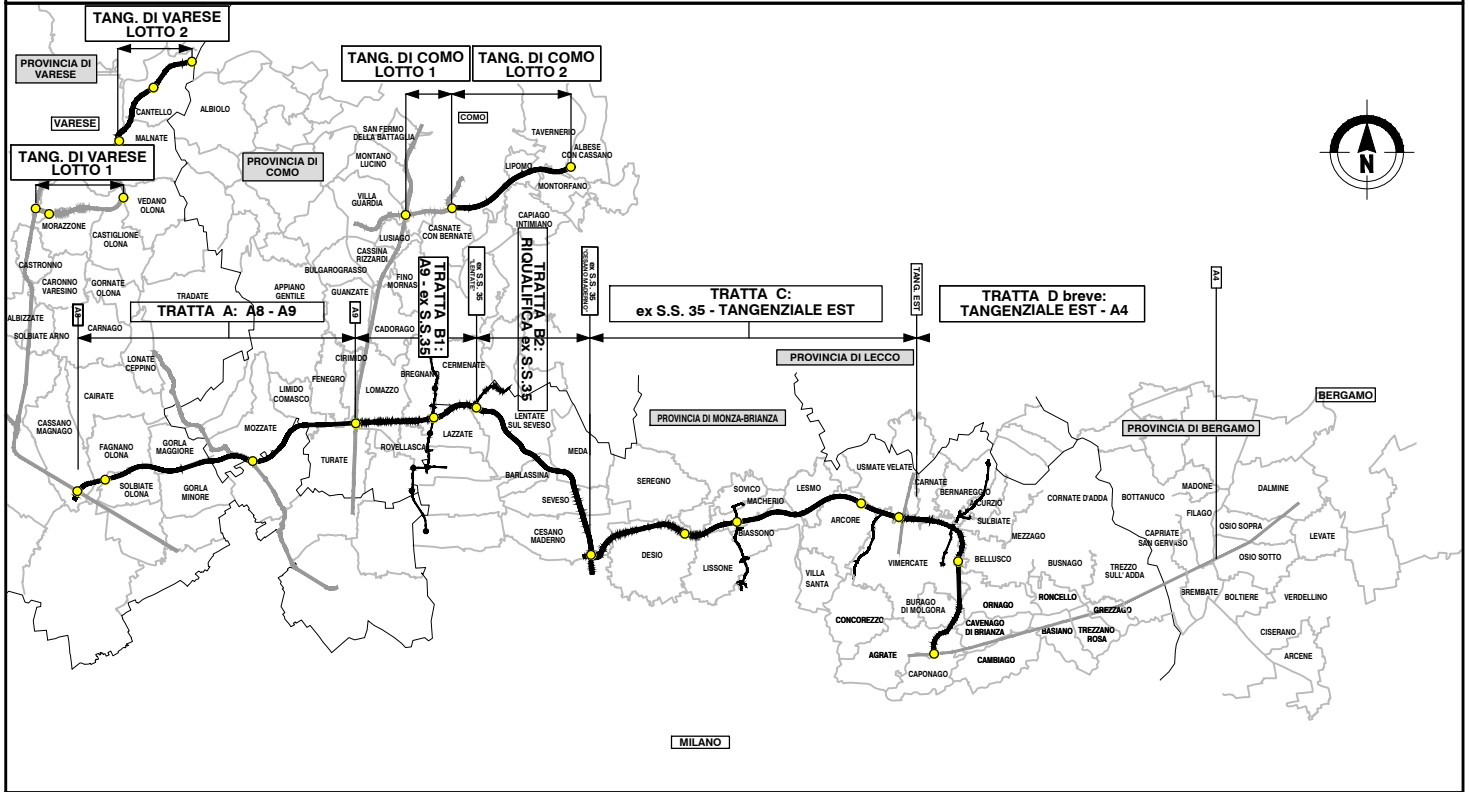


QUADRO DI UNIONE GENERALE



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE

DALMINE-COMO-VARESE-VALICO DEL GAGGIOLO E OPERE AD ESSO CONNESSE

CODICE C.U.P. F11B06000270007

PROGETTO DEFINITIVO VARIANTE TRATTA D

IDROLOGIA ED IDRAULICA
IDROLOGIA
Relazione idrologica

IDENTIFICAZIONE ELABORATO

FASE PROGETTUALE	AMBITO	TRATTA	CATEGORIA	OPERA	PARTE DI OPERA	TIPO ELABORATO	PROGRESSIVA	REVISIONE ESTERNA
D	ID	DD 000	GE00	000	RT	001	A	

DATA 30 Giugno 2023

SCALA

PROGETTAZIONE



DATA

REVISIONE

Giugno 2023 EMISSIONE A

ELABORAZIONE PROGETTUALE

Direzione Ingegneria BIM Center
Arch. Fabio Massimo Saldini RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Lucia Samorani

Redatto: Ing. Tambozzo Visto: Ing. Gardella Contributo specialistico: Ing. Norese

CONCESSIONARIO

Direttore Ingegneria e BIM Center: Arch. Fabio Massimo Saldini
Direttore Tecnico: Ing. Paolo Simonetta
Responsabile Funzione Tecnica, Project Financing e ACT: Ing. Andrea Monguzzi

VERIFICA E VALIDAZIONE

RTI: Conteco Check S.r.l. (Mandante), Rina Check S.r.l. (Mandataria), Bureau Veritas Italia S.p.a. (Mandataria)



COLLEGAMENTO AUTOSTRADALE
DALMINE – COMO – VARESE – VALICO DEL GAGGIOLO
E OPERE CONNESSE

**PROGETTO DEFINITIVO
VARIANTE TRATTA D**

**VARIANTE TRATTA D
IDROLOGIA E IDRAULICA**

RELAZIONE IDROLOGICA

INDICE

1. PREMESSA	3
2. RIFERIMENTI NORMATIVI ED ENTI COMPETENTI	3
3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO DEL TERRITORIO.....	4
3.1 Bacini idrografici interferenti	4
3.1.1 <i>Caratteristiche fisiografiche</i>	7
3.2 Pianificazione vigente - Fasce di pericolosità idraulica.....	10
4. ANALISI PLUVIOMETRICA.....	13
4.1 Stazioni di monitoraggio disponibili.....	13
4.2 Regionalizzazione delle piogge intense di durata superiore all'ora di ARPA Lombardia	14
4.3 Regionalizzazione delle piogge intense di durata inferiore all'ora di ARPA Lombardia	15
4.4 Stima dei parametri di precipitazione per brevi durate con metodologia derivata da osservazioni sperimentali	16
5. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA.....	18
5.1 Corsi d'acqua principali	18
5.2 Corsi d'acqua secondari	19
5.2.1 <i>Portata determinata con il metodo razionale per i rii Valle e Cava</i>	19

1. PREMESSA

Il presente documento costituisce l'analisi idrologica relativa alle interferenze idrografiche con il tracciato della Tratta D "Breve" dell'Autostrada Pedemontana Lombarda, che si estende dalla A51-Tangenziale Est fino all'interconnessione esistente tra TEEM-Tangenziale Est Esterna di Milano e l'Autostrada A4 nel Comune di Agrate Brianza.

L'analisi svolta ha definito le caratteristiche pluviometriche e idrologiche dei bacini idrografici interferenti con l'infrastruttura autostradale, funzionali alla determinazione delle portate di piena di riferimento per il dimensionamento e la verifica idraulica degli attraversamenti.

L'individuazione delle interferenze idrografiche è stata effettuata, in prima battuta, attraverso l'esame della Cartografia Tecnica in scala 1:10000 e successivamente tramite ricognizioni dirette in campo per definire nel dettaglio il tipo e le problematiche di ciascuna di esse così da quantificare in modo esaustivo le attività di rilievo da eseguirsi.

Lo studio idrologico è stato condotto in ottemperanza alle vigenti normative di settore, i cui principali riferimenti normativi sono descritti nel dettaglio nei paragrafi seguenti; si sono inoltre presi in esame gli studi pregressi disponibili, quali lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" redatto dall'Autorità di bacino del fiume Po e la "Relazione idrologica e idraulica" redatta a supporto del Progetto di fattibilità tecnica ed economica della Tratta D "Breve".

2. RIFERIMENTI NORMATIVI ED ENTI COMPETENTI

I principali riferimenti normativi emanati dalla Pianificazione vigente in materia di difesa del suolo e progettazione delle infrastrutture a cui ci si è riferiti per la redazione del presente Progetto sono di seguito elencati:

- "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", emanata dall'Autorità di Bacino del Fiume Po ai sensi dell'art.10 delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico;
- "Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia - Modello di previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata", redatto dalla regione Lombardia nell'ambito del progetto STRADA 2.0 "STRategie di ADAttamento ai cambiamenti climatici" (2013 – 2015);
- Deliberazione 11 maggio 1999 n.2 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po – aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 Aprile 2006 "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" e degli altri riferimenti normativi in essa citati;
- Direttiva alluvioni 2007/60/CE, D.Lgs. 49/2010;

- Deliberazione 07/12/2016 n. 5 dell’Autorità di Bacino del Fiume Po “Variante alle Norme di Attuazione del PAI e del PAI Delta”;
- D.M. 17 gennaio 2018 “Norme tecniche per le costruzioni”.

