

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA  
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.**

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

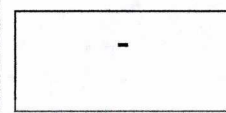
**PROGETTO PRELIMINARE**

**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA  
LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC VERONA-PADOVA**

**NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO EST**

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

**RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE**



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

I N O F    2 0    R    2 6    R H    I D 0 0 0 1    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. UO INFRASTRUTTURE NORD
A	Emissione Esecutiva	S.Scafa	Maggio 2017	R. Sacchi	Maggio 2017	C. Mazzocchi	Maggio 2017	Aut. UO INFRASTRUTTURE NORD Ing. Francesco Sacchi Via S. Maria 100 - 00100 Roma Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma n. 2317/2 Sez.

UO INFRASTRUTTURE NORD  
 Ing. Francesco Sacchi  
 Via S. Maria 100 - 00100 Roma  
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
 n. 2317/2 Sez.

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE .....</b>	<b>5</b>
	<b>2.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
	<b>2.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO .....</b>	<b>6</b>
	<b>2.3 RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO IDRAULICO.....</b>	<b>9</b>
	<b>3.1 PERICOLOSITÀ IDRAULICA .....</b>	<b>14</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA.....</b>	<b>18</b>
	<b>4.1 METODOLOGIE OPERATIVE.....</b>	<b>18</b>
	<b>4.2 PLUVIOMETRIA.....</b>	<b>20</b>
	4.2.1 Elaborazione dati pluviometrici .....	21
	4.2.2 Curva di possibilità climatica.....	25
	<b>4.3 RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI .....</b>	<b>27</b>
	<b>4.4 VALORI ADOTTATI .....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUZIONE

L'intervento oggetto di studio è la realizzazione dell'ingresso Est nel nodo ferroviario di Verona della nuova tratta AV/AC Verona-Padova e il suo collegamento con quanto già realizzato con l'intervento dell'ingresso da Ovest della tratta Brescia-Verona. Questo intervento rappresenta la seconda e conclusiva fase dell'intervento complessivo di sistemazione del nodo AV/AC di Verona.

Obiettivo della presente relazione è la definizione dei dati pluviometrici per piogge intense di breve durata con stima dei necessari parametri, lo studio dei sottobacini idraulici dei corsi d'acqua interessati dal tracciato ferroviario, la raccolta dei dati relativi ai corsi d'acqua maggiori, il censimento del reticolo idraulico e la delimitazione delle fasce fluviali.

Per gli studi idrologici volti al dimensionamento del nuovo ponte ferroviario sull'Adige, nell'ambito del Nodo di Verona per l'inserimento della linea AV/AC Milano-Venezia si rimanda alla relazione IN0F 20 R 09 RI ID 0001 001.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- Reperimento della cartografia di base: scale variabili: 1:25000, 1:5000;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- Raccolta ed analisi preliminare dei dati pluviometrici;
- Analisi statistica delle piogge intense e determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative.

Le curve di probabilità pluviometrica sono state stimate per periodi di ritorno pari a 10, 30, 50, 100 e 200 anni.

**RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	EV.	FOGLIO
INOF	20	R 26 RH	ID0001 001	A	4 di 32

Gli elaborati prodotti nell'ambito del presente studio sono riportati in Tabella 1.

IDROLOGIA E IDRAULICA	CODIFICA	SCALA
Relazione idrologica generale	INOF 2 0 R 26 RH ID 00 0 1 001 A	-
Relazione idraulica generale	INOF 2 0 R 26 RI ID 00 0 2 001 A	-
Corografia dei bacini e reticolo idrografico	INOF 2 0 R 09 C2 ID 00 0 1 001 A	1:50000
Carta di inquadramento della pericolosità idraulica	INOF 2 0 R 26 C4 ID 00 0 2 001 A	1:10000
Carta di inquadramento del rischio idraulico PGRA - Tav. 1/2	INOF 2 0 R 26 C5 ID 00 0 2 001 A	1:5000
Carta di inquadramento del rischio idraulico PGRA - Tav. 2/2	INOF 2 0 R 26 C5 ID 00 0 2 002 A	1:5000
Sezioni tipo idrauliche	INOF 2 0 R 26 WA ID 00 0 2 001 A	1:100
Tipologici idraulici	INOF 2 0 R 26 WZ ID 00 0 2 001 A	Varie
<b>Studio idraulico Fiume Adige - Risultati del modello Bidimensionale</b>		
Relazione idrologica	INOF 2 0 R 09 RI ID 00 0 1 001 A	-
Relazione idraulica	INOF 2 0 R 09 RI ID 00 0 2 001 A	-
Planimetria delle aree a pericolosità idraulica del PAI	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 001 A	1:2000
Planimetria ubicazione sezioni di studio e rilievi	INOF 2 0 R 09 P5 ID 00 0 2 001 A	1:5000
Confronto ante e post operam dei massimi livelli idrici per Tr 30 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 002 A	1:2000
Confronto ante e post operam dei massimi livelli idrici per Tr 100 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 003 A	1:2000
Confronto ante e post operam dei massimi livelli idrici per Tr 200 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 004 A	1:2000
Confronto ante e post operam dei massimi livelli idrici per Tr 500 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 005 A	1:2000
Confronto ante e post operam delle velocità per Tr 30 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 006 A	1:2000
Confronto ante e post operam delle velocità per Tr 100 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 007 A	1:2000
Confronto ante e post operam delle velocità per Tr 200 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 008 A	1:2000
Confronto ante e post operam delle velocità per Tr 500 anni	INOF 2 0 R 09 P6 ID 00 0 2 009 A	1:2000
Sezioni idrauliche con indicazione dei massimi livelli idrici - ante operam - 1 di 3	INOF 2 0 R 09 WZ ID 00 0 2 001 A	Varie
Sezioni idrauliche con indicazione dei massimi livelli idrici - ante operam - 2 di 3	INOF 2 0 R 09 WZ ID 00 0 2 002 A	Varie
Sezioni idrauliche con indicazione dei massimi livelli idrici - ante operam - 3 di 3	INOF 2 0 R 09 WZ ID 00 0 2 003 A	Varie
Sezioni idrauliche con indicazione dei massimi livelli idrici - post operam - 1 di 3	INOF 2 0 R 09 WZ ID 00 0 2 004 A	Varie
Sezioni idrauliche con indicazione dei massimi livelli idrici - post operam - 2 di 3	INOF 2 0 R 09 WZ ID 00 0 2 005 A	Varie
Sezioni idrauliche con indicazione dei massimi livelli idrici - post operam - 3 di 3	INOF 2 0 R 09 WZ ID 00 0 2 006 A	Varie
Profili di rigurgito ante-operam	INOF 2 0 R 09 FZ ID 00 0 2 001 A	Varie
Profili di rigurgito post-operam	INOF 2 0 R 09 FZ ID 00 0 2 002 A	Varie
<b>Sistemazione idraulica Fiume Adige</b>		
Sottofasi esecutive della sistemazione	INOF 2 0 R 09 PZ ID 00 0 2 001 A	Varie
Planimetria e sezioni della sistemazione di progetto	INOF 2 0 R 09 PZ ID 00 0 2 002 A	Varie

Tabella 1: Elaborati prodotti nell'ambito del presente studio

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area oggetto di studio si colloca dallo svincolo della A22, Autostrada del Brennero in direzione Est fino a San Michele Extra. Il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa in affiancamento alla linea storica per una lunghezza di 8050 m circa.

In Figura 1 si riporta una foto aerea con indicazione dell'area oggetto di studio (Bing mappe).

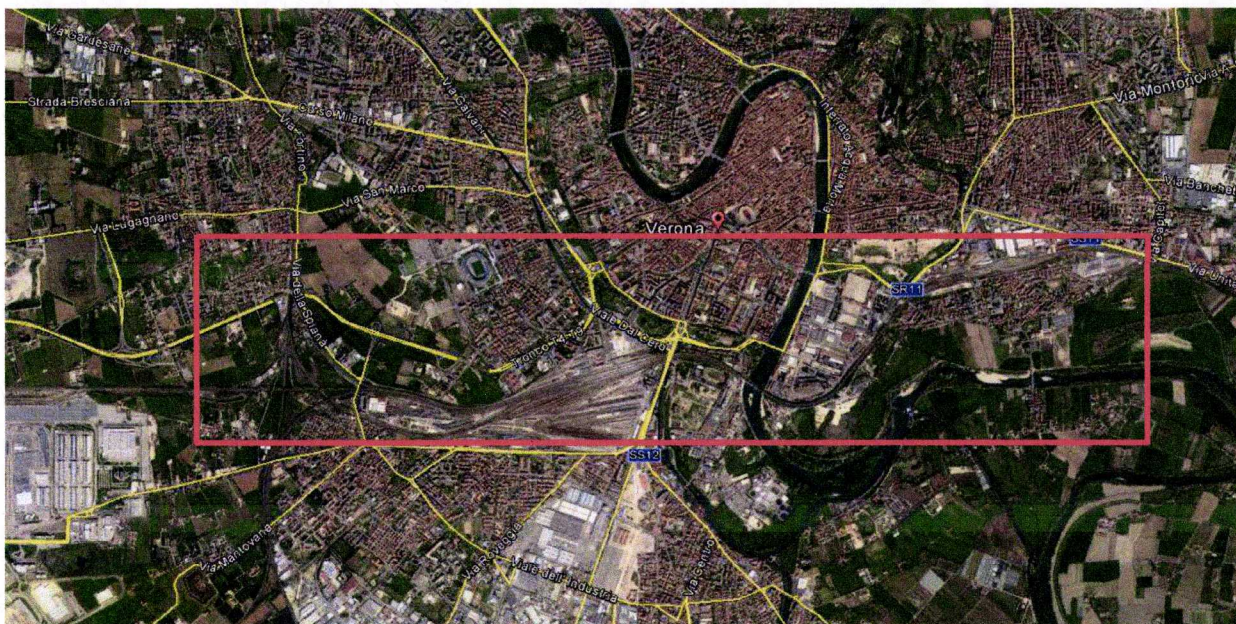


Figura 1: Inquadramento territoriale con individuazione dell'area di intervento

### 2.1 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

Il tracciato ferroviario in progetto si colloca in un territorio caratterizzato da morfologie regolari, sub pianeggiante debolmente degradante verso sud-est. Le quote topografiche vanno dai 70÷75 m circa s.l.m. in corrispondenza dello svincolo della A22, Autostrada del Brennero ai 55÷60 m s.l.m. circa della zona di San Michele.

