Meridionale

Originariamente il Lambro Meridionale costituiva semplicemente il ricettore delle portate di piena del Naviglio Grande mediante le paratoie di S. Cristoforo, mentre l'Olona, dopo aver attraversato il tratto cittadino di Milano terminava in Darsena. Successivamente, nel 1926, si è collegato l'Olona al Lambro Meridionale, tramite un canale sotterraneo e un sifone sotto il Naviglio Grande.

Più a valle, a Conca Fallata, il Lambro Meridionale, in passato, attraversava il Naviglio Pavese per mezzo di un ponte (naviglio sopra), e riceveva poco più a valle il Lambretto che a sua volta aveva attraversato il Naviglio Pavese poco più a sud con un sifone.

Dopo il 1952 il Lambro Meridionale venne deviato nel Lambretto prima dell'attraversamento del Naviglio potenziando la botte a sifone che originariamente serviva solo il Lambretto, e il vecchio ramo che attraversava a nord venne trasformato in uno scaricatore di piena. Infine venne realizzato il Deviatore Olona che si innesta poco prima che il Lambro Meridionale, nel suo nuovo corso, attraversi con il sifone il Naviglio Pavese.

Ad ovest di Milano si dipartono il naviglio Grande diretto alla volta di Abbiategrasso e il naviglio di Pavia, mentre escono a sud della città il Lambro meridionale, il cavo Redefossi e la roggia Vettabbia.

Per alleggerire i carichi idraulici dei corsi d'acqua diretti alla volta di Milano, all'inizio degli anni '80 fu realizzato il canale scolmatore di nord-ovest, che deriva le acque del Seveso per sversarle nel Ticino all'altezza di Abbiategrasso. Nel suo percorso intercetta le portate eccedenti dell'Olona derivate alle prese

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	10 di 49

denominate Olona 1 e Olona 2. Le portate provenienti da quest’ultima sversano nel canale scolmatore al nodo ubicato presso Cornaredo, da dove si diparte un ennesimo canale, denominato “Deviatore Olona”.

Questo è stato recentemente realizzato per alleggerire le portate dell’Olona in ingresso a Milano, che non possono essere deviate al canale scolmatore. Il Deviatore Olona riceve i contributi dei depuratori di Pero, di Corsico e dalle reti fognarie di Milano, compie l’aggiramento della città a ovest e si ricongiunge con il percorso originario in un nodo ubicato presso Gratosoglio, proseguendo quindi con il nome di Lambro meridionale.

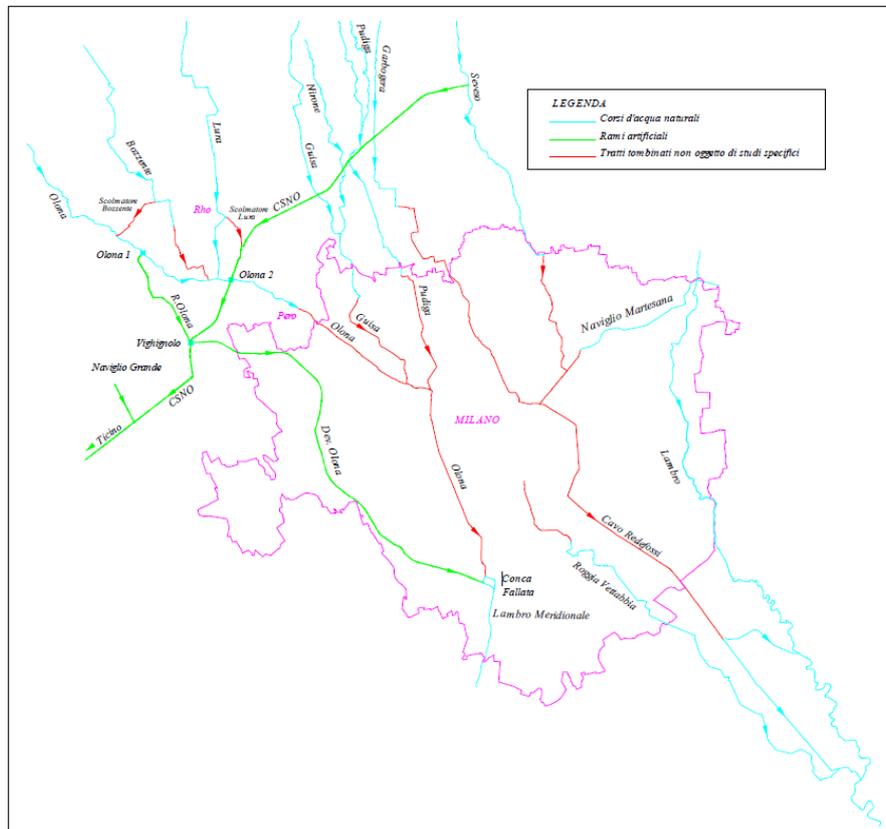


Figura 4 – Attuale reticolo idrografico a Nord di Milano

Dal punto di vista generale il bacino del Lambro ha una superficie complessiva di circa 1.980 km<sup>2</sup> (3% della superficie complessiva del bacino del Po) di cui solo il 5% in ambito montano. Il bacino è caratterizzato da un reticolo idrografico complesso e articolato. I numerosi corsi d’acqua naturali che gravitano a nord di Milano scorrono con direzione nord-sud e risultano interconnessi tramite una fitta rete di canali artificiali, realizzati sia a fini irrigui sia per la protezione dalle piene dei centri abitati.

Il principale corso d'acqua è il Lambro settentrionale, che scorre a est di Milano. Le portate provenienti dal bacino di monte sono laminate dai laghi di Alserio e Pusiano che, a causa della loro non trascurabile superficie (circa 8 km<sup>2</sup>) rispetto a quella del bacino sotteso, esercitano una forte azione moderatrice sui fenomeni di piena. Le piene del Lambro a Lambrugo sono pertanto originate dai deflussi provenienti dal bacino della Bevera, pari a 43,2 km<sup>2</sup>.

Proseguendo verso valle, si riconoscono tre tratti caratterizzati dalla prevalenza di rilevanti apporti idrici rispetto ai fenomeni di trasporto. Nel primo tratto, compreso tra Peregallo e Sesto S. Giovanni, gli apporti provengono essenzialmente dai centri abitati di Monza e Sesto S. Giovanni.

Nel secondo tratto, compreso tra S. Donato Milanese e Melegnano, confluiscono in Lambro gli apporti del settore orientale di Milano e i contributi di due corsi d'acqua minori che provengono dall'interno di Milano, il cavo Redefossi e la roggia Vettabbia. A Melegnano confluisce in sinistra anche il canale Muzza.

Il terzo tratto, a valle di S. Angelo Lodigiano, in cui il Lambro meridionale (nome preso dall'Olonza dopo l'attraversamento di Milano) confluisce nel Lambro settentrionale.

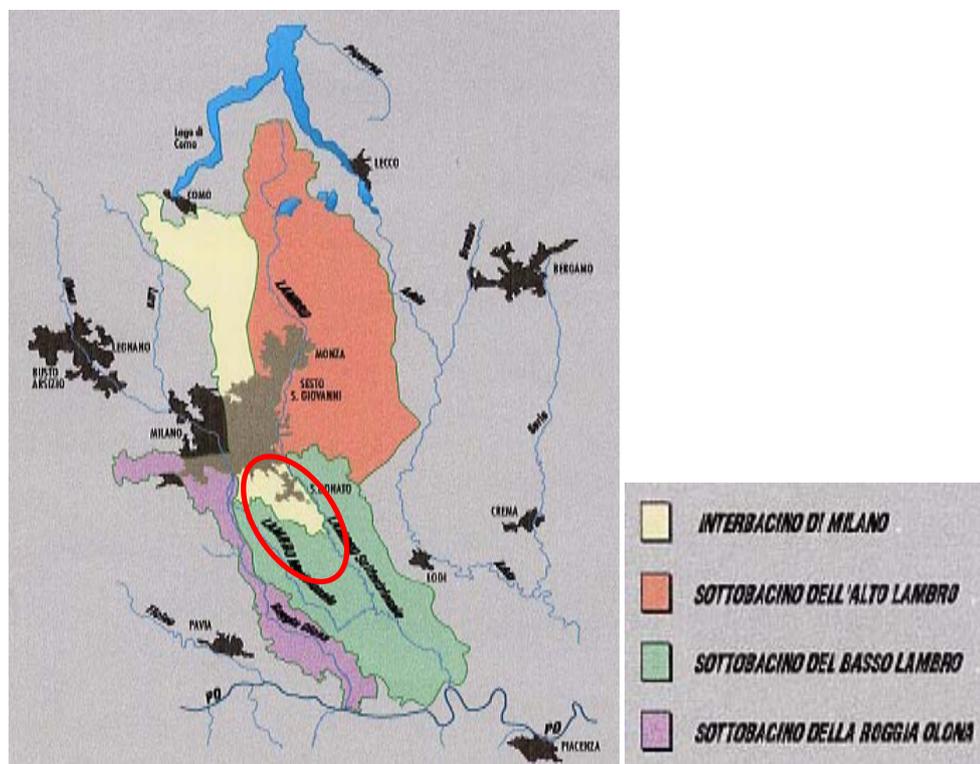


Figura 5 - Bacino del Fiume Lambro – Ambito Fisiografico

I principali canali artificiali sono rappresentati dal canale irriguo Villoresi e dai navigli della Martesana, Grande e di Pavia, tutt'oggi utilizzati come vie di trasporto.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	12 di 49

Il primo attraversa trasversalmente tutto il bacino e adduce le acque del Ticino, prelevate all’altezza di Somma Lombardo, in Adda all’altezza di Fara Gera d’Adda. Preleva le acque dell’Adda poco più a monte, presso Canonica, il canale della Martesana che scorre verso Milano parallelo al Villoresi. A Crescenzago viene sottopassato dal Lambro e prosegue all’interno dell’urbanizzato dove, analogamente agli altri corsi d’acqua provenienti da monte (Seveso, Olona, Garbogera, Merlata, Pudiga) attraversa intubato il territorio cittadino.

**Ticino**

Il bacino idrografico del Ticino ha una superficie complessiva di circa 6.033 km<sup>2</sup> . Una parte significativa del suo territorio (circa il 53%) si trova in territorio svizzero, sicché solo 2.822 km<sup>2</sup> appartengono al territorio italiano (4% della superficie complessiva del bacino del Po). Complessivamente il bacino si trova per il 79% in ambito montano e per il 21% in pianura. La parte italiana del bacino si trova in ambito montano per il 49%.