Gli Enti competenti sul territorio attraversato dall’autostrada in progetto sono:

- l’Autorità di bacino Distrettuale del fiume Po che esercita funzioni di Pianificazione ambientale coordinando operativamente tutti gli Organi Istituzionali interessati alla salvaguardia e allo sviluppo del bacino padano;
- l’Agenzia interregionale per il fiume Po preposto alla progettazione ed esecuzione degli interventi sulle opere idrauliche di prima, seconda e terza categoria, di cui al Testo Unico n. 523/1904, sull’intero bacino del Po; nonché nei compiti Polizia Idraulica e Servizio di Piena sulle opere idrauliche di prima, seconda (R.D. 2669/1937) e terza categoria arginata (art. 4 comma 10ter Legge 677/1996); inoltre, gestione e manutenzione delle opere per la navigazione fluviale nei tratti di competenza e, relativamente ad alcune aree, progettazione ed esecuzione di opere per la "mobilità dolce";
- Regione Lombardia che assolve funzioni di Pianificazione in materia di difesa del suolo e progettazione delle opere idrauliche di quarta e quinta categoria (corsi d’acqua non arginati).

3. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO DEL TERRITORIO

Il ramo autostradale in progetto, denominato in seguito come “Tratta D”, è l’ultima tratta dell’Autostrada Pedemontana Lombarda e si estende dalla A51-Tangenziale Est (dove finisce la Tratta C) fino allo svincolo esistente tra TEEM-Tangenziale Est Esterna di Milano e l’Autostrada A4.

La Tratta D si estende per una lunghezza di circa 9 km, attraversando i comuni di: Vimercate, Carnate, Bellusco, Burago di Molgora e Agrate Brianza.

3.1 BACINI IDROGRAFICI INTERFERENTI

Il torrente Molgora interferisce con l’infrastruttura autostradale in corrispondenza dell’attraversamento in viadotto e dell’interconnessione con la A4.

Il torrente Molgora si origina da due rami nei comuni di Colle Brianza e Santa Maria Hoè. Si sviluppa poi fino a Olgiate Molgora dopo aver raccolto alcuni affluenti con pendenza di fondo caratteristica delle aste a regime torrentizio. Prosegue quindi verso Osnago attraversando la valle cui dà il nome. Ad Usmate Velate riceve l’apporto del bacino del Molgoretta, che è a sua volta costituito dai sottobacini del Lavandaia e del Curone. In corrispondenza della

loro confluenza i bacini del Molgora e Molgoretta misurano aree molto simili rispettivamente pari a circa 30,7 e 35,0 km². Dopo pochi chilometri a valle del nodo confluenza, l'asta del Molgora, all'altezza della località Passirano, interferisce con il viadotto della Milano Serravalle, facendo registrare un bacino di alimentazione di superficie circa pari a 68,7 km².

L'autostrada Milano – Serravalle interferisce inoltre con due rii minori denominati rio Valle (affluente di sinistra del Molgora) e vallone Cava. I due rii hanno un bacino di alimentazione di dimensioni limitate e un'asta avente pendenza media di fondo pari al 2,0%; l'autostrada viene inoltre interferita dall'area scolante interclusa tra il rio Valle e il vallone Cava, il cui apporto defluisce uniformemente distribuito sull'intera superficie, non essendo presente una vera e propria incisione. In Figura 1 si riporta la delimitazione dei bacini idrografici delle aste interferenti con l'autostrada in progetto, in Figura 2 la corografia del reticolo idrografico naturale ed irriguo presente nel territorio attraversato dall'infrastruttura.

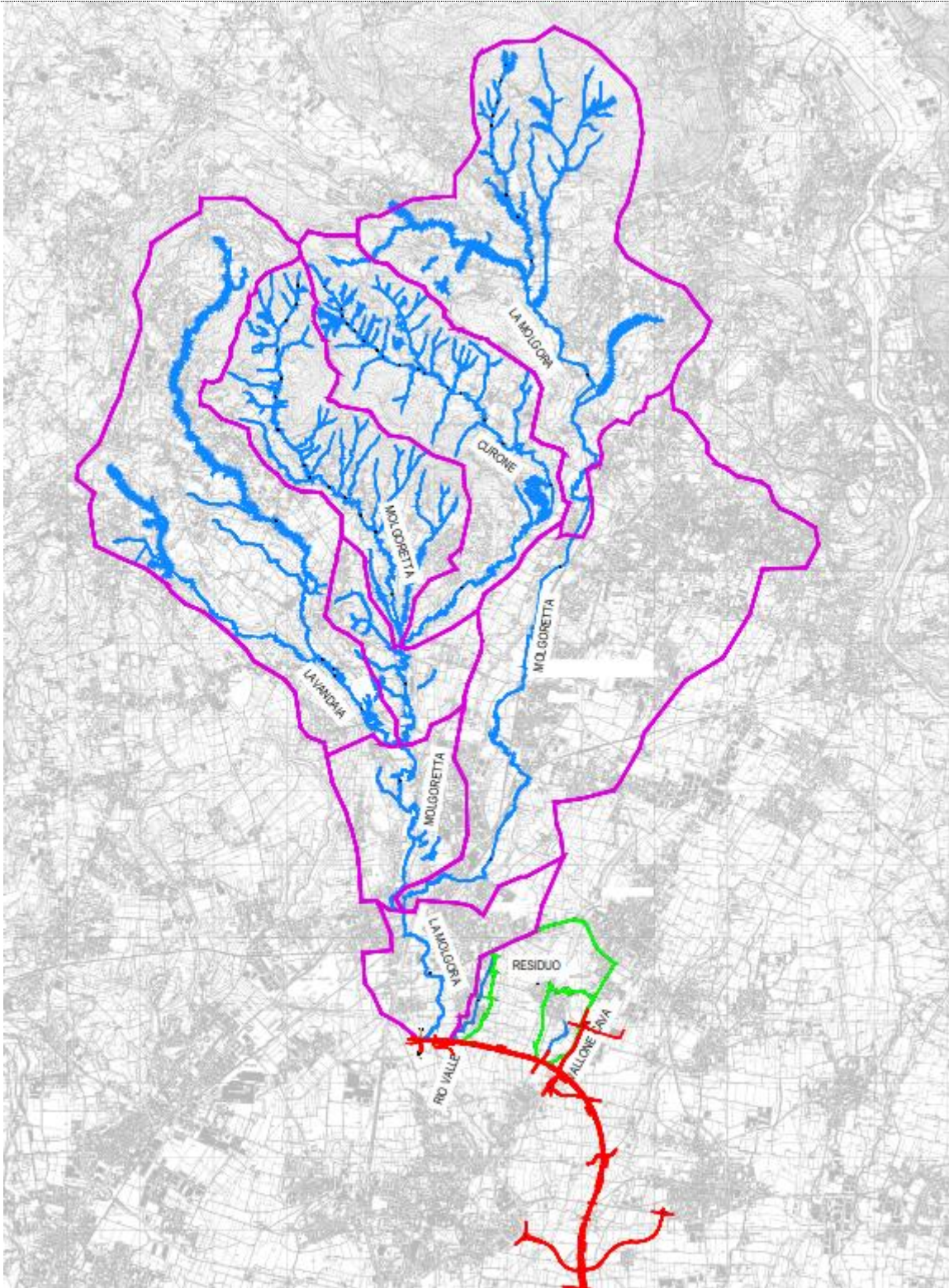


Figura 1 – Corografia dei bacini idrografici interferenti con l'autostrada in progetto.

