



Regione Lombardia

Direzione Generale Infrastrutture, Trasporti e Mobilità sostenibile



FERROVIENORD

FNMGROUP



NORD\_ING

FNMGROUP

CODICE  
COMMESSA

F 3 1

LIVELLO  
PROGETTAZIONE

D

D.P.R.  
207/10

b

PROGRESSIVO  
ELABORATO

0 0 2

CATEGORIA  
OPERA

A R

NUMERO  
OPERA

- -

REVISIONE

R 0

SCALA

-

LINEA MILANO - VARESE - LAVENO  
RADDOPPIO SELETTIVO GEMONIO - CITTIGLIO  
*Progetto Definitivo*

RELAZIONI TECNICHE SPECIALISTICHE  
Relazione idrologica e di compatibilità idraulica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Ott. 2022	PRIMA EMISSIONE		

NORD\_ING

NORD\_ING Srl  
IL DIRETTORE TECNICO  
Ing. Luca Erba

FERROVIENORD

FERROVIENORD S.p.A.  
DIREZIONE SVILUPPO INFRASTRUTTURA  
IL DIRETTORE (a.r.)  
Dott. Enrico Bellavia

Progettista

NORD\_ING  
FNMGROUP

Settori:  
a) civile e ambientale  
b) industriale  
c) dell'informazione  
n° A 639

Collaborazione

50 NET ENGINEERING  
years

Via Squero, 12 - 35043 Monselice (PD)

iDea  
INFRASTRUCTURE DESIGN, ENERGY AND ARCHITECTURE  
www.idea-eng.it - info@idea-eng.it  
Via Sommacampagna, 63H Scale D - 37137 - Verona  
Telefono/fax: 045 653768 - e-mail: tecnico@ideaeng.it - www.idea-eng.it

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
V. Corsini	F. Pescarolo	S. Cilibi	Ott. 2022
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.
1265D03			

## Sommario

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
1.1. OBIETTIVI DELLO STUDIO .....	3
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI .....</b>	<b>5</b>
2.1. ENTI COMPETENTI .....	6
<b>3. ELABORATI DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO .....</b>	<b>8</b>
4.1. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E NORMATIVA IDRAULICA.....	10
4.2. IL BACINO DEL TICINO .....	10
4.3. MORFOLOGIA .....	14
4.4. IDROGRAFIA LOCALE .....	14
4.5. PIANI NORMATIVI DI RIFERIMENTO .....	15
4.5.1. <i>Piano stralcio per l'assetto idrogeologico</i> .....	15
4.5.2. <i>Piano di gestione del rischio alluvioni</i> .....	17
4.6. CONSORZI DI BONIFICA .....	19
4.7. PRINCIPI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	20
4.7.1. <i>Art. 38. Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico</i> .....	22
4.8. REGOLAMENTO REGIONALE IN TEMA DI INVARIANZA IDRAULICA .....	23
<b>5. ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>26</b>
5.1. ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI .....	26
5.1.1. <i>LSPP fonte Autorità di bacino del fiume PO</i> .....	27
5.1.2. <i>LSPP fonte Arpa Lombardia</i> .....	28
L'atlante delle piogge intense della Lombardia .....	28
Il modello probabilistico GEV .....	31
5.1.3. <i>Considerazioni sui cambiamenti climatici</i> .....	34
<b>6. CONSIDERAZIONI GENERALI IN TEMA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....</b>	<b>38</b>

## 1. PREMESSA

Il presente documento descrive le caratteristiche idrologico-idrauliche del territorio attraversato dalla tratta ferroviaria Varese – Laveno tra i comuni di Gemonio e Cittiglio, e l'interazione della stessa con il reticolo idrografico di superficie; si inserisce nell'ambito del progetto definitivo del raddoppio della linea indicata e riporta la metodologia di calcolo e i risultati dello studio idrologico condotto al fine di valutare la compatibilità idraulica dell'intervento e definire le misure di mitigazione da intraprendere lungo la tratta stessa. La lunghezza totale del raddoppio è di circa 2.315 m, ovvero tra la progressiva 65+540 e la progressiva 67+855 e coinvolgerà anche i due piazzali di stazione dei rispettivi Comuni.

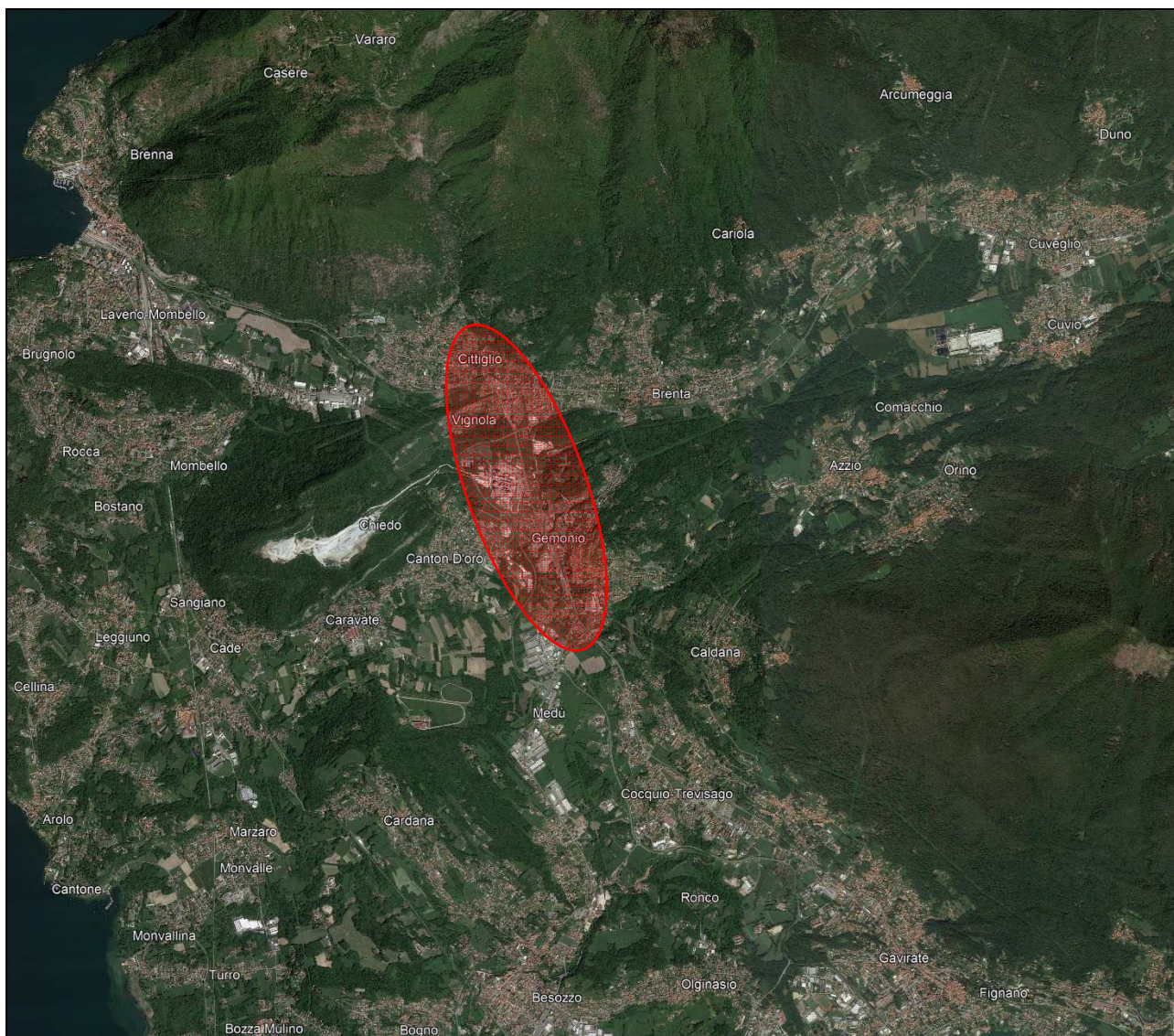


Figura 1.1: Localizzazione territoriale dell'area di intervento su base Ortofoto di Google Earth

La linea attualmente risulta quasi totalmente a singolo binario: fanno eccezione i tratti relativi alle due stazioni citate (a Gemonio è presente un tronchino, mentre la stazione di Cittiglio è dotata di due banchine). La tratta è stata interessata da indagini geognostiche specialistiche condotte da Tecnostudio di Este (PD) commissionate da FERROVIENORD e NORD\_ING. Sulla scorta delle

indagini effettuate a luglio ed elaborazioni redatte nel settembre 2022 si sviluppa il presente progetto che nello specifico si riferisce al raddoppio del tratto tra i Comune di Gemonio e Cittiglio in provincia di Varese.

L'attività di analisi è stata svolta previo recepimento delle indagini preliminari dei dati topografici e geomorfologici provenienti dalle investigazioni condotte nell'ambito degli studi preliminari; in particolare le interferenze idrauliche sono state individuate dalla sovrapposizione del tracciato con il reticolo di tutti i livelli (principale, minore e consortile, fonte Regione Lombardia) con i dati di censimento di tutte le opere idrauliche esistenti lungo la linea e verificata la loro posizione con riferimento ai reticoli sopra citati. L'attività di censimento delle opere esistenti è stata propedeutica alla valutazione del funzionamento idraulico delle opere di drenaggio in progetto per verificarne l'ufficiosità idraulica, la possibilità di scarico delle acque di piattaforma nelle modalità consentite e in riferimento ai principi di invarianza idraulica secondo il R.R. 7 del 2017 aggiornato al R.R. 8 del 2019 della Regione Lombardia.

In generale, nell'individuare le opere necessarie a garantire la sicurezza idraulica della linea è stato verificato che essa non sia di ostacolo al naturale deflusso delle acque superficiali, e che le acque di drenaggio della piattaforma siano rispettose del principio di invarianza idraulica secondo R.R. 7 del 2017 garantendo che:

- l'inserimento dell'opera non comporti un aumento del rischio idraulico, ma lasci inalterate le modalità di espansione delle piene in corrispondenza di eventi critici;
- ci sia continuità idraulica dei compluvi minori e sia consentito l'attraversamento dei canali esistenti;
- sia presente un sistema di drenaggio e smaltimento delle acque operativo e rispettoso del tema dell'invarianza idraulica, se necessario adeguando le opere esistenti con le norme vigenti.

In accordo con la committenza e al Manuale di Progettazione RFI, nonché il rispetto delle linee guida della Regione Lombardia secondo R.R. 7 del 2017 i dispositivi idraulici di smaltimento delle acque meteoriche zenitali ricadenti sulla piattaforma ferroviaria verranno calcolati considerando eventi meteorologici caratterizzati da tempi di ritorno pari a 50 anni, ma saranno comunque analizzati anche per eventi caratterizzati da frequenza di accadimento pari a 100 anni per una verifica finale delle opere di drenaggio in termini di prevenzione del rischio di allagamento così come richiesto dal R.R. 7 del 2017.

### **1.1. OBIETTIVI DELLO STUDIO**

Obiettivo preliminare della presente relazione è la definizione dei dati pluviometrici per piogge intense di breve durata per la verifica idraulica dei sistemi di drenaggio, di lunga durata per il dimensionamento dei dispositivi di laminazione, con la stima dei necessari parametri pluviometrici a supporto della progettazione definitiva, al fine di ricavare le condizioni idrauliche di verifica delle opere di scolo della piattaforma della tratta ferroviaria in oggetto, e poter assicurare lo stato di ufficiosità idraulica del sistema di drenaggio nell'ambito di influenza dell'ingombro del tracciato.

L'analisi effettuata è stata preliminarmente condotta secondo le seguenti fasi:

- reperimento della cartografia di base;
- reperimento di studi e progetti a scala locale da utilizzare come riferimento per le analisi

- dimensionali oggetto di progettazione;
- interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e del bacino di interesse anche in riferimento alle dinamiche idrauliche connesse ai sistemi di approvvigionamento idrico e irrigazione delle superfici agricole locali;
- analisi idrografica della zona di intervento;
- reperimento di informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- raccolta ed analisi preliminare di dati pluviometrici e studi idrologici;
- determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative;

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 alle verifiche delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI, dalle Norme tecniche delle costruzioni e dalle normative regionali vigenti.

Obiettivo finale dello studio sarà quindi la definizione dei valori di colmo delle massime portate di piena da porre a base dello studio idraulico necessario al corretto dimensionamento dei dispositivi di drenaggio e laminazione e alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico del comprensorio, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino e dal "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" di Rete Ferroviaria Italiana. Vengono quindi presentati da una parte la sintesi delle attività di indagine svolte al fine di individuare le curve di probabilità pluviometrica rappresentative delle aree in questione, dall'altra le analisi e le considerazioni che hanno condotto alla scelta della metodologia per la determinazione delle portate e dei volumi idrici di progetto e i risultati della stessa.

La valutazione delle piogge massime intense è stata effettuata eseguendo un raffronto preliminare tra i dati meteorologici a disposizione, in particolare comparando le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) prodotte dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) nella Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica all'interno dell'Allegato 3 "Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense" con quelle di ARPA Lombardia, ricavate 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, che hanno partecipato alla definizione delle "precipitazioni estreme".



## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018";
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- PAI - 1. Relazione Generale;
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016), aggiornato al 2020;
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016;
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4; "Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua";
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.2 - Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.4 "Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- DGR 6738 del 19 giugno 2017. "Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano di gestione rischi alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7/12/2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po", aggiornato al 2020;
- Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8. "Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 "Legge per il governo del territorio")".
- Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico e quadro degli interventi nel Bacino del Adda dell'Autorità di bacino del Fiume Po.

## **2.1. ENTI COMPETENTI**

L'area interessata dal raddoppio ferroviario presenta diversi organismi competenti in materia di gestione e pianificazione. In particolare, è possibile individuare i seguenti enti:

1. Regione Lombardia:
  - 1.1. Provincia di Varese.
2. Autorità di bacino:
  - 2.1. Autorità di bacino distrettuale del fiume Po.
3. Consorzi di bonifica:
  - 3.1. Consorzio di bonifica Est Ticino Villoresi.
4. Comuni (da Ovest):
  - 4.1. Gemonio (VA);
  - 4.2. Cittiglio (VA);
  - 4.3. Caravate (VA) solo parzialmente.

### 3. ELABORATI DI RIFERIMENTO

Si riportano di seguito gli elaborati di riferimento per il presente progetto nello specifico del tema dell'idrologia e dell'idraulica:

Idrologia e Idraulica	Codice dell'elaborato
Relazione idrologica e di compatibilità idraulica (presente documento)	F31Db003ID--R0
Relazione idraulica di sede e calcolo opere idrauliche	F31Df008ID--R0
Inquadramento P.G.R.A. – P.A.I.	F31Dd100ID--R0
Planimetria idraulica - Tav. 1/3	F31Dd091ID--R0
Planimetria idraulica - Tav. 1/3	F31Dd103ID--R0
Planimetria idraulica - Tav. 1/3	F31Dd104ID--R0
Particolari costruttivi – Tipologici – Tav. 1/2	F31Dd101ID--R0
Particolari costruttivi – Tipologici – Tav. 2/2	F31Dd102ID--R0

Tabella 3.1: Elenco degli elaborati di riferimento per l'analisi idraulica del progetto



#### 4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area interessata dal presente progetto si colloca nella parte nord-occidentale della Regione Lombardia, all'interno del territorio provinciale di Varese ricompreso tra Lago Maggiore e gli altri laghi principali e minori che caratterizzano il comprensorio.