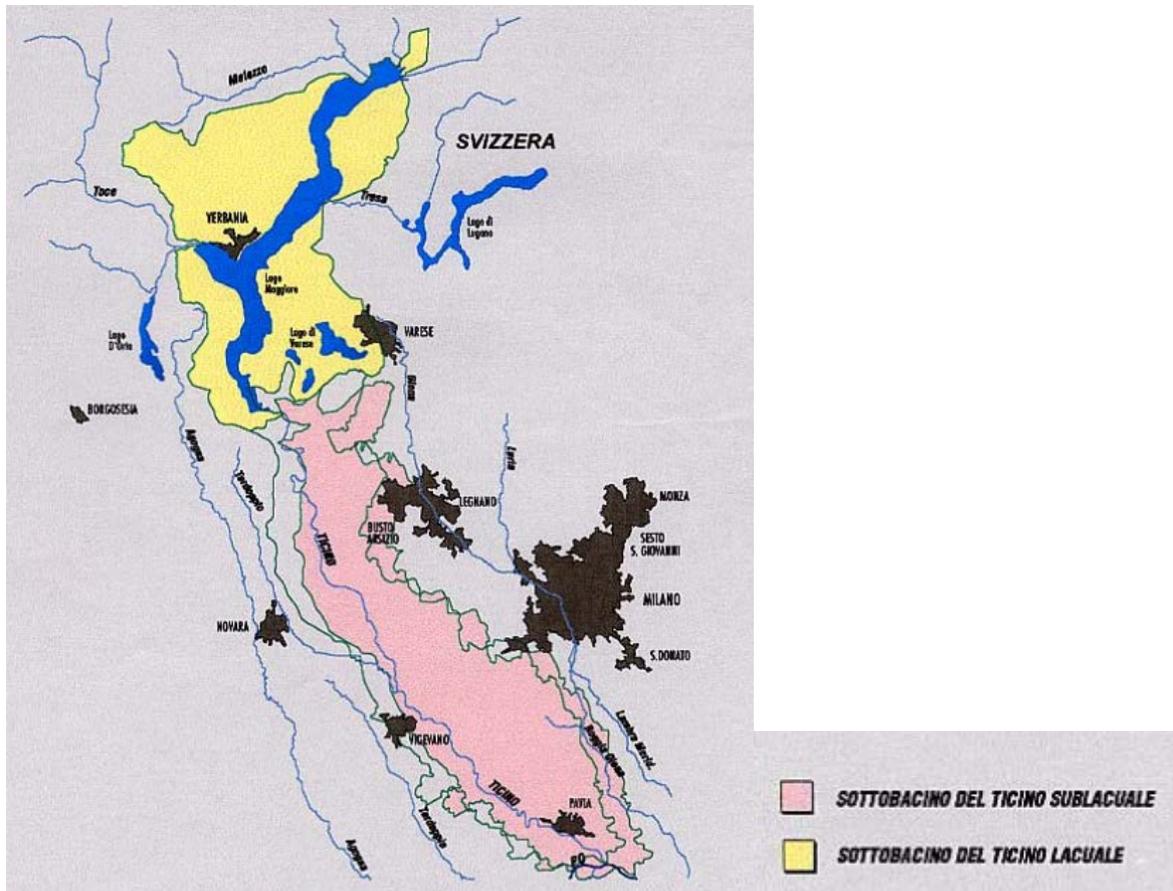


Figura 6 - Bacino del Fiume Ticino - Ambito Fisiografico

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NM0Z</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>13 di 49</p>

Il corso d'acqua ha origine in territorio svizzero, in prossimità del passo del S. Gottardo, ed ha una lunghezza complessiva di 284 km. Costituisce con il fiume Toce il principale affluente del lago Maggiore o di Verbano; a monte della sua immissione in lago, in località Locarno, riceve in sinistra torrenti Brenno e Moesa.

Il lago di Verbano ha una superficie media di 212 km<sup>2</sup>, sul livello idrico medio a quota 193,87 m s.m.; l'invaso del lago raccoglie le acque provenienti dal versante meridionale delle Alpi Lepontine.

Il fiume riprende il suo corso quale emissario del lago, dallo sbarramento della Miorina (Sesto Calende) e prosegue fino alla confluenza con il Po, al ponte della Becca. In questo tratto non riceve tributari naturali ma le acque del Terdoppio novarese che si immette a valle di Cerano; esso scorre in una valle a fondo circa piatto, incisa nella superficie fondamentale della circostante pianura e a essa raccordata per mezzo di un terrazzo principale, la cui altezza decresce da 40 a 15 m circa; l'alveo è dapprima monocursale, per poi divagare formando meandri con alveo pluricursale ramificato.

Il corso d'acqua è caratterizzato da un assetto idraulico di tipo naturale in quanto sede del Parco Regionale. Per la parte sublacuale può essere suddiviso in due diverse tipologie fluviali:

- la prima, tra Sesto Calende e Oleggio è caratterizzata da un alveo molto inciso in cordoni morenici e in terrazzi fluviali, incanalato in un unico filone di corrente con velocità discreta, sezione media di larghezza pari a 50-80 m, sponde ripide e vegetate. Nella parte alta del tratto il deflusso risente della regolazione del lago effettuata dalla traversa della Miorina; i livelli hanno mediamente escursioni poco rilevanti e permettono una stabilizzazione delle sponde e dell'interfaccia sponda-alveo;
- la seconda fino alla confluenza in Po, di gran lunga più estesa, ha una tipologia fluviale costituita da un alveo molto ampio (larghezza massima sui 400 m), a filone divagante in diversi rami, sponde basse, vegetazione molto consistente sia di sponda che in alveo, con notevole presenza di isole, sabbioni, terre nude.

I corsi d'acqua naturali compresi nel bacino sono prevalentemente tributari dei laghi di Lugano e Maggiore; solo il torrente Strona è affluente diretto del fiume.

Il regime idrologico del Ticino sublacuale è condizionato da alcuni fattori principali:

- la regolazione del deflusso dal lago Maggiore allo sbarramento della Miorina;
- lo scambio di portate con la fitta e complessa rete dei canali artificiali derivatori e tributari;
- l'alimentazione da parte del bacino imbrifero superficiale sotteso.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 14 di 49

Di fondamentale importanza per il regime idrologico del Ticino è la regolazione del lago, che è legata prevalentemente alle esigenze delle utenze idroelettriche e irrigue di valle. La regolazione opera in modo tale da ritenere i deflussi nei periodi invernali e primaverili, per distribuirli nei mesi estivi; l'intervallo di regolazione è fissato tra i livelli idrometrici -0.50 m e +1.50 m nel periodo tra il 15 novembre e il 31 marzo. Il regime delle portate di regolazione del Ticino è caratterizzato da massimi deflussi nel periodo maggio-luglio e minimi deflussi nella stagione invernale. Le portate di massima piena si registrano prevalentemente nel periodo autunnale.

Le acque del Ticino vengono derivate a Somma Lombardo allo sbarramento di Panperduto ed immesse nel Canale Adduttore Principale (C.A.P.) Villoresi che, dopo aver percorso 87 chilometri in direzione ovest a nord di Milano, si immette nel Fiume Adda.

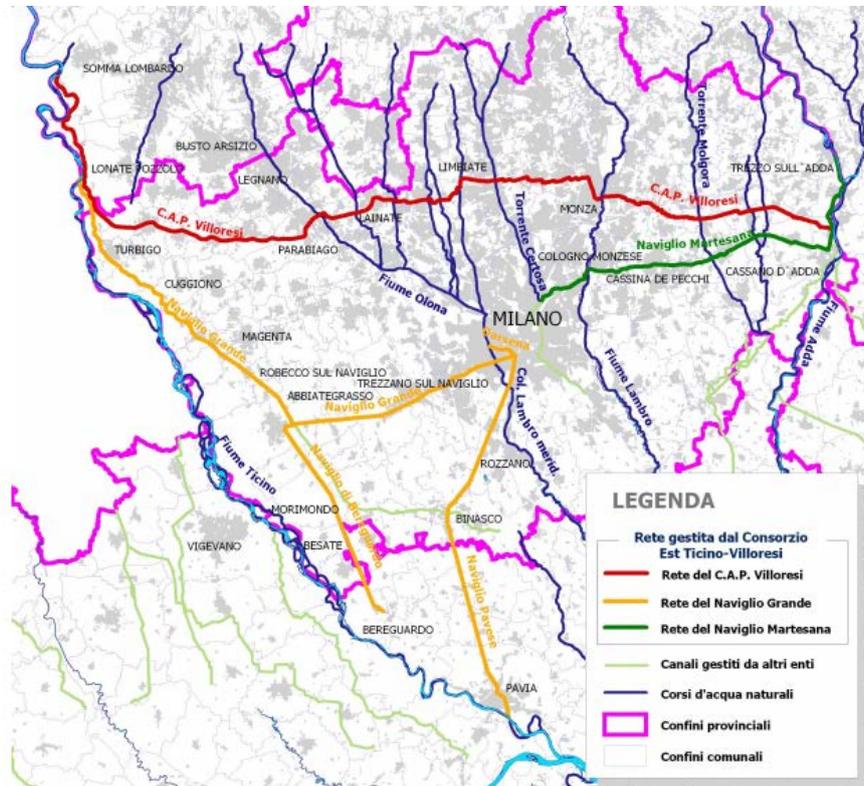
Il Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, un tempo chiamato Consorzio di Bonifica Eugenio Villoresi, è nato nel 1918 con lo scopo di distribuire alle utenze agricole a nord di Milano le acque del Fiume Ticino.

Storicamente il Consorzio si è sempre occupato della distribuzione delle acque del Villoresi gestendo sia la linea principale che quella di distribuzione. Dall'inizio degli anni '80 il Consorzio si occupa anche di gestire il Naviglio Martesana e dal 1990 anche il Naviglio Grande, il Naviglio Pavese e il Naviglio di Bereguardo.

Attualmente, considerando la sola rete primaria dei navigli, il Consorzio gestisce complessivamente circa 220 chilometri di canali. Attualmente, non tutta la rete irrigua all'interno dell'area di studio è gestita dal Consorzio di Bonifica Est Ticino –Villoresi: il Consorzio gestisce direttamente i seguenti canali:

- Canale Villoresi (canale principale e rete di adduzione e distribuzione)
- Naviglio Grande (solo canale principale)
- Naviglio Pavese (solo canale principale)
- Naviglio di Bereguardo (solo canale principale)
- Naviglio Martesana (solo canale principale)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	15 di 49



*Figura 7 - Rete gestita dal Consorzio Est Ticino - Villoresi*

Il Naviglio Pavese ha origine a Milano (darsena di Porta Ticinese) e termina a Pavia. Attualmente l’acqua che viene immessa nel naviglio è solo quella del Naviglio Grande; la portata massima convogliata nel Naviglio Pavese è pari a 12,6 m<sup>3</sup>/s in regime estivo e a 9 m<sup>3</sup>/s in regime invernale.

Il Naviglio Pavese ha una lunghezza di 34 chilometri, di cui 18 in Provincia di Milano. A causa della morfologia della pianura lungo il tracciato del canale, sono state realizzate delle conche di navigazione, per poter mantenere un invaso nel canale tale da garantire l’alimentazione della rete secondaria.

Le conche di navigazione sono complessivamente 12, di cui 5 in Provincia di Milano. Di queste la “conchetta” è stata completamente restaurata, mentre la “Conca Fallata” è attualmente in restauro. Le altre tre conche (Conca di Rozzano, Conca di Moirago e Conca di Casarile) non sono invece in grado da consentire il passaggio delle imbarcazioni.

Il Naviglio Pavese ha una pendenza media relativamente elevata (0, 17%), ma la perdita di carico è quasi tutta concentrata in corrispondenza delle conche di navigazione: su un dislivello complessivo di 56,6 metri, oltre 52 sono concentrati sulle conche.



COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	17 di 49

### 3.3 Caratterizzazione climatologia

Il regime pluviometrico del bacino del Lambro è classificabile come tipo sublitoraneo padano, con due massimi e due minimi sostanzialmente equivalenti, mentre il regime pluviometrico del bacino del Ticino è classificabile come tipo sublitoraneo occidentale, con due massimi e due minimi, ma con il massimo di primavera più elevato e con il minimo invernale più basso.

Le precipitazioni medie annue nella zona interessata dal progetto sono comprese tra 801 e 1000 mm, mentre le precipitazioni massime annue sono comprese tra 1301 e 1600 mm, come ricavato dalle Carte delle precipitazioni elaborate dalla Regione Lombardia sulla base dei dati registrati nel periodo 1891-1990.