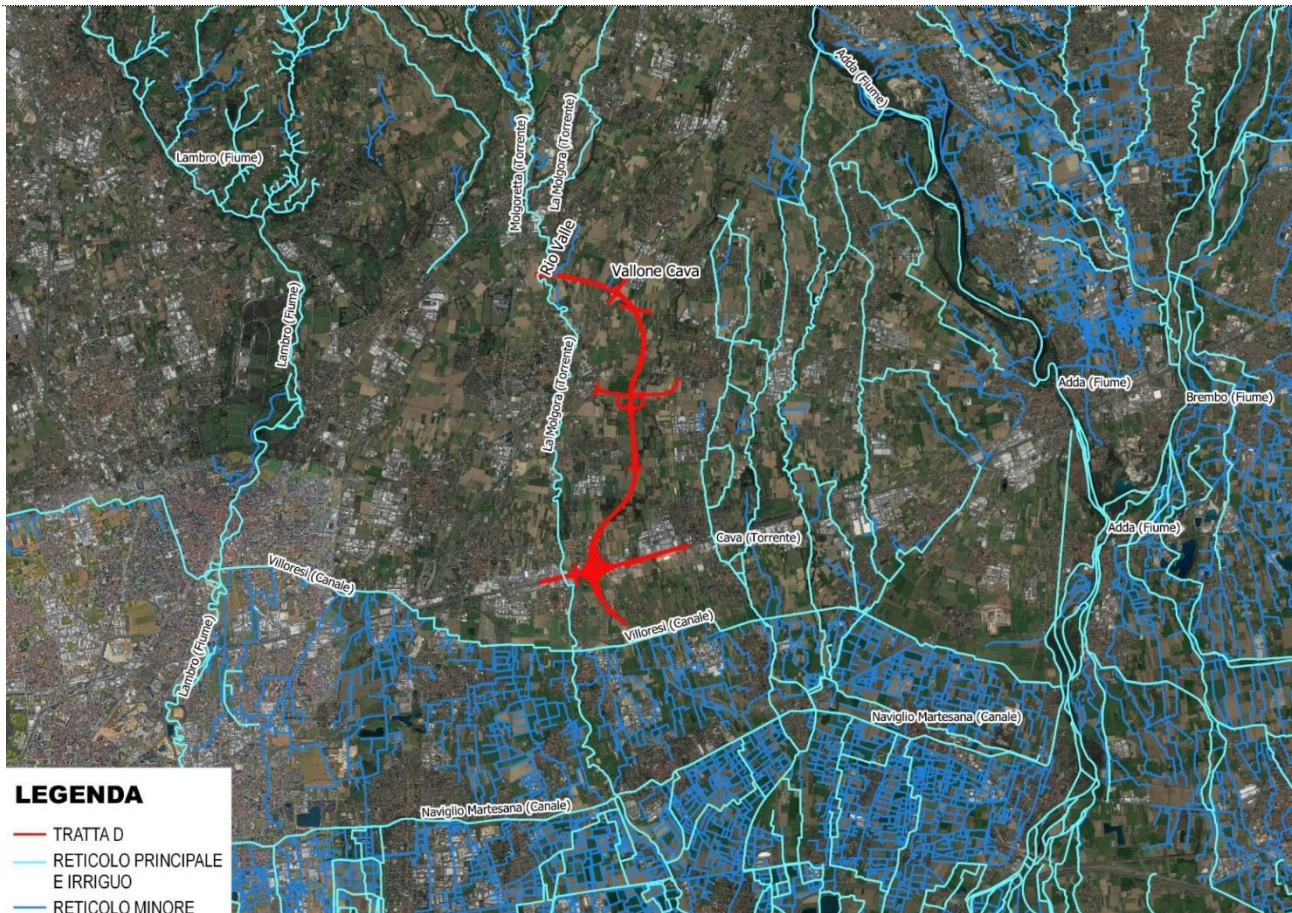


Figura 2 – Reticolo idrografico presente sul territorio attraversato dall'autostrada in progetto.

Il reticolo idrografico sopra mostrato è quello di riferimento per la Regione Lombardia e denominato "Reticolo Regionale Unificato - RIRU"; esso è stato acquisito dal geo-portale della Regione Lombardia ed è il risultato della condivisione dei reticoli idrografici presenti presso gli uffici dell'Ente.

3.1.1 Caratteristiche fisiografiche

Lo studio delle principali caratteristiche morfologiche e fisiografiche è stato eseguito sulla base del DTM a maglia quadrata di dimensione 5,0X5,0 m elaborato a partire dalla base cartografica realizzata da Hydrodata S.p.A., basata sul dataset DTM 2015 della Regione Lombardia; in Figura 3 si riporta la geometria dei bacini idrografici su supporto DTM.

I parametri morfologici d'interesse sono i seguenti:

- l'area della superficie dei bacini (S) espressa in km²;
- la lunghezza (L) delle aste principali espressa in km;
- la pendenza (i) delle aste principali espressa in %;
- la pendenza (s) dei versanti espressa in %;

- le quote massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) dei bacini espresse in m s.m.

In Tabella 1 e in Tabella 2 si riportano i parametri fisiografici determinati per i sottobacini e le loro caratteristiche geometriche.

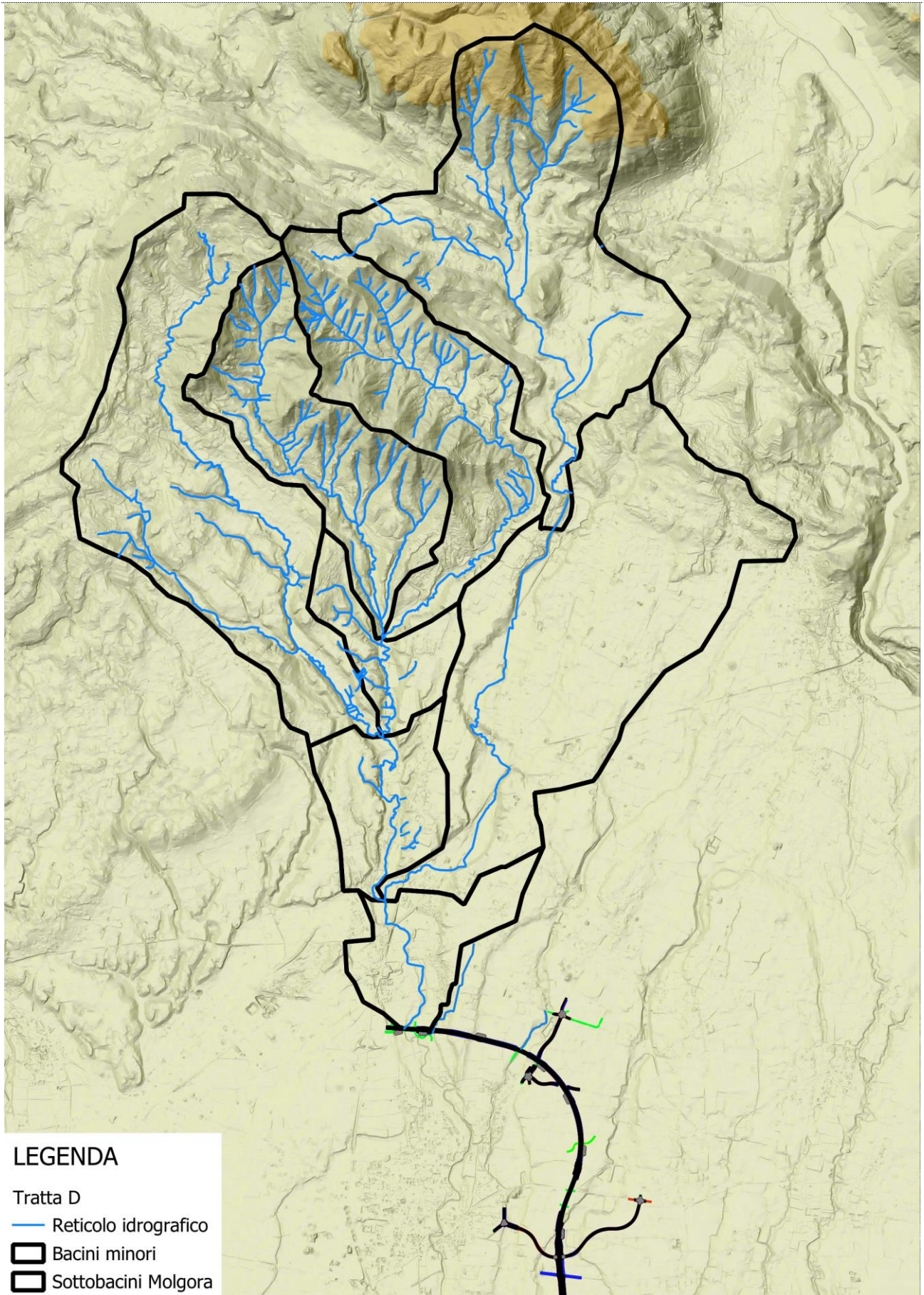
Denominazione bacino	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	s (%)
MOLGORETTA MONTE CONFL. CURONE	7,2	851,19	352,64	238,94	6,77	9,04	28,4
CURONE	8,4	530,00	333,99	239,70	10,32	2,81	26,3
LAVANDAIA	13,7	727,33	339,91	231,62	11,10	4,47	13,2
MOLGORETTA MONTE CONFL. LAVANDAIA	18,0	851,19	331,98	229,86	12,43	5,00	25,6
MOLGORETTA MONTE CONFL. MOLGORA	35,0	851,19	323,23	203,42	12,23	5,30	19,1
MOLGORA MONTE CONFLUENZA MOLGORETTA	30,7	850,24	328,91	213,97	16,13	3,95	13,4
MOLGORA ALL'INTERSEZIONE MILANO- SERRAVALLE	68,7	851,19	323,23	203,42	18,46	3,51	15,8

Tabella 1 - Caratteristiche fisiografiche dei sottobacini del Molgora.

Denominazione bacino	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	I (%)
Rio Valle	0,288	234,68	226,02	208,26	1,39	2,0
Residuo (tra Valle e Cava)	1,949	238,70	223,70	208,70	2,50	1,0
Vallone Cava	0,458	226,67	219,04	208,96	1,14	2,0

Tabella 2 - Caratteristiche fisiografiche dei bacini minori di pianura.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
Progetto Definitivo delle opere della Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO



TRATTA D
Relazione idrologica

Figura 3 – Bacini idrografici su base DTM a maglia quadrata 5,0x5,0 m.

3.2 PIANIFICAZIONE VIGENTE - FASCE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Sul torrente Molgora non sono state delimitate le Fasce Fluviali; sono invece state delimitate le Fasce di Pericolosità idraulica nell'ambito della redazione del P.G.R.A., distinte nei seguenti scenari:

- aree **P3** (H nella cartografia) ad alta pericolosità, o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (tempi di ritorno compresi tra 10 e 20 anni);
- aree **P2** (M nella cartografia) a media pericolosità, o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (tempi di ritorno compresi tra 100 e 200 anni);
- aree **P1** (L nella cartografia) a bassa pericolosità, o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (tempo di ritorno di riferimento di 500 anni).

