



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MINISTERO
DELL'INTERNO



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



CITTÀ DI
CARPI

OPERE DI VIABILITA' COMPLEMENTARE AL NUOVO POLO SPORTIVO

Città di Carpi

CITTA' DI CARPI - Settore S5 Opere Pubbliche e Manutenzione della Città

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)

Finanziato dall'Unione Europea NextGenerationEU

Missione M5 - Componente C2 - Misura Investimenti in progetti di rigenerazione urbana, volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale - Investimento 2.1

Progetto n.55/22:

"OPERE DI VIABILITA' COMPLEMENTARE AL NUOVO POLO SPORTIVO" - ID 8660

CUI: L00184280360202000024 - CUP: C91B21002880005

PROGETTAZIONE:



RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE
Ing. Marcello Mancone

COORDINATORE DI PROGETTO
Ing. Alessandro Cecchelli

OPERE A VERDE, ASPETTI PAESAGGISTICI E
URBANISTICI
Arch. Maria Cristina Fregni

PROGETTAZIONE OPERE STRADALI
Ing. Alessio Gori

PROGETTAZIONE OPERE IDRAULICHE
Ing. Alessandro Cecchelli

PROGETTAZIONE OPERE STRUTTURALI
Ing. Luciano Viscanti

CANTIERIZZAZIONE E FASI
ESPROPRI ED INTERFERENZE
Ing. Stefano Simonini

PROGETTAZIONE IMPIANTI ELETTRICI
Ing. Francesco Frassinetti

COORD. SICUREZZA IN PROGETTAZIONE
Geom. Stefano Caccianiga

GEOLOGIA
Dott. Pietro Accolti Gil

TEAM DI PROGETTO
Ing. Mattia De Caro
Ing. Stefano Tronconi
Ing. Giulio Melosi
Arch. Daniela Corsini
Arch. Althea Giroto
Ing. Matteo Falcini
Ing. Davide Vescovini
Arch. Emma Ibba
Geom. Franco Mariotti

ELABORATO

IDRAULICA

Relazione Idrologica Idraulica

PROGETTO ESECUTIVO

PARTE D'OPERA	DISCIPLINA	DOC. E PROG.	FASE	REV.
RO	ID	RT01	3	1

Cartella	File name	Prot.	Scala	Formato
05	ROIDRT01_31_5094	5094	-	A4

5					
4					
3					
2					
1	REVISIONE	GIU 2023	G.Melosi	A.Cecchelli	M.Mancone
0	EMISSIONE	MAG 2023	G.Melosi	A.Cecchelli	M.Mancone
REV.	DESCRIZIONE	Data	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	1
2	INQUADRAMENTO DEL PROGETTO STRADALE	2
3	INQUADRAMENTO VINCOLISTICO IN MATERIA IDRAULICA.....	3
3.1	LA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA.....	3
3.1.1	Il PGRA – Piano di Gestione Rischio Alluvioni	4
3.1.2	Il PAI dell’Autorità di Bacino del Fiume Po.....	8
3.1.3	Il PTCP della Provincia di Modena	10
4	PROGETTO IDRAULICO.....	12
4.1	ANALISI IDROLOGICA.....	12
4.1.1	Analisi statistica: curve di possibilità pluviometrica	12
4.2	OPERE PER IL DRENAGGIO E LA GESTIONE DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA.....	18
4.2.1	Determinazione dell’interasse delle caditoie	18
4.2.2	Dimensionamento dei collettori di piattaforma.....	21
4.3	GESTIONE DELLE INTERFERENZE COL RETICOLO IDROGRAFICO.....	22

1 PREMESSA

La presente relazione riguarda gli aspetti di natura idraulica connessi:

- all'inquadramento rispetto ai vigenti piani in materia di pericolosità idraulica;
- al drenaggio e la gestione delle acque di piattaforma;
- alla gestione delle interferenze con il reticolo idrografico;

relativi alla realizzazione delle opere previste nel Progetto Esecutivo delle "Opere di viabilità complementare al nuovo Polo Sportivo", nel Comune di Carpi (MO).

Il Comune di Carpi ha affidato alla scrivente società Politecnica Ingegneria e Architettura soc.coop., l'incarico di redigere il progetto in parola con Determina Dirigenziale n. 651 del 15/07/2021 – Registro del Settore n. 71 del 15/07/2021.

L'inquadramento generale delle opere in progetto (tipologia, ubicazione, identificazione, geometria) è graficamente rappresentato nelle planimetrie idrauliche, mentre per i particolari delle singole opere si rimanda alla tavola dei particolari delle opere d'arte.

2 INQUADRAMENTO DEL PROGETTO STRADALE

L'intervento sarà realizzato in un'area pianeggiante urbanizzata al confine del centro di Carpi. La zona è centro di istituti scolastici e relativi flussi. Nel quadrante nord-est dell'intersezione è presente il Centro di Formazione Professionale, sul quadrante sud-est tutto il complesso dell'Istituto Scolastico Professionale. Nel quadrante nord-ovest sono presenti l'Istituto di Istruzione Superiore ed il Palazzetto dello Sport Comunale, infine nel quadrante sud-ovest si trova il piazzale delle Piscine.

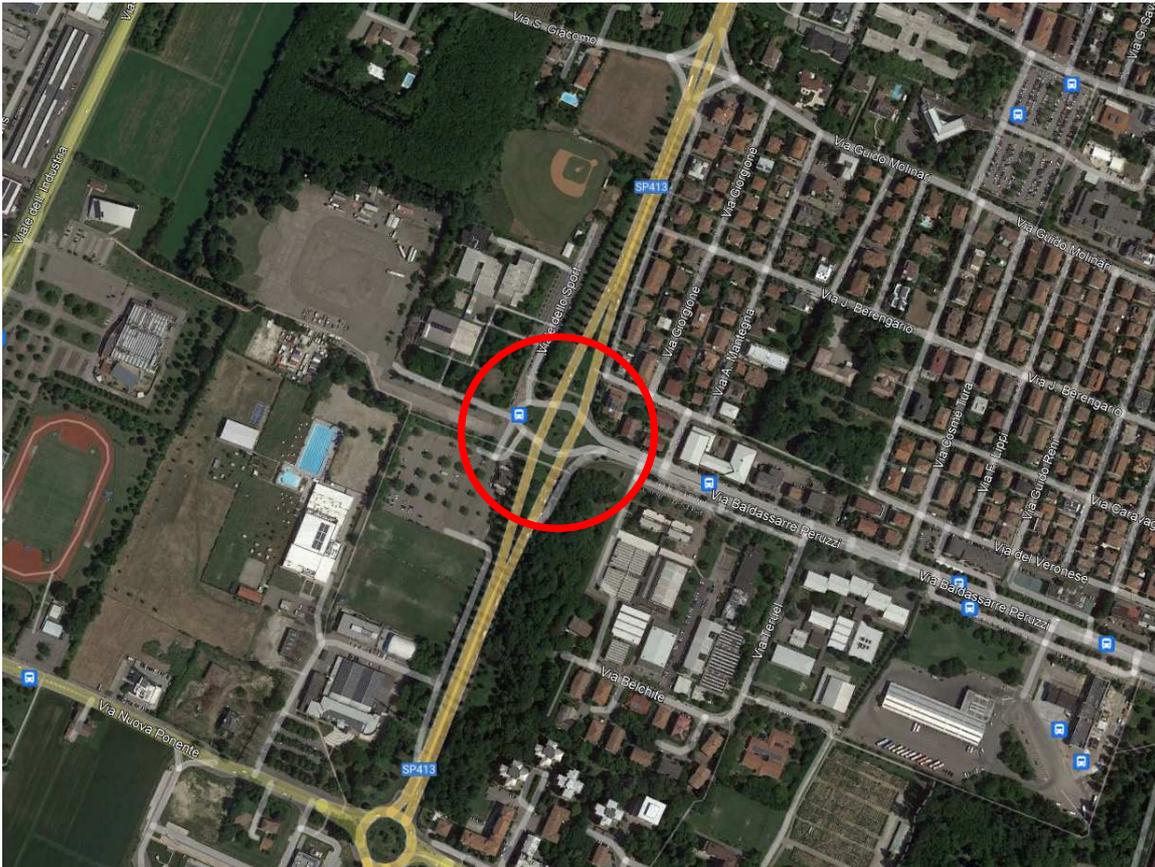


Figura 1- Corografia di Inquadramento generale

Il progetto si pone come obiettivo di regolarizzare l'intersezione stradale esistente, governata da un sistema semaforico, tramite la realizzazione di una rotonda con capacità adeguata a permettere ai veicoli di circolare senza la formazione di attese e code in funzione dei flussi e dei volumi transitanti.