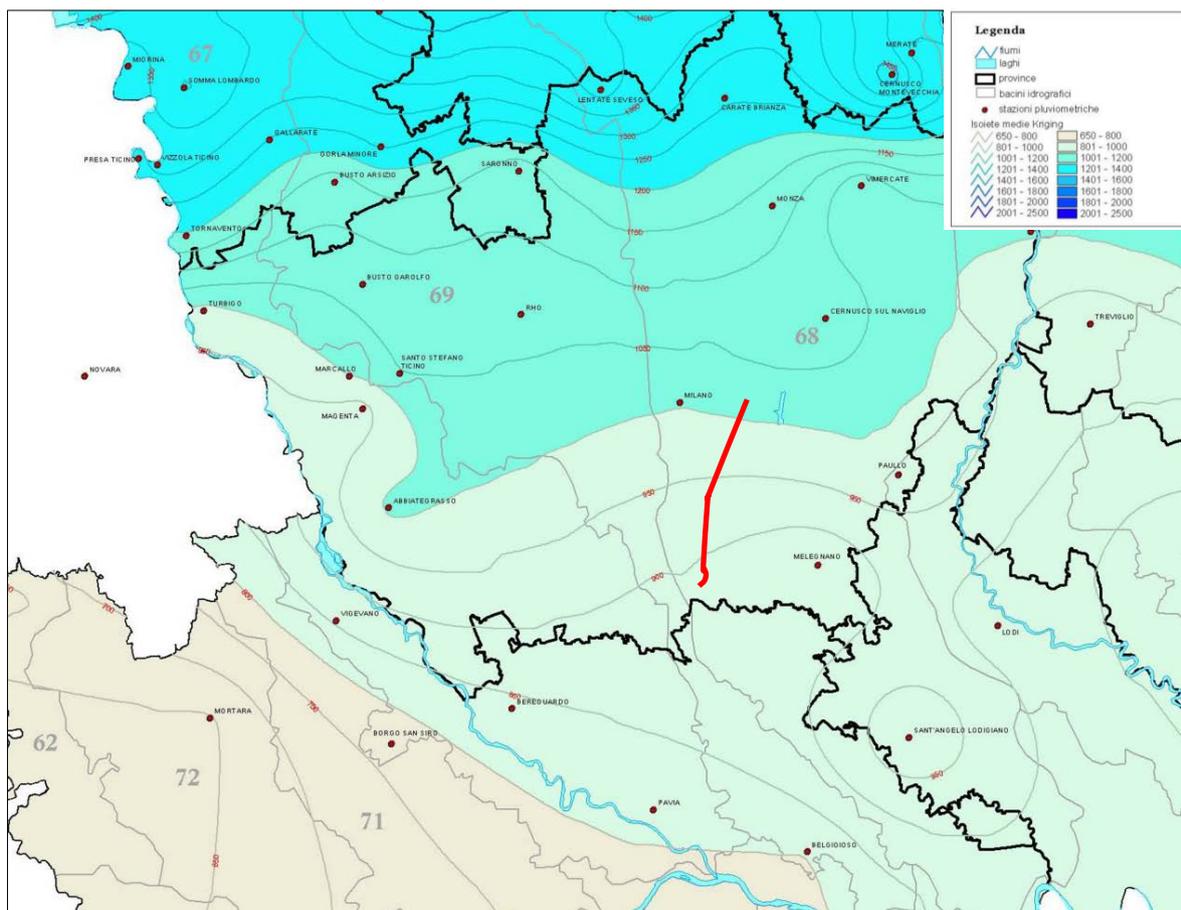


Figura 9 - Carta delle precipitazioni medie annue del territorio alpino lombardo (periodo 1891-1990)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	18 di 49

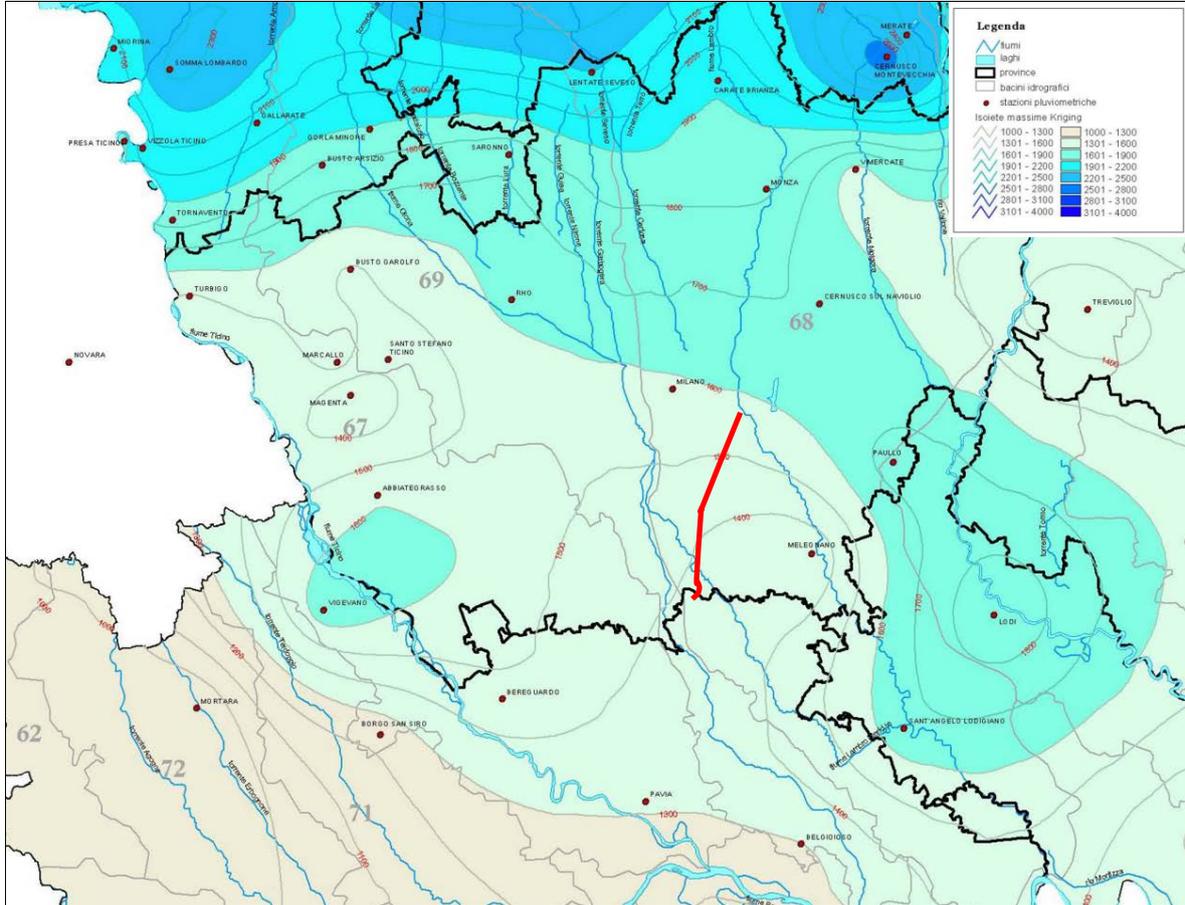


Figura 10 - Carta delle precipitazioni massime annue del territorio alpino lombardo (periodo 1891-1990)

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 19 di 49

#### 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.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 20 di 49

#### 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:*

- 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.*

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 21 di 49

#### 4.1.1 a relazione intensità–durata delle precipitazioni – AdB Po

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” ed “n” delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 km di lato.

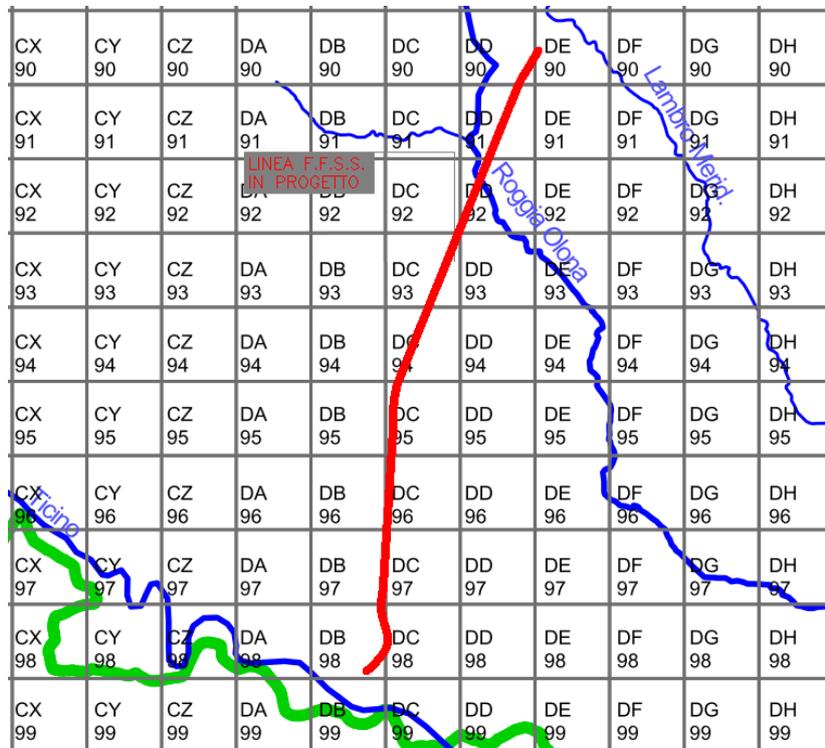


Figura 11 - Estratto Allegato 3 – Studio PAI – Individuazione celle di riferimento

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.

In particolare, per questa fase progettuale, sono state individuate le celle intersecate dal tracciato ferroviario di progetto e sono stati assunti, quali valori di "a" ed "n" di riferimento per la progettazione, quelli che meglio rappresentano la distribuzione delle precipitazioni sul territorio in esame (Tabella 1).

Cella	T20		T100		T200		T500	
	a	n	a	n	a	n	a	n
<b>DD90</b>	49,70	0,232	64,95	0,218	71,17	0,213	79,60	0,210
DE90	49,42	0,232	64,63	0,218	70,80	0,213	79,20	0,209
DD91	48,63	0,232	63,41	0,219	69,46	0,215	77,62	0,212
DC92	48,18	0,233	62,75	0,220	67,74	0,216	76,79	0,212
DD92	48,01	0,232	62,57	0,219	68,54	0,215	76,59	0,212
DC93	47,58	0,233	61,96	0,220	67,88	0,216	75,83	0,212
DC94	46,99	0,233	61,18	0,220	67,04	0,216	74,88	0,213
DC95	46,39	0,233	60,42	0,220	66,21	0,216	73,95	0,212
DB96	46,02	0,233	59,91	0,220	65,65	0,216	73,31	0,213
DC96	45,83	0,234	59,68	0,221	65,40	0,216	73,05	0,213
DB97	45,52	0,234	59,25	0,221	64,94	0,217	72,52	0,214
DC97	45,29	0,234	58,97	0,222	64,63	0,217	72,17	0,214
DB98	45,05	0,234	58,63	0,222	64,27	0,218	71,76	0,215
DC98	44,78	0,235	58,28	0,223	63,89	0,219	71,33	0,216

Tabella 1- Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per  $T_r$  20, 100, 200 e 500 anni

Nel grafico seguente sono state riportate le curve di possibilità pluviometriche calcolate per ogni cella di riferimento intersecata dal tracciato ferroviario per tempo di ritorno  $T=100$  anni.