In Figura 4, Figura 5 e Figura 6 si riportano rispettivamente la corografia del tracciato autostradale e i due punti di interferenza con le fasce di pericolosità idraulica.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
Progetto Definitivo delle opere della Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

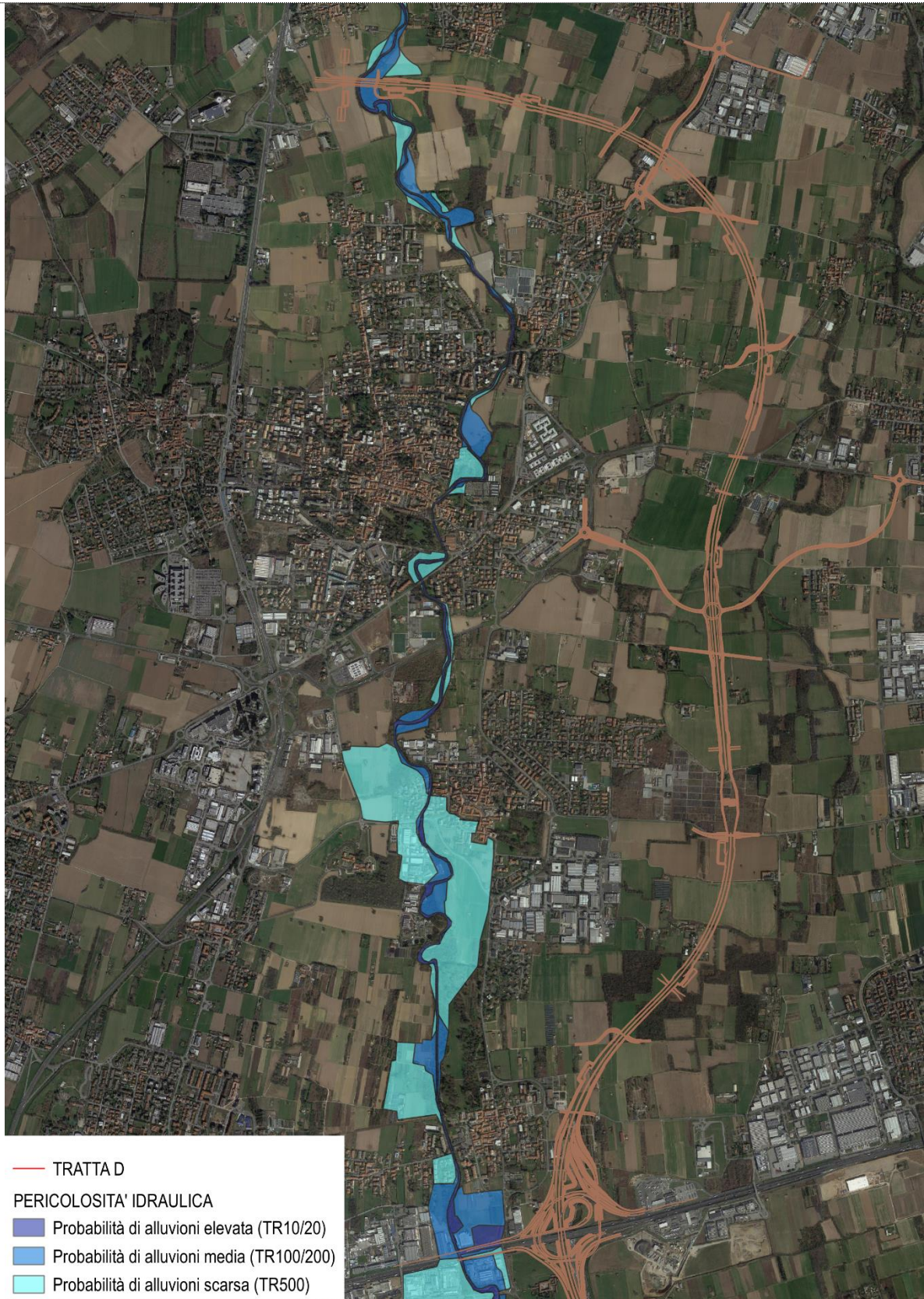


Figura 4 – Corografia Tratta D dell'Autostrada Pedemontana Lombarda con riportata la delimitazione delle aree di pericolosità idraulica del Molgora.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
Progetto Definitivo delle opere della Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO



Figura 5 – Corografia di dettaglio dell'interferenza del viadotto sul T. Molgora della Tratta D dell'Autostrada Pedemontana Lombarda con l'area a pericolosità media (P2).

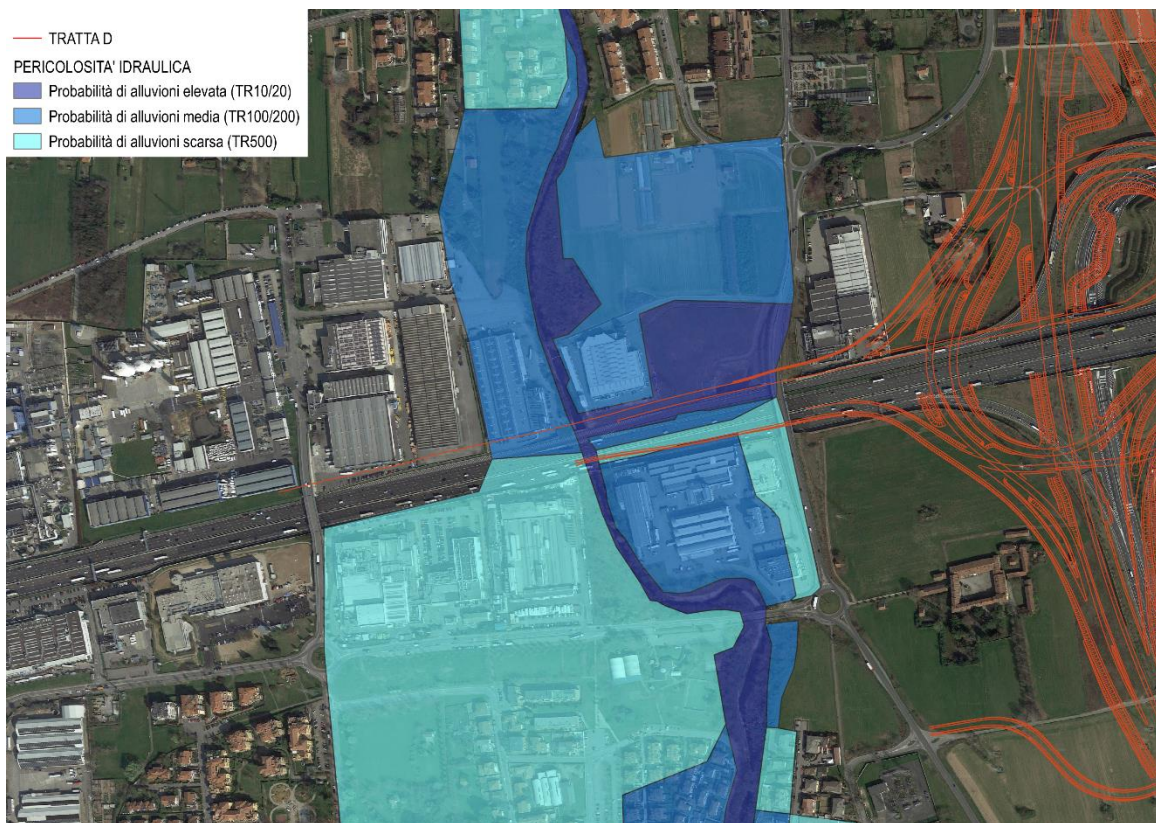


Figura 6 – Corografia di dettaglio dell'interferenza del viadotto di attraversamento-dell'A4 all'interconnessione con l'A4 con l'area a pericolosità media (P2).

4. ANALISI PLUVIOMETRICA

4.1 STAZIONI DI MONITORAGGIO DISPONIBILI

Nel territorio attraversato dall'autostrada in progetto sono presenti numerose stazioni di misura pluviometriche caratterizzate da periodo di osservazione compreso tra gli anni 1992 e 2021; l'elenco delle stazioni è riportato nella tabella sottostante.

Tali stazioni di misura sono gestite dall'ARPA Lombardia che nel proprio geo-portale ha reso disponibile la consultazione dei dati misurati. In Figura 7 si riporta la loro collocazione geografica.

Stazione misura	Data inizio	Data fine
Agrate	24/03/1992	06/11/2018
Carate	31/03/1996	06/09/2018
Casate Nuovo Prato	26/09/2014	30/10/2017
Casate Nuovo Tetto	26/09/2014	30/10/2017
Cinisello Balsamo	30/05/2002	10/07/2022
Filago	01/01/2004	23/08/2011
Lesmo Peregallo	13/10/2014	10/07/2022
Montevecchia	06/10/2014	10/07/2022
Monza	26/09/2014	06/09/2018
Osio Sotto	04/04/2000	10/07/2022
Osnago	26/09/2014	30/10/2017
Rivolta d'Adda	09/06/1993	10/07/2022
Trezzo d'Adda	21/02/2001	10/07/2022

Tabella 3 – Stazioni pluviometriche di misura di ARPA Lombardia.