Il transito delle utenze deboli sarà garantito tramite adeguamento degli attraversamenti ciclo-pedonali semaforizzati a chiamata con percorsi obbligati, "sfalsati" tramite ostacoli fisici ed opportunamente segnalati, in prossimità delle isole di innesto dei rami della rotonda.

3 INQUADRAMENTO VINCOLISTICO IN MATERIA IDRAULICA

Il presente capitolo tratta gli aspetti relativi all'inquadramento dell'intervento rispetto ai vigenti piani in materia di pericolosità e rischio idraulico. Poiché il progetto riguarda l'adeguamento di un'intersezione esistente non verrà trattato il tema della compatibilità idraulica dell'intervento.

L'area oggetto di intervento ricade nelle aree perimetrate a pericolosità P2 dell'Ambito territoriale "Reticolo Secondario di Pianura (RSP)", ai sensi del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico Padano, introdotto dalla Direttiva europea 2007/60/CE recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010. Le mappe della pericolosità, degli elementi esposti e del rischio di alluvioni, sono state adottate dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali il 23/12/2013, per poi essere definitivamente approvati in data 03/03/2016.

3.1 LA PIANIFICAZIONE SOVRAORDINATA

Nell'UoM del fiume Po la rilevante estensione superficiale e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti:

- Reticolo principale: costituito dall'asta del fiume Po e dai suoi principali affluenti nei tratti di pianura e nei principali fondivalle montani e collinari (lunghezza complessiva pari a circa 5.000 km).
- Reticolo secondario collinare e montano: costituito dai corsi d'acqua secondari nei bacini collinari e montani e dai tratti montani dei fiumi principali.
- Reticolo secondario di pianura: costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio-bassa pianura padana.
- Aree costiere marine: sono le aree costiere del mare Adriatico in prossimità del delta del fiume Po.
- Aree costiere lacuali: sono le aree costiere dei grandi laghi alpini (Maggiore, Como, Garda, ecc.).

Il modello organizzativo messo a punto ed utilizzato per le attività di mappatura, ha previsto una ripartizione delle attività sui diversi ambiti, secondo un principio di sussidiarietà che ha coinvolto sia le Regioni che gli enti proprietari e gestori di tali reticoli. Di seguito si riportano i diversi soggetti attuatori dell'attività di mappatura.

AMBITO TERRITORIALE	SOGGETTO ATTUATORE
Reticolo idrografico principale (RP)	Autorità di bacino distrettuale
Reticolo secondario collinare e montano (RSCM)	Regioni
Reticolo secondario di pianura (RSP)	Regioni con il supporto dei Consorzi di bonifica
Aree costiere lacuali (ACL)	Regioni con il supporto di ARPA e dei Consorzi di regolazione dei laghi
Aree costiere marine (ACM)	Regioni (primo ciclo) - Autorità di bacino distrettuale e Regioni (secondo ciclo)

3.1.1 Il PGRA – Piano di Gestione Rischio Alluvioni

Il **PGRA** (Piano Gestione Rischio Alluvioni), introdotto dalla Direttiva per ogni distretto idrografico, si configura come strumento di pianificazione previsto nella legislazione comunitaria dalla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il D.Lgs. 49/2010.

Il PGRA del Distretto Idrografico Fiume Po è stato definitivamente approvato il 3 marzo 2016, con deliberazione n.2/2016; le Mappe della pericolosità degli elementi esposti e del rischio di alluvioni, predisposte, come quadro conoscitivo a scala di bacino, erano state adottate dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali il 23/12/2013, per poi essere definitivamente approvate in data 03/03/2016.

Nella seduta di Conferenza Istituzionale Permanente del 20 dicembre 2019 è stato esaminato il primo aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio del PGRA, che ha riguardato le mappe di pericolosità (aree allagabili) complessive che costituiscono quadro conoscitivo dei PAI, le mappe di rischio (R1, R2, R3, R4) complessive, ai sensi del D. Lgs n. 49/2010 e le mappe di pericolosità e rischio (aree allagabili, tiranti, velocità, elementi esposti). La revisione in fase di completamento. Dalle verifiche effettuate, non sono state introdotte modifiche alle perimetrazioni previgenti della pericolosità e del rischio.

Tra gli elementi costitutivi dei PGRA, le mappe di pericolosità individuano le aree potenzialmente interessate da inondazioni in relazione a tre scenari:

- 1) Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (P1, probabilità bassa);
- 2) Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno di riferimento fra 100 e 200 anni (P2, media probabilità);
- 3) Alluvioni frequenti: tempo di ritorno di riferimento fra 20 e 50 anni (P3, elevata probabilità).

Con riferimento alle mappe predisposte dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, “*Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti*”, l’area in esame si colloca entro i seguenti scenari:

- Ambito di riferimento: ➡ Reticolo naturale principale e secondario
 - P1 – “Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi – bassa probabilità; a tale scenario, è associata una pericolosità bassa.
- Ambito di riferimento: ➡ Reticolo secondario di pianura
 - P2 – “Alluvioni poco frequenti – tempo di ritorno tra 100 e 200 anni – media probabilità; a tale scenario, è associata una pericolosità media.

Di seguito si riportano le mappe di pericolosità per i differenti ambiti di riferimento relative alla zona di realizzazione dell'intervento. Tali mappe sono state ricavate in ambiente gis scaricando gli strati informativi della pericolosità idraulica, in formato shape, dal sito dell'AdB Po. (<https://pianoalluvioni.adbpo.it/mappe-della-pericolosita-e-del-rischio-di-alluvione/>).