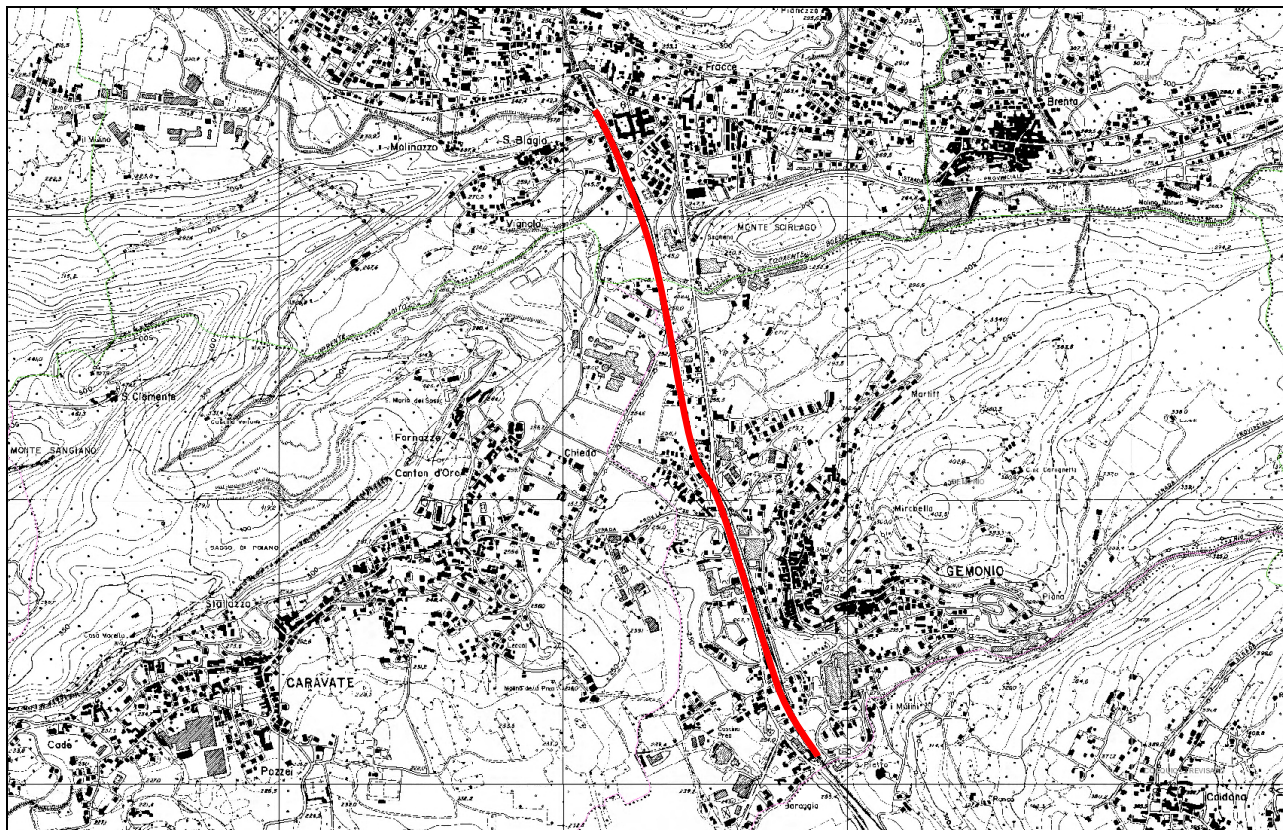


Figura 4.1: Localizzazione territoriale dell'area di intervento su base cartografica CTR Regione Lombardia

La provincia di Varese si estende su un'area che racchiude un paesaggio variabile dal punto di vista orografico, morfologico e climatico. La parte settentrionale della provincia è essenzialmente montuosa, mentre la parte meridionale della provincia invece fa parte della Pianura Padana. La provincia di Varese sorge tra la Pianura Padana e i piedi delle Alpi, nell'Insubria settentrionale. Da un punto di vista orografico, è distinguibile in tre settori:

- la porzione montana, formata da rilievi superiori ai 600 m s.l.m., si estende tra Varese e Laveno fino al confine svizzero, occupa il 32% del territorio; essa contiene diverse valli, tra cui: la Valle Olona, la Val Veddasca, la Val Dumentina, la Valcuvia, la Valtravaglia, la Val di Rasa, la Valganna la Val Marchirolo e la Valceresio;
- la fascia collinare (altitudine compresa tra i 200 m s.l.m. e i 600 m s.l.m.) occupa la zona centrale e costituisce il 46% del territorio che ricomprende pure l'ambito di progetto;
- la pianura (altitudine inferiore ai 200 m s.l.m.), che si estende unicamente all'estremo sud della provincia, nei territori di Lonate Pozzolo, Gallarate, Saronno, rappresenta il 22% del territorio provinciale. Questa zona è contigua all'Altomilanese e si trova in Pianura Padana.

Tre sono i fiumi principali che attraversano la Provincia, il Ticino, l'Olona e la Tresa ai quali si aggiungono i grandi laghi glaciali: Lago Maggiore, Lago di Lugano e altri sette laghi minori, i cosiddetti Sette Laghi Varesini. La carta amministrativa della provincia si presenta a forma

allungata verticale, con due grandi "penisole": quella saronnese a sud est (tra le province di Como e Milano) e quella montuosa della Val Veddasca a nord, al confine con la Svizzera.

La provincia di Varese, oltre ai sette laghi per cui è molto nota, presenta altri specchi d'acqua minori, alcuni importanti fiumi e numerosi torrenti.

Il Lago Maggiore o Verbano segna il confine occidentale della zona centro settentrionale della provincia. Suo emissario è il fiume Ticino, che si immette nel lago in Svizzera. Il territorio della provincia comprende un'isola sul lago: l'Isolino Partegora, sito in territorio di Angera.

Il Lago Ceresio o di Lugano segna il confine orientale, con la Svizzera, della zona centrale della provincia. Sul lago si sono sviluppati alcuni centri, che sfruttano la posizione di confine, come Porto Ceresio e Lavena Ponte Tresa.

L'Olonas nasce a nord di Varese ed è alimentato da numerosi affluenti, attraversa Milano e confluisce nel Lambro meridionale. Questo fiume è stato importantissimo per il decollo dell'industria nel Varesotto, specie in centri come Varese, ma anche nell'Altomilanese, specie a Busto Arsizio e Castellanza.

Il Ticino fluisce dal Lago Maggiore a Sesto Calende e prosegue con un percorso tortuoso tra Piemonte e Lombardia. Lambisce Vigevano e attraversa Pavia, confluendo nel Po al Ponte della Becca. Nel suo tratto a valle del lago riceve scarsissimi affluenti ed alimenta numerosi canali. Interessano la provincia il Naviglio Grande, il Canale Villoresi ed il Canale Industriale. Altri fiumi importanti sono la Tresa, il Margorabbia ed il Bardello.

La Tresa è l'emissario del Lago di Lugano ed è di origine artificiale. Fu infatti fatto costruire dai milanesi attorno al 1300, per collegare il Lago di Lugano con il Verbano. Nel tratto finale, tra Luino e Germignaga, scorre in quello che un tempo era l'alveo del Margorabbia, che si immetteva direttamente nel Verbano. Nel Trecento la sezione dell'alveo venne allargata per accogliere la portata della Tresa, ben più importante di quella del Margorabbia. Per cui oggi il Margorabbia è considerato un affluente della Tresa.

Il Margorabbia nasce in Valganna e forma i laghi di Ganna e Ghirla, percorre in seguito la Valtravaglia, ricevendo le acque del torrente Rancina, il suo maggior tributario. Infine, sfocia come già detto nella Tresa. Il Bardello è l'emissario del Lago di Varese e sfocia nel Verbano presso Besozzo.

I maggiori torrenti della provincia sono il Giona, il Boesio, l'Acqua Nera, il Molinera, il Rio di Colmegna (tributari del Lago Maggiore), il Lanza, la Bevera, il Bozzente, la Lura, il Rile-Tenore, il Vellone, la Quadronna, la Selvagna (tributari dell'Olonas), l'Arno, lo Strona (tributari del Ticino), il Rancina (tributario del Margorabbia), il Tinella (tributario del Lago di Varese), il Valmolina (affluente del Rancina).

La topografia naturale della pianura varesina negli ultimi decenni è stata localmente modificata dall'attività antropica. Lungo i corsi d'acqua maggiori, nelle valli d'espansione si aprono numerose cave di ghiaia e sabbia molte delle quali ormai dismesse e caratterizzanti il territorio. Il reticolo idrografico risulta in parte artificiale e comprende la rete di corsi d'acqua principali RIP, l'idrografia di bonifica RIB e la rete idrografica minore RIM (fonte Regione Lombardia). I corsi d'acqua hanno pendenze dell'ordine dell'10‰ e in alcuni casi anche maggiori, questo comporta che le perdite di carico associate siano non trascurabili.

#### 4.1. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E NORMATIVA IDRAULICA

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.

A partire dalla legge n. 221/2015 in materia di autorità di bacino distrettuali, l'attuale assetto dei distretti risulta raffigurato in Figura 4.2

Gli interventi in progetto ricadono nell'area di giurisdizione del Distretto idrografico Padano.

Nello specifico del distretto di riferimento, gli interventi in progetto ricadono all'interno del bacino idrografico del fiume Ticino. Con l'entrata in vigore del D.M. 25 ottobre 2016 le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali sono state soppresse e ha portato al trasferimento del personale e delle risorse strumentali e finanziarie alle Autorità di bacino distrettuali. L'ambito giurisdizionale del bacino dell'Adda appartiene pertanto all'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po.

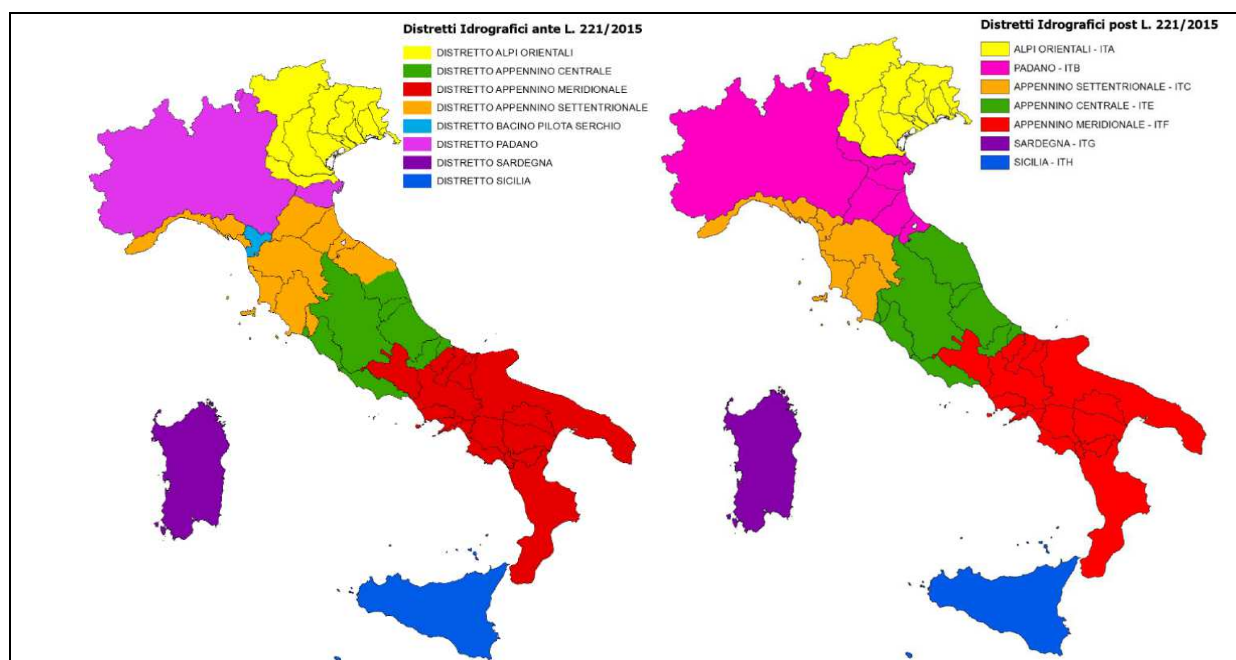


Figura 4.2: Suddivisione territoriale in distretti ante e post L. 221/2015

#### 4.2. IL BACINO DEL TICINO

A livello di bacino distrettuale il territorio è stato suddiviso in Unit of Management relativamente a unità di gestione e competenza di interesse territoriale e distinguibili per bacini di dimensioni di rilevanza interregionale e pertanto lo stesso Distretto del Fiume Po è distribuito in più sottobacini come è individuato nella Figura 4.3, dalla quale si evince come il bacino del Ticino appartiene alla UoM propria del fiume Po.

A livello fisiografico, invece, la suddivisione appare ben più ampia (vedi la Figura 4.4).



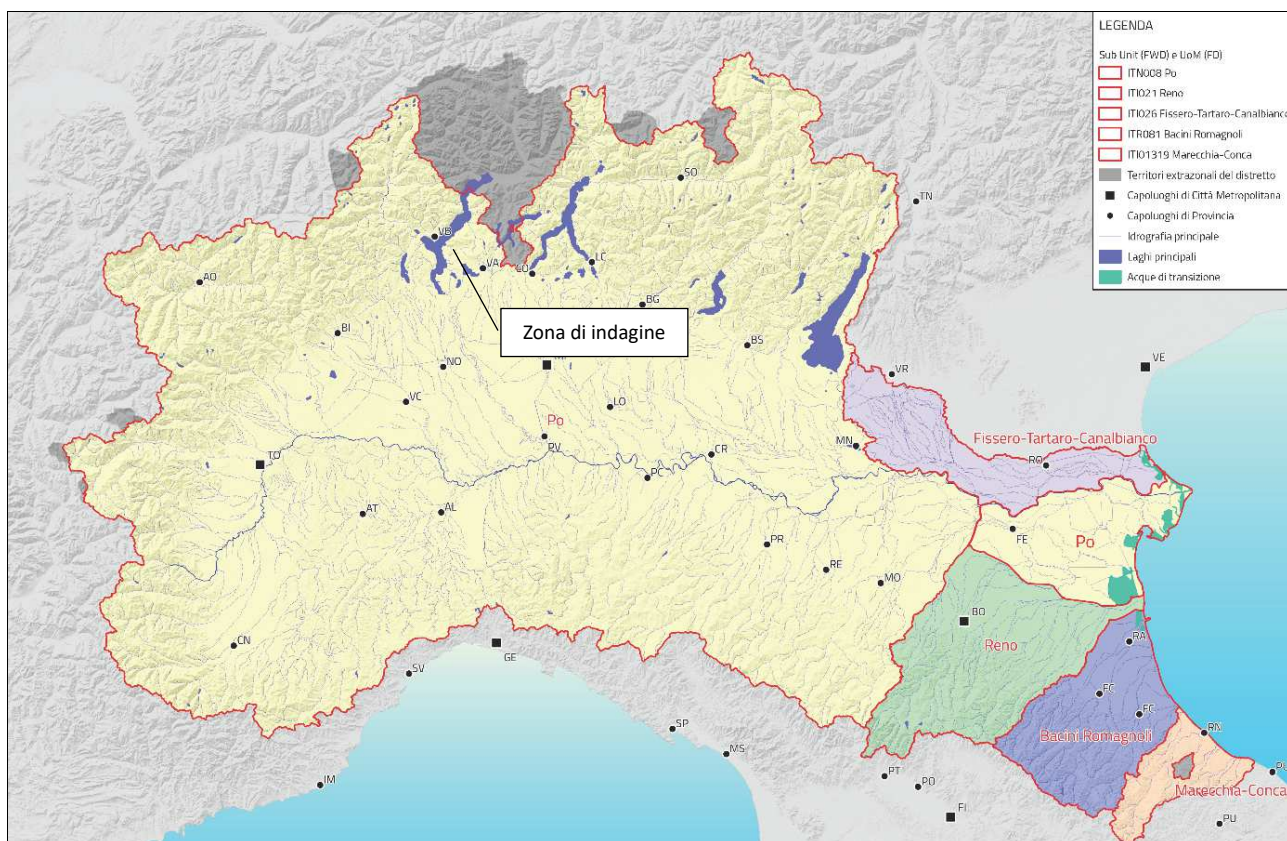


Figura 4.3: Suddivisione territoriale in Unit of Management all'interno del Distretto idrografico del Fiume Po