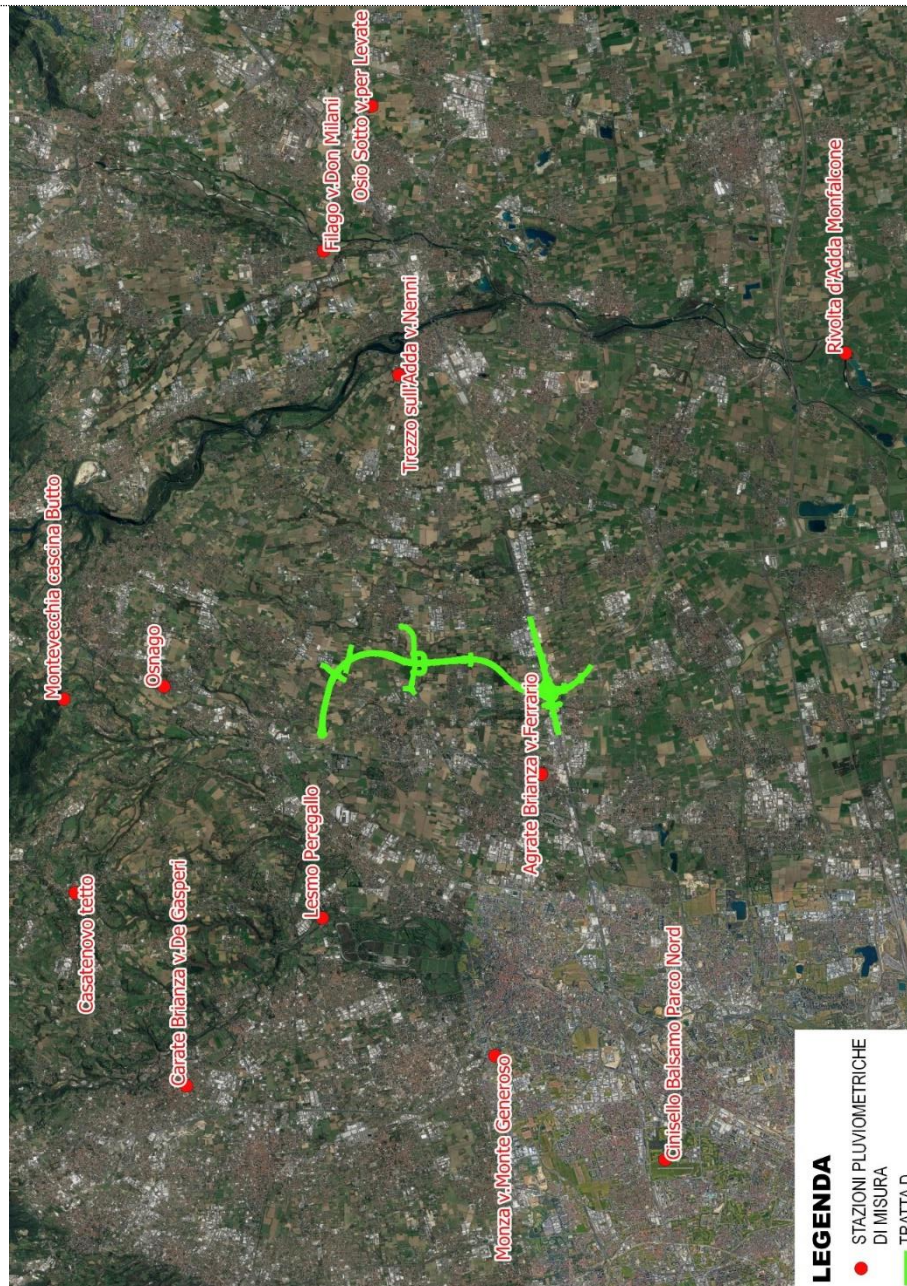


Figura 7 – Corografia delle stazioni pluviometriche di misura di ARPA Lombardia.

4.2 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE DI DURATA SUPERIORE ALL'ORA DI ARPA LOMBARDIA

La valutazione del regime idrologico di piena del territorio attraversato dalla tratta D dell'Autostrada Pedemontana Lombarda può essere condotta facendo riferimento alle elaborazioni statistiche sulle singole stazioni di misura e successiva regionalizzazione del dato di pioggia intensa redatta ad opera dell'ARPA LOMBARDIA; tale studio è denominato "Atlante delle piogge intense".

Nell'ambito della redazione del Progetto "STRADA - STRategie di ADattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero", ARPA Lombardia ha svolto le attività di aggiornamento della descrizione statistica delle precipitazioni intense, costituita dalle osservazioni delle piogge massime annue di fissata durata di 1, 2, 3, 6, 12 e 24 ore per 105 stazioni meccaniche del S.I.M.N., 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 (Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica) su 69 punti strumentati e da questi su tutto il territorio regionale, tramite tecniche di estrapolazione geostatistica.

L'atlante delle piogge intense è stato calcolato puntualmente su una maglia di 1,5 km x 1,5 km in forma esplicita per durate da 1 a 24 ore, aggiornato con dati al 2011 e per tempi di ritorno dai 10 ai 200 anni.

ARPA LOMBARDIA fornisce i parametri della curva di possibilità pluviometrica valida per ogni località espressa nella forma:

$$h_t(D) = a_1 w_1 D^n$$
$$w_T = \epsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] k \right\}$$

Dove:

h = altezza di pioggia;

D = durata di pioggia;

a_1 = coefficiente pluviometrico orario;

w_T = coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno T;

n = esponente della curva (parametro di scala);

α , ϵ , K = parametri delle leggi probabilistiche GEV.

4.3 REGIONALIZZAZIONE DELLE PIOGGE INTENSE DI DURATA INFERIORE ALL'ORA DI ARPA LOMBARDIA

La relazione monomia che lega l'altezza di pioggia h con la durata dell'evento e con il tempo di ritorno dello stesso T_r , come riportato al paragrafo precedente, non risulta adatta a rappresentare bacini caratterizzati da tempi di corrivazione molto brevi (inferiori all'ora); infatti, considerando una durata dell'evento breve, tendente a zero, l'intensità di pioggia i, definita come dh/dt , tende all'infinito. Per bacini idrografici di piccole dimensioni, caratterizzati da tempi di corrivazione inferiori all'ora, ARPA Lombardia (rif. 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)» Allegato G) indica che, per durate di pioggia inferiori all'ora, in carenza di dati specifici, si possono utilizzare tutti i parametri indicati da ARPA, tranne il parametro n per il quale si indica il valore $n = 0,5$ in aderenza con gli standard suggeriti dalla letteratura tecnica.

Tale metodo va applicato ai bacini minori del rio Valle e del vallone Cava, poiché per essi la formazione della piena avviene con tempi di corrivazione inferiori all'ora; il bacino residuo, intercluso tra di essi è caratterizzato da un tempo di corrivazione superiore all'ora.

4.4 STIMA DEI PARAMETRI DI PRECIPITAZIONE PER BREVI DURATE CON METODOLOGIA DERIVATA DA OSSERVAZIONI SPERIMENTALI

Una tecnica alternativa a quella proposta da ARPA Lombardia è quella che fa riferimento ad una metodologia di stima derivante da osservazioni sperimentali.

In letteratura sono infatti disponibili numerosi studi ed esperienze che mostrano come le altezze d'acqua massime associate ad eventi di breve durata siano correlate a quelle determinate per tempi di pioggia di un'ora secondo uno schema tipico.

Più in dettaglio, definendo il parametro $\rho(t) = h(t)/h(1)$, ovvero il rapporto tra l'altezza di pioggia per durata t e quella per durata di 1 ora, è stato notato (Bell, 1969; Goswami, 1973) come esso risulti poco dipendente dalla località considerata, fintantoché si considerino durate brevi ($t < 2$ ore).

Ad analoghe conclusioni sono pervenuti altri Autori, analizzando serie di dati relative a diverse regioni del mondo, ad esempio Goswami¹ (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings² (1950) e Hershfield ed Engman (1981), nell'ambito di uno studio per una *curva inviluppo delle massime piogge osservate nel mondo*.

Per quanto riguarda il territorio italiano, il parametro $\rho(t)$ è stato calcolato in alcuni studi disponibili in letteratura; si segnalano in particolare (per significatività dei dati) quelli relativi

¹ Goswami, A. C. (1973). *Short duration rainfall depth-duration-frequency map of India* – Decision with inadequate hydrologic data, Proceedings of the second Symposium on Hydrology, Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, pp.48-56.

² Jennings, A. H. (1950). *World's greatest observed point rainfall* – Monthly Weather Rev., n.78, pp.4-5.

al pluviometro di Roma Macao, su un campione di 8 anni (Domanico³, 1986 e Calenda et al.⁴, 1993), e a quello di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga et al.⁵, 1990).

La Figura 8 mette a confronto i valori medi del parametro $\rho(t)$ ottenuti negli studi citati. Si osserva come effettivamente le differenze riscontrate tra i vari siti appaiano modeste, e si riscontri un andamento tipico poco dipendente dalla località considerata.

In particolare tutte le curve presentano all'incirca lo stesso valore per durate di circa 5 minuti, mentre gli scostamenti sono massimi tra i 15 e i 30 minuti. Tutte le curve assumono ovviamente valore unitario per $t = 1$ ora.