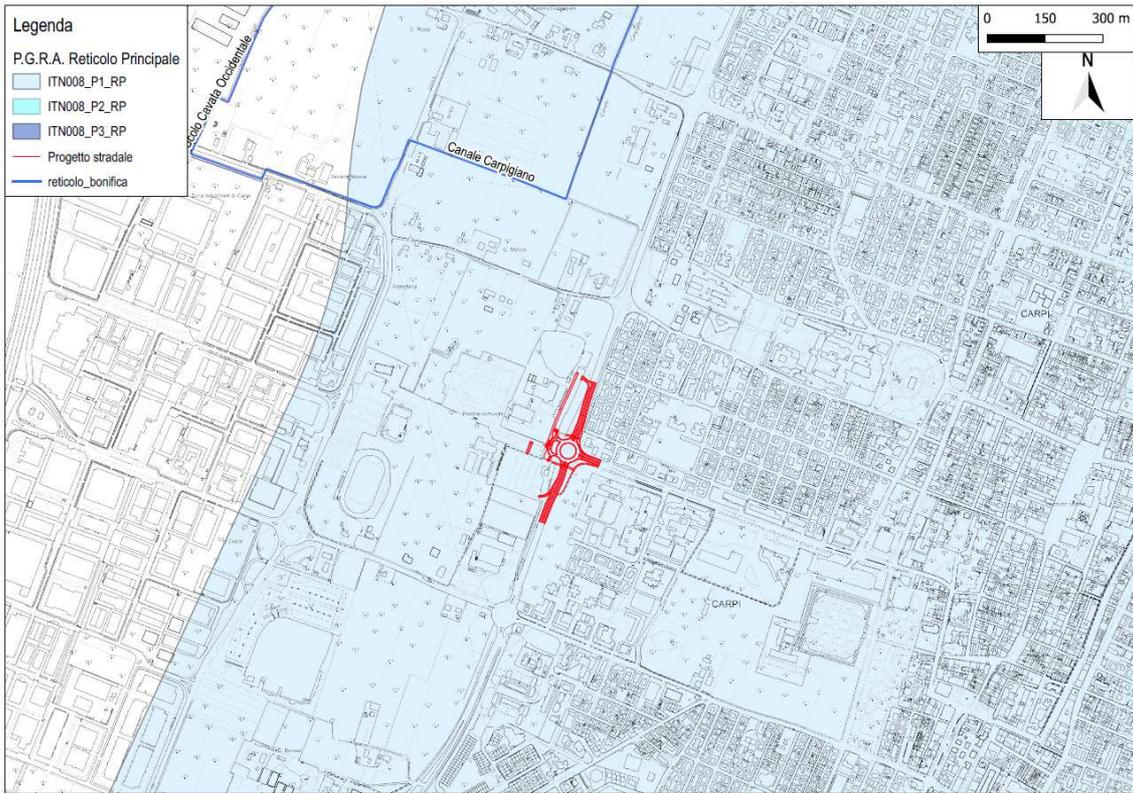


Figura 3.1 – PGRA - Mappa della pericolosità - Reticolo naturale principale

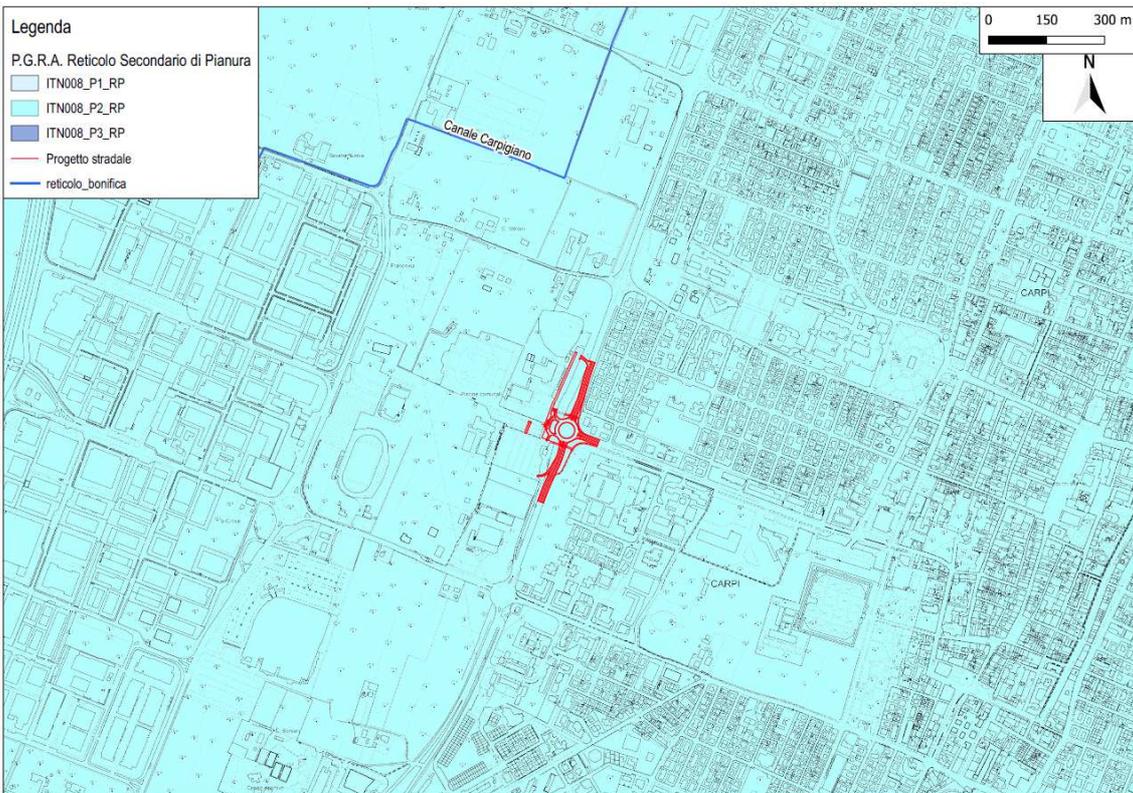


Figura 3.2 – PGRA - Mappa della pericolosità - Reticolo secondario di pianura

Le mappe del rischio rappresentano le potenziali conseguenze negative delle alluvioni, espresse in relazione agli elementi potenzialmente coinvolti: popolazione, tipo di attività economiche, patrimonio culturale e naturale, impianti che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di evento, ecc.

Con riferimento alle cartografie del rischio predisposte dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, “Mappa del rischio potenziale” (Figura 8), l’area in esame si colloca entro i seguenti scenari:

- Ambito di riferimento: ➡ Reticolo naturale principale e secondario
 - R2 – Rischio idraulico medio.
- Ambito di riferimento: ➡ Reticolo secondario di pianura
 - R1 – Rischio idraulico moderato o nullo;

Di seguito si riportano le mappe di pericolosità per i differenti ambiti di riferimento relative alla zona di realizzazione dell’intervento. Tali mappe sono state ricavate in ambiente gis scaricando gli strati informativi del rischio idraulico, in formato shape, dal sito dell’AdB Po. (<https://pianoalluvioni.adbpo.it/mappe-della-pericolosita-e-del-rischio-di-alluvione/>).

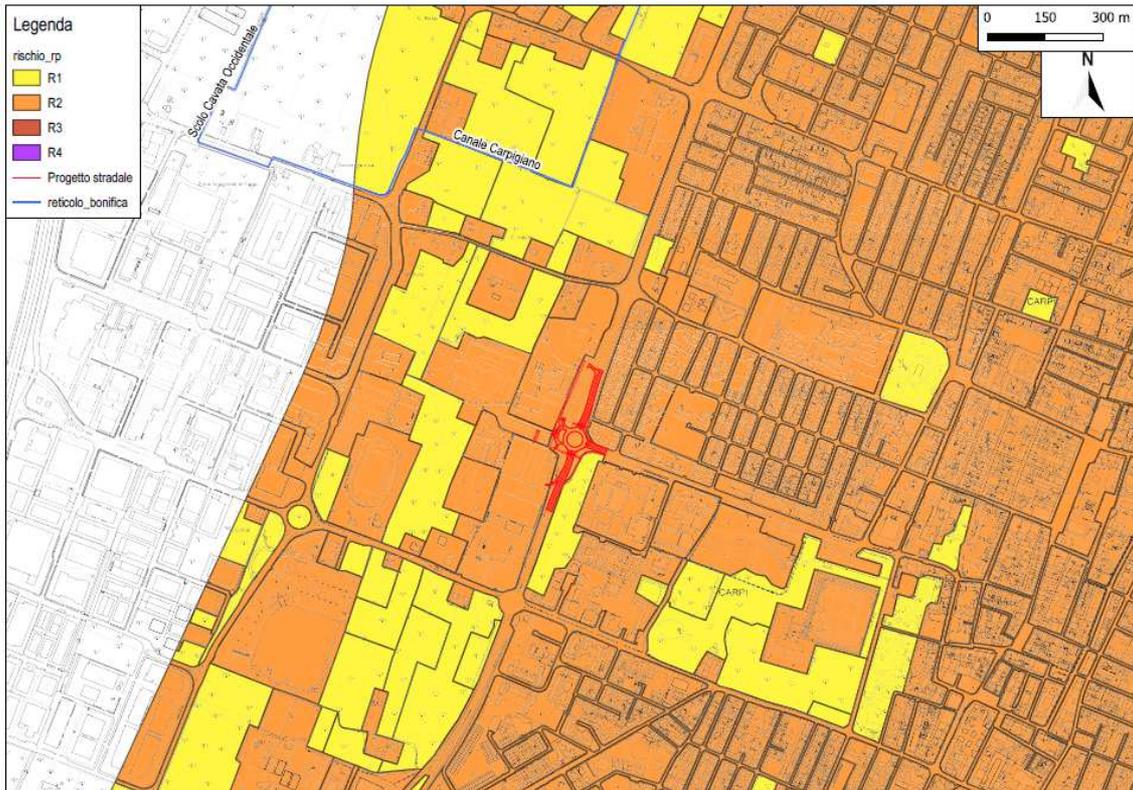


Figura 3.3 – PGRA - Mappa della pericolosità - Reticolo naturale principale



Figura 3.4 – PGRA - Mappa della pericolosità - Reticolo secondario di pianura

3.1.2 Il PAI dell'Autorità di Bacino del Fiume Po

Come descritto nei precedenti paragrafi, costituisce oggi riferimento nella conoscenza e nella gestione del rischio idraulico il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico Padano (PGRA), approvato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con deliberazione del Comitato Istituzionale n.2/2016, inoltre costituisce riferimento anche la Variante al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) – Integrazioni all'Elaborato 7 (Norme di Attuazione) e al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del fiume Po (PAI Delta) – Integrazioni all'Elaborato 5 (Norme di Attuazione), approvata con deliberazione n. 5/2016 e finalizzata al coordinamento tra tali Piani ed il PGRA.