L'aspetto morfologico attuale del territorio veronese è fortemente legato all'evoluzione tardo pleistocenica e olocenica dei fiumi alpini Adige, Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta. Essi hanno infatti ripetutamente cambiato percorso a valle del loro sbocco montano interessando aree molto ampie. Si sono così formati sistemi sedimentari allungati fino al mare

<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	EV.	FOGLIO
	IN0F	20	R 26 RH	ID0001 001	A	6 di 32

di notevole estensione areale caratterizzati da una notevole selezione granulometrica dei sedimenti che da monte a valle passano da ghiaie a sabbie a limi e infine argille.

Le caratteristiche delle unità geologiche presenti nell'area sono intimamente legate agli elementi geomorfologici riconosciuti in superficie e, complessivamente, sono il prodotto dei processi deposizionali ed erosivi attuatisi tra le fasi finali del Pleistocene e l'Attuale, ossia negli ultimi 150.000 anni circa.

Dalla Carta Geologica d'Italia si evince che il sottosuolo dell'area di studio è costituito da sedimenti alluvionali fluvioglaciali e fluviali depositi dell'antico Fiume Adige al termine del percorso montano. Più a sud dell'area di interesse, nell'ambito della media e bassa pianura, le ampie conoidi ghiaiose dell'Adige si intercalano con depositi sabbiosi, limosi e argillosi dando luogo alla "fascia delle risorgive".

Si rimanda alla "Relazione Geologica, geomorfologica ed idrogeologica" per maggiori approfondimenti (IN0F 20 R 69 RG GE 0001 001 A).

## **2.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO**

Il sottosuolo dell'Alta Pianura Veronese è costituito prevalentemente da materiali sciolti a granulometria grossolana, ghiaioso-sabbiosi, di origine fluvioglaciale, depositati dal fiume Adige e dai corsi d'acqua provenienti dalle valli dei Monti Lessini, che hanno costruito grandi conoidi sovrapposte con spessori che raggiungono i 200 metri. Questo materasso ghiaioso con permeabilità media elevata, è caratterizzato dalla presenza di un unico grande acquifero freatico indifferenziato che, procedendo verso SE si suddivide progressivamente in sistemi di più acquiferi sovrapposti e separati tra loro da livelli di sedimenti fini praticamente impermeabili. Questi livelli a minor permeabilità, assumono notevole importanza nel settore delle risorgive, consentendo nel sottosuolo la strutturazione tipica del sistema multi falde in pressione e l'emergenza dei fontanili. L'intero sistema idrogeologico è alimentato principalmente dalle dispersioni del tratto montano del Fiume Adige (decine di m<sup>3</sup>/s), dagli afflussi meteorici diretti, a cui corrisponde una portata media annua di 3-4 m<sup>3</sup>/s, dalle dispersioni dei corsi d'acqua provenienti dalle valli dei Lessini, ed infine, in misura nettamente inferiore, dalle infiltrazioni provenienti dalle pratiche irrigue.

La direzione media del deflusso idrico sotterraneo è NNW-SSE quindi subparallela alla direzione di deflusso del Fiume Adige, mentre il regime della falda è distinto da una sola fase di piena coincidente col periodo ricadente tra la fine dell'estate e l'inizio dell'autunno, e da una sola fase di magra all'inizio della primavera. Questo comportamento è analogo a quello del Fiume Adige, con uno sfasamento di circa 2-3 mesi.

In riferimento ai dati puntuali lungo il profilo, la falda freatica si colloca ad una profondità maggiore di 30 m da p.c. nei pressi dello svincolo A22 del Brennero e ad una profondità inferiore a 10÷15 m da p.c. nella zona di San Michele. Nei pressi del fiume Adige la piezometrica risale fino a raggiungere quote prossime al piano campagna.

L'elemento idrografico principale del territorio Veronese è rappresentato dal Fiume Adige, il cui alveo attuale scorre con direzione NW-SE con un corso piuttosto rettilineo e ben definito, fatta eccezione per alcuni meandri nella zona di Verona.

L'area oggetto di studio è interessata da numerosi scoli e canali i cui alvei sono stati spesso modificati e rettificati sia per esigenze di sviluppo urbanistico sia per l'uso agricolo.

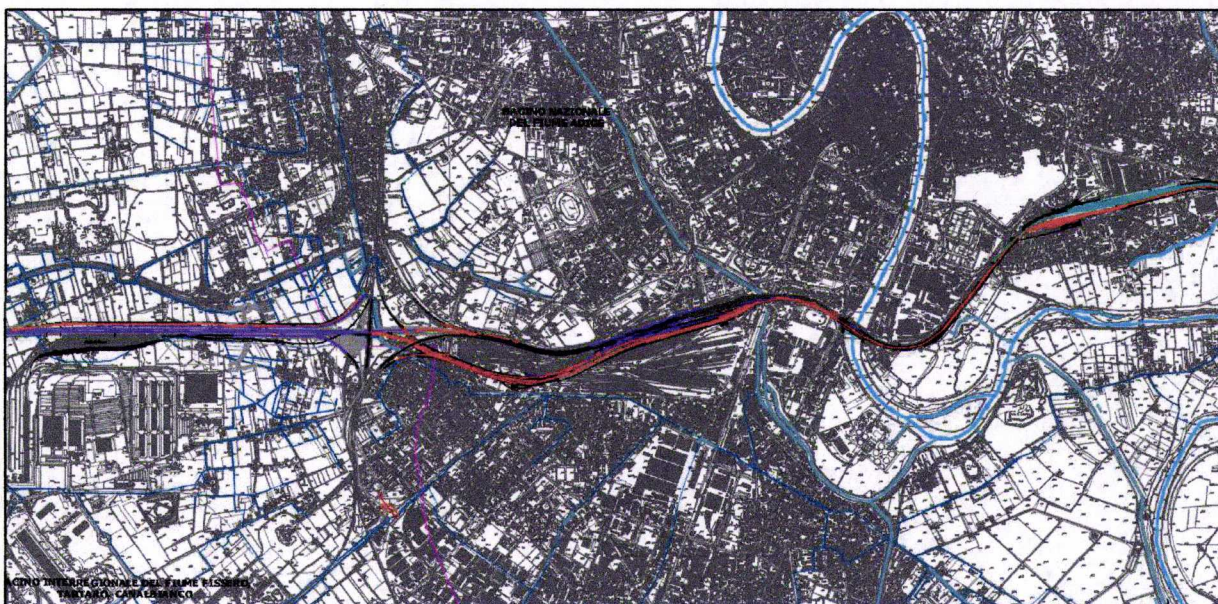


Figura 2: Reticolo Idrografico

### 2.3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE
- Norme di attuazione delle direttive del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige approvato con D.P.C.M. 27-04-2006 e adottato dal Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Adige con delibere n°01/2005 del 02/2005;
- Norme di Attuazione del Piano di Assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino Interregionale del fiume Fissero, Tartaro, CanalBianco;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Alpi Orientali (P.G.R.A. 03/03/2016);
- Norme tecniche di attuazione al Piano di Tutela delle acque della Regione Veneto, Allegato A3 alla Deliberazione del Consiglio Regionale n. 107 del 5/11/2009;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008);
- DM.LL.PP del 12-12-1985, Norme tecniche relative alle tubazioni;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- Ministero dei Trasporti e dell'Aviazione Civile - DM 23 Febbraio 1971, n. 2445 e ss.mm.ii. "Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto".



<b>RELAZIONE IDROLOGICA GENERALE</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	EV.	FOGLIO
	IN0F	20	R 26 RH	ID0001 001	A	9 di 32

### 3 INQUADRAMENTO NORMATIVO IDRAULICO

L'elemento idrografico principale del territorio Veronese è rappresentato dal Fiume Adige, il cui alveo attuale scorre con direzione NW-SE con un corso piuttosto rettilineo e ben definito, fatta eccezione per alcuni meandri nella zona di Verona.