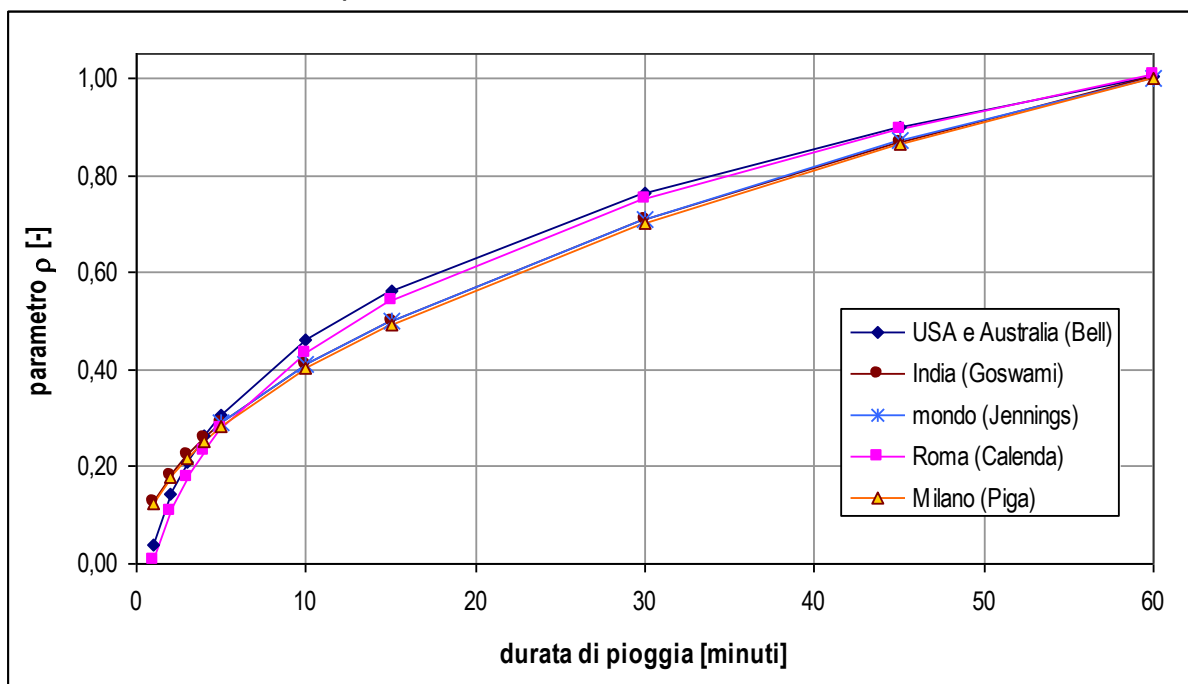


Figura 8 – Andamento del parametro $\rho(t)$ ottenuto in diversi studi.

Sulla base di tali osservazioni sperimentali, è stata sviluppata da Hydrodata una metodologia di stima in grado di fornire i parametri di precipitazione necessari ad una valutazione più accurata delle portate di piena su piccoli bacini, per i quali il tempo di pioggia critica è inferiore all'ora.

In particolare l'andamento di $\rho(t)$ è stato assunto come totalmente indipendente dalla località, e cautelativamente pari all'involuppo dei valori riportati in Figura 8, così da introdurre unicamente possibili errori di sovrastima dell'altezza di pioggia.

³ Domanico, R. (1986). *Piogge intense a Roma* – Tesi di laurea, Università "La Sapienza", Roma.

⁴ Calenda, G. et al. (1993). *Rainfall assessment with inadequate data* – In "Urban storm drainage" (edited by Cao, C. et al.), Water Resources Publication, Hyland Ranch, USA, pp.23-44.

⁵ Piga, E. et al. (1990). *Analisi statistica delle piogge intense di breve e brevissima durata nell'area metropolitana di Milano* – Città Studi, Milano.

In funzione dei parametri (a, n) della curva di possibilità pluviometrica (CPP) di progetto, espressa nella forma monomia $h=a \cdot t^n$, si ottengono le altezze di pioggia h(t) relative a durate di 60 e 120 minuti. Applicando ad h(60) i valori assunti per il parametro $\rho(t)$, si ricavano quindi i valori di h(t) per durate inferiori.

Diagrammando su un piano bi-logaritmico [ln(t), ln(h)] i punti ottenuti, per durate comprese tra 5 e 120 minuti, la validità della forma monomia (legge di potenza) come curva di adattamento dei dati presuppone che essi giacciono approssimativamente su una retta.

Effettuando pertanto una regressione lineare (con il metodo dei minimi quadrati) nel campo bi-logaritmico è possibile determinare i parametri della retta interpolante e pertanto ricavare (a', n'), parametri della curva di possibilità pluviometrica per t < 60 minuti.

I valori di h(t) stimati mediante $\rho(t)$, per t < 60 minuti, dipendono da h(60), ovvero unicamente da a (essendo t espresso in ore nella formula monomia, per t=1 si ottiene h=a). Estendendo la regressione anche all'altezza di pioggia per durate di 2 ore, anche il parametro n viene preso in conto nella regressione; questo permette di ottenere minori errori qualora la curva (a', n') sia utilizzata per la stima di portate prossime all'ora.

5. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

5.1 CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

Per quel che riguarda il torrente Molgora le portate di riferimento per la progettazione, da utilizzare per la verifica dell'interferenza del viadotto autostradale sono quelle definite nel P.G.R.A. nel seguito esposte.

Bacino	Corso d'acqua	Progr. (km)	Sezione	Denominazione	Superficie (km ²)	Q10 (m ³ /s)	Q100 (m ³ /s)	Q500 (m ³ /s)
Adda	Molgora	16.698	MO 98.1	Usmate (valle confl. Molgoretta)	66	50	124	183
Adda	Molgora	20.592	MO 86	Vimercate	88	51	125	183

Tabella 4 – Portate di riferimento per tempo di ritorno assegnato per il torrente Molgora determinate dal P.G.R.A.

La modellazione condotta dall'Autorità di Bacino, non è stata effettuata con riferimento ad un tempo di ritorno T=200 anni; tale portata è tuttavia importante in quanto rappresenta lo scenario di riferimento per la definizione della compatibilità idraulica delle infrastrutture in progetto. Pertanto, tramite interpolazione, con linea di tendenza logaritmica, è stato

ricostruito il valore al picco per un evento di piena duecentennale, come riportato nel seguito e che risulta essere pari a 151 m³/s.

5.2 CORSI D'ACQUA SECONDARI

I corsi d'acqua minori interferenti con l'autostrada in progetto sono:

- il rio Valle;
- il vallone Cava;
- il bacino intercluso tra i 2 corsi d'acqua sopra descritti
- il canale irriguo denominato V8.

Per i corsi d'acqua minori si è calcolata la portata di piena di riferimento a tempo di ritorno 200 anni utilizzando il metodo razionale, valutando cioè l'apporto di piena in modo indiretto a partire dalle precipitazioni intense; per il canale irriguo, regolato da un'opera di derivazione e quindi non essendo alimentato da un bacino imbrifero, si è calcolata la massima portata transitabile a piene rive nella sua sezione di deflusso.

5.2.1 Portata determinata con il metodo razionale per i rii Valle e Cava

Il metodo razionale, di correlazione afflussi – deflussi, è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni d'intensità costante nel tempo, si abbia per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino stesso e si verifica dopo il tempo t_c dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c * h * S}{3.6 * t_c} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

dove:

S – superficie del bacino (km²);

c – coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale basate sulla litologia, sull'uso del suolo (-);

h – altezza massima di precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);

t_c – valore del tempo di corrivazione del bacino (ore).

Utilizzando questo metodo alle portate di piena viene attribuito lo stesso tempo di ritorno delle precipitazioni da cui traggono origine.

5.2.1.1 Tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione è stata eseguita avvalendosi delle formule di Giandotti, Pezzoli, Ventura, Pasini e S.C.S.

Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alla loro rispettiva sezione di chiusura. Le grandezze da considerare sono le seguenti:

- superficie S (km²);
- altitudine media H_{med} (m s.m.);
- quota della sezione di chiusura H_{min} (m s.m.);
- lunghezza dell'asta principale L (km);
- pendenza dell'asta principale i (m/m).

Le grandezze fisiografiche utilizzate in input sono quelle determinate unitamente alla delimitazione dei bacini idrografici, riportate in Tabella 1.

Più nel dettaglio le formule utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, sono le seguenti.

Formula di Giandotti: $t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med} - H_{min}}}$ per bacini di dimensioni superiori a 50 km²,

Formula di Pezzoli: $t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$ per bacini montani di dimensioni inferiori a 20 km²;

Formula di Ventura: $t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$ per bacini di dimensioni medie fino a 40 km²;

Formula di Pasini: $t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i}}$ per bacini di dimensioni medie fino a 40 km²,

Formula S.C.S.: $t_c = 0,057 \cdot \frac{L^{0,8} \cdot (S' + 1)^{0,7}}{\sqrt{y}}$ per bacini di dimensioni superiori a 20 km².

dove il parametro S' rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, la cui espressione risulta:

$$S' = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN è il "Runoff Curve Number", coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture).

Il valore di CN si ricava con riferimento ai dati riportati nella Tabella 6 e nella Tabella 7 assegnando le seguenti condizioni: classe di appartenenza del suolo, tipo di copertura, destinazione d'uso del suolo e condizioni idrologiche.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo S.C.S. sono:

- A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.
- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.
- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

La classificazione del tipo di copertura del complesso è condotta attraverso la stima di 3 fattori: la destinazione d'uso del suolo, il tipo di utilizzo e la condizione idrologica del suolo. Essi sono riassunti nella Tabella 7.

Il contenuto d'acqua del suolo in condizioni naturali ha un effetto significativo sia sul volume d'acqua in gioco sia sul deflusso superficiale. Sono distinte tre condizioni:

- condizione I : suoli asciutti.
- condizione II : suoli in condizioni medie.
- condizione III: suoli saturi.

I valori di CN ottenuti dalla Tabella 6 sono relativi a suoli in condizione II. Se si considerano differenti condizioni si può far riferimento alla Tabella 7.

I risultanti valori del tempo di corrivazione ottenuti applicando le formulazioni succitate per i 3 bacini minori sono i seguenti:

Denominazione bacino	S (km ²)	T _c	T _c	T _c	T _c	T _c	T _c
		Giardotti (ore)	Ventura (ore)	Pasini (ore)	Pezzoli (ore)	S.C.S. (ore)	assunto (ore)
Rio Valle	0,288	1,26	0,50	0,58	0,55	0,42	0,51
Residuo	1,949	3,01	1,62	1,67	1,26	0,68	1,31
Vallone Cava	0,458	1,74	0,69	0,70	0,50	0,36	0,56

Tabella 5 – Valori del tempo di corrivazione.