Ai fini attuativi, la Giunta della Regione Emilia Romagna con DGR 1300/2016 ha approvato il documento tecnico "Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni nel settore urbanistico, ai sensi dell'art. 58 Elaborato n. 7 (Norme di Attuazione) e dell'art. 22 Elaborato n. 5 (Norme di Attuazione) del Progetto di Variante al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) – Integrazioni all'Elaborato 7 (Norme di Attuazione) e al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del fiume Po (PAI Delta) – Integrazioni all'Elaborato 5 (Norme di Attuazione) adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po con deliberazione n. 5 del 17/12/2015". Nelle more dell'emanazione da parte della Regione di ulteriori disposizioni complete e definitive, costituiscono dunque riferimento per l'attuazione nel settore urbanistico le disposizioni della suddetta DGR 1300/2016, confermate nei contenuti con DGR 1002/2017, che trova applicazione nelle aree soggette ad alluvioni frequenti, alluvioni poco frequenti ed alluvioni rare, così come identificate dal PGRA nelle Mappe di pericolosità e del rischio di alluvione.

Le disposizioni attuative di cui sopra rimandano, per quanto di competenza, alle limitazioni e prescrizioni del PAI vigente e dunque al Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Modena, che, in virtù dell'Intesa stipulata dall'Autorità di Bacino del fiume Po, dalla Regione e dalla Provincia di Modena per la definizione delle disposizioni del PTCP relative all'attuazione del "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po" (PAI), assume il valore e gli effetti di piano settoriale di tutela e uso del territorio di propria competenza e trova applicazione in luogo del PAI vigente.

Con riferimento alle perimetrazioni del **PAI vigente**, l'area in oggetto è interessata dalle perimetrazioni delle fasce fluviali di cui all'art. 28 delle NA del PAI vigente relative al fiume Secchia. In particolare, la realizzazione della nuova viabilità si trova all'interno della fascia di esondazione (fascia B), come si evince dal seguente estratto delle "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali" (il fiume Secchia si trova ad Est della carta). (<https://pai.adbpo.it/index.php/documentazione-pai/>).

D.lgs. 5 febbraio 1997, n. 22, fatti salvi quelli già autorizzati, con le limitazioni di cui all'art. 29, comma 3, lett. l) del PAI;

- in presenza di argini, interventi e strutture che tendano ad orientare la corrente verso il rilevato e scavi o abbassamenti del piano di campagna che possano compromettere la stabilità delle fondazioni dell'argine;
- b. sono consentite, previa rinuncia da parte del soggetto interessato al risarcimento in caso di danno o in presenza di copertura assicurativa:
 - le trasformazioni edilizie di nuova edificazione, ristrutturazione, anche con ampliamento, riqualificazione e ricomposizione tipologica, restauro e risanamento conservativo, adeguamento igienico funzionale ai fini della sicurezza sul lavoro, per le sole attività agricole e per le residenze rurali connesse alla conduzione dell'azienda agricola. Le destinazioni abitative non dovranno essere collocate al di sotto della quota potenziale di esondazione;
 - le trasformazioni edilizie di ristrutturazione, anche con ampliamento, riqualificazione e ricomposizione tipologica e restauro e risanamento conservativo di altre tipologie di edifici. Gli eventuali ampliamenti connessi alle trasformazioni edilizie ammesse non potranno essere superiori alle superfici e ai volumi residenziali potenzialmente allagabili e dovranno altresì prevedere la contestuale dismissione dell'uso di questi ultimi. Sono altresì condizionati a che non venga aumentato il livello di rischio o sia posto ostacolo o sia apportata riduzione apprezzabile della capacità di invaso delle aree interessate agli interventi. Le destinazioni abitative non dovranno essere collocate al di sotto della quota potenziale di esondazione;
- c. i progetti di realizzazione di infrastrutture stradali e ferroviarie e di altri interventi di cui all'art. 21.3 devono essere corredati da apposito studio di compatibilità idraulica, redatto secondo gli indirizzi dell'Autorità di bacino e subordinati al parere da parte della stessa autorità.

3.1.3 Il PTCP della Provincia di Modena

Con riferimento alle perimetrazioni del **PCTP vigente**, l'area in oggetto:

- non è interessata dalla perimetrazione delle fasce di espansione inondabili, con le portate di piena ridefinite per il fiume Secchia rispetto al PTCP 1998 a partire, secondo quanto disposto dall'art. 11 comma 1 delle Norme di attuazione PAI, dalle portate del PAI dell'Autorità di Bacino del Po con tempo di ritorno 200-ennale di cui alla "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" (adottata con deliberazione del Comitato Istituzionale 18 del 26.04.01).
(<http://www.sistemonet.it/sistemonet/viewSections-action.do?sectionId=6670>)
- è tuttavia interna al "Limite delle aree soggette a criticità idraulica (Art.11)", pertanto soggetta disposizioni del vigente PTCP con particolare riferimento ai commi 8, 9 e 10:

comma 8) Nei territori che ricadono all'interno del limite delle aree soggette a criticità idraulica, di cui al comma 7, il Comune nell'ambito della elaborazione del PSC dispone l'adozione di misure volte alla prevenzione del rischio idraulico ed alla corretta gestione del ciclo idrico. In particolare sulla base di un bilancio relativo alla sostenibilità delle trasformazioni urbanistiche e

infrastrutturali sul sistema idrico esistente, entro ambiti territoriali definiti dal Piano, il Comune prevede: per i nuovi insediamenti e le infrastrutture - l'applicazione del principio di invarianza idraulica (o odometrica) attraverso la realizzazione di un volume di invaso atto alla laminazione delle piene ed idonei dispositivi di limitazione delle portate in uscita o l'adozione di soluzioni alternative di pari efficacia per il raggiungimento delle finalità sopra richiamate;

- per gli interventi di recupero e riqualificazione di aree urbane l'applicazione del principio di attenuazione idraulica attraverso la riduzione della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa, attraverso una serie di interventi urbanistici, edilizi, e infrastrutturali in grado di ridurre la portata scaricata al recapito rispetto alla situazione preesistente.

9. (I) Per la gestione del rischio idraulico attraverso l'applicazione dei principi di invarianza e attenuazione idraulica, di cui al comma precedente, il Comune può procedere sulla base della metodologia riportata a titolo esemplificativo nell'Appendice 1 della Relazione di Piano. In fase di prima applicazione si individua come parametro di riferimento per l'invarianza idraulica a cui i Comuni possono attenersi il valore di 300-500 mc/ha di volume di laminazione per ogni ettaro impermeabilizzato. Per i Comuni che ricadono nell'ambito di competenza dell'Autorità di Bacino del Reno i sistemi di applicazione del principio di invarianza idraulica possono essere anche previsti negli strumenti urbanistici come interventi complessivi elaborati d'intesa con l'Autorità idraulica competente. Le caratteristiche funzionali di tali sistemi sono stabilite dall'Autorità idraulica competente con la quale devono essere preventivamente concordati i criteri di gestione.

10. (I) Nel territorio rurale di pianura, che ricade all'interno del suddetto limite delle aree soggette a criticità idraulica, l'adozione di nuovi sistemi di drenaggio superficiale che riducano sensibilmente il volume specifico d'invaso, modificando quindi i regimi idraulici, è subordinata all'attuazione di interventi finalizzati all'invarianza idraulica, consistenti nella realizzazione di un volume d'invaso compensativo, il cui calcolo sia fornito sulla base di un'ideale documentazione.