L'area oggetto di studio è interessata inoltre da numerosi scoli e canali i cui alvei sono stati spesso modificati e rettificati sia per esigenze di sviluppo urbanistico sia per l'uso agricolo. Risulta fondamentale individuare tutti gli organismi competenti in materia di gestione e di pianificazione della zona di intervento per inserire il progetto in un quadro organizzativo più ampio.

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



Figura 3: Suddivisione territoriale in distretti

La Regione del Veneto è interessata da due Distretti: il Distretto Padano e il Distretto Alpi Orientali. Nel progetto in essere ricadiamo completamente in un unico Distretto Idrografico, il Distretto delle Alpi Orientali ([www.alpiorientali.it](http://www.alpiorientali.it)).

Al Distretto delle Alpi orientali appartengono complessivamente 14 Bacini Idrografici:

- il bacino idrografico dell'Adige, già bacino nazionale;
- i bacini idrografici dell'Isonzo, del Tagliamento, del Livenza, del Piave e del Brenta - Bacchiglione, già bacino nazionale;
- i bacini idrografici del Lemene e del Fissero – Tartaro - Canalbianco, già bacini interregionali
- il bacino dello Slizza (ricadente nel bacino del Danubio), del Levante, quello dei tributari della Laguna di Marano-Grado, quello della pianura tra Piave e Livenza, quello del Sile e quello scolante della Laguna di Venezia, già bacini regionali.

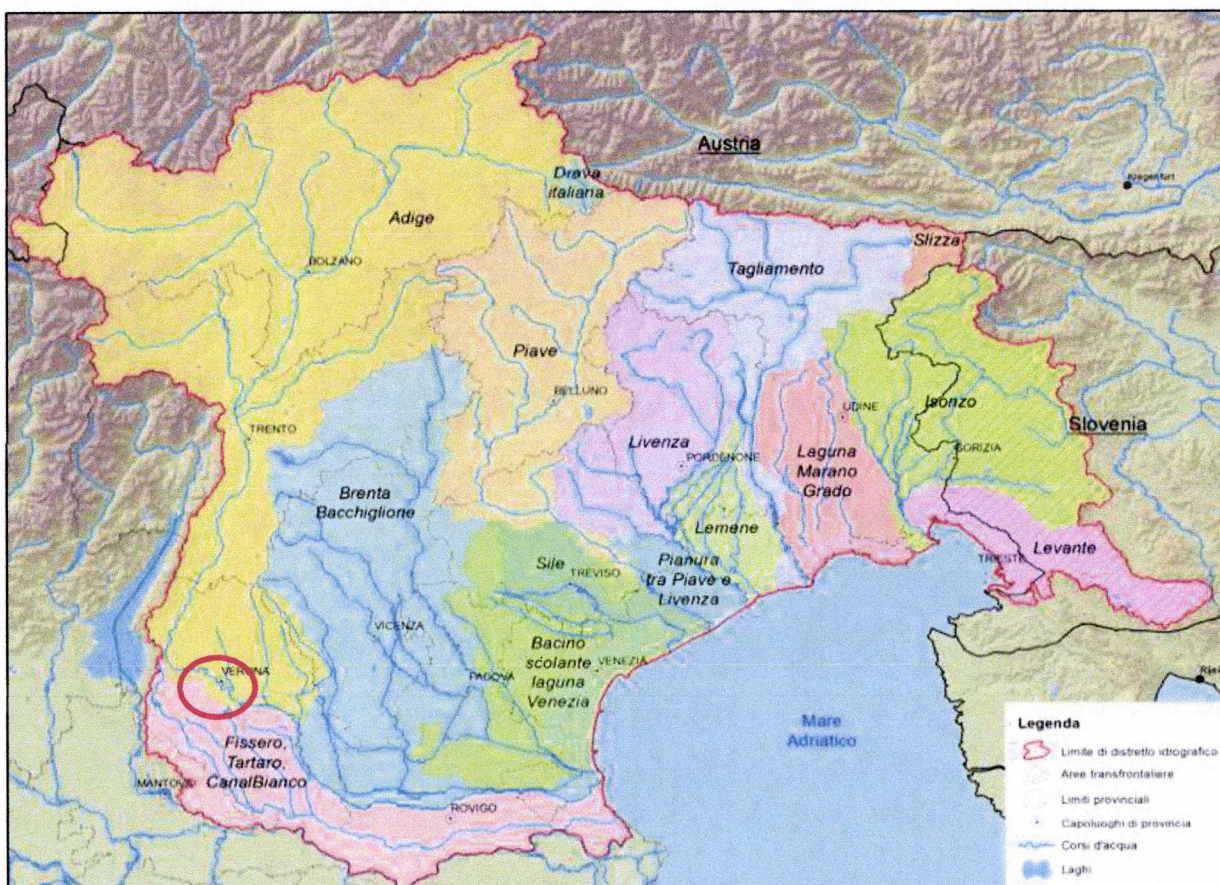


Figura 4: Bacini idrografici del distretto delle Alpi Orientali

Il principale strumento normativo delle Autorità di bacino distrettuale è il Piano di Bacino idrografico, definito come “lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono individuate e programmate le azioni finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e la corretta utilizzazione delle acque. Il Piano di bacino è uno strumento conoscitivo in quanto offre un quadro di riferimento del contesto fisico, ambientale ed antropico del bacino idrografico. E’ strumento normativo in quanto detta prescrizioni e direttive per la salvaguardia, la tutela e la bonifica delle risorse suolo e acqua nella loro accezione più ampia. E’ infine strumento tecnico-operativo, perché individua gli interventi strutturali e non strutturali per la difesa del suolo e gestione delle risorse idriche a seconda della loro finalità (prevenzione, sistemazione, conservazione, corretta utilizzazione e risanamento).

Il decreto legislativo 152/2006 prevedeva che le Autorità di bacino esistenti dovessero essere abrogate e sostituite da nuove Autorità di bacino distrettuali, a far data dal 30 aprile 2006. In realtà, mancando l’atto normativo di istituzione delle Autorità di distretto, si è creata una situazione di vuoto istituzionale, parzialmente risolta dal primo decreto correttivo (D. Lgs. 284/2006) che ha prorogato le Autorità di bacino, in attesa delle conclusioni del processo di revisione e correzione del decreto. Fino al 2015, in attuazione di quanto previsto dall’Articolo 4 del decreto legislativo 10 dicembre 2010, n. 219, le Autorità di bacino nazionali dovevano contribuire agli adempimenti degli obblighi derivanti dalle direttive 2000/60/CE e 2007/60/CE, relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni.

Il 17 febbraio 2017 è entrato in vigore il decreto del Ministro dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare n. 294 del 25 ottobre 2016 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 27 del 2 febbraio 2017) in materia di Autorità di bacino distrettuali, che disciplina la fase di subentro dell’Autorità di bacino distrettuale in tutti i rapporti attivi e passivi delle Autorità di bacino nazionali, interregionali e nazionali di cui alla Legge 18 maggio 1989, n. 183, ricadenti nel distretto delle Alpi Orientali.

Dall’entrata in vigore del suddetto D.M. 294/2016, risultano dunque soppresse tutte le Autorità di bacino di cui alla legge 183/1989 e i relativi organi ma ancora fondamentali sono i

PAI e le Norme di Attuazione degli stessi approvate dalla Autorità di Bacino di interesse, non essendo tutt'oggi i PGRA corredati da Norme di Attuazione.

L'intervento in progetto, come mostrato nella figura seguente, ricade in due Bacini Idrografici della Regione Veneto, il Bacino del Fiume Adige e il Bacino del Fiume Fissero, Tartaro, Canalbianco già bacini precedentemente e gestiti precedentemente da due Autorità di Bacino:

- Autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige;
- Autorità di Bacino interregionale del Fiume Fissero, Tartaro, Canalbianco.