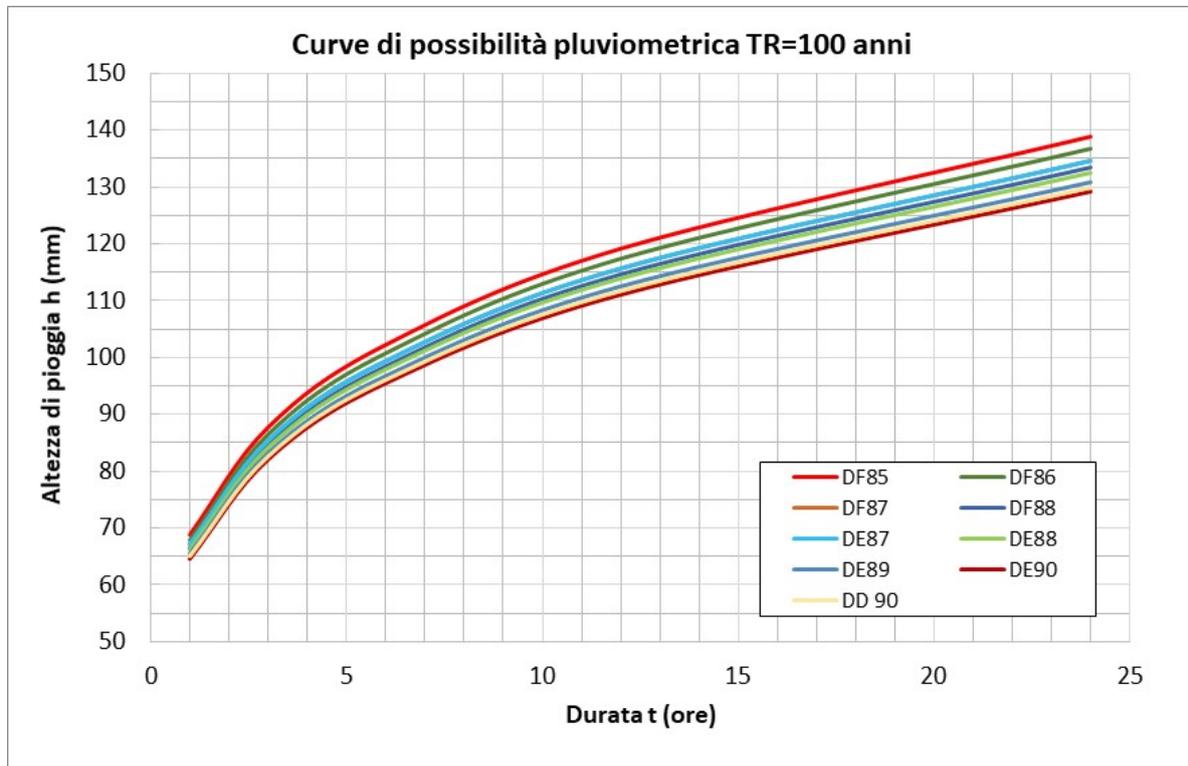


Figura 12 - CPP per piogge extraorarie  $t > 1h$  - Norme di attuazione del PAI

Dal diagramma emerge che le curve sono pressoché tutte sovrapponibili e pertanto la legge più cautelativa secondo quanto indicato secondo le more di attuazione del PAI è relativa alla cella DD90.

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.*

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NMOZ</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>25 di 49</p>

## 4.2 Analisi statistica regionale delle piogge - ARPA

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;

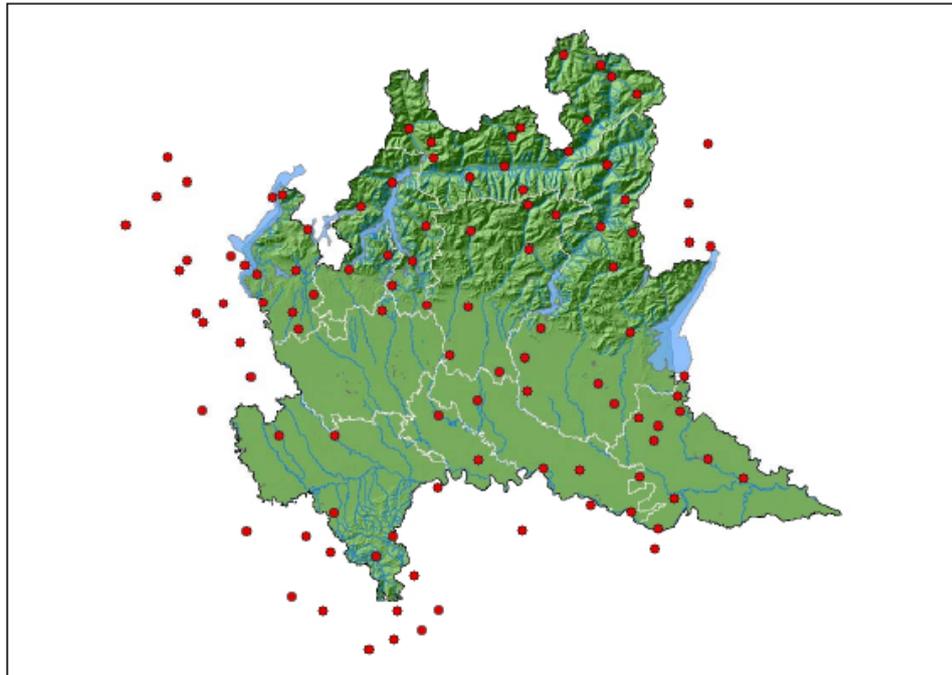
 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NMOZ</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>26 di 49</p>

- **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.

L'analisi idrologica svolta formula i criteri e i metodi per la caratterizzazione idrologica del regime pluviale in Lombardia sviluppando, in particolare, la parametrizzazione della LSPP per ogni sito stazione e per ogni punto griglia del territorio della Lombardia secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scala invariante.



*Figura 13 - Le 105 stazioni pluviografiche considerate nello studio, per durate comprese tra 1e 24 ore.*

I risultati sono individuati nel modello sviluppato, che consente la valutazione dell'altezza (o del tasso medio) di precipitazione temibile al variare della durata temporale (compresa tra 1 e 24 ore e tra 1 e 5 giorni) con qualsivoglia periodo di ritorno (compreso indicativamente tra 2 e 200 anni).

Il modello proposto, di tipo scala invariante, è stato identificato, controllato, tarato e validato in base ai dati della rete pluviometrica della Lombardia; ed è stato quindi spazializzato all'intera regione tramite tecniche di estrapolazione geostatistica.

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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA          QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA          FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
	NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	28 di 49

#### 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.

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

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

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NM0Z</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>29 di 49</p>

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

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.

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].

Si riportano di seguito le mappe dei parametri  $k$ ,  $\alpha$  e  $\varepsilon$ .

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	30 di 49

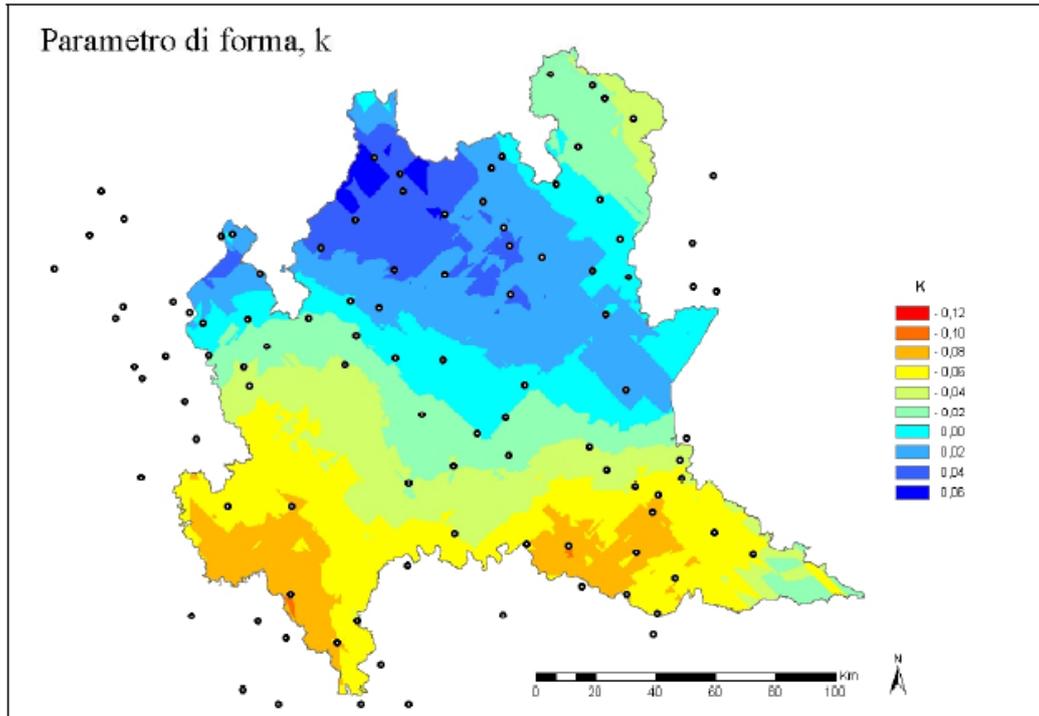


Figura 14 - Mappa del parametro di forma  $k$ , per durate comprese tra 1 a 24 ore

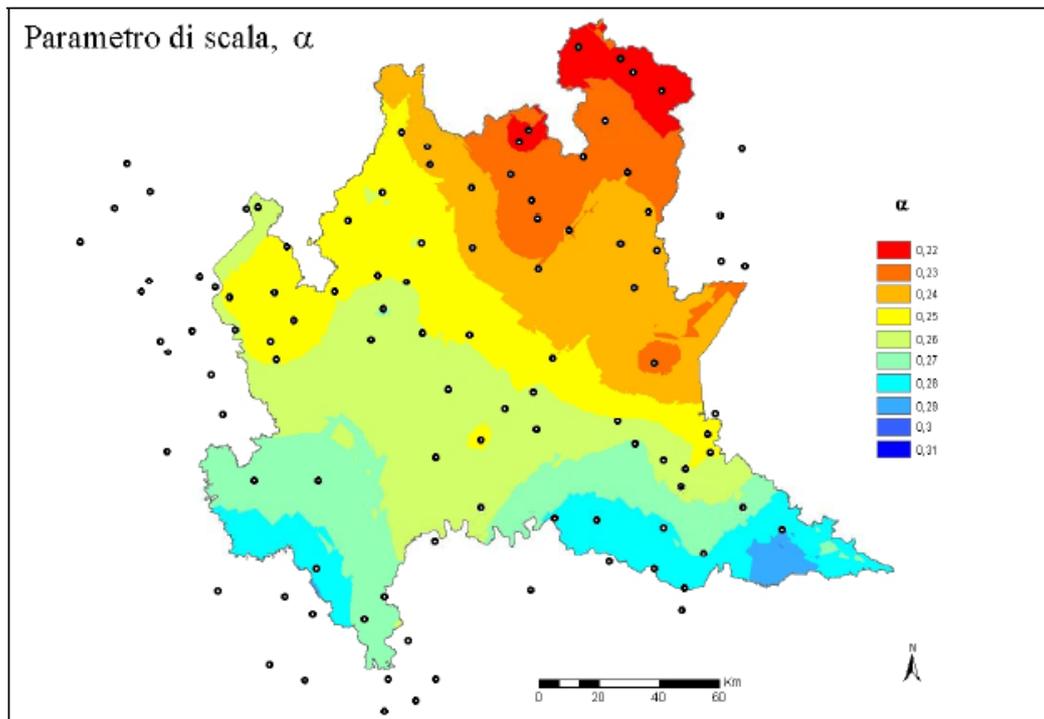


Figura 15 - Mappa del parametro di scala  $\alpha$ , per durate comprese tra 1 a 24 ore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	31 di 49