Data la dimensione areale dei bacini in analisi, il tempo di corrivazione assunto per la determinazione delle portate per tempo di ritorno assegnato, è stato calcolato eseguendo la media dei valori ottenuti applicando le formulazioni di Ventura, Pasini, Pezzoli e S.C.S.

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo delle opere della Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
 (Antecedent Moisture Condition II, and $I_a * 0.2 S$)

<u>Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition</u>			<u>Hydrologic Soil Group</u>			
			<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>
Residential:						
Average lot size	Average	Impervious				
1/8 acre or less	65		77	85	90	92
1/4 acre	38		61	75	83	87
1/3 acre	30		57	72	81	86
1/2 acre	25		54	70	80	85
1 acre	20		51	68	79	84
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98	98
Streets and roads:						
paved with curbs and storm sewers			98	98	98	98
gravel			76	85	89	91
dirt			72	82	87	89
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94	94
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91	93
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.						
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74	80
fair condition: grass cover on 50% to 75% of the area			49	69	79	84
Fallow	Straight row	----	77	86	91	94
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88	91
	Straight row	Good	67	78	85	89
	Contoured	Poor	70	79	84	88
	Contoured	Good	65	75	82	86
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80	82
	Contoured & terraced	Good	62	71	78	81
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	Contoured	Poor	63	74	82	85
		Good	61	75	81	84
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
Close - seeded	Straight row	Poor	66	77	85	89
legumes <u>4/</u>	Straight row	Good	58	72	81	85
or	Contoured	Poor	64	75	83	85
rotation	Contoured	Good	55	69	78	83
meadow	Contoured & terraced	Poor	63	73	80	83
	Contoured & terraced	Good	51	67	76	80

Collegamento Autostradale Dalmine – Como – Varese – Valico del Gaggiolo ed Opere ad Esso Connesse
 Progetto Definitivo delle opere della Tratta D
PROGETTO DEFINITIVO

Pasture		Poor	68	79	86
	89				
or range		Fair		49	69
	79	84			
		Good		39	61
	74	80			
Contoured		Poor	47	67	81
Contoured		Fair	6	35	70
Meadow		Good	30	58	71
Woods or		Poor	45	66	77
Forest land		Fair	36	60	73
		Good		25	55
	77				70
Farmsteads		----	59	74	82
				86	

Tabella 6 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

CN FOR CONDITION II	CORRESPONDING CN FOR CONDITION	
	I	II
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17

CN FOR CONDITION II	CORRESPONDING CN FOR CONDITION	
	I	II
0	0	0

Tabella 7 - Confronto fra i valori di CN nelle diverse condizioni idrologiche (Mc Cuen - SCS Method).

5.2.1.2 Determinazione del coefficiente di deflusso

Il ruolo del tipo di suolo e della copertura vegetale nella formazione del deflusso superficiale per gli stati idrologici di piena, che si identificano con eventi di piovosità intensa, è duplice; riguarda infatti, sia la funzione di trattenuta o intercettazione, sia il controllo del tempo di concentrazione delle portate superficiali.

Per la stima di tali parametri si devono tenere in conto i diversi fattori che influiscono sulla formazione dei deflussi, fra cui la natura dei terreni e la loro copertura vegetale, la capacità di accumulo del bacino l'effetto di laminazione dell'intera rete idrica superficiale, la presenza di zone urbanizzate ecc...

La stima del coefficiente di deflusso "C" è piuttosto 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 di "C" in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti.

È 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. In qualche caso si assume che il valore di "C" cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Il coefficiente di deflusso assunto è stato calcolato sia utilizzando la mappa di uso del suolo "CORINE LAND COVER" (determinandone il valore medio riferito alla superficie del bacino stesso), sia la carta geologica d'Italia in scala 1:100000 e sia tenendo conto del fenomeno denominato "OCCHI POLLINI", quest'ultimo risulta di grado "alto e molto alto" su tutta l'area attraversata dall'infrastruttura autostradale in progetto. In Figura 9 si riportano le

caratteristiche dell'uso del suolo in corrispondenza del bacino in analisi, in Figura 10 si riporta un estratto di mappa della "TAVOLA 8 – ASSETTO IDROLOGICO".

Sulla base di quanto detto si sono assunti coefficienti di deflusso pari a 0,4 sui rii Valle e Cava e 0,2 sul bacino residuo tra di essi intercluso; quest'ultimo coefficiente di valore più basso è stato assunto per rappresentare il deflusso per ruscellamento dell'apporto di piena sul piano campagna, data l'assenza di una sezione incisa, e quindi il conseguente effetto di laminazione della portata di piena.

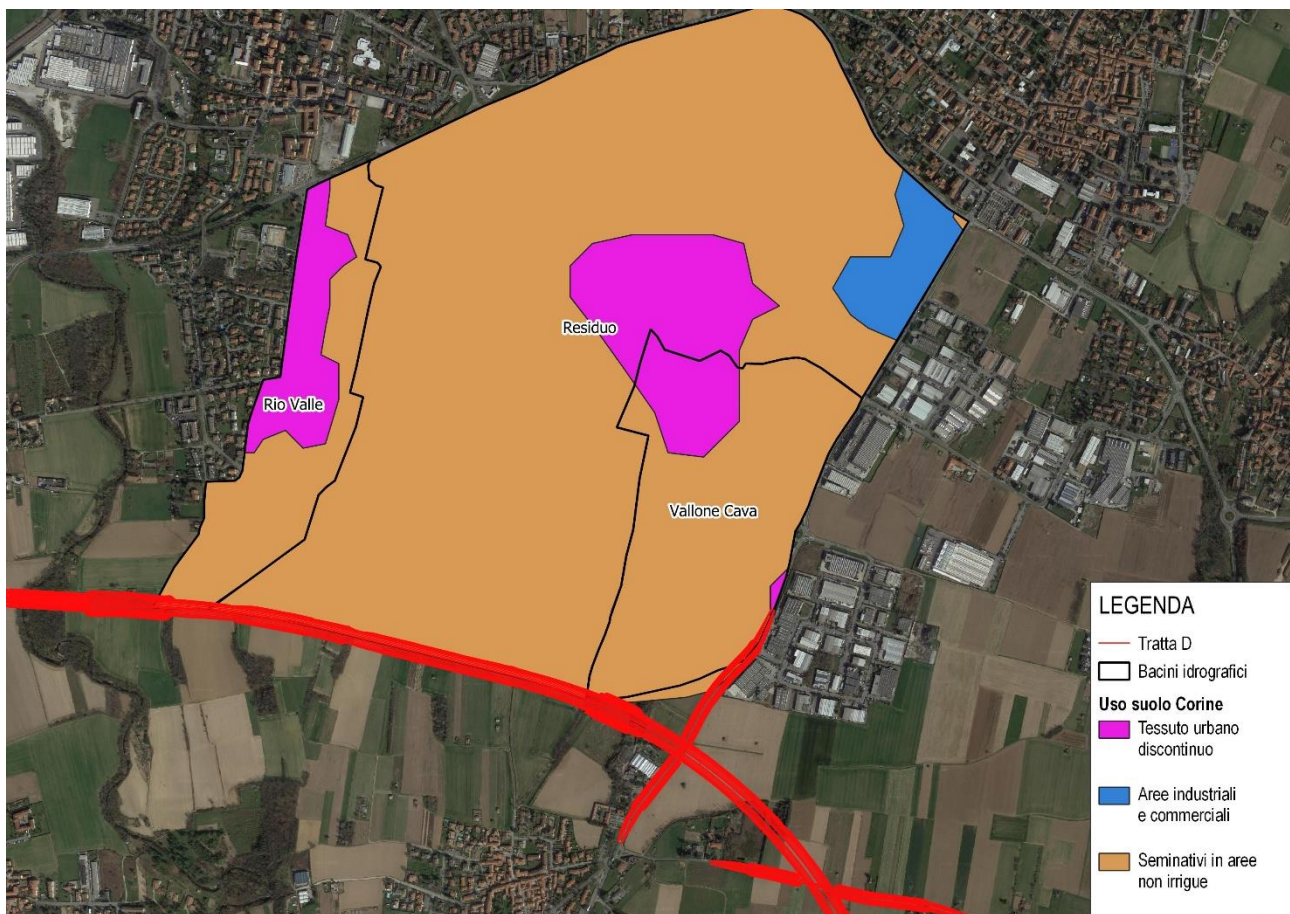


Figura 9 - Mappa di uso del suolo Corine Land Cover.