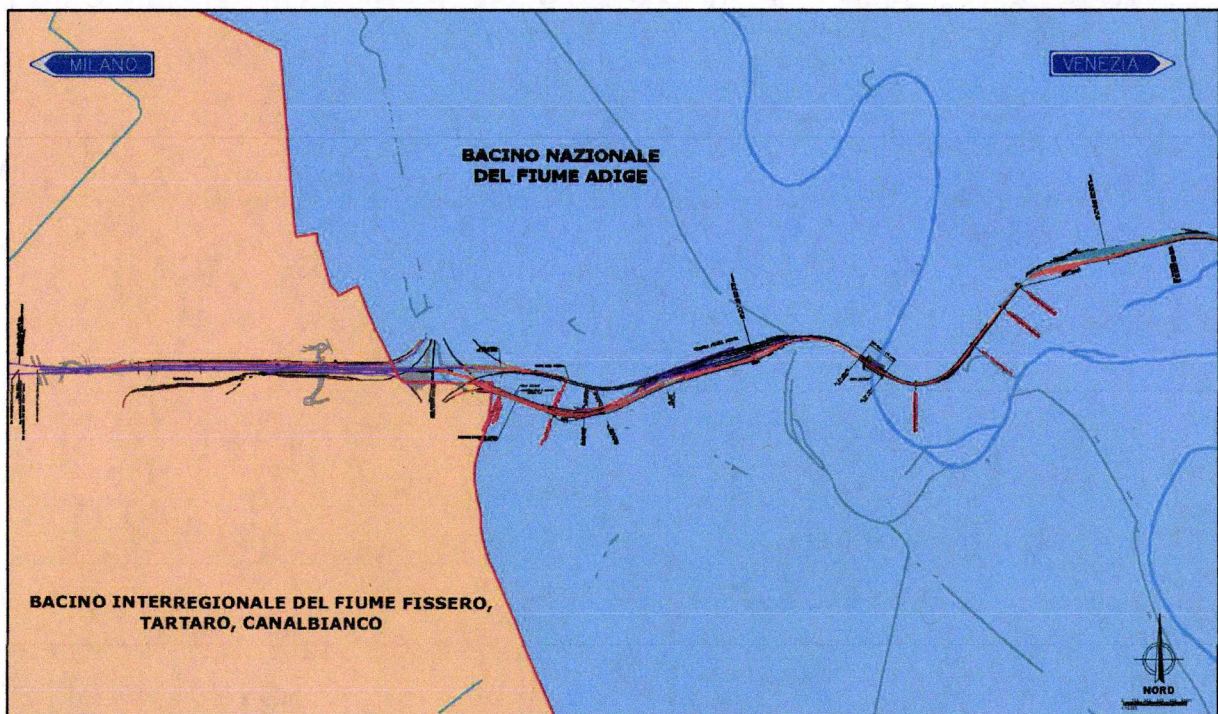


Figura 5: Inquadramento con limiti delle autorità' di bacino

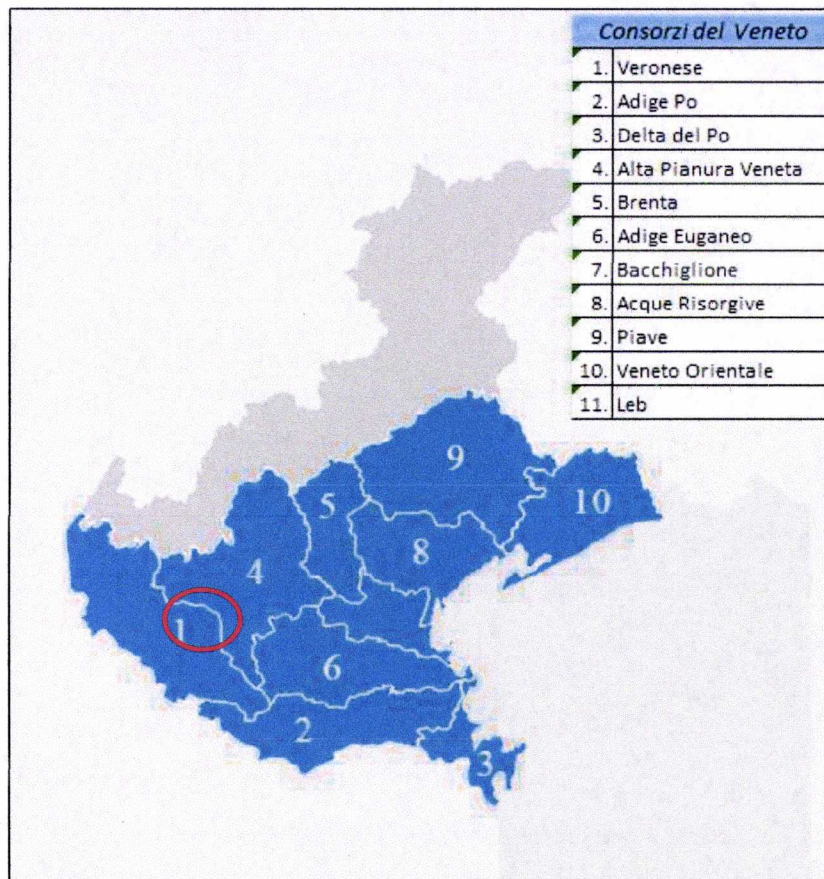
Il principale strumento di pianificazione e programmazione dell'Autorità era costituito dal Piano di bacino idrografico. Piano territoriale di settore e strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale vengono pianificate e programmate le attività e le norme d'uso.

### *ConSORZI di Bonifica*

Nell'area di interesse risultano notevoli i canali di bonifica.

Per garantire la difesa del territorio dai rischi di allagamento e sommersione sono indispensabili una costante manutenzione ed un periodico adeguamento della rete di canali e delle opere di bonifica per rispondere efficacemente alle mutate esigenze causate dall'estendersi dell'urbanizzazione e da un uso sempre più intensivo del territorio. Risulta dunque importante considerare le possibili modifiche, funzione dell'intervento in essere, che potrebbero interessare l'attuale assetto dei canali di bonifica.

L'Anbi Veneto, Unione Regionale Consorzi di gestione e tutela del territorio e acque irrigue, associa e rappresenta tutti i 10+1 Consorzi di bonifica del Veneto che operano nel settore della difesa del suolo e della gestione delle risorse idriche.



**Figura 6: Suddivisione territoriale consorzi di bonifica**

Il tracciato in progetto ricade in due consorzi di bonifica: il consorzio Veronese e il consorzio Alta Pianura Veneta.



Figura 7: Inquadramento con limiti consortili

### 3.1 PERICOLOSITÀ IDRAULICA

La direttiva europea CE/2007/60, cosiddetta "*Direttiva alluvioni*", emanata dal Parlamento europeo 23 ottobre 2007, stravolge interamente il quadro normativo fino ad ora presente, in materia di valutazione e gestione dei rischi di alluvioni in Europa. È stata recepita nell'ordinamento italiano con il d.lgs. 49/2010, ad oggetto "*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni*".

La direttiva prevede la definizione del quadro conoscitivo relativo alla pericolosità e rischio da alluvione ed introduce il concetto della "gestione" del rischio nel senso più ampio, sotto il profilo sia delle misure strutturali di mitigazione del rischio per la riduzione delle condizioni di pericolosità sia delle misure non strutturali per la riduzione del danno atteso e del relativo livello di rischio (comprese le necessarie azioni e misure di Protezione Civile).

Il D.Lgs 49/2010 individua, inoltre, quali Autorità competenti a redigere le suddette mappature ed il relativo piano di gestione, le Autorità di Bacino distrettuali, come definite sul territorio nazionale dalla parte terza del vigente D.lgs. 152/2006, nonché le Regioni come Autorità competenti per gli aspetti di protezione civile di cui sono già titolari ai sensi della normativa di settore.

La Direttiva Alluvioni 2007/60/CE istituisce quindi un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni. Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) va aggiornato ogni 6 anni. Il Piano è caratterizzato da scenari di allagabilità e di rischio idraulico su tre differenti tempi di ritorno (30, 100, 300 anni). La mitigazione del rischio è stata affrontata interessando, ai vari livelli amministrativi, le competenze proprie sia della Difesa del Suolo (pianificazione territoriale, opere idrauliche e interventi strutturali, programmi di manutenzioni dei corsi d'acqua), sia della Protezione Civile (monitoraggio, presidio, gestione evento e post evento), come stabilito dal D.Lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva Alluvioni.

Tra gli scopi del PGRA significativa è la finalità di assicurare la necessaria sinergia tra le diverse discipline e azioni proprie della Protezione civile e quelle della pianificazione di bacino, tenendo conto che i temi trattati dai piani di protezione civile e dalla pianificazione (Piani di Assetto Idrogeologico o PAI e piani urbanistico-territoriali) pur correlati, agiscono su scenari di riferimento ed applicazione spazio-temporale profondamente diversi. I primi fondati su azioni di brevissimo periodo, i secondi caratterizzati da azioni ad elevata inerzia (spazio-temporale).

La politica nella gestione del rischio da alluvione che è emersa dal confronto con i portatori di interesse (nei diversi livelli illustrati nel documento di Piano) e che il PGRA ha inteso rappresentare, può essere colta attraverso l'importanza che il Piano ha attribuito alle misure di mitigazione non strutturale, non più considerate di carattere complementare, ma principali ed integrate, se necessario, dalle tradizionali misure strutturali già previste in gran parte dai piani di bacino e dai PAI.

Nel contesto di un chiarimento dei ruoli dei diversi strumenti di pianificazione, il Comitato istituzionale (con delibera n. 1 del 17.12.2015) ha stabilito che il PGRA non

costituisce automatica variante dei PAI - dei bacini componenti il distretto idrografico delle Alpi Orientali - che continuano a costituire riferimento per gli strumenti urbanistici di pianificazione e gestione del territorio, nonché per la pianificazione di settore che consideri l'assetto idrogeologico del territorio.

Si riportano di seguito uno stralcio delle mappe di pericolosità e rischio idraulico dell'area di interesse estrapolate dal Piano di Gestione Rischio Alluvione del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali per i soli scenari di bassa probabilità (per il fiume Adige il tempo di ritorno dello scenario a bassa probabilità è pari a 200 anni).