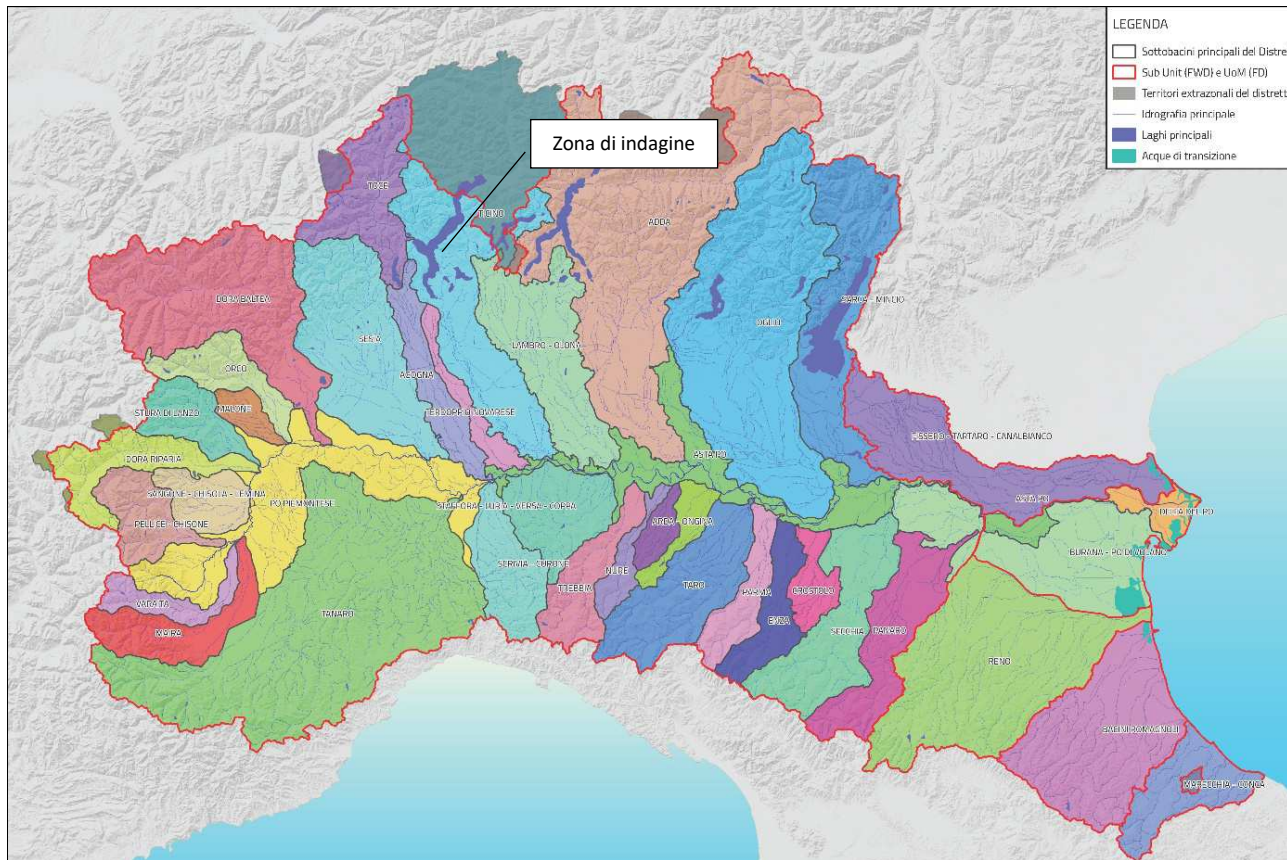


Figura 4.4: Suddivisione territoriale in bacini idrografici all'interno del Bacino distrettuale del Fiume Po

La zona di interesse appartiene più nello specifico della suddivisione fisiografica al bacino del Ticino. Il bacino idrografico del Ticino ha una superficie complessiva di circa 6.033 km<sup>2</sup>. Una parte significativa del suo territorio, 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%. 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.

Con il suo profilo lungo e sinuoso il bacino lacuale del Verbano partecipa sia del sistema prealpino, sia di quello alpino (Alpi Lepontine). La sua origine è posta in relazione con l'orogenesi alpina e con l'intensa attività erosiva delle acque, avvenuta durante il Messiano (Terziario), quindi con la successiva attività dei ghiacciai quaternari che plasmarono e modellarono il grande solco vallivo, depositando al suo sbocco in pianura materiali morenici che sbarrarono il corso delle acque. Il bacino del Ticino, che del Verbano è immissario ed emissario, in area piemontese è caratterizzato dalla serie di valli dei torrenti afferenti al lago: Onsernone, Melezze (Val Vigizzo), Cannobino (Valle Cannobina), S. Giovanni, S. Bernardino e Rio di Valgrande (all'interno del Parco nazionale della Val Grande). Il territorio si differenzia per le caratteristiche di notevole naturalità dell'area a nord del centro abitato di Verbano, e quelle di forte antropizzazione dell'area posta a sud di tale centro. Infatti, alla rilevante concentrazione di nuclei abitati sul lago, si contrappone la zona del Parco della Val Grande, con le cime elevate di Monte Zeda, Pozzo Mottac, Cima del Laurasca, Pedun.



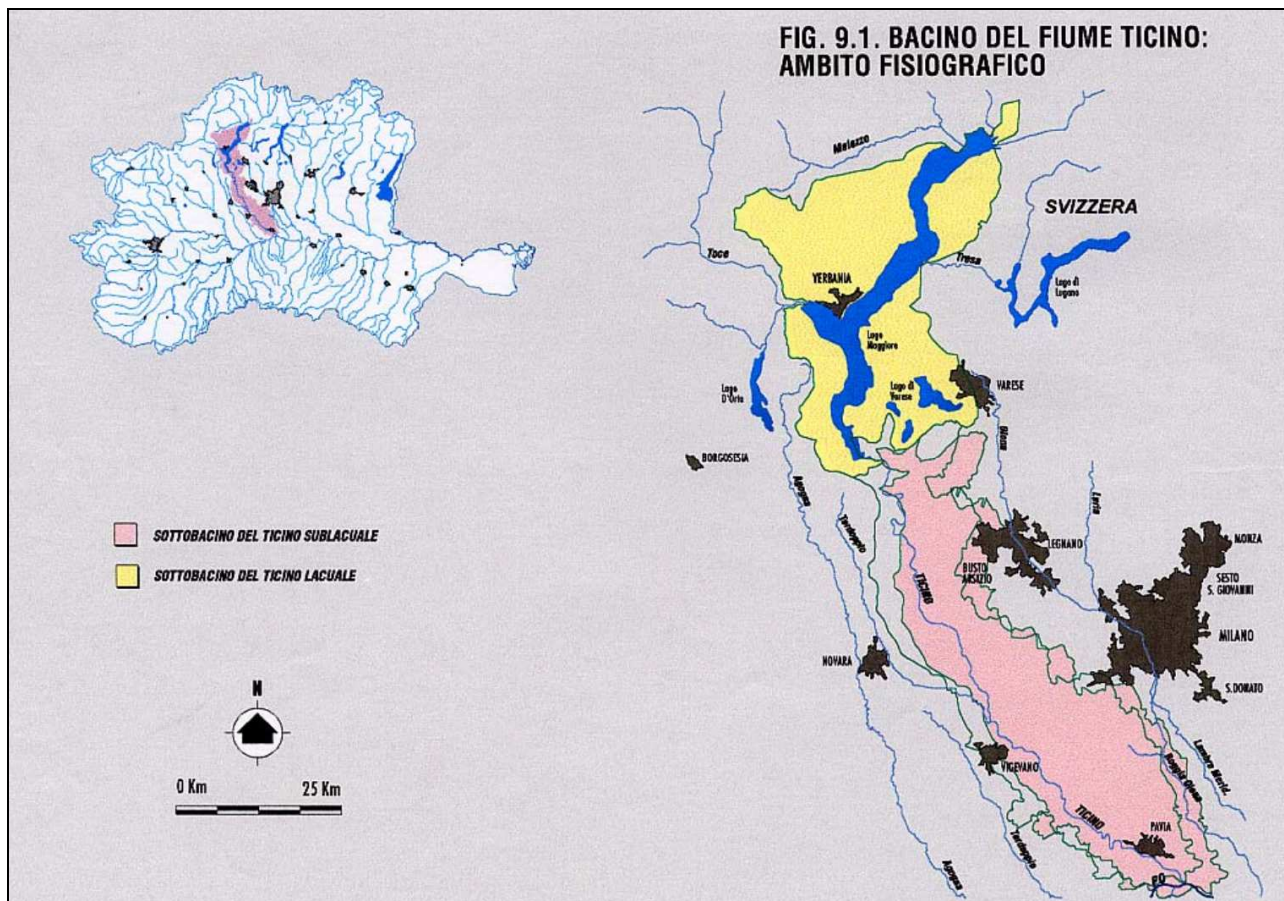


Figura 4.5: Bacino idrografico del fiume Ticino – ambito fisiografico

In area lombarda il bacino comprende parte del territorio del luinese, zona propriamente alpina nella quale prevalgono formazioni rocciose cristalline (micascisti) e un paesaggio montano dall'aspetto marcatamente alpestre. L'ambiente è naturalisticamente integro e qualificato da ampie aree boschive, con rari piccoli abitati legati alla cultura contadina e all'economia rurale. Più a sud, oltre il centro abitato di Arolo, il promontorio di Ispra è un'area di elevato interesse naturalistico, caratterizzata da un habitat con rive basse, sabbiose, canneti, ove le sinuosità della costa sono tracciate dalle boscaglie che giungono a lambire le sponde. All'altezza di Angera la fascia costiera è fronteggiata dall'isolino Partegora, che con i circostanti canneti costituisce una zona "umida" di notevole importanza per l'ecosistema lacustre. Oltre Angera, il territorio del comune di Taino costituisce un'isola di notevole interesse geologico: sono presenti infatti sabbie, argille e marne con fossili marini a testimonianza dell'ingressione del mare avvenuta in età pliocenica (Terziario). Oltre Sesto Calende si entra nel territorio del Parco del Ticino, il primo parco fluviale italiano e il maggiore d'Europa, istituito nel 1978 dalla Regione Lombardia al fine di limitare il degrado ambientale in un'area sottoposta a forti pressioni urbanizzative. Il territorio investito dal Parco si estende sino alla confluenza del Ticino nel Po, a valle di Pavia; esso si può dividere in tre settori (da nord a sud):

- nel primo, da Sesto Calende fin circa a sud del ponte di Oleggio, il corso del Ticino è incassato nell'alta pianura, che è impermeabile e scarsamente adatta all'agricoltura;
- nel secondo, fino al ponte di barche di Bereguardo, la pianura scende al fiume con successive terrazze: è la fascia delle risorgive con terreno permeabile ad alto utilizzo idrico;
- nel terzo, da Bereguardo al ponte della Becca (confluenza Po), il Ticino corre nella bassa pianura organizzata a risaie e colture foraggere. Il Parco si caratterizza per la presenza di

biotopi boschivi igrofili e ambienti ripariali ben conservati. Emergenze botaniche sono il nannufaro e la ninfea bianca. La fauna si presenta ben strutturata in tutti i gruppi animali: emergenze faunistiche sono la rana di Latate, il pelobate fosco, la testuggine palustre, l'airone rosso, lo storione.

L'acqua e il suo sfruttamento hanno da sempre rappresentato un aspetto cardine dell'area del Ticino, caratterizzata da territori spesso aridi poiché posti più in alto del livello delle risorgive.

Il sistema di canalizzazioni e derivazioni idrauliche ebbe origine in periodo medievale e fu in seguito perfezionato in epoca viscontea dando origine a un sistema irriguo in parte tuttora esistente e utilizzato (canale Regina Elena, roggia Molinara di Oleggio del XIV sec., roggia di Montelame del 1492, Naviglio di Langosco e Naviglio sforzesco, entrambi con impianti risalenti al XV secolo). Allo sfruttamento irriguo, negli ultimi cento anni si è affiancato quello per la produzione di energia elettrica (sbarramenti della Miorina, Porto Torre, Pamperduto).

#### **4.3. MORFOLOGIA**

Come detto in precedenza, il tracciato ferroviario si sviluppa nella zona nord-occidentale della Regione Lombardia. Il territorio ricade all'interno del sottobacino del Ticino lacuale. Il territorio in esame è localizzato al margine meridionale dei rilievi prealpini e si estende prevalentemente in ambiente pianeggiante su fondovalle caratterizzato da deposizioni alluvionali dei corsi d'acqua che tagliano e attraversano la piana. Il territorio risulta abbastanza antropizzato, attraversando insediamenti abitativi, zone industriali e campi coltivati, alternati a zone boscate per lo più di latifoglie.

Il fondovalle è identificato da morfologia pianeggiante, generata dalla presenza di corsi d'acqua ed è caratterizzato dall'intervallarsi di aree a prato e a bosco, contigue ad ambiti agricoli; questi elementi, anche se sottoposti a notevole pressione antropica, denotano ancora un buon grado di riconoscibilità dei luoghi.

Per quanto concerne il lotto oggetto di questa analisi, il profilo del piano del ferro esistente ed il terreno non si discostano molto ad eccezione del tratto iniziale che passa sopra via Castelli ove il binario si colloca sui 7 metri sopra il sottopasso stradale; superato questo ambito la linea prosegue grossomodo in quota terreno fino alla Strada Statale 394 che sottopassa il binario. Oltre questo nodo il tracciato risulta alla quota del piano campagna.

#### **4.4. IDROGRAFIA LOCALE**

I due più importanti fiumi della provincia di Varese, come menzionato, sono l'Olona e il Ticino, tra i maggiori affluenti di sinistra del Po, mentre a livello locale le aree interessate dal progetto sono attraversate in particolare dal torrente Boesio che ha un percorso da est verso nord e scarica nel lago maggiore, il torrente Boito che scende dal Monte Sangiano e defluisce verso est confluire nel Boesio e altro corso d'acqua minore il rio Viganella.

Il Boesio scorre lungo il confine nord tra Gemonio, Brenta e Cittiglio. Il suo corso risulta essere fortemente antropizzato, soprattutto a valle verso Cittiglio, dove le sue sponde sono rettificata e artificializzate, nelle vicinanze vi sono insediamenti industriali importanti (Cementificio Colacem, ex centro di compostaggio, deposito di materiali edili, Conceria) ed è costeggiata dalla SS 394. Le cose migliorano verso est, dove il corso d'acqua è inserito nei suoi argini naturale, diminuiscono gli insediamenti antropici, e il tracciato della SS 394 si allontana. Il Boesio rappresenta un importante elemento di collegamento con i boschi igrofili del fondovalle valcuviano.



Il torrente Viganella nasce in comune di Orino, scorre lungo il confine sud tra Gemonio e Cocquio Trevisago, per poi dirigersi verso Caravate. Analogamente a quanto osservato per il Boesio, la pressione antropica sul corso d'acqua è più forte verso valle. Risalendo verso monte, oltre l'ex Tessitura Roncari, migliorano le condizioni naturalistiche e paesistiche del corso d'acqua. Il T. Viganella incide la pianura, interessata da boschi, creando una forra di qualche metro di altezza piuttosto stretta.