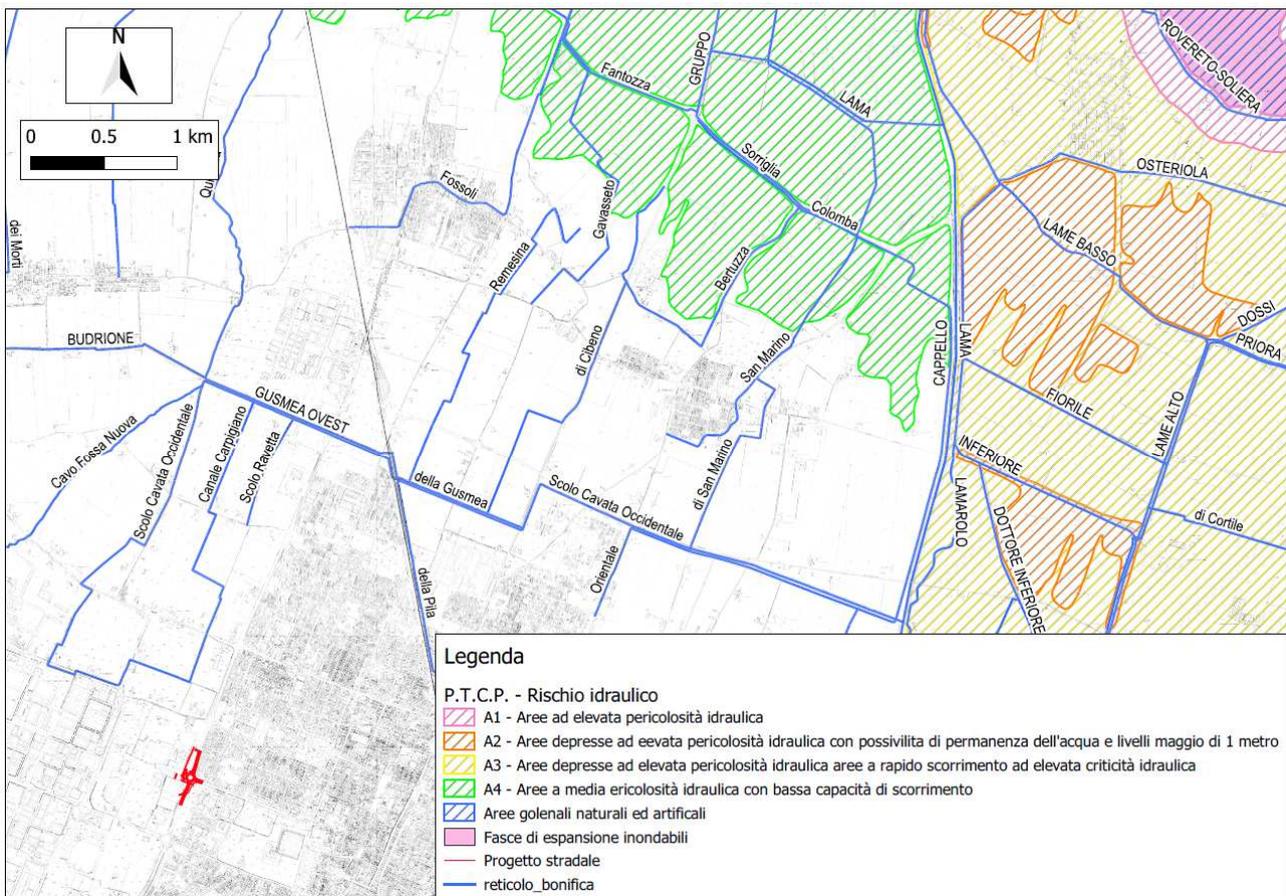


Figura 3.6 – PCTP - Mappa del rischio idraulico: pericolosità idraulica

4 PROGETTO IDRAULICO

Il progetto idraulico, che si basa sull'analisi idrologica che verrà trattata nel dettaglio nei successivi capitoli, prevede il dimensionamento di opere adeguate al drenaggio delle acque di piattaforma. Poiché il progetto stradale consiste nell'adeguamento di una intersezione esistente, non si prevede il trattamento delle acque di prima pioggia.

Il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche, in rispondenza alle norme tecniche regionali in materia di rischio idraulico e gestione del suolo ed agli strumenti di pianificazione territoriale, sono state condotte per scenari pluviometrici relativi ad un tempo di ritorno di **25 anni**.

Per la scelta delle aree a cui destinare una rete di regimazione idraulica è stato utilizzato il criterio secondo cui laddove allo stato esistente sia presente una rete di drenaggio, tale soluzione la si prevede anche per la nuova viabilità, mentre dove lo scolo delle acque di piattaforma non è regimato, ma si presenta una situazione di scolo superficiale verso i fossi di guardia, si è lasciata invariata tale condizione. Sostanzialmente il progetto prevede la realizzazione della rete di drenaggio sullo svincolo a rotatoria e sui rami di approccio nelle immediate vicinanze, mentre sui tratti di raccordo alla viabilità esistente non è previsto il collettamento delle acque di piattaforma.

I criteri per la verifica idraulica dei manufatti sono i seguenti:

- Collettori: verifica in condizioni di moto uniforme, effettuata confrontando la portata di progetto con la portata massima smaltibile, calcolata con il metodo cinematico. Ai fini di una buona progettazione è stato considerato un grado di riempimento massimo del 50% per collettori di diametro inferiore a 400mm e pari al 70% per diametri maggiori o uguali a 400mm;
- Caditoie: è stata definita un'area di influenza delle caditoie, di dimensioni 40cm x 40cm, ammettendo un battente idrico massimo sul piano viario pari a 5cm.
- Attraversamenti idraulici: la continuità dei fossi di guardia esistenti sarà garantita con tubazioni circolari prefabbricate in calcestruzzo armato che possano garantire un grado di riempimento del 70% a parità di sezione idraulica del fosso servito.

4.1 ANALISI IDROLOGICA

In questo capitolo si espone la metodologia che ha portato allo sviluppo delle curve di possibilità pluviometrica per la determinazione degli input idrologici nella modellazione cinematica per il dimensionamento dei collettori della rete di drenaggio della piattaforma stradale e dei fossi per la laminazione.

4.1.1 Analisi statistica: curve di possibilità pluviometrica

Innanzitutto è necessario fare una distinzione tra le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica che saranno utilizzate per il dimensionamento di:

- Rete di drenaggio della piattaforma stradale: LSPP caratterizzate da durate brevi ed intense, riferite ad eventi pluviometrici di durata nettamente inferiore ai 60 minuti, che tendono a massimizzare le portate di picco degli idrogrammi utilizzati come input idrologici;

- Fosso per la laminazione delle acque della piattaforma stradale: LSPP caratterizzate da lunghe durate che massimizzano i volumi di pioggia precipitata.

In linea generale, le LSPP a cui fare riferimento per la modellazione idraulica in queste aree sono quelle:

- pubblicate dall'Autorità di Bacino del Fiume Po, desumibili dalla Tabella 1 allegata alla "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" del "Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico" (Tabella 1);
- utilizzate dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, relative allo studio del 2009 del Prof. A.Marinelli condotto sui canali consortili (Tabella 2);
- utilizzate dalla Provincia di Modena per la redazione del Piano Territoriale Coordinamento Provinciale (PTCP) (Tabella 3).