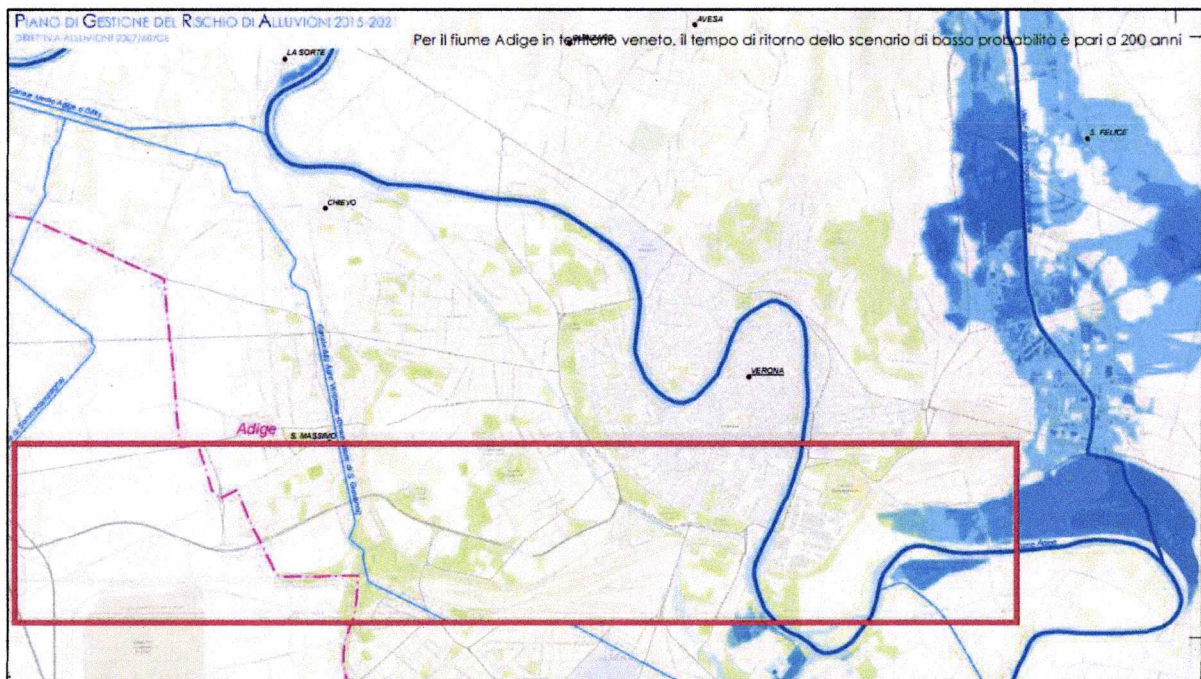






Figura 8: Estratto elaborato AREE ALLAGABILI – ALTEZZE IDRICHE (Tavola P03-HLP-WH)

Classi di altezza idrica

-  0 - 0.5 m
-  0.5 - 1 m
-  1 - 2 m
-  > 2 m



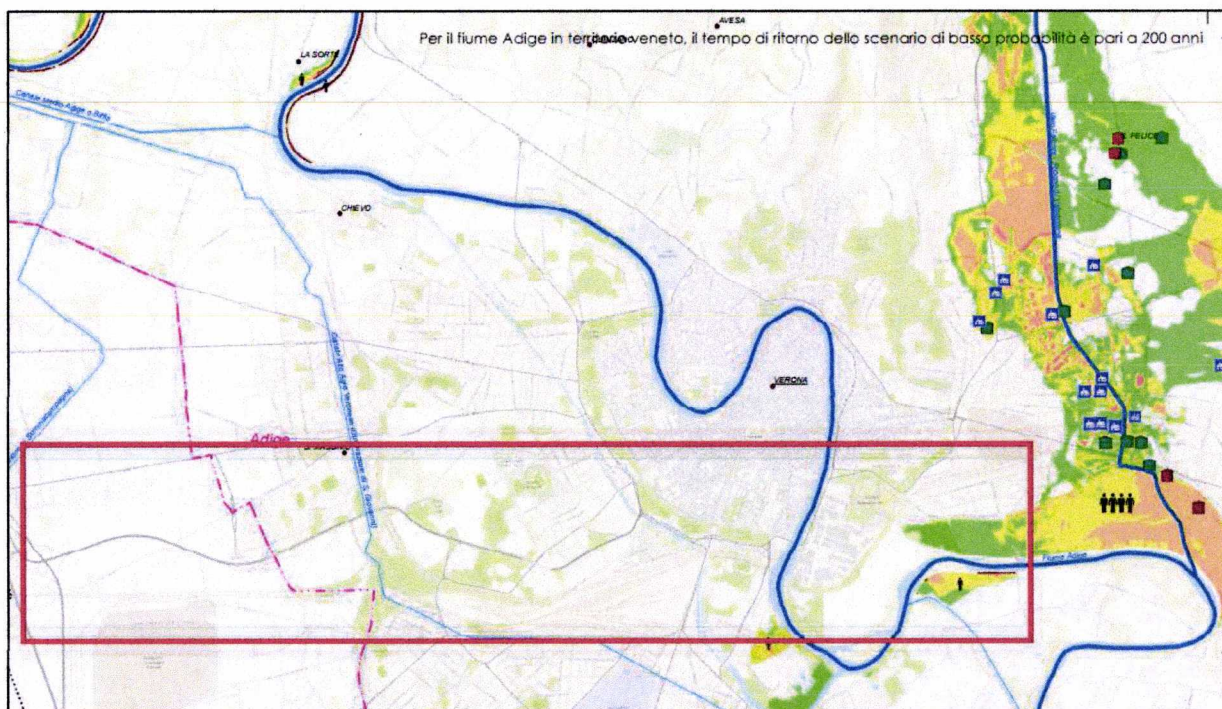


Figura 9: Estratto elaborato AREE ALLAGABILI – CLASSI DI RISCHIO (Tavola P03-HLP-R)

**CLASSI DI RISCHIO**

- Moderato (R1): i danni sociali, economici ed al patrimonio ambientale sono trascurabili o nulli
- Medio (R2): sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
- Elevato (R3): sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni relativi al patrimonio ambientale
- Molto elevato (R4): sono possibili perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale, la distruzione di attività socio-economiche

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati di progetto.

Com'è possibile notare dagli stralci planimetrici riportati, elaborati nell'ambito del Piano di Gestione Rischio Alluvione PGRA del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, il progetto in esame si inserisce in una zona che non risulta essere critica dal punto di vista del deflusso superficiale non attraversando nessun'area di pericolosità idraulica, si deduce quindi l'ammissibilità dell'intervento.

#### 4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla valutazione delle portate di piena di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili ai fini della modellazione idraulica per la valutazione dei tiranti e degli effetti sul territorio di eventi di inondazione.

Lo studio idrologico deve pertanto fornire l'inquadramento generale dell'area di studio sulla base dei dati idro-climatici ufficiali (Servizio Idrografico), delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo e di eventuali altri studi disponibili. A tale scopo è possibile utilizzare 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 ogni caso, prima di procedere alla successiva analisi idraulica, è necessario confrontare i dati di portata elaborati con quelli già determinati e pubblicati da Autorità competenti relativamente all'area di studio. Le portate di piena proposte devono infatti essere compatibili con quelle impiegate in studi analoghi già svolti sullo stesso corso d'acqua. In particolare, nel caso di corsi d'acqua di interesse nazionale, interregionale e regionale, è necessario verificare le risultanze deducibili dagli studi relativi ai Piani di Bacino ovvero dagli studi regionali svolti dagli Enti cui spettano le competenze in materia di idraulica fluviale e gestione delle risorse idriche. Ogni divergenza esistente tra le informazioni disponibili da una parte e i dati proposti dall'altra, deve essere opportunamente motivata.

Qualora i dati deducibili da studi precedenti non siano significativi o sufficienti per il loro utilizzo, il calcolo della portata di piena con assegnato tempo di ritorno avverrà utilizzando i dati pluviometrici.

##### 4.1 METODOLOGIE OPERATIVE

Per bacini privi di strumentazione, potrà 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.

Qualora non siano disponibili analisi di tal genere, potranno essere impiegati i metodi di regionalizzazione delle portate di piena redatti dalle autorità competenti purché applicabili all'area di studio.

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 caso in cui risulti necessaria un'analisi idrologica completa, le specifiche fasi operative possono essere così sintetizzate:

- inquadramento generale del problema con schematizzazione idrografica di riferimento del tronco fluviale oggetto dello studio;
- individuazione dei bacini sottesi dalle sezioni di chiusura: dallo studio della cartografia dovrà essere identificato e delimitato il bacino ed eventuali sottobacini sottesi per la sezione di chiusura predefinita e dovranno essere determinate tutte le relative caratteristiche morfologiche (aree, lunghezze dei tratti, pendenza, quote massima, minima e media, ecc.);
- determinazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (L.S.P.P.) per assegnati tempi di ritorno: per ciascuna delle stazioni pluviometriche ricadenti all'interno dell'area in esame o adiacenti alla stessa e di cui si disponga di un sufficiente numero di osservazioni, le serie storiche relative a precipitazioni di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore dovranno essere sottoposte all'analisi statistica tendente all'individuazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno. A tale scopo dovrà essere verificato l'adattamento dei dati storici a più tipi di funzioni di estrapolazione statistica (tipicamente legge Log-Normale a 2 o 3 parametri e legge di Gumbel) e ne dovrà essere valutata l'affidabilità per mezzo di test statistici. Per le LSPP l'assunzione della legge  $h = a t^n$  può ritenersi valida, con coefficienti  $a$  e  $n$  da valutare mediante tecniche di regressione lineare;

- definizione dell'evento pluviometrico di progetto: a partire dalla LSPP di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno potrà essere ricostruito lo ietogramma di progetto, opportunamente ridotto all'area e successivamente depurato per tenere conto delle perdite associate a processi di infiltrazione e laminazione del bacino.