La rete idraulica della regione, reperibile al sito della Regione Lombardia e dei Consorzi di bonifica, viene riportata in uno stralcio della figura successiva ed è suddivisa in reticolo idrico principale (RIP, in blu) di competenza di Regione Lombardia o AIPO, reticolo idrico minore (RIM, in verde più scuro) di competenza comunale, reticolo idrico consortile (RIB, non presenti) di competenza dei consorzi di bonifica e irrigazione, si vedano gli elaborati di Corografia di bacino. In rosso sono indicati i corsi d'acqua unificati della Regione che ricomprendono il reticolo idrico principale.

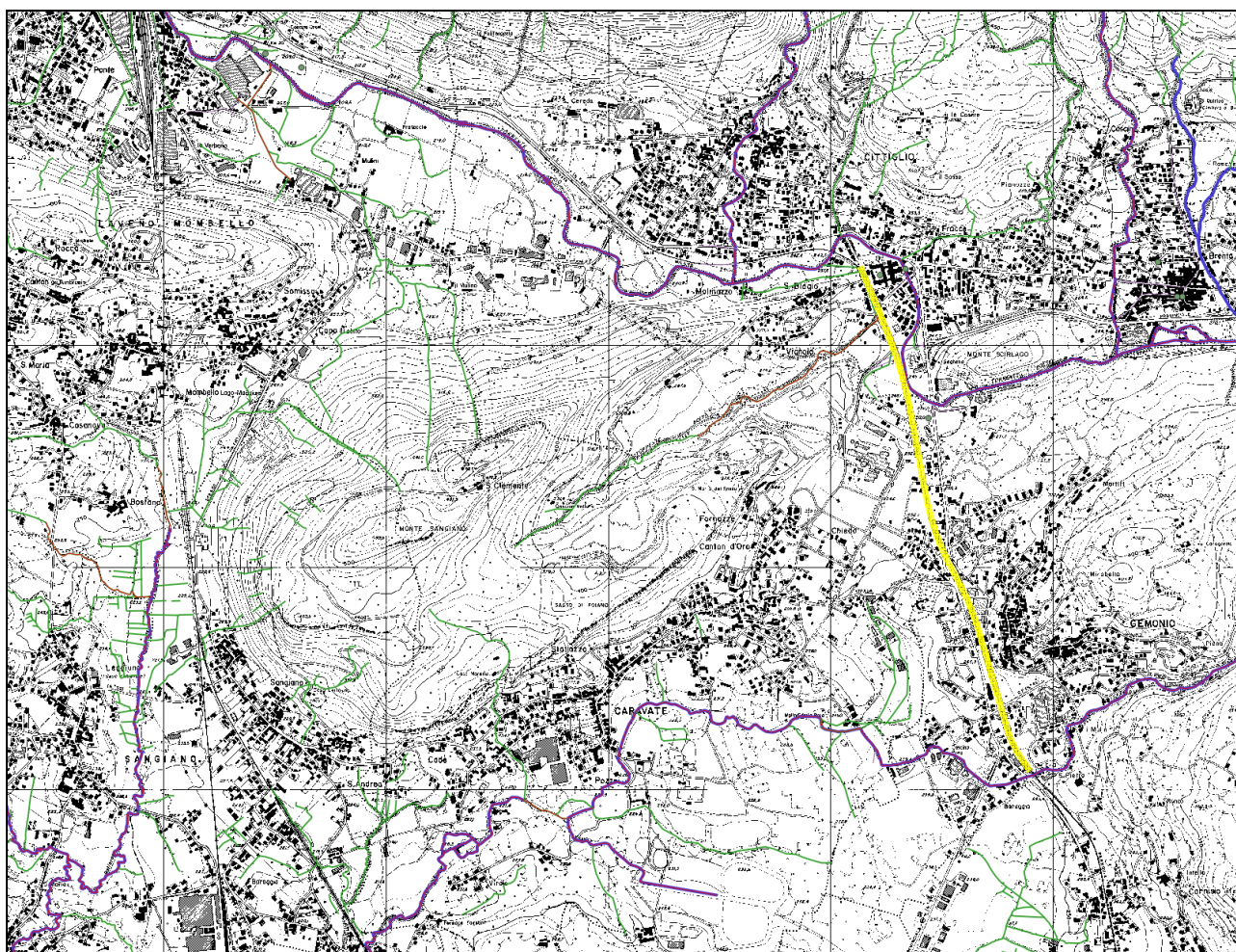


Figura 4.6: Reticolo Idrografico e linea ferroviaria esistente tratta del lotto (giallo)

## 4.5. PIANI NORMATIVI DI RIFERIMENTO

### 4.5.1. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico

Il Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con decreto del presidente del Consiglio dei ministri del 24 maggio 2001, ha la finalità di ridurre il rischio idrogeologico entro valori compatibili



con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti. Il PAI contiene:

- La delimitazione delle fasce fluviali (Fascia A, Fascia B, Fascia B di progetto e Fascia C) dell'asta del Po e dei suoi principali affluenti;
- La delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, delle aree in dissesto per frana, valanga, esondazione torrentizia e conoide che caratterizzano la parte montana del territorio regionale;
- La perimetrazione e la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura (zona I e zona BPr);
- Le norme alle quali le sopracitate aree a pericolosità di alluvioni sono assoggettate (Norme di attuazione).

La Direttiva Europea 2007/60/CE (cosiddetta "Direttiva Alluvioni") ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) deve attuare, nel modo più efficace. Il PGRA definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, con la partecipazione dei portatori di interesse e del pubblico.

La Figura 4.7 riporta uno stralcio delle fasce fluviali nell'intorno dell'ambito del progetto dalla quale si evince come la tratta di interesse passi sopra la valle del Fiume Serio, perimetrata secondo le tre diverse fasce di pericolosità idraulica.

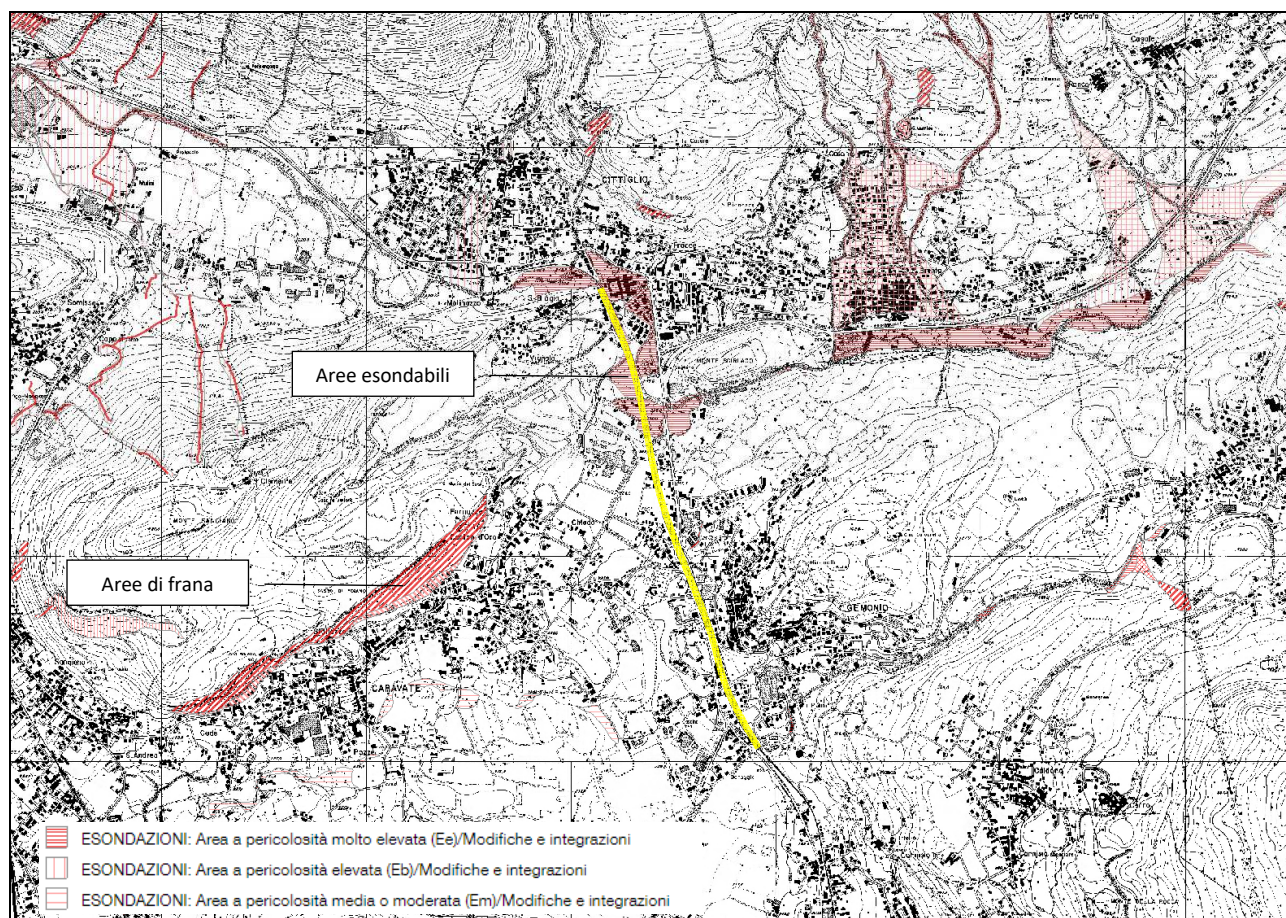


Figura 4.7: Estratto da Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Lombardia

#### **4.5.2. Piano di gestione del rischio alluvioni**

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) è un Piano introdotto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. 'Direttiva Alluvioni') con la finalità di costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della vita e salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale, delle attività economiche e delle infrastrutture strategiche.

In base a quanto disposto dal D.lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE, il PGRA, alla stregua dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), è stralcio del Piano di Bacino ed ha valore di piano sovraordinato rispetto alla pianificazione territoriale e urbanistica. Alla scala di intero distretto, il PGRA agisce in sinergia con i PAI vigenti; ha una durata di sei anni a conclusione dei quali si avvia ciclicamente un nuovo processo di revisione del Piano.

Per il Distretto Padano, cioè il territorio interessato dalle alluvioni di tutti i corsi d'acqua che confluiscono nel Po, dalla sorgente fino allo sbocco in mare, è stato predisposto il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del fiume Po (PGRA-Po).

Il primo PGRA (PGRA 2015) è adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con delibera n. 4 del 17 dicembre 2015 e approvato con delibera n. 2 del 3 marzo 2016; è definitivamente approvato con d.p.c.m. del 27 ottobre 2016.

La prima revisione del PGRA (PGRA 2021), relativa al sessennio 2022-2027, è stata adottata dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po con deliberazione n. 3 del 29 dicembre 2020 e approvata con deliberazione n. 5 del 20 dicembre 2021.

Le misure del PGRA hanno lo scopo di tutelare le persone e i beni vulnerabili alle alluvioni, all'interno o adiacenti ad aree allagabili. In particolare:

- cittadini che vivono, lavorano, attraversano, gestiscono beni e infrastrutture soggette ad alluvioni e i loro beni (casa, automobile, cantina, luoghi di lavoro e di vacanza)
- edifici e infrastrutture sedi di servizi pubblici (enti pubblici, ospedali, scuole)
- beni ambientali storici e culturali di rilevante interesse
- infrastrutture delle reti di pubblica utilità (strade, ferrovie, reti portuali ed aeroportuali, reti di approvvigionamento e depurazione delle acque, dighe)
- aziende agricole e impianti industriali, con particolare attenzione a quelli che a seguito di un'alluvione, oltre a subire dei danni, potrebbero inquinare l'ambiente circostante.

Le misure del PGRA coinvolgono tutti i soggetti che si occupano della gestione del rischio idraulico, sia in termini di difesa del suolo che in termini di protezione civile, alle varie scale territoriali, comprese le associazioni di volontariato e gli operatori che erogano formazione e informazione.

Ogni misura del PGRA ha un soggetto responsabile della sua realizzazione, individuato in base alle specifiche competenze definite dalla legislazione vigente. Si tratta principalmente di Enti pubblici ai vari livelli territoriali, da quello statale a quello comunale. Future modifiche normative potranno eventualmente modificare i soggetti attuatori delle misure.

Il PGRA contiene misure da attuare in 6 anni, un tempo pari alla durata del ciclo di pianificazione. Lo stato di attuazione delle misure del Piano viene monitorato annualmente da parte delle Regioni e dell'ADBPO; è prevista inoltre una verifica intermedia da parte dell'UE dopo 3 anni dall'adozione. L'elenco delle misure del PGRA 2015 si può ritrovare, per competenza, nei seguenti documenti: le misure di Distretto sono consultabili nella Parte IV A.3.1 Misure ordinate per ARS, le misure



regionali di difesa del suolo sono consultabili nella Parte V A. Relazione Regione Lombardia, le misure regionali di protezione civile sono consultabili nella Parte B. Relazione Regione Lombardia. Le Autorità di bacino distrettuali sono i soggetti competenti per gli adempimenti legati all'attuazione della Direttiva insieme alle Regioni, Enti incaricati – in coordinamento tra loro e col Dipartimento Nazionale della Protezione Civile – di predisporre ed attuare, per il territorio del distretto a cui afferiscono, il sistema di allertamento per il rischio idraulico ai fini di protezione civile. Nel secondo ciclo di attuazione della Direttiva, il territorio della Regione Lombardia sarà interessato dal nuovo Piano del PGRA del distretto padano.

L'immagine che segue riporta uno stralcio del PGRA nella zona di interesse con indicazione delle aree potenzialmente allagabili con frequenza di accadimento.

Come si evince dalla cartografia di riferimento del PGRA la tratta di interesse passa sopra zone appartenenti ad aree con probabilità di allagamento e potenziali zone esondabili tra elevata e media frequenza, in particolare lungo le fasce del torrente Boesio in prossimità di Cittiglio.