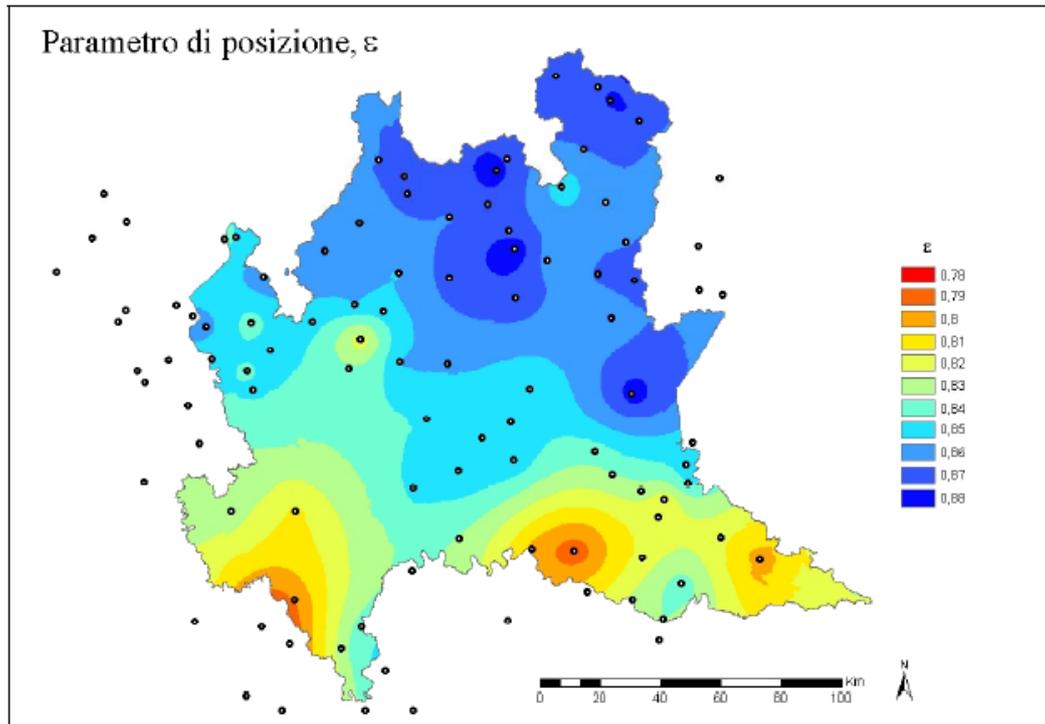


Figura 16 - Mappa del parametro di scala  $\alpha$ , per durate comprese tra 1 a 24 ore

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata  $h_T(d) = m(d)K_T$  con la durata stessa. Per la zona in esame è stata adottata una espressione del tipo:

$$m[h(d)] = a_1 d^n \quad \text{Eq. 7}$$

I parametri  $a_1$  e  $n$  sono stati valutati con regressione ai minimi quadrati nelle 105 stazioni di misura pluviografiche presenti sul territorio esaminato.

Per una pratica applicazione si può far uso delle le mappe isoparametriche di  $a_1$  e di  $n$  per l'intero territorio.

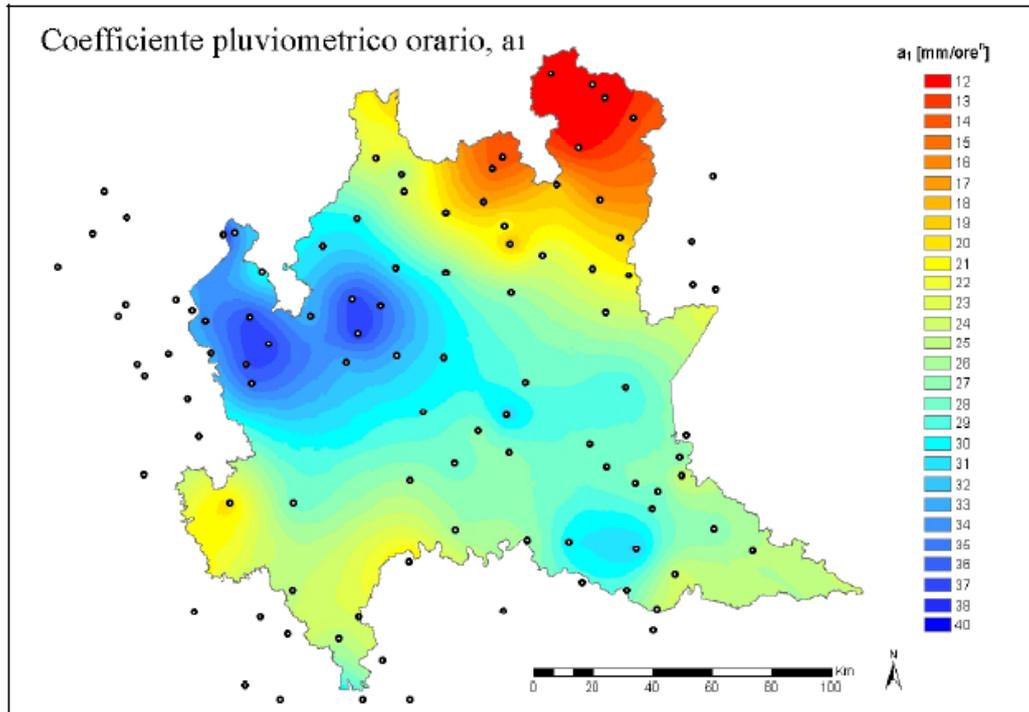


Figura 17 - Mappa del coefficiente pluviometrico orario  $a_1$ , per durate comprese tra 1 a 24 ore

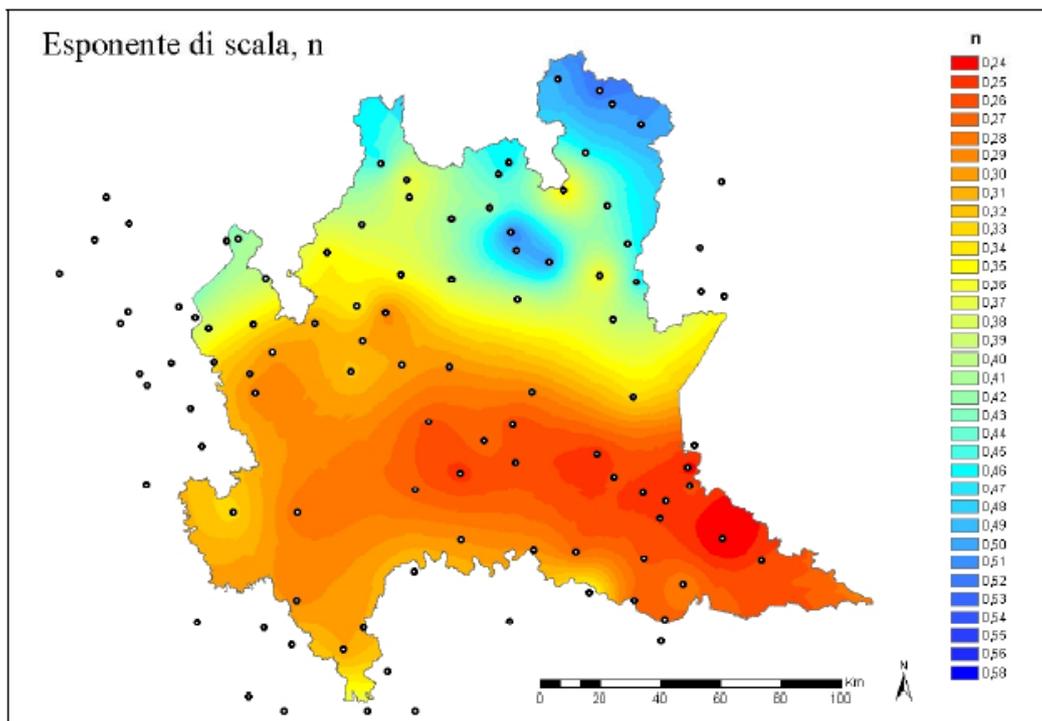


Figura 18 - Mappa dell'esponente di scala  $n$ , per durate comprese tra 1 a 24 ore

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	33 di 49

L'intera Lombardia è stata suddivisa in celle quadrate con lato  $L=1.0$  km per ognuna della quale sono stati definiti i parametri  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $a_1$  e  $n$ .

Nella figura seguente si riportano le celle interessate dal tracciato ferroviario oggetto dell'intervento; sono state numerate dal progettista per indentificare le zone.

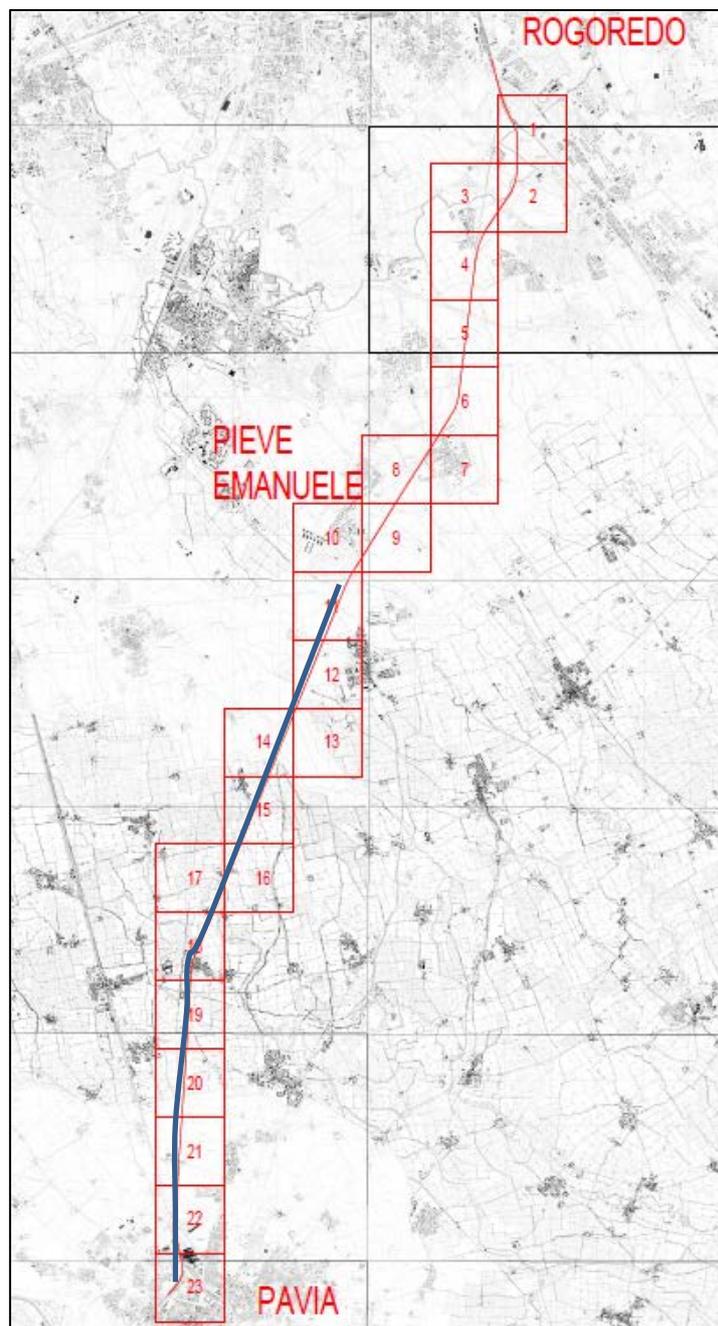


Figura 19 - Celle individuate interessate dalla ferrovia oggetto dell'intero intervento

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0

Per l'area oggetto di intervento, con riferimento ai tempi di ritorno di 25, 50, 100, 200 e 500 anni, secondo lo studio di Arpa Lombardia si ottengono i valori per  $a$  ed  $n$  e le leggi di probabilità pluviometrica, per precipitazioni di durata superiore all'ora, di seguito riportati.