#### 4.2 PLUVIOMETRIA

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino del Fiume Adige non fornisce una analisi ufficiale sulla distribuzione spaziale delle precipitazioni intense da poter utilizzare come base per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle opere nel progetto in essere.

A tal proposito, l'Autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige nell'anno 2000 ha affidato l'incarico relativo allo *'Studio finalizzato alla realizzazione, nel bacino idrografico del fiume Adige, del catasto aggiornato e georeferenziato delle opere idrauliche e di sistemazione idraulico forestale, alla determinazione delle fasce fluviali, alla definizione degli interventi strutturali e non strutturali'*. Nell'ambito del suddetto studio si è analizzata l'idrologia di piena di tutto il Bacino dell'Adige e si è individuata la perimetrazione delle aree di pericolo e di rischio idraulico.

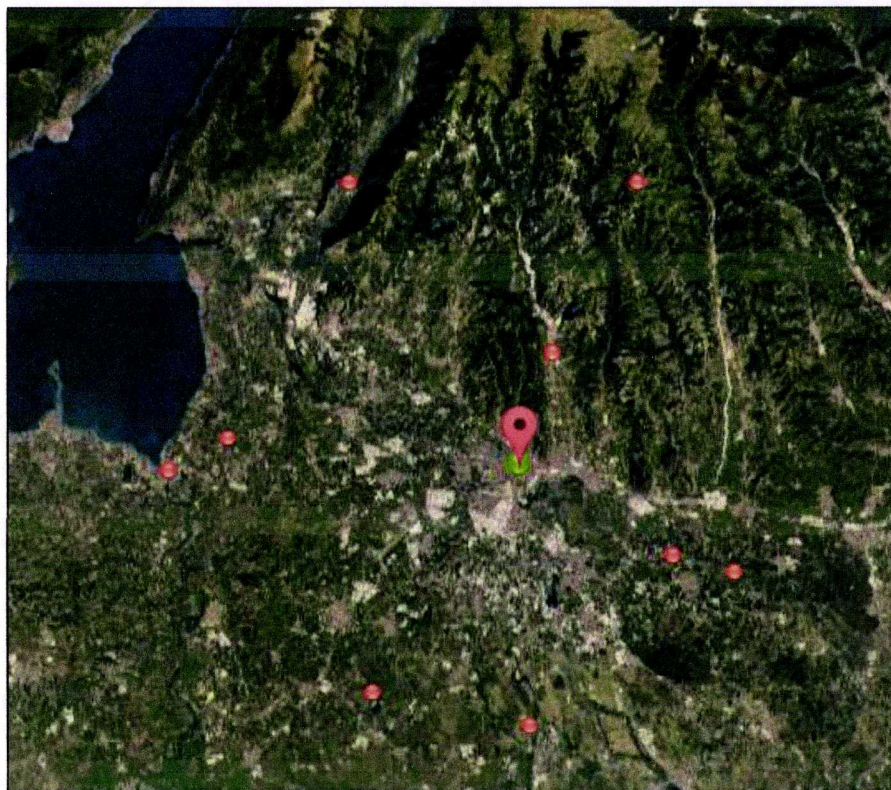
Nello studio citato le stime delle portate al colmo sono state ricavate dall'elaborazione delle serie storiche di portate massime annuali. Ai campioni di dati a disposizione sono stati adattati i modelli statistici impiegati nelle valutazioni idrologiche riguardanti eventi di piena (modelli probabilistici di Gumbel, MG e GEV e modello regionale VAPI). In tutte le sezioni dotate di serie storiche di dati, il confronto fra i risultati ottenuti con le diverse metodologie applicate mostra che il modello regionale VAPI fornisce valori di portata al colmo più alti rispetto a tutti gli altri modelli considerati, che danno invece risultati simili fra loro.

Nel progetto in essere, a valle di tale considerazioni, si è scelto di effettuare un'analisi per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica partendo dai dati ricavati dagli annali e utilizzando sugli stessi il modello probabilistico di Gumbel anziché utilizzare i risultati forniti dal modello regionale VAPI.

Il tratto fluviale del Fiume Adige invece è già stato oggetto di numerosi studi ed analisi, ai quali si è attinto per una piena conoscenza delle problematiche. La curva di durata delle portate del Fiume Adige, utile per la definizione della portata di verifica della fase provvisoria, è stata ricavata dalla relazione “LIVELLI E PORTATE MEDIE GIORNALIERE DEL FIUME ADIGE A VERONA NEGLI ANNI 2010-13” redatta dal Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio dell’ARPAV (vedi elaborato IN0F 20 R 09 RI ID 0001 001\_A).

#### 4.2.1 Elaborazione dati pluviometrici

Per avere una stima delle portate di piena che si formano all’interno dei corpi ricettori, con un determinato tempo di ritorno  $T$ , sono stati dunque analizzati i dati pluviometrici raccolti negli annali idrologici del servizio idrografico nazionale.



**Figura 10: Disposizione pluviometri**

Il pluviometro preso in considerazione nel presente studio, considerando la limitata estensione del tracciato ferroviario e la necessità di calcolare le curve di pioggia per il

dimensionamento della sola piattaforma ferroviaria, è quello situato in Verona (in verde nella figura 10). Per svolgere il calcolo, si è ipotizzato che la piena con tempo di ritorno T sia causata da una pioggia con lo stesso tempo di ritorno. Quella che segue è l'analisi dei dati pluviometrici. I dati che vengono forniti dal pluviometro scelto coprono gli anni che vanno dal 1928 al 1996.

Codice Ente gestore: 00500  
Strumento: Pluviometro  
Regione: Veneto  
Provincia: Verona  
Altitudine: 60.0

I dati delle altezze di pioggia raccolti fanno riferimento alle durate di 5, 10, 15, 20, 30 minuti e 1, 3, 6, 12, 24 ore. Il numero limitato di dati per piogge con durata minore di un'ora ha fatto sì che tali valori siano stati esclusi dalle analisi seguenti.

<p align="center"><b>DATI PLUVIOGRAFICI</b> (Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)</p>						
Stazione di: Verona						
Quota (m s.l.m.): 60		Numero di osservazioni: N = 51				
Anno		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
		h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1	1928	19.00	21.40	25.00	28.00	50.00
2	1933	27.40	50.80	57.80	64.60	72.80
3	1934	37.00	82.60	118.80	133.60	136.80
4	1936	24.80	31.40	31.40	31.40	35.00
5	1937	26.40	32.60	35.40	35.40	38.80
6	1938	13.40	25.60	29.60	31.00	55.80
7	1939	23.60	25.60	50.20	66.40	90.00
8	1940	29.20	29.60	39.60	43.20	52.20
9	1942	11.60	16.80	19.40	24.40	29.00
10	1943	14.00	19.60	20.00	20.80	34.80
11	1946	40.00	53.20	53.20	53.20	53.20
12	1947	16.20	33.00	46.20	50.00	58.60
13	1948	21.20	21.20	23.00	26.60	44.40
14	1949	17.20	17.40	17.40	20.00	25.60
15	1950	29.00	31.40	31.60	31.60	31.60
16	1951	22.00	25.80	34.00	57.00	57.00

Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore	
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	
17	1952	29.60	35.40	38.40	55.40	89.40
18	1953	19.20	35.80	50.00	66.20	67.60
19	1954	28.60	32.20	45.60	45.60	45.60
20	1955	23.80	32.00	39.60	41.20	50.00
21	1956	14.00	26.40	36.80	46.80	47.60
22	1957	24.20	35.00	39.20	39.40	40.80
23	1958	23.40	32.00	33.00	37.20	44.00
24	1959	34.40	34.40	34.40	34.40	37.60
25	1960	23.80	24.00	30.00	34.60	35.20
26	1961	22.20	31.40	31.40	31.40	34.00
27	1962	30.00	38.20	45.20	49.00	71.80
28	1963	11.00	14.00	25.00	39.60	49.60
29	1964	17.20	21.00	27.00	41.60	50.00
30	1965	16.80	20.60	24.00	35.00	41.80
31	1966	26.40	33.20	35.00	36.00	44.80
32	1967	12.00	15.00	18.20	24.20	29.20
33	1968	43.60	55.60	59.20	63.00	63.00
34	1969	10.80	14.80	22.60	30.40	30.40
35	1971	28.00	29.60	29.80	48.60	51.40
36	1972	27.60	44.40	54.40	61.40	63.20
37	1973	31.00	33.80	33.80	33.80	54.80
38	1974	32.00	38.20	39.00	45.60	53.40
39	1975	21.80	34.00	34.40	34.40	39.80
40	1976	52.60	57.60	59.40	60.00	69.60
41	1977	49.80	53.40	56.20	62.40	70.40
42	1978	33.60	49.60	61.40	69.00	82.80
43	1979	20.00	21.60	22.00	25.40	31.40
44	1980	22.60	25.80	27.40	33.40	60.20
45	1981	29.80	31.00	54.00	58.40	58.40
46	1982	24.20	27.20	35.00	48.00	67.40
47	1983	15.00	15.00	28.00	30.40	48.00
48	1987	52.60	61.00	70.60	88.40	88.60
49	1988	23.80	31.60	35.20	49.60	50.60
50	1989	31.00	51.20	61.40	65.60	74.00
51	1996	35.20	45.40	45.60	45.60	54.80