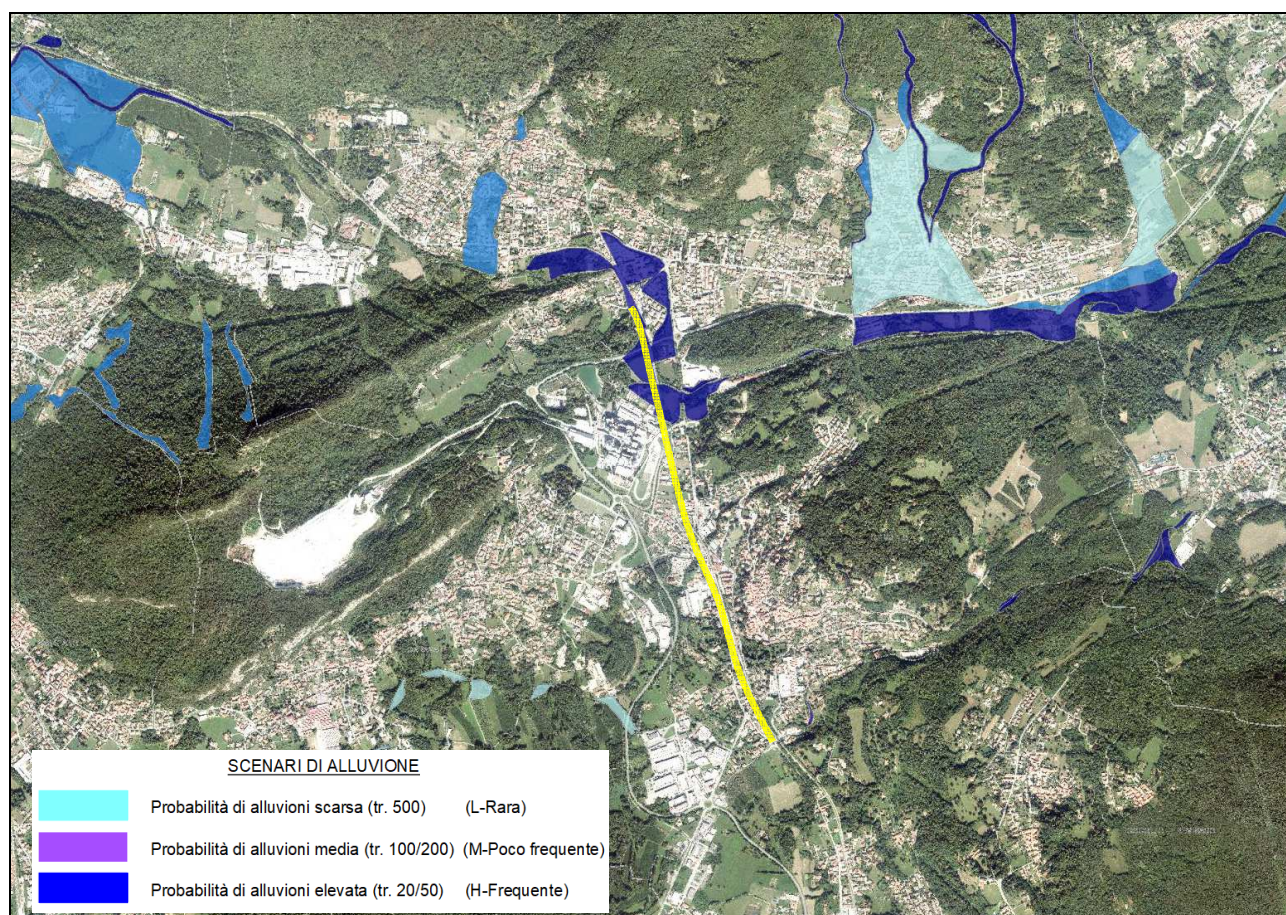


Figura 4.8: Estratto da PGRA - Regione Lombardia. Scenari di pericolosità su base ortofotografica

Al PAI e al PGRA a livello territoriale altro riferimento e strumento di pianificazione è il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Varese, approvato dal Consiglio Provinciale nel 11 aprile 2007, con Delibera del Consiglio n. 27 e relative Norme Tecniche di Attuazione. Dalla visione delle mappe che accompagnano lo strumento di piano provinciale si osserva che il tratto ferroviario non interessa direttamente aree soggette a vincoli.



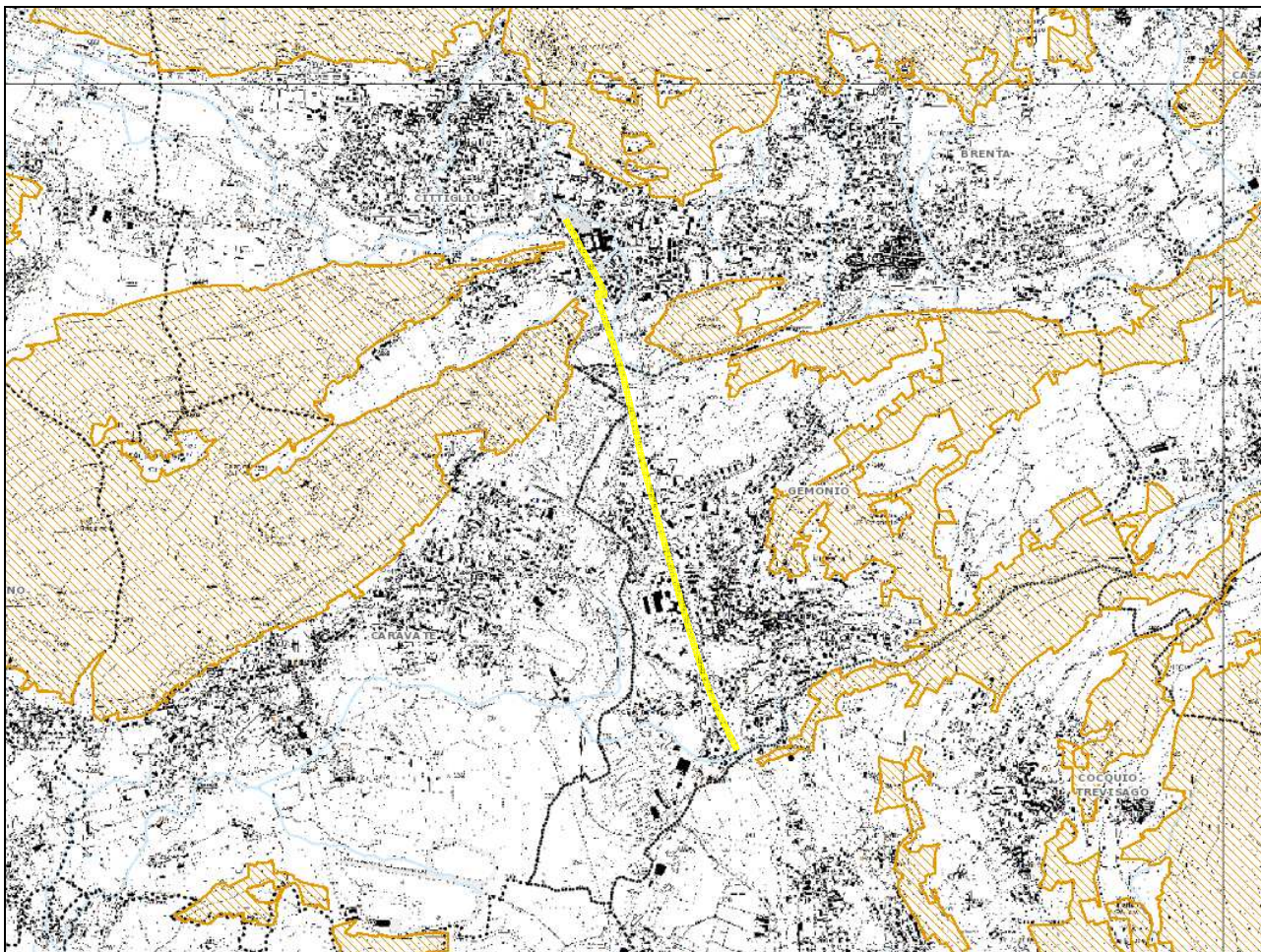


Figura 4.9: Estratto da Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Provincia di Varese. Vincolo idrogeologico

#### 4.6. CONSORZI DI BONIFICA

Le Autorità di bacino hanno conoscenze e competenze d'ambito e si pronunciano a livello di scala di bacino mentre nel dettaglio di ogni singolo territorio governano enti preposti al controllo e alla polizia locale quali i consorzi di bonifica. L'area oggetto di intervento ricade parzialmente nella parte sud all'interno di aree servite da consorzi di bonifica presenti a livello di territorio regionale, i quali hanno ruoli di Presidio Territoriale Idraulico con competenze specifiche e gestione su ciascun comprensorio.

In Figura 4.10: Consorzi di bonifica presenti sul territorio della Regione Lombardia sono indicate le suddivisioni territoriali sulle quali hanno giurisdizione i vari consorzi di bonifica di seguito elencati:

1	Associazione Irrigazione Est Sesia*	7	Chiese
2	Est Ticino Villoresi	8	Garda Chiese*
3	Muzza Bassa Lodigiana	9	Territori del Mincio*
4	Media Pianura Bergamasca	10	Navarolo
5	Dugali, Naviglio, Adda-Serio	11	Terre dei Gonzaga in destra Po*
6	Oglio Mella	12	Burana*

\*Consorzio interregionale



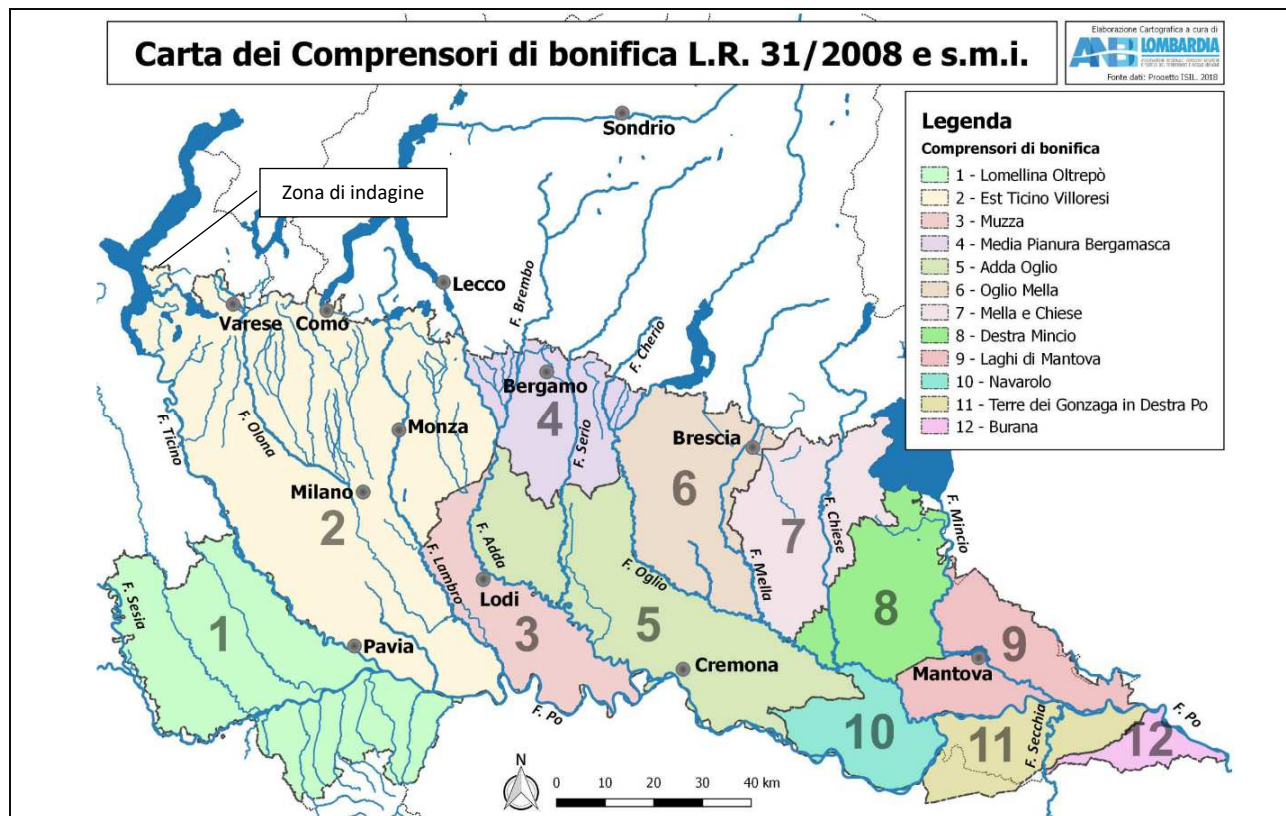


Figura 4.10: Consorzi di bonifica presenti sul territorio della Regione Lombardia

Nello specifico della zona a sud di Gemonio l'area interessata dall'intervento di progetto ricade ai limiti nord della circoscrizione del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi.

La Bonifica Est Ticino Villoresi, autorità idraulica competente, opera all'interno del proprio comprensorio situato nel bacino del fiume Ticino e in particolare il tratto sottolacuale. La sua funzione principale è garantire, attraverso il proprio reticolo idrografico artificiale, il deflusso delle acque piovane provenienti dalle aree agricole ed urbane. Questa attività protegge il territorio dai rischi di allagamento e alluvione, sempre più elevati a causa della crescente urbanizzazione.

#### 4.7. PRINCIPIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Lo studio di compatibilità idraulica è necessario per valutare e certificare l'ammissibilità delle previsioni urbanistiche rispetto alla pericolosità idraulica dei luoghi, ovvero è volto a riscontare che non sia aggravato il livello di rischio idraulico esistente, né pregiudicata la riduzione anche futura di tale livello. La verifica di compatibilità idraulica deve pertanto valutare l'ammissibilità degli interventi di trasformazione, considerando le interferenze con le pericolosità idrauliche presenti e la necessità di prevedere interventi per la mitigazione del rischio, indicandone l'efficacia in termini di riduzione della specifica pericolosità. Le norme contemplano altresì la previsione delle misure compensative, rivolte al perseguimento del principio dell'invarianza idraulica della trasformazione.

L'analisi idraulica fa ad ogni modo sempre riferimento agli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento che per la zona in esame sono:

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

Come si è osservato dalle precedenti mappe, la tratta ferroviaria oggetto di intervento attraversa alcune zone a pericolosità idraulica classificate a diverse probabilità di alluvione, valicando alcune dei corsi d'acqua maggiori e minori del territorio che sono stati perimetrati all'interno del PAI e delle carte del PGRA.

Nell'ambito dello studio di compatibilità idraulica che determini trasformazioni territoriali si deve fare riferimento alla Linee Guida per la progettazione dei sistemi di raccolta delle acque piovane per il controllo degli apporti nelle reti idrografiche di pianura in applicazione del regolamento regionale R.R. 7 del 2017 aggiornato al R.R. 8 del 2019 della Regione Lombardia. Le varie autorità territoriali, infatti, recependo le indicazioni di carattere nazionale e regionale in tema di compatibilità idraulica, hanno prefissato una serie di linee guida e indicazioni allo scopo di mitigare l'eventuale aggravio idraulico indotto da modifiche superficiali o sistemazioni che possono avvenire per uno dei seguenti motivi:

- intrusione di elementi estranei nella sezione idraulica, con incremento dei livelli di piena e possibilità di esondazione;
- sottrazione di volumi utili alla laminazione delle piene ed incremento dei picchi di piena a valle
- accelerazione della corrente e riduzione dei meccanismi di laminazione dinamica in alveo;
- possibilità di erosione di materiale o manufatti ad opera della corrente e incremento di carico di detriti nella corrente a valle;
- deviazione di percorsi idraulici di piena verso elementi sensibili.

In ogni caso le opere di progetto non devono modificare le dinamiche idrauliche, peggiorare l'officiosità idraulica delle infrastrutture, semmai migliorarne lo stato dell'arte con interventi di efficientamento e mitigazione e invarianza idraulica.

Le Linee Guida sono state definite nell'ambito delle attività svolte per la redazione del Testo Coordinato del regolamento regionale 19 aprile 2019, n. 8, "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)". In particolare, al fine di perseguire l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo, riequilibrare progressivamente il regime idrologico e idraulico naturale, conseguire la riduzione quantitativa dei deflussi, l'attenuazione del rischio idraulico e la riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori tramite la separazione e gestione locale delle acque meteoriche non suscettibili di inquinamento, il presente regolamento definisce, in attuazione dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio), criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica, che devono essere anche utilizzati dai regolamenti edilizi comunali per disciplinare le modalità per il conseguimento dei principi stessi, e specifica, altresì, gli interventi ai quali applicare tale disciplina ai sensi dell'articolo 58 bis, comma 2, della stessa l.r. 12/2005.

Le norme individuano le classi di intervento a seconda delle dimensioni, dell'entità del grado di impermeabilizzazioni e dell'ambito territoriale di appartenenza, nonché la metodologia da utilizzare per il calcolo dei volumi di mitigazione idraulica. I parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione delle precipitazioni di progetto da assumere sono quelli riportati da ARPA Lombardia per tutte le località del territorio regionale.