I parametri di ogni cella sono riportati nelle tabelle seguenti.

	Cella 11	Cella 12	Cella 13	Cella 14	Cella 15	Cella 16	Cella 17	Cella 18	Cella 19	Cella 20	Cella 21	Cella 22	Cella 23
$a_1$	27.94	27.63	27.44	27.48	27.28	27.05	27.03	26.82	26.79	26.42	26.27	26.24	25.92
$n$	0.2945	0.2956	0.2948	0.2952	0.2947	0.2956	0.2966	0.2971	0.2946	0.2971	0.2966	0.2946	0.2976
$\alpha$	0.2917	0.2916	0.2906	0.2909	0.2900	0.2892	0.2896	0.2887	0.2885	0.2875	0.2854	0.2861	0.2840
$K$	-0.0699	-0.0724	-0.0745	-0.0755	-0.0764	-0.0795	-0.0778	-0.0829	-0.0847	-0.0836	-0.0897	-0.0889	-0.0933
$\varepsilon$	0.8097	0.809	0.809	0.8084	0.8087	0.8082	0.8085	0.8075	0.807	0.8081	0.8074	0.8072	0.8072

Tabella 2- Parametri  $k$ ,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $a_1$  e  $n$  nelle celle interessate dal progetto per eventi con durata inferiore all'ora

Applicando la metodologia precedentemente esposta si calcolano i coefficienti di crescita al variare del tempo di ritorno.

Tr [anni]	Kt cella 11	Kt cella 12	Kt cella 13	Kt cella 14	Kt cella 15	Kt cella 16	Kt cella 17	Kt cella 18	Kt cella 19	Kt cella 20	Kt cella 21	Kt cella 22	Kt cella 23
25	1.855	1.859	1.859	1.861	1.859	1.861	1.860	1.865	1.867	1.862	1.865	1.866	1.866
50	2.118	2.124	2.125	2.128	2.127	2.131	2.129	2.138	2.141	2.135	2.141	2.142	2.144
100	2.392	2.401	2.403	2.408	2.407	2.414	2.410	2.424	2.430	2.421	2.433	2.433	2.439
200	2.679	2.691	2.696	2.702	2.702	2.713	2.706	2.727	2.735	2.723	2.742	2.742	2.752
500	3.080	3.097	3.105	3.115	3.115	3.132	3.122	3.154	3.166	3.150	3.181	3.180	3.198

Tabella 3- Coefficiente di crescita nelle celle interessate dal progetto al variare del Tr

Noti i coefficienti di crescita è possibile calcolare le altezze di pioggia orarie per ogni cella.

$a_{Tr}/h(\text{mm})$	h(mm) cella 11	h(mm) cella 12	h(mm) cella 15	h(mm) cella 16	h(mm) cella 17	h(mm) cella 18	h(mm) cella 19	h(mm) cella 20	h(mm) cella 21	h(mm) cella 22	h(mm) cella 23
$a_{25}$	51.84	51.35	50.73	50.35	50.28	50.02	50.01	49.20	48.99	48.96	48.36
$a_{50}$	59.18	58.68	58.02	57.65	57.54	57.33	57.36	56.39	56.24	56.20	55.57
$a_{100}$	66.84	66.33	65.67	65.31	65.15	65.02	65.09	63.96	63.90	63.85	63.21
$a_{200}$	74.86	74.35	73.70	73.38	73.15	73.14	73.27	71.95	72.04	71.96	71.34
$a_{500}$	85.21	85.59	84.97	84.72	84.40	84.59	84.82	83.23	83.57	83.45	82.90

Tabella 4 - Altezza di pioggia oraria nelle celle interessate dal progetto al variare del Tr

Analizzando i parametri risultanti a scopo cautelativo si prenderanno in considerazione i valori più gravosi; in particolare si farà riferimento alla cella 11.

Di seguito si riportano le curve di possibilità pluviometrica stimate per i vari tempi di ritorno per piogge di durata superiore all'ora.

Tr (anni)	a (mm/h)	n
25	51.84	0.2942
50	59.18	
100	66.84	
200	74.86	
500	86.04	

Tabella 5 – Parametri delle CPP al variare del Tr per piogge extraorarie  $t > 1h$

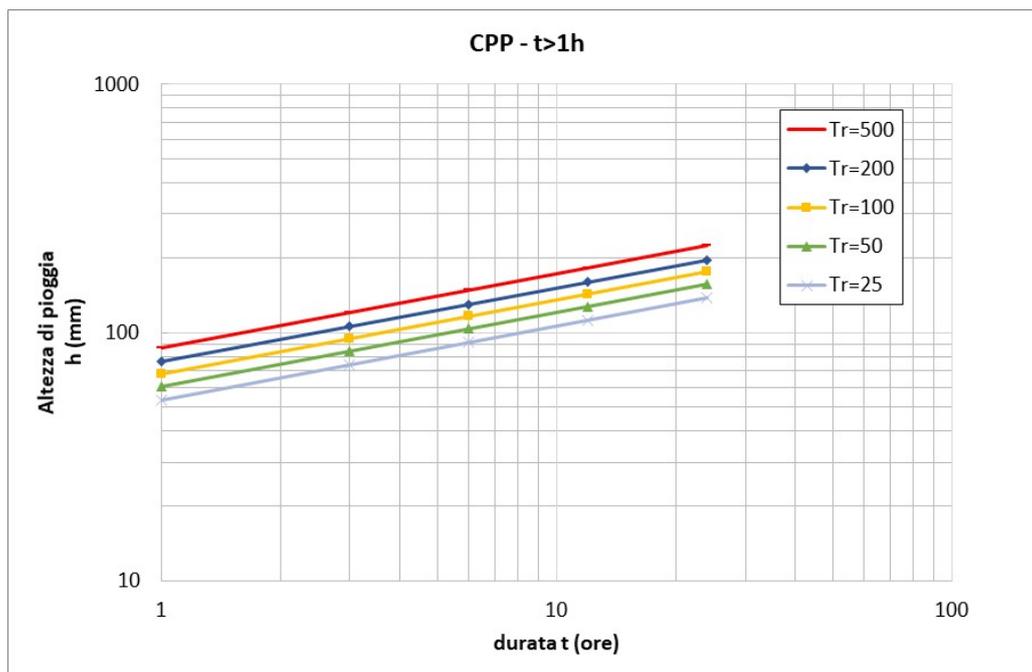


Figura 20 - Curve di Possibilità Pluviometrica per piogge extraorarie  $t > 1h$  – ARPA

### 4.3 Confronto studi idrologici

Lo studio idrologico delle piogge della area interessata dal tracciato di progetto è stato sviluppato sia secondo quanto suggerito dalle norme di Attuazione dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, sia applicando la parametrizzazione della LSPP derivanti dallo studio delle piogge definito dal metodo indicato nel documento prodotto dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Lombardia

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>  <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0

*“Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia – Modello di previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata” (2005).*

Nella figura a seguire si confrontano graficamente le Curve di Possibilità Pluviometrica relative ad un TR=100 anni.

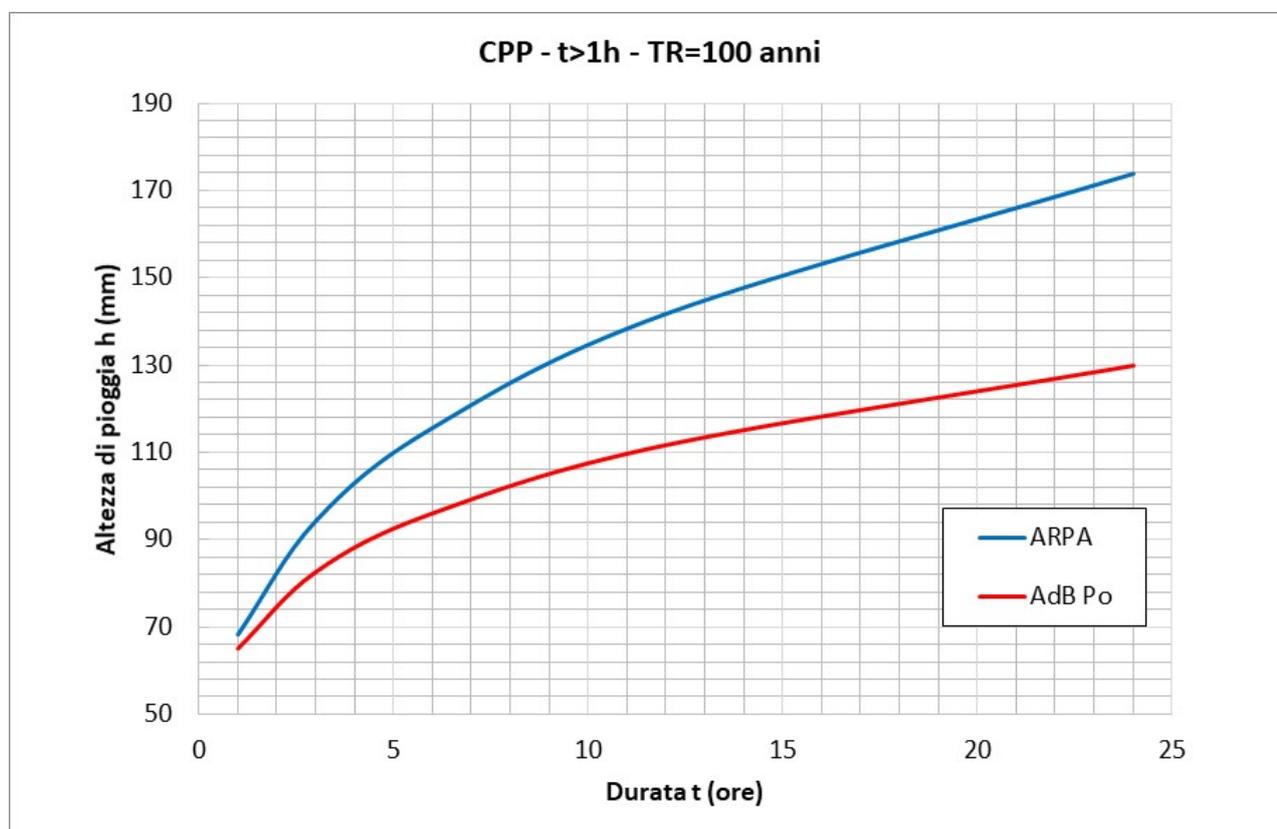


Figura 21 - Confronto CPP per piogge extraorarie  $t > 1h$  – Dati ARPA e Norme di attuazione del PAI

Dall’analisi del diagramma si ritiene cautelativo utilizzare per il dimensionamento e verifica delle opere idrauliche e reti idrauliche inerenti il progetto in esame le CPP con Tr=100 anni desunte dallo studio prodotto dall’Agenzia Regionale per la Protezione dell’Ambiente (ARPA) della Lombardia.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NM0Z</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>37 di 49</p>

#### 4.4 La 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.

Generalmente le osservazioni relative alle piogge intense sono rilevate per intervalli di 1, 3, 6, 12, 24 ore mentre sono raramente disponibili i dati relativi alle piogge intense per intervalli inferiori a 1 ora, anche per la connessa difficoltà della registrazione accurata che si effettua con i pluviometri con registrazione su carta (pluviografi), che utilizzano per la registrazione una striscia settimanale.