Figura 11: Dati estrapolati dagli Annali idrologici

## Distribuzione di Gumbel

Per lo studio di eventi di pioggia intensa è necessaria la conoscenza della legge probabilistica che determina i valori di altezza di pioggia massima. Quella cui più frequentemente si fa riferimento è la distribuzione di Gumbel, che si presenta con la seguente espressione analitica:

$$F(h) = P(h_{\max} \leq h) = \exp\{-\exp[-\alpha(h-u)]\}$$

Dove:

- $\alpha = \frac{1,283}{\sigma}$
- $u = \mu - \frac{0,577}{\alpha}$
- $h_{\max}$  rappresenta la massima altezza di pioggia annuale con durata  $d$  e tempo di ritorno  $T_r$
- $\mu = \mu(h)$  è il valore atteso di  $h_{\max}$
- $\sigma = \sigma(h)$  è lo scarto quadratico medio o deviazione standard di  $h_{\max}$

Il parametro  $\alpha$  è inversamente proporzionale a  $\sigma$  e indica la forma del diagramma di Gumbel (grafico  $h$ - $P(h)$ , quanto più  $\alpha$  è grande, tanto più la distribuzione è addensata e viceversa);  $u$  determina la posizione del grafico, cioè il diagramma trasla verso destra lungo  $h$  all'aumentare di  $u$ .

### *Stima col metodo dei momenti*

E' un metodo elaborato da Gumbel che consiste nel valutare  $\mu$  e  $\sigma$  rispettivamente come media e scarto quadratico medio delle altezze di pioggia. Sfruttando le relazioni:

$$\alpha = \frac{1,283}{\sigma} \quad u = \mu - \frac{0,577}{\alpha}$$



Si ottiene la tabella:

N =	51	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		25.76	33.32	39.51	45.65	54.05
$\sigma(h_t)$		9.99	13.86	17.33	19.48	20.14
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0.13	0.09	0.07	0.07	0.06
$u_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		21.26	27.09	31.71	36.88	44.99

Tabella 2: Valori dei parametri della legge di Gumbel per ciascuna durata t

#### 4.2.2 Curva di possibilità climatica

La curva esprime il legame esistente tra la durata dell'evento di pioggia e le altezze massime di pioggia relative a un prefissato tempo di ritorno.

La seguente formula mostra questo legame:

$$h(T,t) = a t^n$$

t = durata min.

h = altezza di pioggia in mm.

Conoscere la curva di possibilità climatica significa stimare i parametri a e u per cui è necessario conoscere almeno alcuni punti. Pertanto, nota la distribuzione di Gumbel, si ricavano da essa i valori di  $h_{\max}$  richiesti, con il seguente metodo. Poiché la probabilità di non superamento si esprime come:

$$P(h_{\max} \leq h) = \frac{T-1}{T} = 1 - \frac{1}{T}$$

Da cui risulta

$$h_{\max} = u - \frac{1}{\alpha} \left\{ \ln \left[ - \ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right] \right\}$$

dove T è il tempo di ritorno del valore  $h_{\max}$ .

I tempi di ritorno da fissare sono per il nostro scopo 10, 30, 50, 100, 200 anni. Si ottengono i seguenti valori di probabilità.

Applicando l'operatore logaritmo ad entrambi i membri dell'equazione della curva di possibilità climatica si ottiene:

$$\ln(h) = \ln(\alpha) + u \ln(d)$$

che, nel piano  $\ln(h) - \ln(d)$  rappresenta una retta direttamente sfruttabile per la determinazione di  $\alpha$  e  $u$ . Si costruiscono infatti per ciascun tempo di ritorno dei grafici bilogarithmici a dispersione con i valori di  $h_{\max}$  ottenuti.

Si ottiene una retta  $y = mx + q$  tali che:

$$m = u \cdot e \quad q = \ln(\alpha)$$

Notare che in questo caso si ha un'unica retta interpolante per durate di pioggia maggiori di 1 ora; considerando un'unica retta per tutti i valori non è ben rappresentato l'andamento della curva per brevi durate. Si riportano adesso i valori delle massime altezze di pioggia per ogni durata e per ogni tempo di ritorno fissato, calcolate con la formula precedente:

Tr [anni]	$h_{\max}$ [mm]				
	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10	38.789	51.390	62.101	71.057	80.313
30	47.622	63.636	77.416	88.276	98.110
50	51.654	69.227	84.407	96.137	106.235
100	57.093	76.767	93.837	106.740	117.194
200	62.512	84.280	103.233	117.304	128.112

Tabella 3: Altezze massime di pioggia regolarizzate [mm]

Si riporta di seguito la curva di probabilità climatica (CPC) ottenuta:

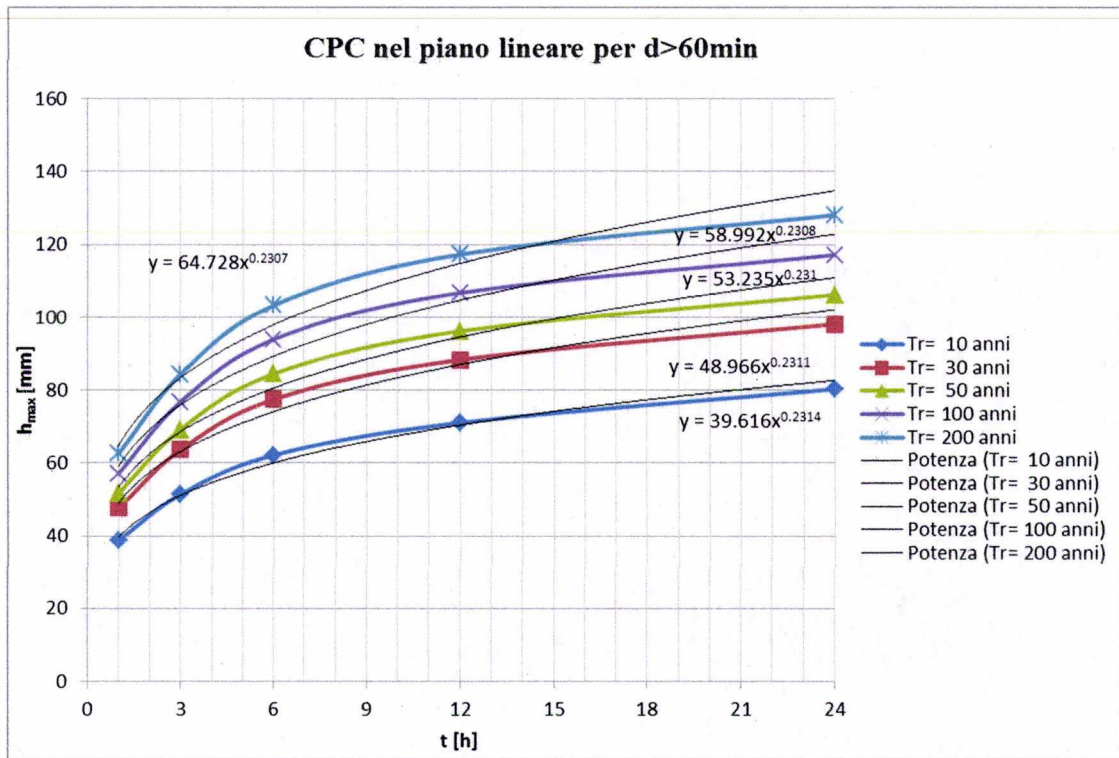


Figura 12: Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un ora

Di seguito sono riepilogate le leggi di probabilità pluviometrica per precipitazioni di durata superiore all'ora:

Tempo di ritorno Tr [anni]	$h = a t^n$	
	a [mm/h]	n
10	39.616	0.2314
50	53.235	0.2310
100	58.992	0.2308
200	64.728	0.2307

#### 4.3 RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI

In bacini imbriferi di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole

importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa.

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

Bell ("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.

Nelle Tabelle 4 e 5 sono riportati i parametri statistici negli Stati Uniti e in Australia, e il campo di variabilità di  $r_5$  negli Stati Uniti e ex Unione Sovietica.

	t [min]			
	5	15	20	120
	STATI UNITI			
Media	0.29	0.57	0.79	1.25
Deviazione standard	0.03	0.04	0.04	0.08
	AUSTRALIA			
Tempo di ritorno 2 anni (media)	0.30	0.57	0.77	1.24
Tempo di ritorno 10 anni (media)	0.31	0.58	0.78	1.25
Tempo di ritorno 25 anni (media)	0.30	0.58	0.79	1.23
Media	0.30	0.57	0.78	1.24
Deviazione standard	0.04	0.04	0.03	0.06

Tabella 4: Rapporti tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e in Australia

Parametro	t [min]				t [min]			
	5	15	20	120	5	15	20	120
	STATI UNITI				EX UNIONE SOVIETICA			
Valore superiore	0.32	0.61	0.83	1.31	0.37	0.61	0.83	1.31
Valore inferiore	0.26	0.53	0.75	1.17	0.26	0.53	0.75	1.17

Tabella 5: Intervalli di variazione dei rapporti tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e nella ex Unione Sovietica

Si illustrano, nella figura 12, le curve di involuppo dei rapporti tra i massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata e la corrispondente altezza oraria negli Stati Uniti e nella ex Unione Sovietica.