Di seguito sono riportate le rispettive tabelle:

Tabella 1 – Curve di possibilità pluviometrica – AdB Po

Stazione di misura		T = 20 anni		T = 100 anni		T = 200 anni		T = 500 anni	
Cod.	Denominazione	a	n	a	n	a	n	a	n
1890	Carpi	47.02	0.216	62.58	0.201	69.24	0.197	78.04	0.192

Tabella 2 – Curve di possibilità pluviometrica – Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale

Tempo di ritorno T	Alta pianura		Media pianura		Bassa pianura	
	a	n	a	n	a	n
25	51.44	0.21	58.93	0.23	69.09	0.17
50	57.50	0.21	66.21	0.23	78.16	0.16
100	63.50	0.21	73.44	0.23	87.16	0.16

Tabella 3 – Curve di possibilità pluviometrica – Provincia di Modena

Tempo Ritorno	a1 (mm/h)	n1	a2 (mm/h)	n2
[anni]	[t<1h]	[t<1h]	[t>1h]	[t>1h]
2	23.54	0.355	22.20	0.300
5	33.15	0.345	31.05	0.263
10	39.50	0.342	36.90	0.245
20	45.60	0.340	42.50	0.235
50	53.50	0.339	49.80	0.245
100	59.44	0.338	55.25	0.216

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica appena mostrati risultano essere ben predisposti per il dimensionamento dei fossi per la laminazione, in quanto sviluppati per durate di pioggia superiore ai 60 minuti. In particolare sono stati utilizzati i valori di a e n forniti dal CBEC per il tempo di ritorno pari a 100 anni per la media pianura.

a = 73.44

n = 0.23

Poiché le curve di probabilità pluviometrica sopra riportate fanno riferimento a dati storici non aggiornati, si è ritenuto, per verifica e completezza di trattazione, accompagnarle ad un'analisi statistica attualizzata ai dati pluviometrici ad oggi disponibili. Sono state pertanto acquisite le precipitazioni orarie registrate presso il pluviometro di Rolo nel periodo 2001 - 2020. Infatti, come si evince dall'esame dei topoieti, o poligoni di Thiessen, il pluviometro più indicato per l'analisi risulta quello di Rolo, come mostrato seguente immagine (nell'analisi non è stata considerata la stazione pluviometrica di Carpi in quanto le serie storiche registrate da essa risultano brevi per un'analisi idrologica volta alla progettazione delle opere idrauliche).

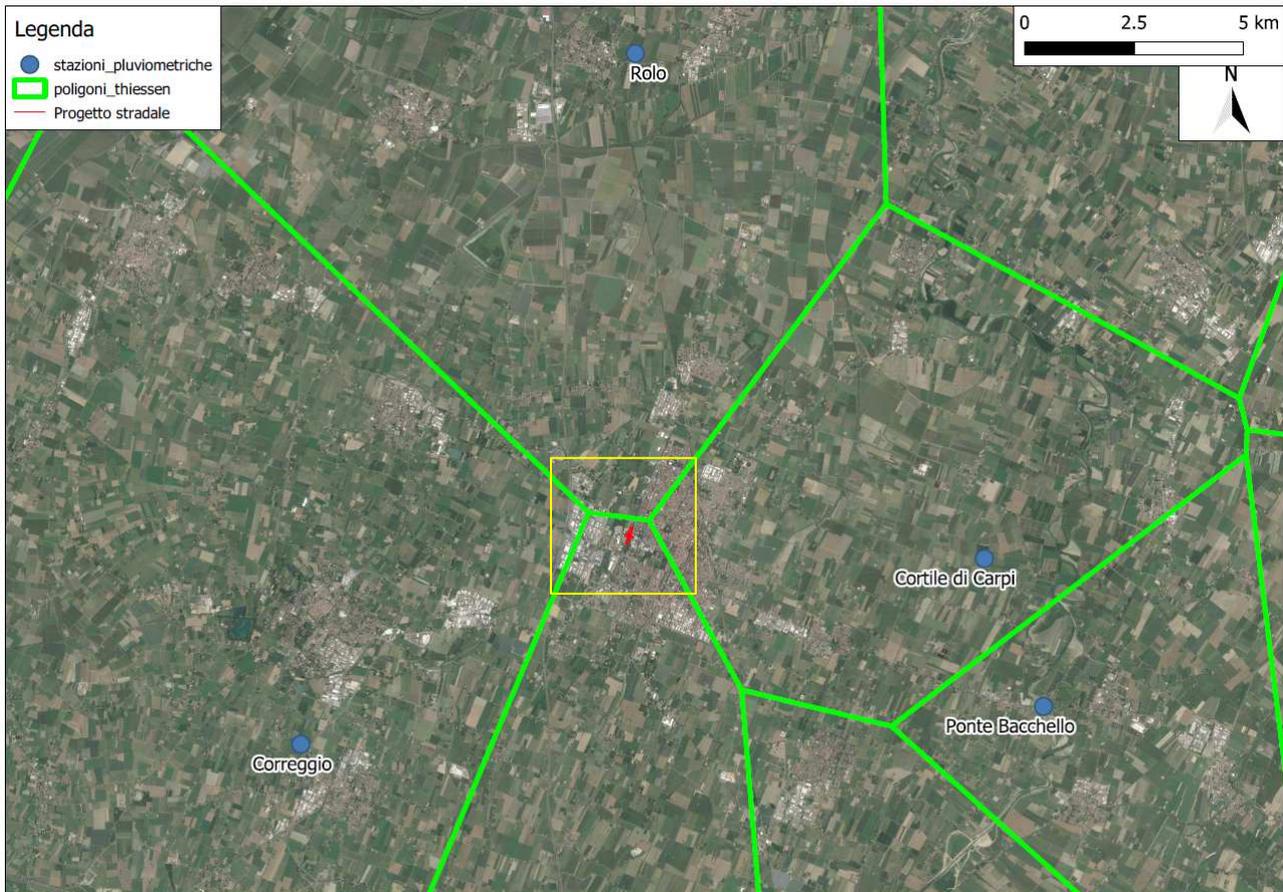


Figura 4.1 – Topoieti delle stazioni pluviometriche

Di seguito si riportano i valori massimi annuali delle altezze di pioggia registrate nel periodo di riferimento dal pluviometro.

Tabella 4 – Valori massimi annuali altezze di pioggia

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2001	25.2	41.6	55.4	70.8	71.6
2002	46.8	51.2	51.2	51.2	52.2
2003	35.8	55.8	57.4	57.4	57.4
2004	40.8	56.2	67.6	75.2	81.4
2005	16.8	20.8	35.4	39.4	56.4
2006	6.8	13.6	16.2	22.4	24.6
2007	21.4	41.8	58.2	68.0	69.0
2008	20.4	37.0	37.0	37.0	37.4
2009	17.4	33.2	33.6	33.6	33.8

Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2010	19.6	22.2	25.2	33.8	44.6
2011	28.2	38.8	42.8	43.6	47.8
2012	21.2	26.0	30.2	52.0	53.6
2013	17.0	27.0	43.4	44.0	44.0
2014	19.4	27.6	29.4	43.8	45.0
2015	34.0	63.0	68.0	71.2	71.8
2016	17.6	18.4	28.4	36.4	47.6
2017	25.4	38.0	42.4	42.4	48.0
2018	20.4	31.0	37.4	38.2	39.8
2019	28.6	32.8	33.4	59.8	63.4
2020	28.2	28.2	36.2	42.0	45.0

I dati appena mostrati sono stati utilizzati per l'applicazione di analisi di frequenza statistica, basata sulla metodologia di Weibull per il calcolo dei parametri a ed n delle LSPP. Infine è stata applicata la formulazione empirica di Bell al fine di individuare le altezze di pioggia per durate inferiori ai 60 minuti.

Di seguito si riportano le procedure appena introdotte.

Metodologia di Weibull

Il primo passo dell'analisi di frequenza di Weibull è la classificazione dei dati sulle precipitazioni. In questo caso, i dati devono essere ordinati in ordine crescente. Successivamente viene assegnato un numero di serie (r) che va da 1 a n (numero di osservazioni) e deve essere determinata la probabilità cumulata di non superamento di ciascuna delle altezze di pioggia, ossia elaborate sommando le probabilità di accadimento di tutti gli eventi inferiori ad un determinato valore. Poiché queste probabilità sono sconosciute, le probabilità di non superamento devono essere stimate: in questo studio è stato utilizzato a questo scopo il metodo della Plotting Position. Le probabilità saranno le posizioni di tracciamento dei dati di pioggia classificati nel diagramma delle probabilità, come mostrato ad esempio nella tabella seguente.