Adottando i pluviografi che utilizzano per la registrazione una striscia giornaliera ed i pluviometri digitali, il bilanciario consente l'accuratezza della lettura per piogge di massima intensità che si estende a intervalli dell'ordine del minuto: più è breve l'intervallo di discretizzazione, più dettagliata è la descrizione dell'evento pluviometrico, ma più onerosa risulta la gestione dell'informazione.

Peraltro, le informazioni relative alle piogge intense di breve durata non sono disponibili nella maggior parte delle stazioni pluviometriche, e per valutarle è opportuno adoperare particolari formule per la stima dell'intensità di pioggia, in quanto l'estrapolazione delle curve di probabilità pluviometrica a tempi inferiori ad un'ora conduce ad una sovrastima delle intensità.

Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma considerando che l'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa.

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

Bell ("Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) ha osservato che i rapporti  $r_t$  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:

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	38 di 49

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

Tabella 6 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – U.S. Water Bureau

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

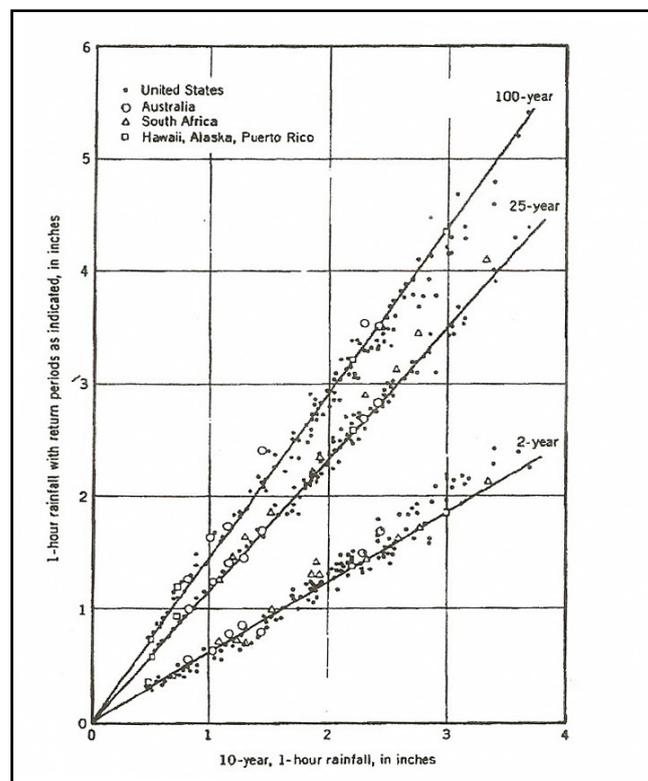


Figura 22 - Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla figura 2, ha riscontrato la costanza dei rapporti tra tempi di pioggia breve e tempo di pioggia della durata pari ad un'ora, anche in Australia, Africa, Hawaii, Alaska e Porto Rico.

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:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50) \quad \text{Eq. 8}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA          QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA          FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
	NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	39 di 49

applicabile per  $5 \leq t \leq 120$  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.

Tali osservazioni sono state successivamente riprese da Calenda ("Piogge intense" – Deflussi Urbani – Giornate di Studio 23/24 novembre 1995, Roma, Associazione Idrotecnica Italiana), che ha osservato che dagli stessi rapporti ottenuti dalla curva di inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo, di equazione  $h_\delta = 309\delta^{0.50}$ , con  $\delta$  in ore, derivano i seguenti risultati (Jennings, 1950, Hershfield e Engman 1981):

t (minuti)	5	10	15	20	30	45	120	240
$r_\delta = h_\delta / h_j$	0.29	0.45	0.50	0.58	0.71	0.87	1.41	2.00

Tabella 7 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – curva inviluppo massime piogge mondiali

Sempre come riportato da Calenda, si è potuto osservare che al pluviometro registratore di Roma Macao su un campione di 8 anni sono stati calcolati i seguenti rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno (Romanico, 1986; Calenda et al., 1988):

t (minuti)	5	10	15	20	25	30
$r_\delta = h_\delta / h_j$	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

Tabella 8 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – Roma Macao

Ai pluviografi di Milano Monviso, su un campione di 117 anni (Piga et al., 1990) sono stati calcolati i seguenti rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di diversa durata  $h_\delta$  rispetto al valor medio della massima altezza annua oraria  $h_j$  e i corrispondenti rapporti dei valori massimi:

t (minuti)	1	2	3	4	5	10	15	30	45
$r_\delta = h_\delta / h_j$	0.130	0.180	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.801	0.913
$r_{\delta m} = h_{\delta m} / h_{jm}$	0.155	0.178	0.215	0.241	0.304	0.449	0.568	0.700	0.799

Tabella 9 – Rapporto tra altezza di pioggia sub-oraria – Milano Monviso

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA          QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA          FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
	NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	40 di 49

Applicando la formula di Bell sopra indicata, si ottengono i seguenti risultati:

$$rs = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

t (minuti)	5	10	15	20	25	30	40	45	50
rs	0.307	0.460	0.563	0.642	0.707	0.764	0.858	0.899	0.936

Tabella 10 – Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora – equazione di Bell

I valori ottenuti utilizzando l'equazione di Bell si discostano quindi di poco dai valori riscontrati sperimentalmente anche in Italia sopra riportati e si possono considerare affidabili per il calcolo delle precipitazioni per periodi inferiori a 1 ora.

Quindi ai fini della valutazione delle altezze di pioggia nei bacini con tempo di corrivazione inferiore a 1 ora si adotta la relazione:

$$\frac{P_T^t}{h_T^{60}} = (0.54t^{0.25} - 0.50)$$

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  $n'$ .

Nella seguente tabella i parametri  $a$  e  $n'$  delle leggi di probabilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora misurati in minuti per i vari tempi di ritorno:

Tr (anni)	a' (mm/min)	n'
25	7.816	0.4708
50	8.925	
100	10.080	
200	11.288	
500	12.975	

Tabella 11 – Parametri delle CPP al variare del Tr per piogge sub-orarie  $t < 1h$

Le curve di possibilità pluviometrica per i vari tempi di ritorno durata inferiore ad un'ora (stimate con il metodo di Bell), riferite al progetto in essere, sono riportate di seguito, con tempo  $t$  espresso in minuti.

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	41 di 49

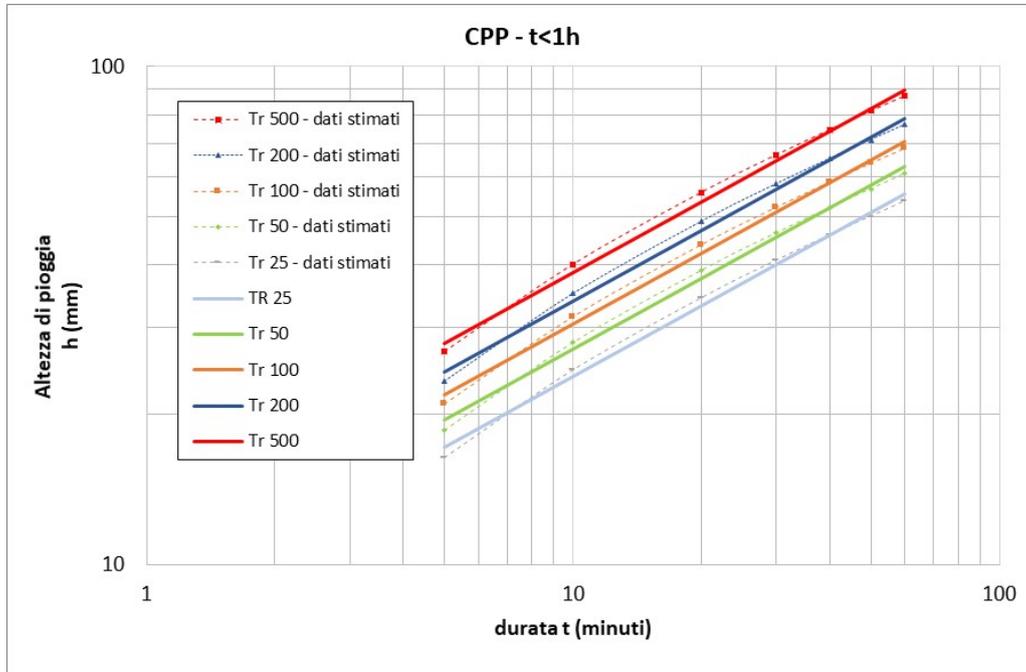


Figura 23 – Curve di possibilità pluviometrica per piogge sub-orarie  $t < 1h$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA          QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA          FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
	NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	42 di 49

#### 4.5 Sintesi dei risultati

Nell'ambito dello studio idrologico sono stati 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
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

	S [Km <sup>2</sup> ]	Tr [anni]
Linea ferroviaria	S ≥ 10	300
	S < 10	200
Deviazioni stradali	-	200

A seguito delle analisi effettuate tramite la metodologia dell'AdB del Fiume Po e la metodologia dell'ARPA si ricavano le equazioni a due parametri per piogge brevi inferiori all'ora per il tratto di linea in questione al variare del tempo di ritorno.

Nel progetto in essere si è scelto di utilizzare la parametrizzazione della LSPP derivanti dallo studio delle piogge definito dal metodo indicato nel documento prodotto dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente (ARPA) della Lombardia *“Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia – Modello di previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata”* (2005) perché ritenuto maggiormente cautelativo.

Si riassumono nella seguente tabella i parametri a e n delle leggi di probabilità pluviometrica per eventi di durata superiore all'ora misurati in ore per i vari tempi di ritorno:

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0

$$h_{Tr}(t) = a \cdot (t)^n$$

Tr [anni]	a [mm/h]	n [-]
25	51.84	0.2945
50	59.18	
100	66.84	
200	74.86	
500	86.04	

Tabella 12 – Parametri delle CPP al variare del Tr per piogge sub-orarie  $t > 1h$

Si riassumono nella seguente tabella i parametri a e n' delle leggi di probabilità pluviometrica per eventi di durata inferiore all'ora misurati in minuti per i vari tempi di ritorno:

$$h_{Tr}(t) = a' \cdot (t)^{n'}$$

Tr [anni]	a' [mm/min]	n' [-]
25	7.816	0.4708
50	8.925	
100	10.080	
200	11.288	
500	12.975	

Tabella 13 – Parametri delle CPP al variare del Tr per piogge sub-orarie  $t < 1h$

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 44 di 49

## 5 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

Per la determinazione della portata massima di piena, con riferimento alle indicazioni dell’Autorità di Bacino descritte nel capitolo 6 del *Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) “Direttiva Sulla Piena Di Progetto Da Assumere Per Le Progettazioni Le Verifiche Di Compatibilità Idraulica (Adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001)”*, vengono utilizzati metodi indiretti nei casi in cui non sono disponibili valori di portata misurati. Uno dei metodi che può essere utilizzato è il metodo cinematico, esso poggia la sua validità sulla conoscenza delle caratteristiche fisiche e pedolitologiche del bacino ed in parte sull’assunzione di trascurare la capacità d’invaso della rete minore in quanto non significativamente drenante.

La determinazione del tempo di corrivazione ( $t_c$ ) nonché del coefficiente di deflusso ( $\phi$ ) richiedono la conoscenza del reticolo idrografico afferente alla sezione di chiusura e delle caratteristiche fisiche e morfometriche del bacino ad esso sotteso, le quali possono essere ricavate dall’analisi delle carte a curve di livello.