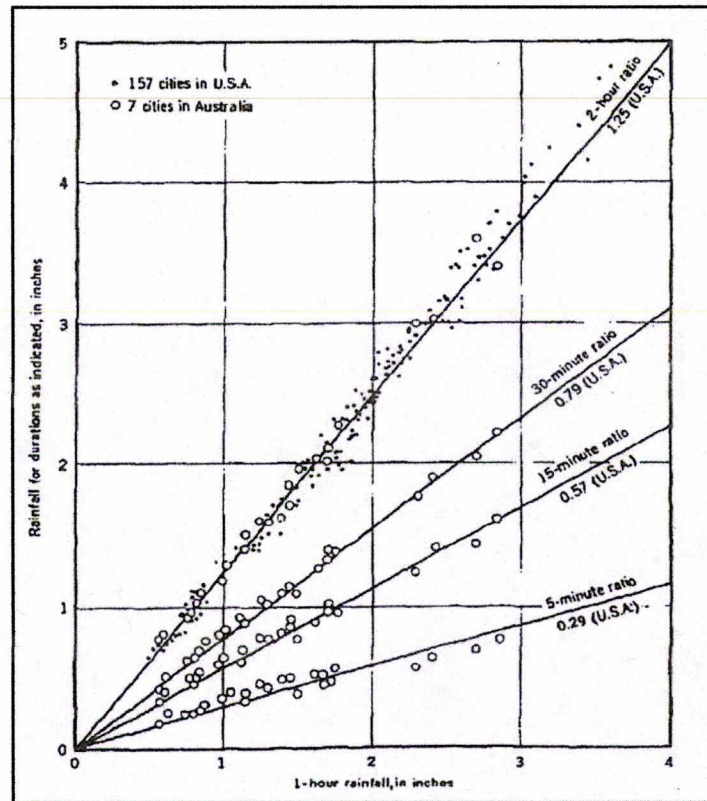


Figura 13: Relazione altezza-frequenza per 1, 5, 10 anni

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

t [min]	5	10	15	30
$r_s = h_s / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Tabella 6: Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora - U.S. Water Bureau

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

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla Figura 13, 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.

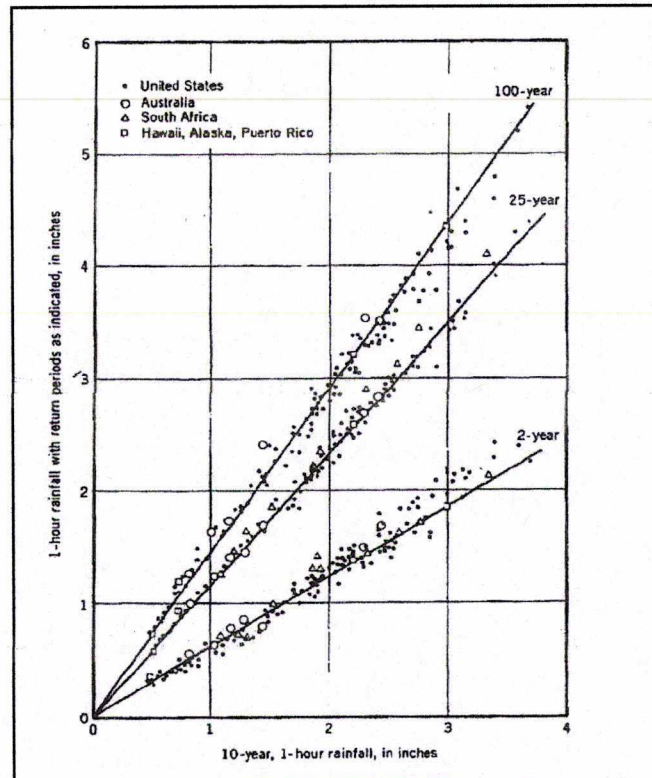


Figura 14: Relazione altezza-frequenza per 2, 25, 100 anni

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

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

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.

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  $n'$ .

Applicando tale procedimento al caso in esame si è ottenuto il coefficiente  $n' = 0,4638$ .

Le curve di possibilità pluviometrica per  $T_r=10, 50, 100$  e  $200$  anni e durata inferiore ad un ora sono riportate di seguito, con tempo  $t$  espresso in minuti.

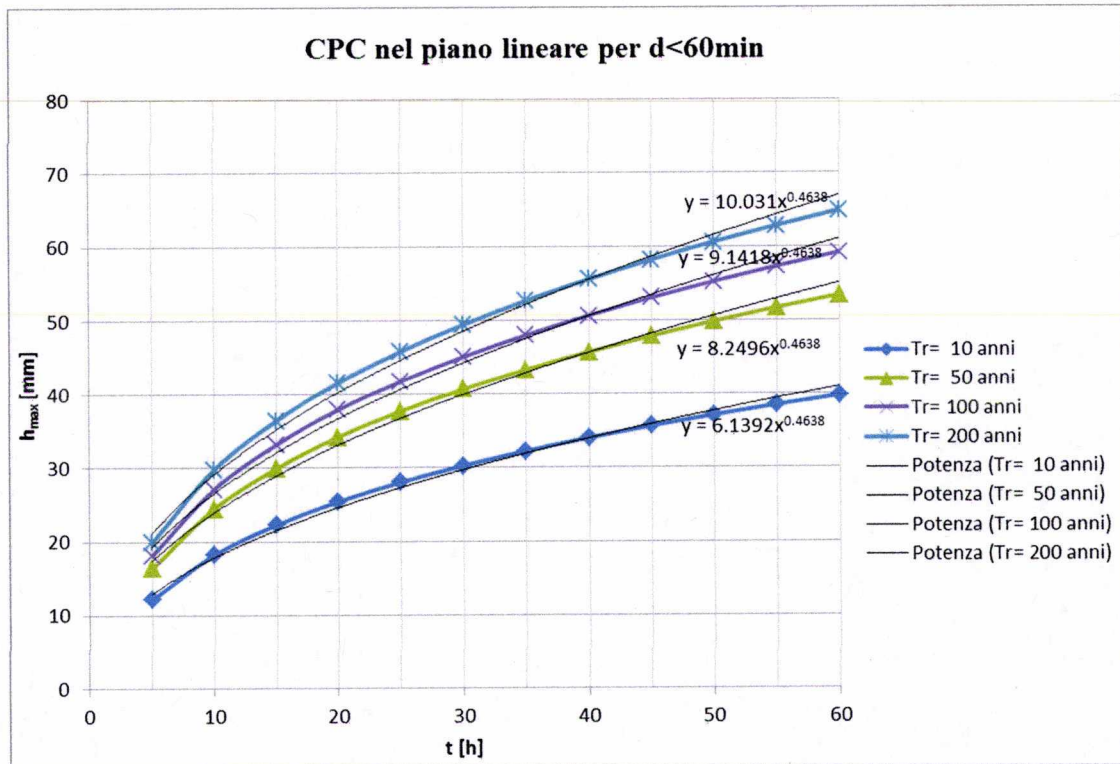


Figura 15: Curve di possibilità pluviometrica di durata inferiore ad un ora

Si riportano di seguito i risultati complessivi dello studio:

Tr [anni]	a [mm/h]	n
10	40.996	0.4638
50	55.089	0.4638
100	61.047	0.4638
200	66.982	0.4638

Tabella 7: Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometriche di durata inferiore ad un ora

Tr [anni]	a [mm/h]	n
10	39.616	0.2314
50	53.235	0.2310
100	58.992	0.2308
200	64.728	0.2307

Tabella 8: Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometriche di durata superiore ad un ora

#### 4.4 VALORI ADOTTATI

I tempi di ritorno ( $Tr$ ) prescritti dal Manuale di Progettazione ferroviaria variano 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 valle degli studi effettuati l'equazione adottata nel presente progetto sarà:

1. Ai fini del dimensionamento del drenaggio di piattaforma ferroviaria per tempi di ritorno pari a 100 anni:

$$h = 58.992 \cdot t^{0.2308}, \text{ per le durate di pioggia } t \text{ maggiori di un'ora;}$$

$$h = 61.047 \cdot t^{0.4638}, \text{ per le durate di pioggia } t \text{ minori di un'ora.}$$

2. Per le opere di drenaggio della sede stradale, parcheggio e piazzale viaggiatori con tempo di ritorno di 25 anni (ottenuto da interpolazioni):

-  $h = 46.831 \cdot t^{0.2312}$  per le durate di pioggia  $t$  maggiori di un'ora

-  $h = 47.875 \cdot t^{0.4638}$  per le durate di pioggia  $t$  minori di un'ora;