Considerato che l'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica contribuisce in modo fondamentale alle misure di prevenzione dell'esondazione dei corsi d'acqua e delle reti di drenaggio urbano, il regolamento prevede che siano valutate le condizioni locali di rischio di allagamento residuo per eventi di tempo di ritorno alti, quelli cioè che determinano un superamento anche rilevante delle capacità di controllo assicurate dalle strutture fognarie; gli interventi di laminazione o anche infiltrazione delle acque pluviali sono conseguentemente dimensionati assumendo i seguenti valori di tempi di ritorno:

- $T_r = 50$  anni: tempo di ritorno da adottare per il dimensionamento delle opere di laminazione o anche infiltrazione con un adeguato grado di sicurezza delle stesse, in considerazione dell'importanza ambientale ed economica degli insediamenti urbani;
- $T_r = 100$  anni: tempo di ritorno da adottare per la verifica del grado di sicurezza delle opere come sopra dimensionate. Tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con  $T_r = 100$  anni, non si manifestino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno. Il medesimo tempo di ritorno è adottato anche per il dimensionamento e la verifica delle eventuali ulteriori misure locali anche non strutturali di protezione idraulica dei beni insediati, quali barriere e paratoie fisse o rimovibili a difesa di ambienti sotterranei, cunette di drenaggio verso recapiti non pericolosi.

Infine, sulla base delle indicazioni e dei requisiti generali di riferimento forniti dall'Autorità di Bacino, nonché delle specifiche prescrizioni fornite dagli Enti competenti al rilascio degli atti autorizzativi dell'attraversamento, dovrà essere verificato in generale che:

- l'opera non costituisca ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque rispetto sia allo stato di fatto nel momento di realizzazione dell'opera, sia alle previsioni di assetto futuro della rete idrografica;
- sia garantita integralmente la funzionalità delle opere di protezione dell'alveo e quelle di difesa idraulica esistenti nel tratto interessato all'attraversamento;
- le opere provvisorie necessarie all'esecuzione dell'opera siano compatibili con il deflusso delle acque.

Gli interventi sono classificabili come interventi di interesse pubblico, si rimanda quindi alle indicazioni fornite dall'art. 38 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po.

#### **4.7.1. Art. 38. Interventi per la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico**

*1. Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui al comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.*

*2. L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.*

*3. Le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino.*

Gli interventi in oggetto sono opere di interesse pubblico, limitate all'asse ferroviario esistente che non comportano una riduzione della capacità di invaso e soprattutto sono opere non delocalizzabili. Inoltre, non costituiscono ostacolo al deflusso, non pregiudicano la possibilità di sistemazione idraulica definitiva dell'area, assicurano il mantenimento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e la sicurezza delle opere di difesa esistenti e non producono effetti né in termini di modifica di deflussi idrici, né in termini di squilibrio degli attuali bilanci della risorsa idrica (prelievi e scarichi). Le opere in progetto mantengono inalterate le condizioni idrauliche rispetto a corpi idrici esistenti.

Per quanto sopraccitato, è possibile affermare che le opere in progetto risultano idraulicamente compatibili con le norme in vigore attualmente.

#### **4.8. REGOLAMENTO REGIONALE IN TEMA DI INVARIANZA IDRAULICA**

La linea ferroviaria di interesse ha uno sviluppo planimetrico di circa 2.3 km e prevede il raddoppio del binario mantenendo per molti tratti inalterato l'assetto del binario esistente con alleggerimento di sede variabile in dimensione e posizione lato est piuttosto che lato ovest. Ad ogni modo l'impermeabilizzazione prodotta dall'intervento risulta limitata all'ingombro ferroviario e appare, a livello puntuale, poco significativa in termini di aggravio delle condizioni di carico idraulico prodotto dalle acque meteoriche di piattaforma. In una visione globale ovviamente la superficie di intervento risulta di discreta estensione, considerando l'intero corpo ferroviario di nuova edificazione raggiunge circa 8.500 m<sup>2</sup> di copertura.

Ai sensi del R.R. n.7/2017 è necessario individuare la "classe dell'intervento" così da definire le modalità di calcolo da applicare in fase di dimensionamento dei sistemi di smaltimento e laminazione; la scelta è effettuata sulla base dei seguenti parametri:

- Criticità idraulica del Comune;
- Superficie interessata dall'intervento;
- Coefficiente di deflusso medio ponderale.

Il territorio Lombardo è stato suddiviso in 3 ambiti in cui sono inseriti i Comuni secondo la criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori. I Comuni interessati, Gemonio e Cittiglio ricadono tra quelli ad alta criticità (A), in via precauzionale si farà riferimento alla Classe A per tutta la tratta di intervento. Considerando tutta superficie interessata dall'intervento di raddoppio (poco meno di 8.500 m<sup>2</sup>) e un coefficiente di deflusso medio ponderale cautelativo (0,9) alla stregua di una

mera impermeabilizzazione, si arriva a definire la classe d'intervento come da tabella proposta dal R.R. n.7/2017 (Figura 4.12), che può variare da classe 0 "impermeabilizzazione potenziale qualsiasi" a classe 3 "impermeabilizzazione potenziale alta". Il caso in esame si pone alla classe 2 di media impermeabilizzazione.

Dovendo rispettare i parametri dell'invarianza idraulica, le precipitazioni da considerare a livello globale di intervento sono quelle orarie, che massimizzano il volume da laminare. Ad ogni modo, il calcolo è stato effettuato sulla scorta di un duplice aspetto; l'officiosità idraulica in termini di portate massime derivanti da un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione da una parte (e quindi piogge di durata di pochi minuti), e la massima capacità di detenzione in concomitanza di un tempo critico di pioggia dall'altra.

Si ricorda che tale tempo critico non è in alcun modo connesso alle dimensioni e forme del bacino ma ai soli parametri climatici e alla portata massima consentita allo scarico, nella fattispecie pari al coefficiente udometrico massimo previsto così come prescritto nelle linee guida dell'Allegato al R.R. 7 del 2017 aggiornato al R.R. 8 del 2019. Infine, per la classe di intervento prevista è raccomandato che i volumi di mitigazione idraulica siano quantomeno allineati alle indicazioni del R.R. 7 del 2017 e pari a 800 m<sup>3</sup>/ha.

La normativa regionale prevede, peraltro, la possibilità di gestione delle acque meteoriche mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo che, in funzione dell'importanza dell'intervento, possono essere verificate con indagini geologiche ed idrogeologiche sito specifiche, con le normative ambientali e sanitarie e con le pertinenti indicazioni contenute nella componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio (PGT) comunale.

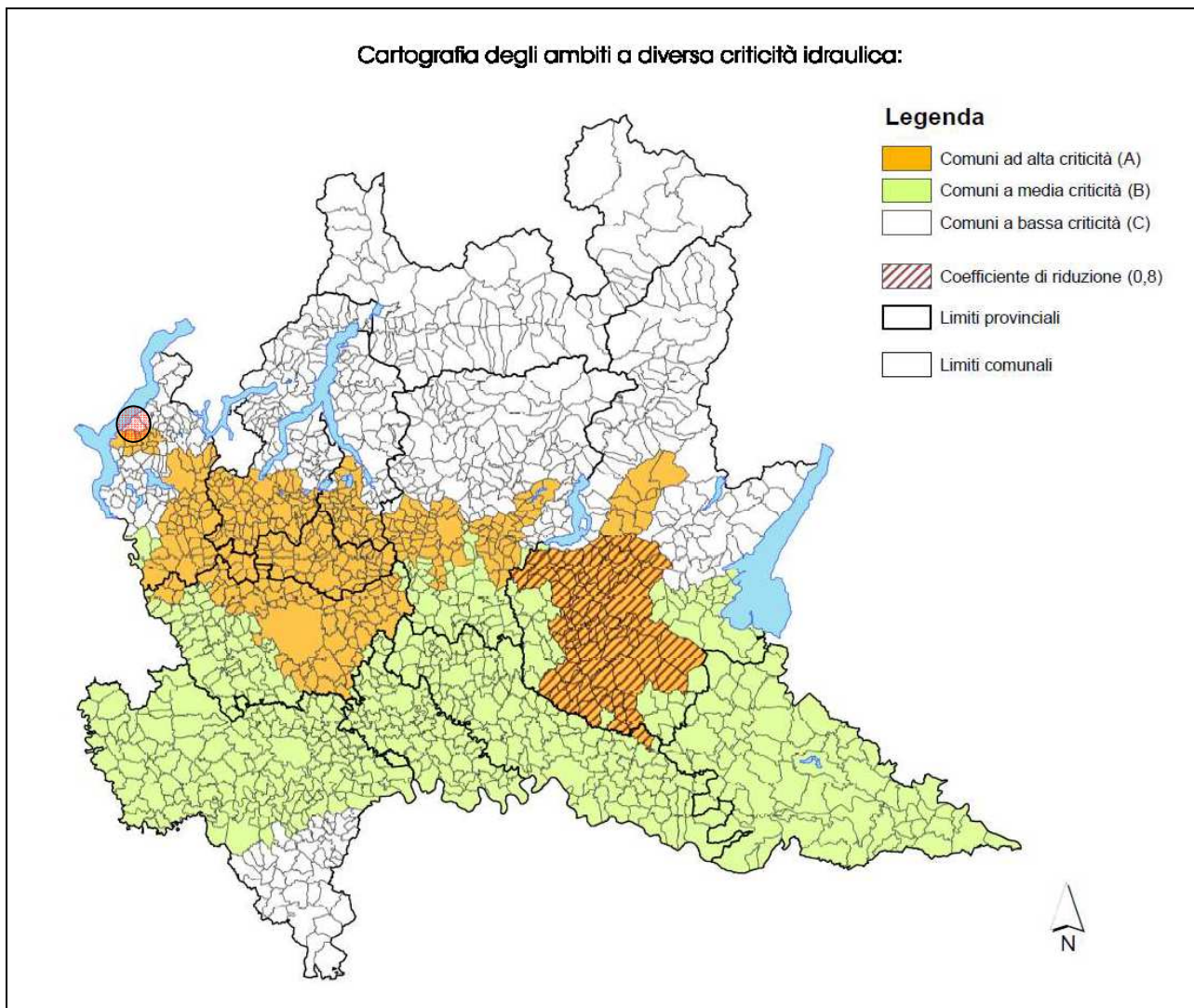


Figura 4.11: distribuzione aree di criticità idraulica e idrologica Regione Lombardia (Allegato "B" del R.R.7)

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFLUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Aree A, B	Aree C
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	$\leq 0,03$ ha ( $\leq 300$ mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da $> 0,03$ a $\leq 0,1$ ha (da $> 300$ mq a $\leq 1.000$ mq)	$\leq 0,4$	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da $> 0,03$ a $\leq 0,1$ ha (da $> 300$ a $\leq 1.000$ mq)	$> 0,4$	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da $> 0,1$ a $\leq 1$ ha (da $> 1.000$ a $\leq 10.000$ mq)	qualsiasi		
		da $> 1$ a $\leq 10$ ha (da $> 10.000$ a $\leq 100.000$ mq)	$\leq 0,4$		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da $> 1$ a $\leq 10$ ha (da $> 10.000$ a $\leq 100.000$ mq)	$> 0,4$	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		$> 10$ ha ( $> 100.000$ mq)	qualsiasi		

Figura 4.12: Classificazione degli interventi secondo R.R.7 Regione Lombardia

## 5. ANALISI IDROLOGICA

Per quanto riguarda lo studio idrologico dell'area in esame, si è proceduto analizzando i dati di pioggia del territorio confrontando le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di due enti ufficiali quali l'Autorità di bacino e Arpa Lombardia definendo quindi le caratteristiche pluviometriche dell'ambito di studio.

### 5.1. ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI

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

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

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

Tipo di opera	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazioni stradali	25

- Fossi di guardia e idrografia minore:

Tipo di opera	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazioni stradali	25

- Manufatti di attraversamento (ponti e tombini) in alveazioni:

Tipo di opera	Tr [anni]
Linea ferroviaria	200
Deviazioni stradali	200

Visto che si tratta dell'idraulica della piattaforma ferroviaria per i calcoli idraulici si dovrà fare riferimento a  $Tr = 100$  anni per la verifica delle opere di drenaggio, nel contempo effettuare le analisi anche in corrispondenza di eventi caratterizzati da probabilità di accadimento pari a  $Tr = 50$  anni per il dimensionamento delle eventuali opere di laminazione e invaso e per il controllo degli efflussi allo scarico come indicato dal R.R. 7 del 2017.

Tuttavia, considerando di adottare sistemi di smaltimento delle acque meteoriche attraverso dispositivi di infiltrazione, gli stessi verranno verificati e dimensionati per eventi  $Tr = 200$  anni.

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 idro-climatici 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).

Nell'ambito di interesse 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.

#### **5.1.1. LSPP fonte Autorità di bacino del fiume PO**

L'Autorità di bacino del Fiume Po nell'ambito della *Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica* ha fornito una stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali nelle stazioni di misura delle precipitazioni redatte sulla scorta delle 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.

La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata 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.

L'Allegato 2 contiene le caratteristiche delle stazioni di misura considerate, le serie dei dati storici utilizzati e l'ubicazione cartografica delle stazioni di misura a livello di corografia, del quale se ne riporta uno stralcio relativamente all'area di interesse.



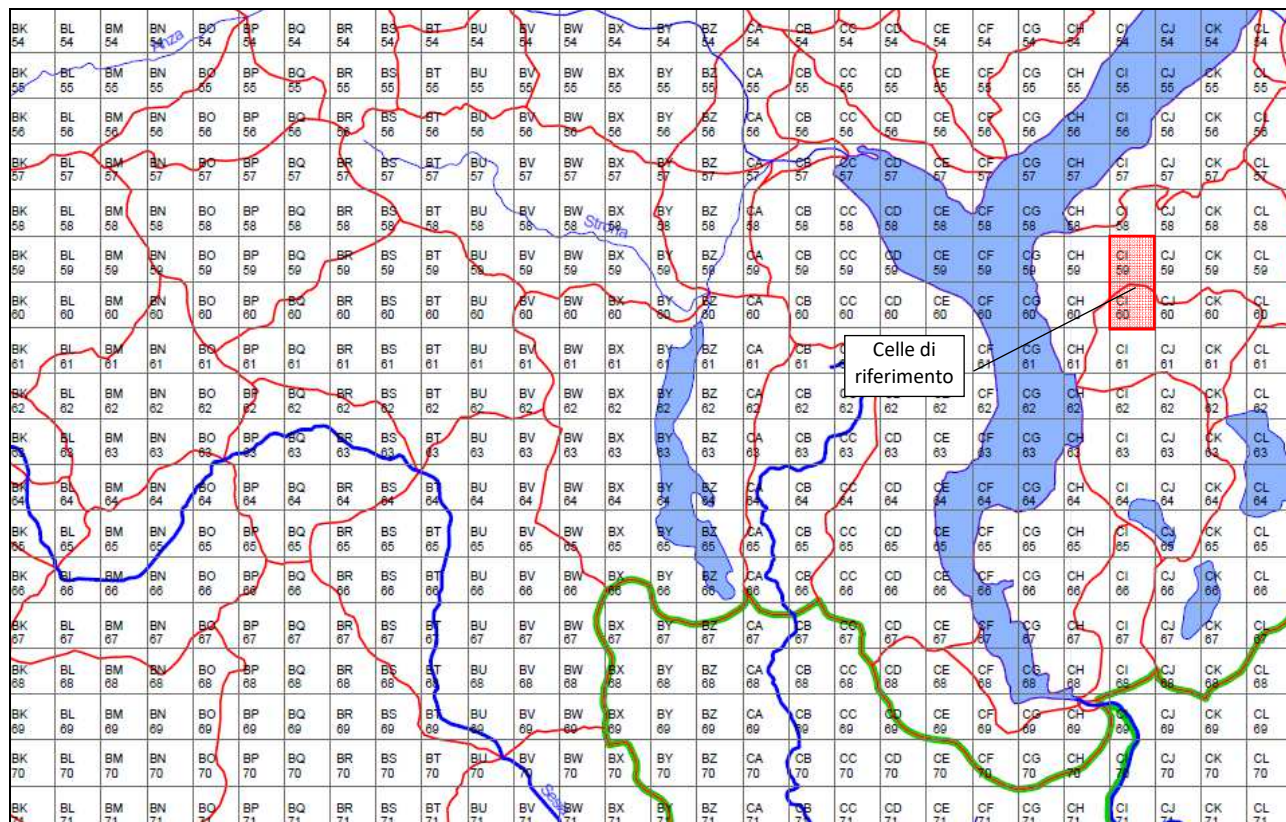


Figura 5.1: Individuazione delle celle di riferimento su base cartografica AdbPO nell'ambito di interesse

Cella	Est UTM	Nord UTM	a Tr 20	n Tr 20	a Tr 100	n Tr 100	a Tr 200	n Tr 200	a Tr 500	n Tr 500
CI59	473000	508300	62.79	0.360	79.85	0.356	87.18	0.355	96.83	0.354
CI60	473000	508100	62.76	0.348	79.86	0.343	87.22	0.342	96.88	0.340

Tabella 5.1: Estratto dei parametri meteoroclimatici delle line segnalatrici fornite da AdbPO

Le due celle sono caratterizzate, ovviamente, da valori pressoché analoghi, e quindi risulta irrilevante la scelta di una o dell'altra ai fini del calcolo delle portate e dei volumi liquidi in gioco.