Number	1h			3h			6h			12h			24h		
	20			20			20			20			20		
n+1	PP	G	Data												
1	0.048	-1.113	6.8	0.048	-1.113	13.6	0.048	-1.113	16.2	0.048	-1.113	22.4	0.048	-1.113	24.6
2	0.095	-0.855	16.8	0.095	-0.855	18.4	0.095	-0.855	25.2	0.095	-0.855	33.6	0.095	-0.855	33.8
3	0.143	-0.666	17.0	0.143	-0.666	20.8	0.143	-0.666	28.4	0.143	-0.666	33.8	0.143	-0.666	37.4
4	0.190	-0.506	17.4	0.190	-0.506	22.2	0.190	-0.506	29.4	0.190	-0.506	36.4	0.190	-0.506	39.8
5	0.238	-0.361	17.6	0.238	-0.361	26.0	0.238	-0.361	30.2	0.238	-0.361	37.0	0.238	-0.361	44.0
6	0.286	-0.225	19.4	0.286	-0.225	27.0	0.286	-0.225	33.4	0.286	-0.225	38.2	0.286	-0.225	44.6
7	0.333	-0.094	19.6	0.333	-0.094	27.6	0.333	-0.094	33.6	0.333	-0.094	39.4	0.333	-0.094	45.0
8	0.381	0.036	20.4	0.381	0.036	28.2	0.381	0.036	35.4	0.381	0.036	42.0	0.381	0.036	45.0
9	0.429	0.166	20.4	0.429	0.166	31.0	0.429	0.166	36.2	0.429	0.166	42.4	0.429	0.166	47.6
10	0.476	0.298	21.2	0.476	0.298	32.8	0.476	0.298	37.0	0.476	0.298	43.6	0.476	0.298	47.8
11	0.524	0.436	21.4	0.524	0.436	33.2	0.524	0.436	37.4	0.524	0.436	43.8	0.524	0.436	48.0
12	0.571	0.581	25.2	0.571	0.581	37.0	0.571	0.581	42.4	0.571	0.581	44.0	0.571	0.581	52.2
13	0.619	0.735	25.4	0.619	0.735	38.0	0.619	0.735	42.8	0.619	0.735	51.2	0.619	0.735	53.6
14	0.667	0.903	28.2	0.667	0.903	38.8	0.667	0.903	43.4	0.667	0.903	52.0	0.667	0.903	56.4
15	0.714	1.089	28.2	0.714	1.089	41.6	0.714	1.089	51.2	0.714	1.089	57.4	0.714	1.089	57.4
16	0.762	1.302	28.6	0.762	1.302	41.8	0.762	1.302	55.4	0.762	1.302	59.8	0.762	1.302	63.4
17	0.810	1.554	34.0	0.810	1.554	51.2	0.810	1.554	57.4	0.810	1.554	68.0	0.810	1.554	69.0

18	0.857	1.870	35.8	0.857	1.870	55.8	0.857	1.870	58.2	0.857	1.870	70.8	0.857	1.870	71.6
19	0.905	2.302	40.8	0.905	2.302	56.2	0.905	2.302	67.6	0.905	2.302	71.2	0.905	2.302	71.8
20	0.952	3.020	46.8	0.952	3.020	63.0	0.952	3.020	68.0	0.952	3.020	75.2	0.952	3.020	81.4

Applicando una regressione lineare ai valori tabellati si ottengono i parametri della distribuzione di Weibull:

Duration	A = β	B	γ
1h	0.115	-2.288	19.979
3h	0.081	-2.317	28.721
6h	0.076	-2.624	34.547
12h	0.073	-2.985	40.931
24h	0.076	-3.394	44.808

Utilizzando la formula:

$$h = \gamma - \left(\frac{1}{\beta}\right) \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{Tr}\right) \right]$$

si ottengono le altezze di pioggia per ciascuna durata e tempo di ritorno. Con un'ulteriore regressione e interpolazione logaritmica sui valori delle altezze di pioggia si individuano i valori di a e n . Nel caso in esame sono stati utilizzati i dati relativi a registrazioni di 1 ora per l'individuazione dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica di durata inferiore ai 60 minuti.

I valori di a ed n determinati per la pioggia di durata superiore a 1 ora e tempo di ritorno pari a 25 anni sono:

$$a = 51.757$$

$$n = 0.188$$

Formula di Bell

La formula empirica di Bell (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969) permette di individuare l'altezza di pioggia per durate inferiori ai 60 minuti utilizzando come input l'altezza di pioggia oraria. Bell ha osservato che i rapporti tra le altezze di durata τ molto breve ed inferiori all'ora e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano, difatti tale formula viene utilizzata a livello globale.

La formula risulta essere:

$$\frac{h_{\tau,TR}}{h_{60,TR}} = 0.54 \tau^{0.25} - 0.50$$

Considerando la pioggia oraria di riferimento con tempo di ritorno pari a 25 anni risultante dall'analisi di frequenza statistica di Weibull, ossia **51.757 mm** e applicando la formula di Bell sono state quindi calcolate le altezze di pioggia per durate da 5 a 60 minuti, riportate in seguito in forma tabellare:

durata	h
[min]	[mm]
5	15.92
10	23.82
15	29.13
20	33.23
25	36.62
30	39.53
35	42.10
40	44.41
45	46.51
50	48.44
55	50.24
60	51.91

Di questi valori è stata eseguita una regressione lineare su una scala logaritmica, al fine di individuare i parametri a ed n delle LSPP per durate inferiori all'ora per un tempo di ritorno di 25 anni, che risultano essere:

$$a = 53.563$$

$$n = 0.464$$

In conclusione, dalle suddette valutazioni è chiaro che i valori risultanti dalla formula di Bell sono i più cautelativi e di conseguenza verranno presi a riferimento per il dimensionamento delle opere in progetto.

4.2 OPERE PER IL DRENAGGIO E LA GESTIONE DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA

Lo smaltimento delle acque di piattaforma avviene secondo un sistema di drenaggio di tipo "chiuso" mediante il collettamento delle acque meteoriche in collettori dedicati.

Il sistema di smaltimento delle acque di piattaforma è composto da:

- Caditoie di raccolta delle acque di piattaforma collocate ad interasse di 15 metri;
- Collettori che raccolgono l'acqua intercettata dalle caditoie e la convogliano alla rete fognaria esistente. I collettori corrono sotto la piattaforma stradale, parallelamente ad essa.

4.2.1 Determinazione dell'interasse delle caditoie

Il dimensionamento dell'interasse da assegnare alle caditoie, viene determinato imponendo che a fronte di uno scroscio di pioggia con tempo di ritorno di 25 anni, la caditoia possa drenare una certa porzione di superficie in funzione della sua capacità di smaltimento. Tale capacità è data dalle dimensioni della caditoia stessa e dalla foronomia della sua griglia.

Il calcolo della capacità di smaltimento della caditoia è stato sviluppato seguendo la formulazione di Macchionne e Veltri (1988) presente in letteratura. La metodologia è formulata così come segue:

$$Q_c = 0.417 \cdot L \cdot h^2 \cdot g^{0.5} \cdot \left(h - \frac{W}{\operatorname{tg}(\theta)} \right)^{-0.5}$$

dove:

L = lunghezza della caditoia, pari a 40cm

H = altezza della cunetta a filo cordolo, o massimo battente imposto sulla caditoia

W = larghezza della caditoia, pari a 40 cm

θ = angolo tra caditoia e cunetta stradale, pari a 88° , essendo la pendenza trasversale pari a 0.25%

Le dimensioni dei parametri si riferiscono alla figura seguente:

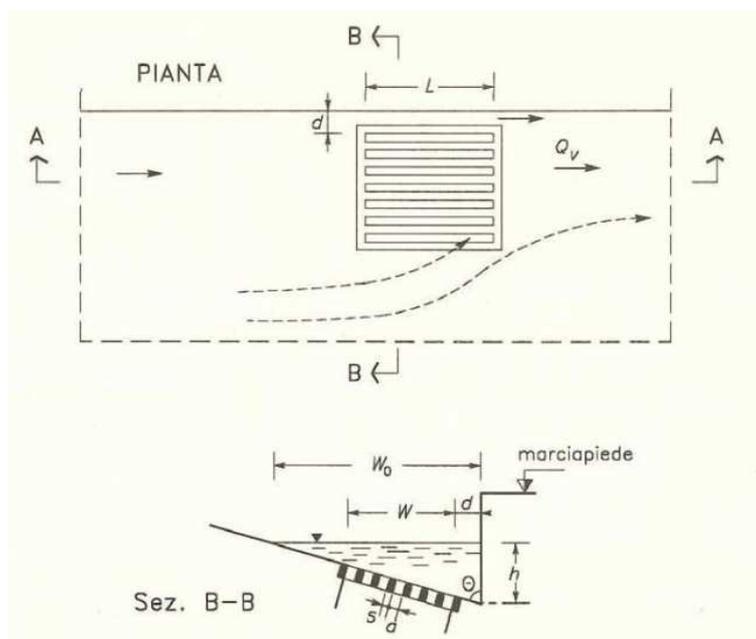


Figura 2 – Schema grafico per la formulazione di Macchionne e Veltri

Applicando la formulazione con i predetti valori dei parametri si ottiene un valore di capacità di smaltimento pari a

$$Q_c = 6.88 \text{ l/s}$$

Il calcolo della portata di deflusso della piattaforma stradale è stato definito con il metodo cinematico, ad ogni intervallo tra due caditoie, con la seguente formula:

$$Q = \frac{C A h}{t}$$

dove:

- C = coefficiente di deflusso, assunto pari a 0.9
- A = superficie drenante
- h = altezza di pioggia, calcolata come at^n
- t = tempo di corrivazione

Secondo il metodo cinematico, le condizioni critiche si verificano quando il tempo di pioggia t risulta pari al tempo di corrivazione T_c . La durata di pioggia critica per il generico bacino è stata determinata con la seguente formula:

$$T_c = T_e + T_p$$

Dove T_c è la durata critica di pioggia; T_e è il “tempo di afflusso o di entrata” in rete, ossia il tempo massimo necessario alle gocce di pioggia per raggiungere la rete di drenaggio dal punto di caduta (il “tempo di entrata” è funzione generalmente della densità della rete di drenaggio e della natura delle superfici scolanti); infine T_p è il “tempo di traslazione” lungo i rami costituenti il percorso idraulicamente più lungo (“asta principale”). Il tempo di traslazione T_p alla generica sezione può essere valutato con la seguente relazione:

$$T_p = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{v_i}$$

dove:

- N = numero dei tronchi della rete a monte della generica sezione, facenti parte dell'asta principale;
- l_i = lunghezza del tronco i -esimo;
- v_i = velocità del tronco i -esimo.

Il valore del tempo di afflusso T_e valutato con le formule generalmente proposte in letteratura risulta molto piccolo (2-3 minuti). Per tale motivo, in questo caso, al fine di non giungere ad un dimensionamento eccessivamente cautelativo della rete di drenaggio, verrà considerato un tempo di afflusso pari a 5 minuti.

Posta dunque la larghezza della carreggiata stradale di 7.50m, quella della corsia in rotatoria di 9.00m ed una portata massima smaltibile dalle singole caditoie di 6.88 l/s, l'interasse di quest'ultimo è stato imposto pari a **15.0m**. Le portate di deflusso risultano difatti essere le seguenti:

- carreggiata: 5.70 l/s
- rotatoria: 6.84 l/s

4.2.2 Dimensionamento dei collettori di piattaforma

I collettori sono stati dimensionati confrontando la portata di progetto con la portata massima smaltibile dalle tubazioni. Le tubazioni previste sono di tipo in polietilene ad alta densità, corrugate esternamente e lisce all'interno, di categoria SN 8 kg/mq.

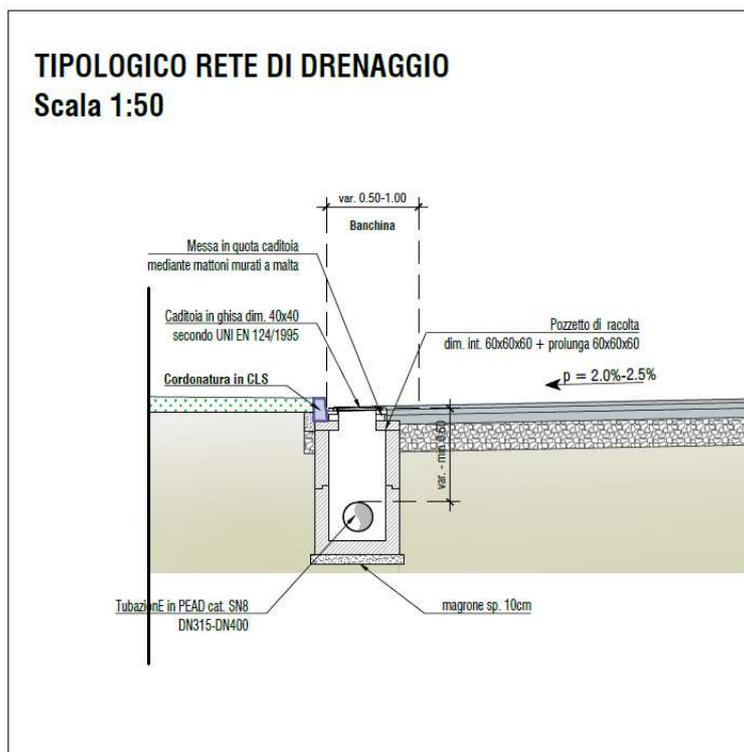


Figura 4.3 – Sezione tipo – idraulica di piattaforma

La massima portata smaltibile dalle tubazioni è stata calcolata nell'ipotesi di moto uniforme con la formula di Chézy:

$$Q = K_s A R^{\frac{2}{3}} s_L^{\frac{1}{2}}$$

dove:

- K_s [$m^{1/3}/s$] è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, assunto pari a 90,
- A [m^2] è l'area bagnata della sezione della tubazione,
- R [m] è il raggio idraulico corrispondente,
- s_L [m/m] è la pendenza longitudinale dei collettori, imposta costante e pari a 0.5%

Di seguito si riportano i risultati per tubazioni con diametro nominale pari a 315 e 400 mm, ossia i diametri previsti in progetto.

Tabella 5 – Risultati dei calcoli della capacità di smaltimento delle tubazioni

DN	D _{int}	G.R	A	RH	K	i	vel	Q _{max}
[mm]	[mm]	[%]	[m ²]	[m]	[m ^{1/3} /s]	[%]	[m/s]	[l/s]
315	296	50%	0.03	0.0740	90	0.5%	1.12	39
400	343	70%	0.07	0.1016	90	0.5%	1.39	96

Applicando la formulazione inversa del metodo razionale per il calcolo delle portate, si ricava le aree di influenza di ogni tubazione, che risultano essere:

- DN315: 760 mq
- DN400: 1890 mq

Nell'elaborato grafico ROIDB001305094 – Planimetria idraulica sono rappresentate le caditoie e le tubazioni della rete di drenaggio prevista in progetto. Si rimanda invece all'elaborato ROIDN001305094 – Particolari idraulici per la visione delle sezioni e particolari tipologici delle opere idrauliche.

4.3 GESTIONE DELLE INTERFERENZE COL RETICOLO IDROGRAFICO

A fianco della tangenziale Bruno Losi corre un fosso di guardia, non censito nel reticolo idrografico di gestione, di sezione variabile da trapezia a rettangolare, di dimensioni massime per la sezione trapezia pari a circa $h = 0.50\text{m}$, $b = 0.50\text{m}$ e $B = 2.50\text{m}$ e dimensioni minime per la sezione triangolare pari a circa $h = 0.50\text{m}$ e larghezza = 2.50m. La sezione idraulica massima del fosso di guardia risulta quindi essere pari a circa 0.75mq e quella minima 0.625mq.

Il progetto prevede due nuove intersezioni sui tratti di raccordo alla viabilità esistente a nord e a sud dell'intervento. Poiché tali intersezioni interferiscono con il suddetto fosso di guardia, è necessario prevedere dei tombini di attraversamento per garantire la continuità della linea d'acqua. Nella fattispecie l'intersezione a nord attraversa il fosso di guardia con sezione triangolare, mentre l'intersezione a sud interferisce con il fosso a sezione trapezia.

Al fine di garantire un franco idraulico di sicurezza di almeno il 75% si prevedono le risoluzioni delle due interferenze con una tubazione in cls **DN600**, che garantisce una sezione idraulica pari a 1.13mq, la quale risulta sufficiente ad assicurare la continuità dei deflussi lungo i fossi di guardia esistenti.