Una volta, infatti, delimitata sulle carte a curve di livello la porzione di bacino sottesa dalla sezione di chiusura, ossia la posizione dello spartiacque superficiale del bacino, è possibile stabilire, mediante la sua planimetrazione, la superficie che contribuisce alla formazione del deflusso di piena.

Sempre dall’esame cartografico, possono essere desunte la lunghezza dell’asta fluviale compresa all’interno del bacino e vari valori dell’altitudine: l’altitudine della sezione di chiusura, l’altitudine massima e media del bacino e l’altitudine massima dell’asta fluviale.

La massima altitudine dell’asta fluviale e quella della sezione di chiusura, consentono di ricavare la pendenza media del tratto di fiume posto all’interno del bacino. Per ricavare, invece, l’altitudine media del bacino occorre costruire la curva ipsografica: l’altitudine media è, quindi, data dall’altezza del rettangolo avente per base la superficie totale del bacino (nell’opportuna scala grafica di rappresentazione) ed area pari a quella sottesa dalla curva ipsografica, essa corrisponde quindi al valor medio dell’integrale della curva ipsografica.

Una volta stimati i valori al contorno ( $t_c$  e  $\phi$ ) è possibile procedere alla determinazione della portata al colmo, in  $m^3/s$ , attraverso la formula “razionale”:

$$Q = \frac{A \cdot \phi \cdot i(t_c; T_R)}{3,6} \quad (\text{Eq. 9})$$

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NMOZ</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>45 di 49</p>

con i seguenti significati per i simboli utilizzati:

- $Q$  = portata al colmo [ $m^3/s$ ];
- $A$  = superficie del bacino [ $Km^2$ ];
- $i(t_c; T_R)$  = intensità di pioggia nel tempo di corrivazione  $t_c$  per dato tempo di ritorno  $T_R$  [ $mm/h$ ];
- $\varphi$  = coefficiente di deflusso.

Il metodo razionale considera, quindi, il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- la portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno  $T_R$  di quello dell'intensità di pioggia;
- il tempo di formazione del colmo di piena è pari a quello della fase di riduzione;
- l'intensità di pioggia ha una durata pari a quella del tempo di corrivazione  $t_c$ .

## 5.1 Coefficiente di deflusso

Il tempo di corrivazione è definito in via teorica come il tempo che impiega la precipitazione che cade nella parte più distante del bacino a raggiungere la sezione terminale; una definizione forse migliore è che esso rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione oltre al quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale.

Il coefficiente di deflusso tiene conto di tre fattori:

- il fattore di ragguaglio  $c_r$  della precipitazione alla superficie del bacino idrografico considerato,
- il fattore di trattenuta del terreno  $c_d$ , funzione della capacità di assorbimento del terreno (rapporto tra l'altezza di pioggia netta  $h_e$  e l'altezza di pioggia totale  $h$ ),
- il fattore di laminazione  $c_l$ , che dipende dalla capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico dello stesso.

In via teorica l'utilizzo della formula razionale per convertire una precipitazione di assegnato tempo di ritorno  $T$  in una portata al colmo con pari valore di  $T$ , richiede di caratterizzare anche il coefficiente di deflusso  $c$  con un valore medio di ricorrenza. Ciò è possibile solamente quando si disponga di serie storiche sufficientemente estese di dati pioggia e di portate al colmo.

Anche in questo caso si possono utilizzare più metodi a confronto:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NM0Z</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>46 di 49</p>

- GIANDOTTI (bacini medio – grandi con superfici maggiori di 10 km<sup>2</sup>)

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8\sqrt{H_{med} - H_0}} \quad [\text{ore}]$$

dove S (km<sup>2</sup>) superficie del bacino sotteso, H<sub>med</sub> (m s.m.m.) quota media del bacino, H<sub>0</sub> (m s.m.m.) quota di chiusura del bacino e L (km) lunghezza dell'asse della valle del fiume.

- VIPARELLI

$$t_c = \frac{L}{v} \quad [\text{ore}]$$

essendo L (m) la lunghezza dell'asta principale e v (m/s) la velocità di scorrimento dell'acqua nel percorso relativo sia ai versanti che alla rete idrografica, ritenuta dall'Autore pari a 1 – 1,5 m/s.

- PUGLISI – ZANFRAMUNDO: (43 km<sup>2</sup> < S < 94 km<sup>2</sup>)

$$t_c = 6 \cdot \frac{L^{2/3}}{d^{1/3}} \quad [\text{ore}]$$

essendo L [km] e d [m] rispettivamente la lunghezza e il dislivello dell'asta principale.

- KIRPICH: (0.005 km<sup>2</sup> < S < 0.45 km<sup>2</sup>)

$$t_c = 0.000325 \cdot L^{0.77} \cdot i_v^{-0.385}$$

essendo i<sub>v</sub> la pendenza media del corso d'acqua ed L la lunghezza dell'asta in m

- TURAZZA – VENTURA: per reti di bonifica

$$t_c = 7.56\sqrt{S}$$

con S superficie del bacino [km<sup>2</sup>].

- VENTURA: (5 km<sup>2</sup> < S < 10 km<sup>2</sup>)

$$t_c = 0.1272\sqrt{(S/i_m)}$$

con S superficie del bacino [km<sup>2</sup>] ed i<sub>m</sub> pendenza media del bacino.

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
	<b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA          QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA          FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FLAMBRO MERIDIONALE
	NMOZ	20	D26	RHID0001001	0	47 di 49

## 5.2 Coefficiente di deflusso

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore del coefficiente di deflusso in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti. E' possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili.

Normalmente per i bacini di piccole dimensioni si trascura l'effetto di invaso, mentre un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita nella letteratura.

Caratteristiche del bacino	c
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0,70 – 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 – 0,10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0,10 – 0,15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0,15 – 0,20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 – 0,17
Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)	0,18 – 0,22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0,25 – 0,35

Tabella 14 - Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, con riferimento prevalente a bacini urbani

	<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> <b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA</b> <b>FASE 2 – QUADRUPPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA</b>	COMMESSA NMOZ	LOTTO 20	CODIFICA D26	DOCUMENTO RHID0001001	REV. 0	FLAMBRO MERIDIONALE 48 di 49

## 6 INTERFERENZE RETICOLO IDROGRAFICO SUPERFICIALE

La tratta ferroviaria interferisce con il reticolo idrografico superficiale costituito da canali irrigui ad eccezione del Lambro Meridionale.

L'ambito Lambro-Olona presenta notevoli specificità che ne fanno un caso unico nel bacino del Po. In estrema sintesi le maggiori peculiarità possono essere così riassunte:

- i corsi d'acqua oggetto di studio, a nord di Milano, presentano tutti indistintamente una conformazione consolidata con capacità di deflusso progressivamente inferiore da monte verso valle. Come evidenziato dalle modellazioni eseguite (Seveso, Lambro, Lura, Groane, Bozzente, Olona) e come storicamente noto, tutti i corsi d'acqua dell'ambito, convergendo sulla zona urbana di Milano e dell'hinterland, trovano alvei che per diversi chilometri (10÷15) hanno capacità di smaltimento inadeguata alle esigenze con tempo di ritorno modesto. Tali limitazioni al deflusso derivano da una consolidata conformazione d'alveo che si è venuta sviluppando nei secoli fino ad oggi e che è l'insieme di vincoli posti dalla ridotta dimensione dell'alveo, dalla successione ininterrotta di ponti e della discontinuità del sistema difensivo nell'attraversamento delle zone urbanizzate. Su normali corsi d'acqua infatti è possibile trovare sezioni puntuali (es. ponti) che inducono limitazioni anche pesanti al deflusso. Tali sezioni tuttavia sono appunto puntuali e a valle delle stesse gli alvei riprendono caratteristiche di naturalità e di capacità di convogliamento simili e/o superiori a quelle di monte;
- l'urbanizzazione del territorio di fatto ha confinato i tratti terminali dei corsi d'acqua in ambiti o in sezioni chiuse il cui ampliamento non risulta proponibile e già era escluso nei lavori del Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano del 1937;
- le sezioni di deflusso sono caratterizzate da numerosi manufatti di attraversamento e da un sistema difensivo spondale discontinuo e cresciuto, senza un criterio guida omogeneo, come conseguenza dei limiti imposti dalle urbanizzazioni;
- i contributi dei sistemi di allontanamento delle acque meteoriche provenienti dai centri urbani risultano in grado di saturare il sistema "naturale" per eventi che non superano in genere i 2 anni di tempo di ritorno
- i corsi d'acqua, nel percorso in Milano, non presentano sezioni a cielo aperto.

Le caratteristiche sopra elencate determinano di fatto anche una netta distinzione tra corsi d'acqua della zona a nord di Milano e corsi d'acqua della zona a sud. Mentre a nord infatti le problematiche risultano

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>PROGETTO DEFINITIVO</b></p> <p><b>POTENZIAMENTO DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPLICAMENTO TRATTA MILANO ROGOREDO – PAVIA FASE 2 – QUADRUPLICAMENTO PIEVE EMANUELE - PAVIA</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA</b></p>	<p>COMMESSA</p> <p>NM0Z</p>	<p>LOTTO</p> <p>20</p>	<p>CODIFICA</p> <p>D26</p>	<p>DOCUMENTO</p> <p>RHID0001001</p>	<p>REV.</p> <p>0</p>	<p>FLAMBRO MERIDIONALE</p> <p>49 di 49</p>

peculiari rispetto ad ogni altra zona del bacino padano, a sud i corsi d'acqua (Lambro, Lambro Meridionale e Roggia Olona Inferiore) assumono comportamenti assimilabili ai corsi d'acqua naturali del bacino con l'unica caratteristica di portate defluenti limitate rispetto alla capacità idrologica del bacino e dettata dai limiti prima citati nell'attraversamento di Milano.

In altri termini la ristrettezza delle sezioni a nord e la diffusione di tale limite su tutte le aste determina un deflusso a valle assai contenuto rispetto alle potenzialità dei bacini e quindi paradossalmente una salvaguardia delle zone attraversate dal reticolo.

Nel caso specifico per la rete dei canali irrigui risulta di difficile determinazione una classificazione idrologica e pertanto non è applicabile il metodo cinematico pocanzi esposto; poiché la rete irrigua comprende tutto il territorio in cui si sviluppa il progetto ed essendo essa regolata artificialmente dall'uomo è praticamente impossibile determinare un valore di portata in funzione dell'analisi idrologica e allo stesso tempo non è fattibile perimetrare un bacino imbrifero definendo le sue grandezze caratteristiche (altezza massima, altezza minima, altezza media, area, lunghezza asta fluviale, pendenza media). Si procederà alla stima delle portate con il principio di equivalenza idraulica agli attuali canali e tombini esistenti.

Le opere di attraversamento minore (tombini) sono stati pertanto progettate nel rispetto del concetto di equivalenza idraulica con le attuali opere di attraversamento e delle sezioni dei canali esistenti.

Le condizioni alla base del dimensionamento sono:

- Larghezza uguale o superiore alla larghezza del canale esistente;
- Dimensioni uguali o maggiori degli attuali tombini fermo restando il rispetto del p.to 1;
- Dimensione sufficiente al convogliamento della portata massima defluibile nel canale al massimo grado di riempimento in condizione di moto uniforme laddove è stato possibile isolare un'asta sufficientemente lunga priva di immissioni.

Il massimo grado di riempimento è inteso come:

1. Tirante idraulico con franco di 10cm sulla sponda più bassa;
2. Nel caso in cui vi siano "arginelli" sulle sponde tirante idraulico pari al piano campagna più basso oltre l'arginello.