### 5.1.2. LSPP fonte Arpa Lombardia

ARPA Lombardia, nell'ambito del progetto INTERREG IV/A STRADA (Strategie di Adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero) nato da una collaborazione transfrontaliera tra Italia e Svizzera, in collaborazione con il Centro Nivo-Meteo di Bormio e del Servizio Idrografico, ha partecipato alla definizione delle "precipitazioni estreme". Relativamente alle precipitazioni ARPA ha sviluppato due nuovi servizi: la consultazione delle mappe di stima della pioggia integrata con rilievi a terra e radar per il periodo 1997-2011 e l'Atlante delle piogge intense, di fondamentale utilità per le analisi idrologiche e il monitoraggio degli eventi meteorologici estremi.

### 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 Lombardia.

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

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

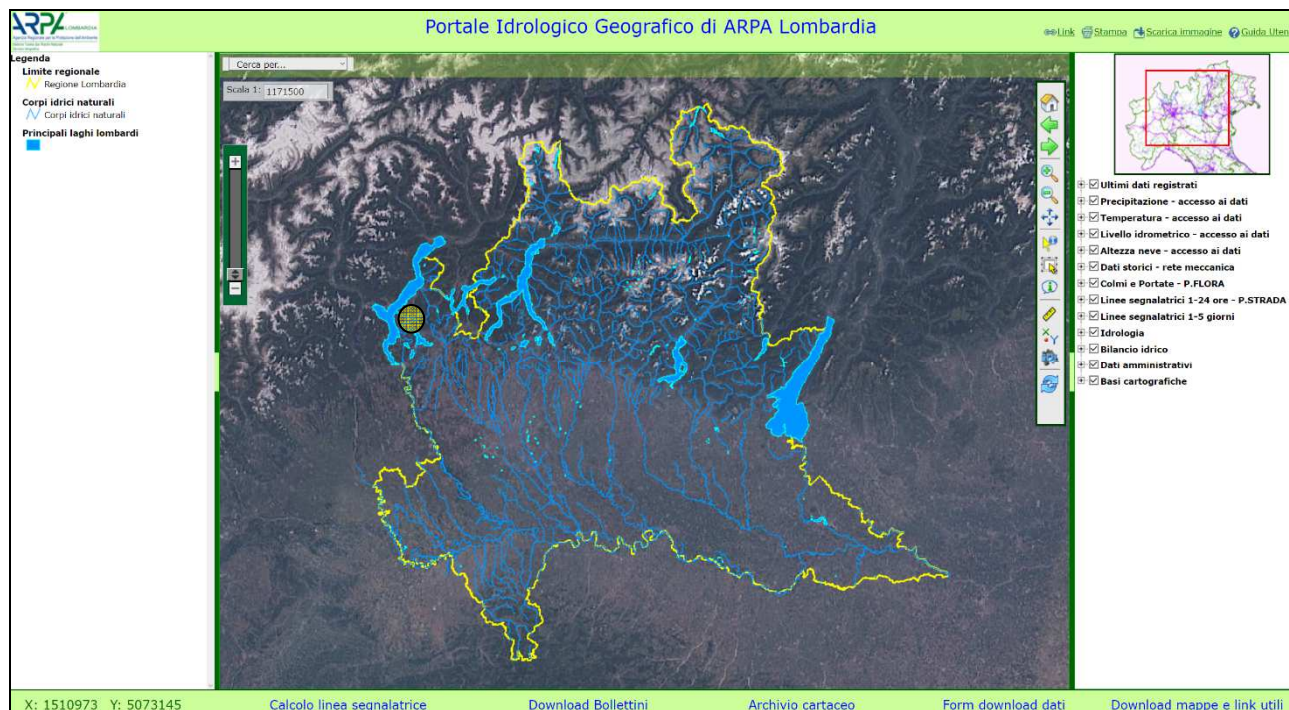


Figura 5.2: Portale Idrologico Geografico di Arpa Lombardia con individuazione dell'area di interesse

La parametrizzazione delle linee segnalatrici sviluppata per Arpa Lombardia 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;
- la distribuzione di probabilità del valore estremo a tre parametri, la Generalized Extreme Value (GEV), in buon accordo con i dati campionari utilizzati per il territorio in esame, valutata analiticamente più adatta della distribuzione di Gumbel per la descrizione statistica dei punti più vicini ai confini regionali, in particolare quelli ad orografia complessa;
- la stima dei parametri della distribuzione mediante la tecnica operativa degli L-moments. Da un'analisi di sensitività sulle diverse tecniche di stima non si sono comunque rilevate differenze significative in termini operativi sul risultato finale per l'area in esame.

Il nuovo atlante delle piogge intense è stato calcolato puntualmente su una maglia di 1 km x 1 km 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 per ogni tempo di ritorno e dall'altra la valutazione del tempo di ritorno di un evento estremo. Nelle figure successive si evidenziano le celle della griglia di dati in cui ricadono gli interventi in oggetto.



Figura 5.3: Individuazione delle celle di riferimento ARPA Lombardia nell'ambito di interesse

Cella	
a1 - coefficiente pluviometrico orario	31.77
n - coefficiente di scala	0.3695
GEV - parametro alpha	0.2769
GEV - parametro kappa	-0.0137
GEV - parametro epsilon	0.8361

Tabella 5.2: Parametri 1-24 ore delle Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica

Le celle sono caratterizzate, ovviamente, da valori pressoché analoghi, e quindi risulta irrilevante la scelta di una piuttosto di un'altra ai fini del calcolo delle portate e dei volumi liquidi in gioco. Si tratta di un intervento pressoché localizzato e pertanto variazioni climatiche significative non ci possono essere da inizio e fine tratta dell'intervento.

## Il modello probabilistico GEV

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;
- $K$  un parametro di forma.

Il modello GEV riassume le tre leggi asintotiche del massimo valore del 1° tipo (EV1, Gumbel), del 2° (EV2) e del 3° (EV3) tipo. In particolare, per  $K = 0$  si ricade nell'espressione di Gumbel che quindi rappresenta un caso particolare del modello GEV.

La stima dei tre parametri può essere effettuata tramite la tecnica basata sui momenti lineari. Stimati i tre parametri della GEV per la stazione in esame la relazione che individua la relazione fra tempo di ritorno  $T$  e valore del parametro  $K_T$  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 parametro  $K_T$ :

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

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

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

Le leggi di probabilità pluviometrica sono state determinate sulla base dei dati disponibili sul Portale del Servizio Idrografico dell'ARPA Lombardia, il quale fornisce i seguenti parametri:

- $a_1$ : coefficiente di scala della linea segnalatrice, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento;
- $n$ : esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali;
- parametri di forma  $k$ , di scala  $\alpha$ , 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 e viene calcolato con la seguente espressione:

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

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.

Di seguito si riportano le elaborazioni per la cella di riferimento, con  $a_1 = 31.77$  e  $n = 0.37$ ,  $w_T = 1.95$  per  $Tr = 50$  anni,  $w_T = 2.15$  per  $Tr = 100$  anni e  $w_T = 2.36$  per  $Tr = 200$  anni:

- $h = 61.82 \cdot t^{0.37}$  per  $Tr = 50$  anni
- $h = 68.33 \cdot t^{0.37}$  per  $Tr = 100$  anni
- $h = 74.88 \cdot t^{0.37}$  per  $Tr = 200$  anni

Tr	2	5	10	20	50	100	200
wT	0.93784	1.25573	1.46893	1.67551	1.94595	2.15088	2.35702
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	29.80	39.89	46.67	53.23	61.82	68.33	74.88
2	38.49	51.54	60.29	68.77	79.87	88.28	96.74
3	44.71	59.87	70.03	79.88	92.78	102.55	112.38
4	49.73	66.58	77.89	88.84	103.18	114.05	124.98
5	54.00	72.31	84.58	96.48	112.05	123.85	135.72
6	57.77	77.35	90.48	103.20	119.86	132.48	145.18
7	61.15	81.88	95.78	109.25	126.89	140.25	153.69
8	64.24	86.02	100.63	114.78	133.30	147.34	161.46
9	67.10	89.85	105.10	119.88	139.23	153.90	168.64
10	69.77	93.41	109.27	124.64	144.76	160.00	175.34
11	72.27	96.76	113.19	129.11	149.95	165.74	181.62
12	74.63	99.92	116.89	133.33	154.85	171.16	187.56
13	76.87	102.92	120.40	137.33	159.50	176.29	193.19
14	79.00	105.78	123.74	141.14	163.92	181.19	198.55
15	81.04	108.51	126.94	144.79	168.16	185.87	203.68
16	83.00	111.13	130.00	148.28	172.21	190.35	208.59
17	84.88	113.65	132.94	151.64	176.12	194.66	213.32
18	86.69	116.07	135.78	154.88	179.88	198.82	217.87
19	88.44	118.42	138.52	158.00	183.50	202.83	222.27
20	90.13	120.68	141.17	161.03	187.02	206.71	226.52
21	91.77	122.88	143.74	163.95	190.42	210.47	230.64
22	93.36	125.01	146.23	166.80	193.72	214.12	234.64
23	94.91	127.08	148.65	169.56	196.93	217.67	238.53
24	96.41	129.09	151.01	172.25	200.05	221.12	242.31

Tabella 5.3: Altezze di precipitazione in mm per determinata durata dell'evento in ore

Le curve a due parametri ben si adattano a rappresentare eventi di precipitazione di durata superiore alle 2-3 ore, mentre risultano spesso troppo alte se si volesse riprodurre un evento di breve durata e forte intensità dell'ordine di pochi minuti, come peraltro avviene per superfici scolanti di piccole dimensioni. Si possono adottare allo scopo diverse formulazioni di adattamento quale quella di Bell o altre e tutte riconducono ad un ridimensionamento del coefficiente "n" verso valori prossimi a 0.4-0.5; in particolare nell'Allegato B del R.R. 8 2019 si consiglia di utilizzare le LSPP di Arpa Lombardia valide per piogge orarie, assumendo il coefficiente n pari a 0.5.

Pertanto, nella presente analisi, per il dimensionamento di opere interessate da precipitazioni di breve durata, si farà esplicitamente riferimento a questa indicazione ottenendo quindi le seguenti curve di pioggia riconducibili ad eventi di forte intensità e a rapido esaurimento.

- $h = 61.82 \cdot t^{0.50}$  per  $Tr = 50$  anni –  $t < \text{ora}$
- $h = 68.33 \cdot t^{0.50}$  per  $Tr = 100$  anni –  $t < \text{ora}$
- $h = 74.88 \cdot t^{0.50}$  per  $Tr = 200$  anni –  $t < \text{ora}$

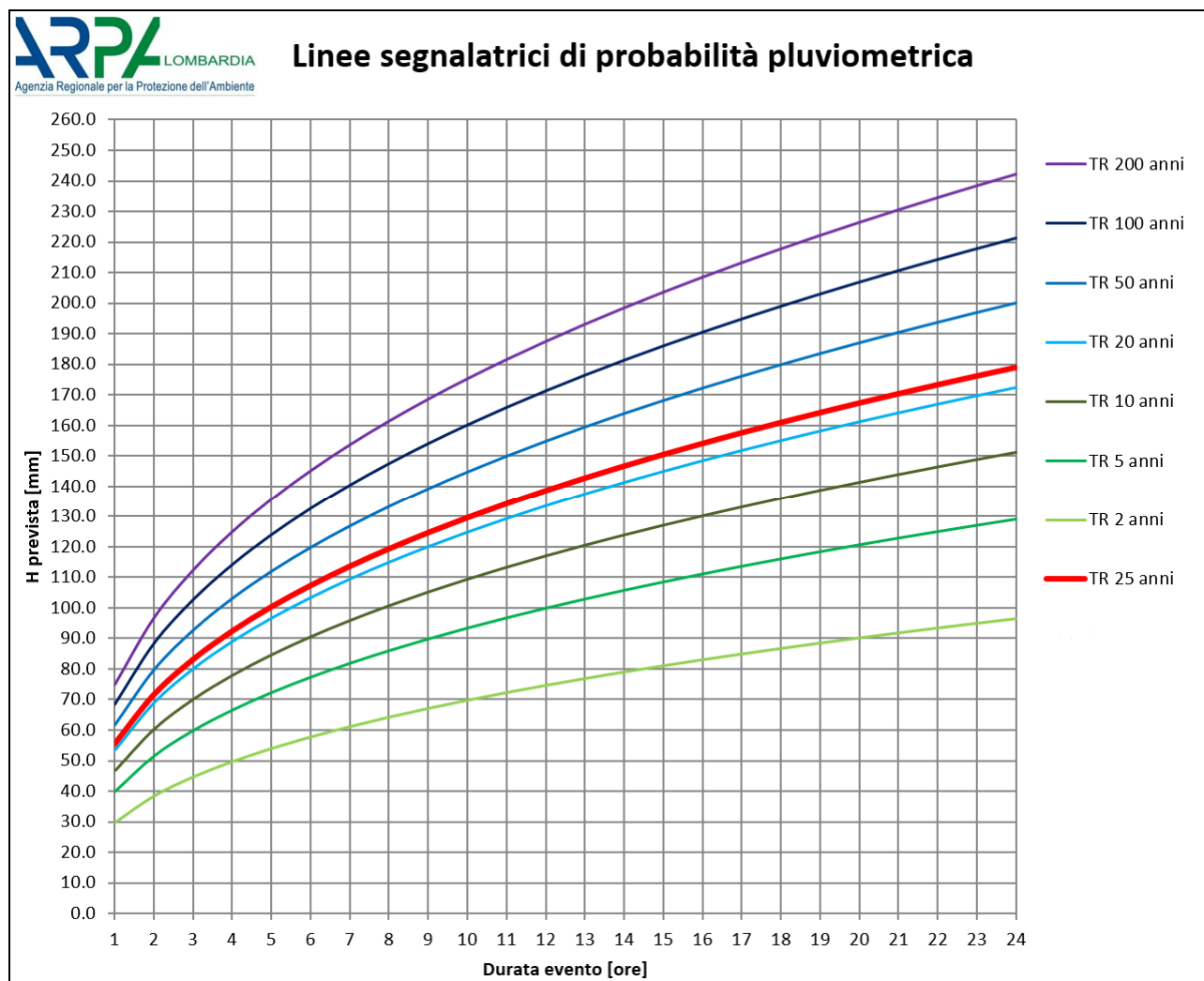


Figura 5.4: Linee Segnalatrici di possibilità Pluviometrica relativamente alla zona di Progetto



Dal confronto dei dati pluviometrici risulterebbero più cautelative le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica fornite dal AdbPO, ad ogni modo si farà riferimento ai valori delle curve di possibilità climatica dedotti da ARPA Lombardia, anche in applicazione del regolamento regionale n. 7 che nell'ambito del dimensionamento di opere di mitigazione idraulica prevede l'adozione delle stesse. Inoltre, si è scelto di adottare i dati di ARPA Lombardia in quanto più recenti, nondimeno il fatto che sono quelle prescritte dalla normativa regionale R.R. n. 7 e R.R. n. 8 del 2019. Si riporta a titolo di esempio un raffronto tra le LSPP di ARPA Lombardia e quelle dell'Autorità di bacino del PO per l'evento centennale (riferimento per il calcolo della presente analisi) relativamente alla zona di interesse.