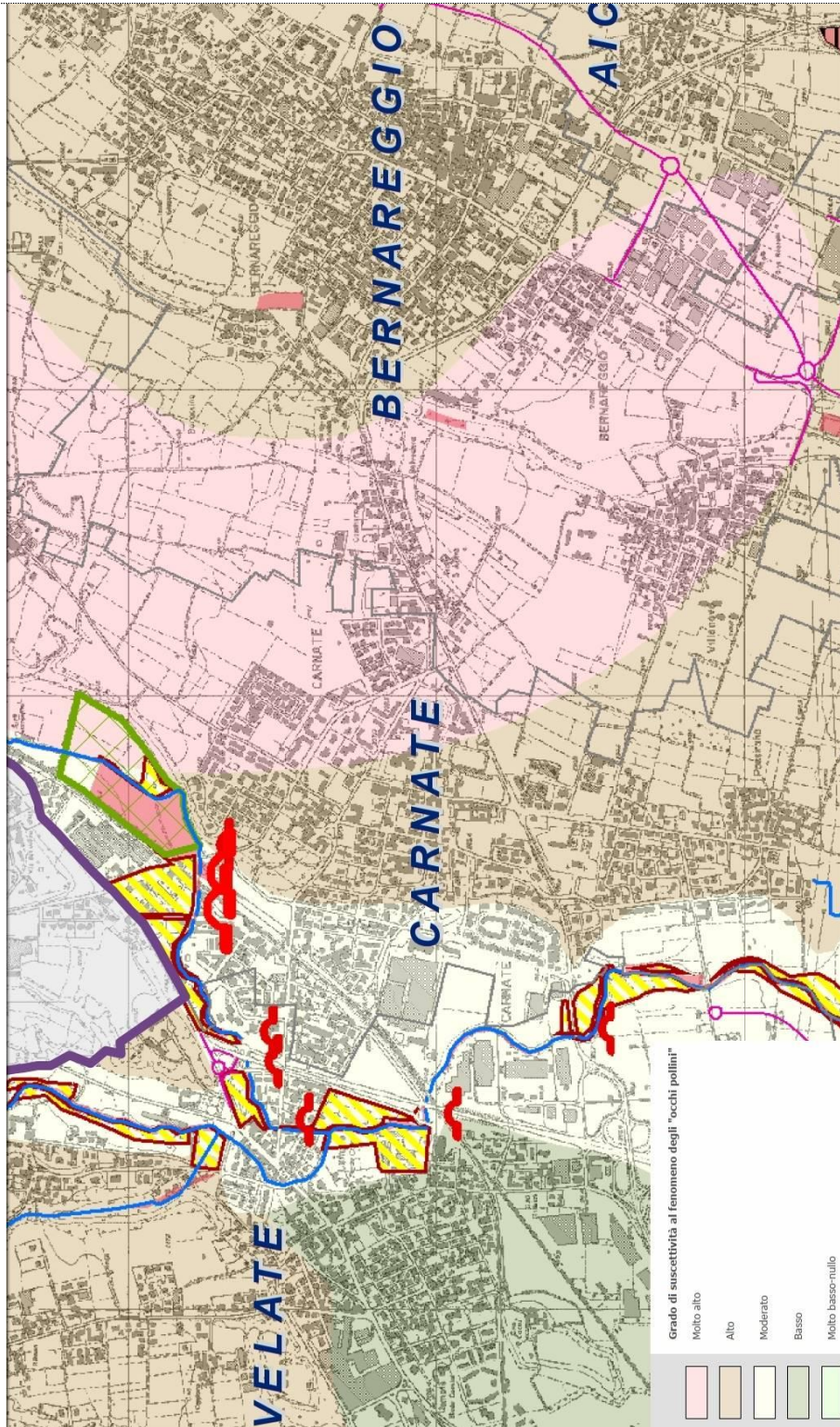


Figura 10 – Estratto di mappa della “TAVOLA 8 – Assetto idrogeologico – Fase di adozione e proposta di recepimento della verifica regionale e della valutazione di incidenza e di controdeduzione delle osservazioni”.

5.2.1.3 Risultati ottenuti

Applicando il metodo razionale nel calcolo delle portate di piena per tempo di ritorno assegnato si è reso necessario determinare, oltre al tempo di corrivazione e al coefficiente di deflusso, anche il valore delle altezze di pioggia intense di riferimento.

Sulla base della regionalizzazione elaborata dalla Regione Lombardia (cfr. paragrafo 4.2) per durate di precipitazione superiori all'ora, si sono determinati i parametri della curva di possibilità pluviometrica per i bacini in analisi. Nel seguito si riportano i parametri desunti dalla regionalizzazione pluviometrica intensa.

1. Rio Valle

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	31,1612555
N - Coefficiente di scala	0,30114331
GEV - parametro alpha	0,29674871
GEV - parametro kappa	-0,0173257
GEV - parametro epsilon	0,82326214

Da cui si ottengono i seguenti valori di w_T al variare del tempo di ritorno

Tempo di ritorno	20	50	100	200
w_T	1,72774	2,02119	2,24422	2,46914

2. Vallone Cava

A1 - Coefficiente pluviometrico orario	31,0898544
N - Coefficiente di scala	0,30090515
GEV - parametro alpha	0,29687794
GEV - parametro kappa	-0,0172052
GEV - parametro epsilon	0,82323897

Tempo di ritorno	20	50	100	200
w_T	1,72794	2,02141	2,24442	2,46930

Come si vede vi è equivalenza tra i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, data la vicinanza dei bacini idrografici; nei calcoli idrologici, pertanto, si sono assunti come riferimento i valori determinati per il rio Valle, leggermente superiori a quelli del vallone Cava.

Si è quindi reso necessario determinare i valori di a e di n per le durate inferiori all'ora, dato il tempo di corrivazione del rio Valle e Cava.

La Regione Lombardia prescrive nella metodologia di applicazione della regionalizzazione pluviometrica intensa di utilizzare il parametro " $a \cdot w_T$ " orario e di fissare come esponente " n " il valore di 0,5.

Si è inoltre applicata la metodologia sviluppata da HYDRODATA S.p.A. illustrata al paragrafo 4.4; i valori risultanti di " a " e di " n " per durate inferiori all'ora sono risultati i seguenti:

Tempo di ritorno	a	n
20	53,09	0,437
50	62,11	0,437
100	68,96	0,437
200	75,88	0,437

Si sono quindi calcolate le portate per tempo di ritorno assegnato utilizzando per il rio Valle ed il vallone Cava le intensità di pioggia di durata inferiori all'ora ottenute utilizzando le 2 metodologie sopra esposte, mentre per il bacino residuo si sono assunti i parametri di pioggia superiori all'ora determinati da ARPAL.

I risultati ottenuti sono nel seguito esposti.

Denominazione bacino	TR (anni)	S (km ²)	Tc (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q_{100} (m ³ /s/km ²)
Rio Valle	20	0,288	0,51	53,09	0,437	39,66	0,40	2,48	8,59	0,17
Vallone Cava	20	0,458	0,56	53,09	0,437	41,26	0,40	3,74	8,16	0,22
Rio Valle	50	0,288	0,51	62,11	0,437	46,39	0,40	2,90	10,05	0,20
Vallone Cava	50	0,458	0,56	62,11	0,437	48,27	0,40	4,38	9,55	0,26
Rio Valle	100	0,288	0,51	68,96	0,437	51,51	0,40	3,22	11,16	0,22
Vallone Cava	100	0,458	0,56	68,96	0,437	53,59	0,40	4,86	10,60	0,29
Rio Valle	200	0,288	0,51	75,88	0,437	56,68	0,40	3,54	12,28	0,24
Vallone Cava	200	0,458	0,56	75,88	0,437	58,97	0,40	5,35	11,67	0,32

Tabella 8 – Calcolo delle portate al colmo per tempo di ritorno assegnato utilizzando la metodologia sviluppata da Hydrodata S.p.A. per i bacini Valle e Cava.

PROGETTO DEFINITIVO

Denominazione bacino	TR (anni)	S (km ²)	Tc (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q100 (m ³ /s/km ²)
Rio Valle	20	0.288	0,51	53,84	0,500	38,56	0,40	2,41	8,35	0,17
Vallone Cava	20	0.458	0,56	53,84	0,500	40,35	0,40	3,66	7,98	0,22
Rio Valle	50	0.288	0,51	62,98	0,500	45,10	0,40	2,82	9,77	0,19
Vallone Cava	50	0.458	0,56	62,98	0,500	47,20	0,40	4,28	9,34	0,25
Rio Valle	100	0.288	0,51	69,93	0,500	50,08	0,40	3,13	10,85	0,22
Vallone Cava	100	0.458	0,56	69,93	0,500	52,41	0,40	4,75	10,37	0,28
Rio Valle	200	0.288	0,51	76,94	0,500	55,10	0,40	3,44	11,94	0,24
Vallone Cava	200	0.458	0,56	76,94	0,500	57,66	0,40	5,23	11,41	0,31

Tabella 9 – Calcolo delle portate al colmo per tempo di ritorno assegnato utilizzando la metodologia sviluppata da ARPAL per i bacini Valle e Cava.

Denominazione bacino	TR (anni)	S (km ²)	Tc (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q100 (m ³ /s/km ²)
Residuo	20	1.949	1,31	53,84	0,300	58,34	0,20	4,84	2,48	0,18
Residuo	50	1.949	1,31	62,98	0,300	68,24	0,20	5,66	2,90	0,21
Residuo	100	1.949	1,31	69,93	0,300	75,77	0,20	6,28	3,22	0,23
Residuo	200	1.949	1,31	76,94	0,300	83,36	0,20	6,91	3,54	0,25

Tabella 10 – Calcolo delle portate al colmo per tempo di ritorno assegnato utilizzando la metodologia sviluppata da ARPAL per il bacino residuo.

Le tabelle dei risultati delle portate al colmo per i bacini del rio Valle e vallone Cava mostrano una sostanziale equivalenza delle portate al colmo; i valori ottenuti utilizzando la metodologia sviluppata da Hydrodata sono leggermente superiori di quelli ARPAL. Nelle verifiche idrauliche di dimensionamento delle opere di attraversamento autostradali la cui portata di riferimento è quella a tempo di ritorno 200 anni, si sono utilizzati i valori di Tabella 8.

Si è eseguito inoltre un confronto tra i valori ottenuti con il presente progetto e quelli dello Studio di fattibilità sviluppato in precedenza, che ha mostrato una perfetta congruenza tra le portate calcolate.