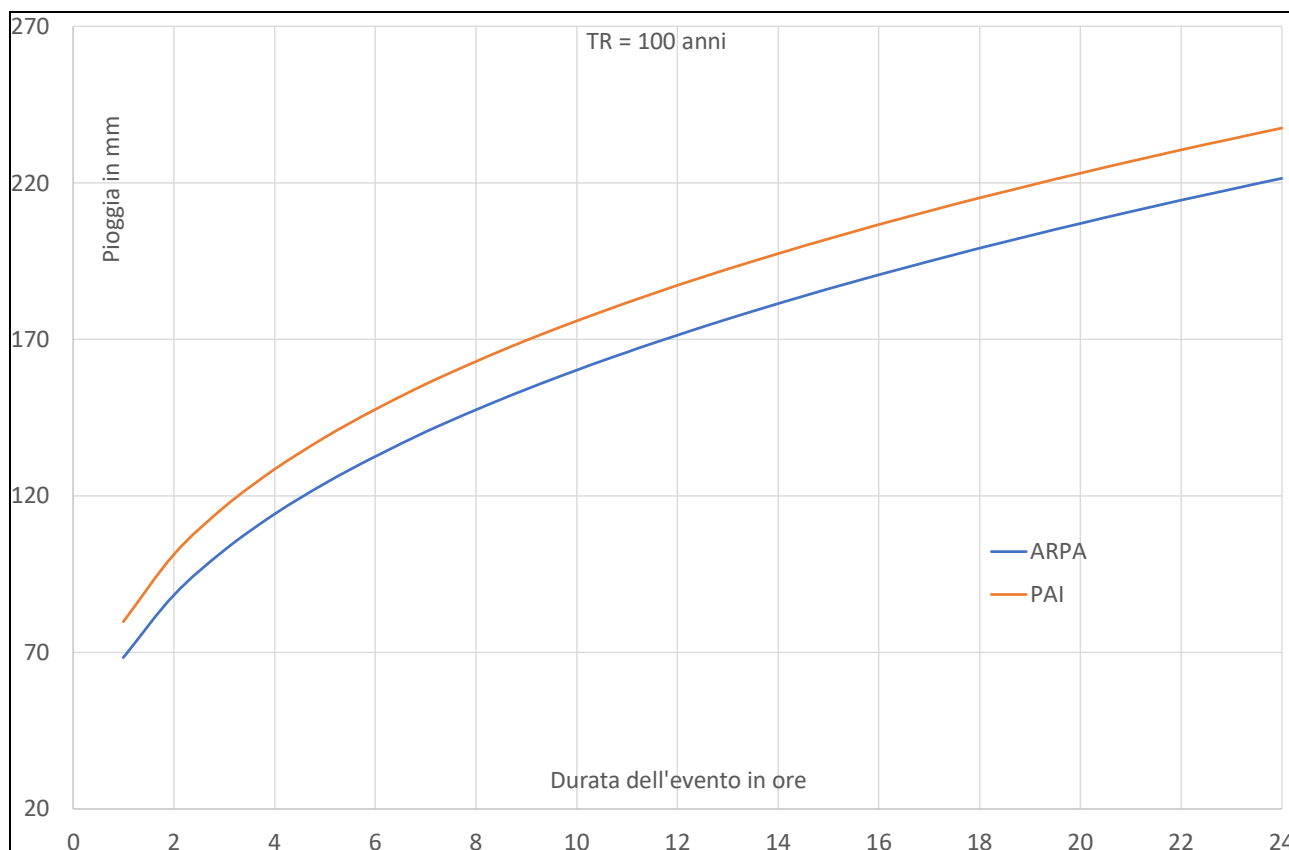


Figura 5.5: confronto tra LSPP di ARPA e LSPP del PAI per l'evento  $Tr = 100$  anni nella zona di interesse

Come si evince dal grafico sopra proposto le curve di pioggia di Arpa Lombardia, sono effettivamente leggermente meno alte.

### 5.1.3. Considerazioni sui cambiamenti climatici

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici. Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della World Meteorological Organization (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socioeconomico globale. Tali

condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l'Intergovernmental Panel for Climate Change (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (Representative Concentration Pathways – RCP), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello Special Report on Emission Scenarios (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 ( $2.6 \text{ W/m}^2$  - RCP2.6), due scenari intermedi ( $4.5 \text{ W/m}^2$  - RCP4.5 e  $6 \text{ W/m}^2$  - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa ( $8.5 \text{ W/m}^2$  - RCP8.5).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “proiezione climatica”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali (“Regional Climate Models”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l'ISPRA (rif. “Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali”, 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli. Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure successive si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.



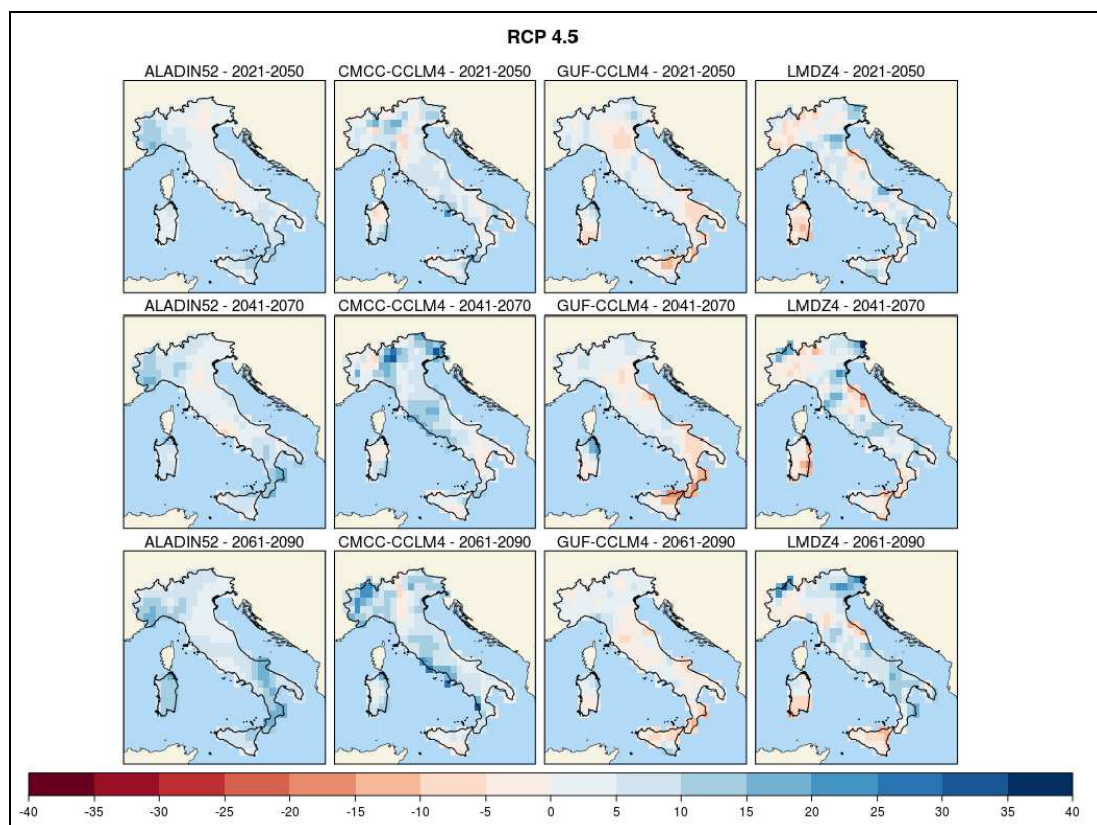


Figura 5.6: Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP 4.5 - Mappe delle variazioni previste per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)

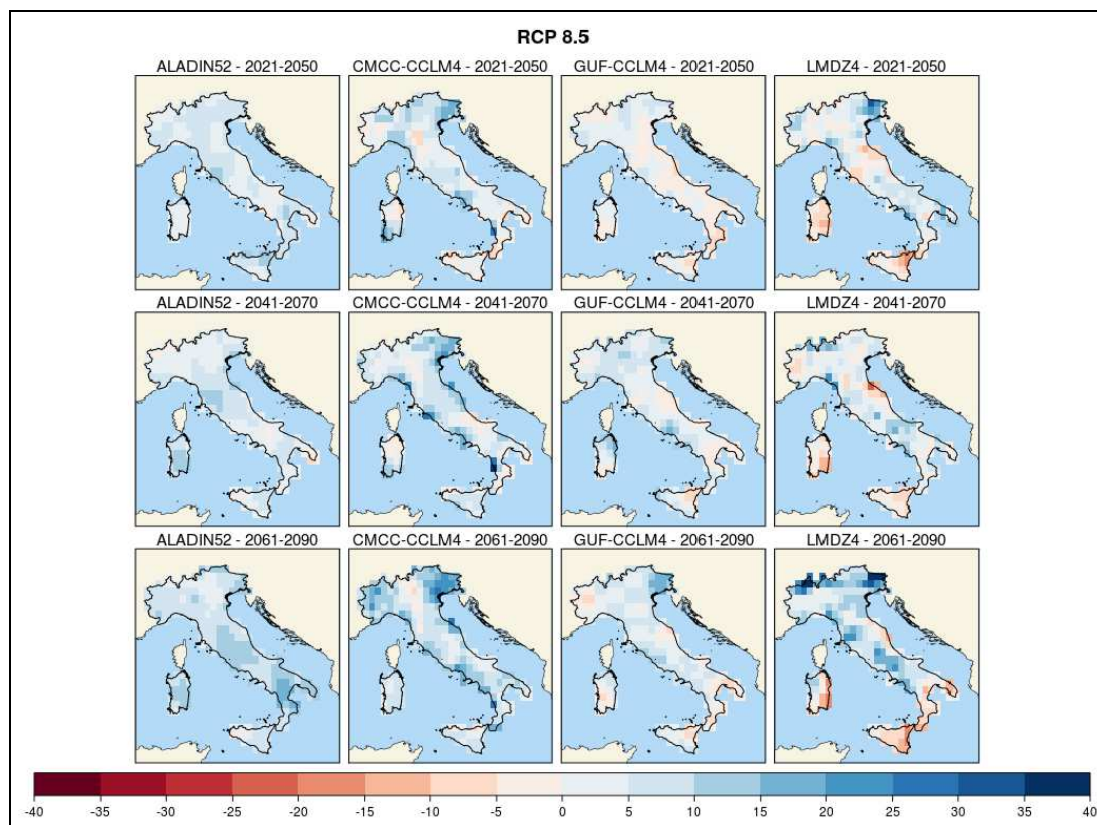


Figura 5.7: Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5 - Mappe delle variazioni previste per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga)

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera ( $h_{24}$ ) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione max $h_{24}$ (RCP4.5)	Variazione max $h_{24}$ (RCP8.5)
2021-2050	+5-10 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (ALADIN52)
2041-2070	+0-5 mm (ALADIN52)	+5-10 mm (ALADIN52)
2061-2090	+15-20 mm (ALADIN52)	+20-25 mm (ALADIN52)

Tabella 5.4: Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015)

Con riferimento allo studio idrologico annesso, per l'area del presente progetto, la variazione massima prevista ammonta a  $+5\div 15$  mm nel trentennio 2061-2090, corrispondente ad un incremento della precipitazione massima giornaliera che non pregiudica le analisi effettuate con i modelli classici.

Le elaborazioni così condotte costituiscono i dati di riferimento e le basi per l'implementazione delle procedure del calcolo idraulico delle opere di drenaggio e collettamento previste a servizio della sede ferroviaria.

## **6. CONSIDERAZIONI GENERALI IN TEMA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

Le piogge di forte intensità che cadono su un bacino idrografico subiscono due tipi di processi che determinano l'entità delle piene nei corsi d'acqua riceventi: l'infiltrazione nei suoli e la laminazione superficiale. Il primo processo controlla i volumi di acqua restituiti, e viene descritto in via speditiva mediante un "coefficiente di deflusso" il quale rappresenta la percentuale della pioggia che raggiunge il corpo recettore. Il secondo processo, influenzato dalle caratteristiche del reticolo drenante e dalla morfologia delle aree contermini, agisce trattenendo i volumi che scorrono in superficie, facendoli transitare attraverso i volumi disponibili e determinandone una restituzione rallentata.

Un bacino naturale presenta la caratteristica di lasciare infiltrare una certa quantità di acqua durante gli eventi di piena, e di restituire i volumi che non si infiltrano in modo graduale. L'acqua ristagna nelle depressioni superficiali, segue percorsi tortuosi, si espande in aree normalmente non interessate dal deflusso, ed in questo modo le piene hanno un colmo di portata relativamente modesto ed una durata delle portate più lunga. Quando un bacino subisce un'artificializzazione, i deflussi vengono canalizzati e le superfici vengono regolarizzate, di modo che il deflusso viene accelerato. Ciò comporta un aumento dei picchi di piena e può portare a situazioni di rischio idraulico. Inoltre, l'impermeabilizzazione dei suoli provoca un aumento dei volumi che scorrono in superficie, aggravando ulteriormente le possibili criticità. Maggiori volumi che scorrono in superficie rappresentano, oltre ad un aggravio dei possibili rischi idraulici, anche un più rapido esaurimento dei deflussi e una riduzione di apporti alla falda, e in definitiva una riduzione delle risorse idriche utilizzabili. L'urbanizzazione degli ultimi decenni ha configurato situazioni di rischio idraulico significative conseguentemente alla perdita di capacità di invaso del territorio connessa alla sensibile riduzione dei volumi del drenaggio minuto (scoline, fossi...).

Alla luce di quanto descritto, si pone il problema, nella pianificazione, sia di bacino che non, di adottare strumenti che garantiscano la sostenibilità di lungo periodo di un assetto idrografico. In particolare, è necessario limitare in futuro possibili effetti di aggravio delle piene legati alla progressiva urbanizzazione e all'impermeabilizzazione dei suoli conseguente alle trasformazioni di uso del suolo. Ogni intervento che provoca impermeabilizzazione dei suoli ed aumento delle velocità di corrivazione deve invece prevedere azioni correttive volte a mitigarne gli effetti, e tali azioni sono da rilevare essenzialmente nella realizzazione di volumi di invaso finalizzati alla laminazione; se la laminazione è attuata in modo da mantenere i colmi di piena prima e dopo la trasformazione inalterati, si parla di "invarianza idraulica" delle trasformazioni di uso del suolo (Pistocchi, 2001).