

Studio comunale di gestione del rischio idraulico



settembre 2025

RTI

Relazione tecnico idraulica

scala: ----

COMMITTENTE COMUNE DI ARENA PO (PV)
Piazza Vittorio Emanuele, 14
27040

PROGETTISTA IDRAULICO

ING. MICHELANGELO ALIVERTI
C.F. - LVRMHL78B111F205S
P.IVA - 02244650186

Via Marconi, 11
27028 San Martino Siccomario (PV)

cell: 338.4886159
e-mail: michelangelo.aliverti@hotmail.it

INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
3. DELIMITAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A RISCHIO IDRAULICO	6
3.1 AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA E/O RISCHIO IDRAULICO DEL TERRITORIO COMUNALE INDICATE NELLA COMPONENTE GEOLOGICA P.G.T. – P.A.I. – P.R.G.A.....	6
3.1.1 <i>Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Poi (P.A.I.)</i>	6
3.1.2 <i>Piano di Gestione del Rischio Alluvione (P.G.R.A) – D.G.R. X/6738 del 19/06/2017</i>	8
3.1.3 <i>Analisi e confronto cartografia</i>	11
3.2 AREE SOGGETTE AD ALLAGAMENTO PER EFFETTO DELLA CONFORMAZIONE MORFOLOGICA DEL TERRITORIO.....	11
3.2.1 <i>Analisi conformazione morfologica</i>	12
3.2.2 <i>Ricettori – Reticolo Idrografico</i>	12
4. DELIMITAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD ALLAGAMENTO PER INSUFFICIENZA DELLA RETE FOGNARIA.....	13
4.1 DESCRIZIONE GENERALE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO URBANO	14
4.1.1 <i>Sistema Bacino n°1 (SB1):</i>	15
4.1.2 <i>Sistema Bacino n°2 (SB2):</i>	17
4.1.3 <i>Sistema Bacino n°3 (SB3):</i>	19
4.1.4 <i>Sistema Bacino n°4 (SB4):</i>	20
4.1.5 <i>Sistema Bacino n°5 (SB5):</i>	22
5. STUDI PREGRESSI E RACCOLTA DATI.....	23
6. ANALISI RETE DI DRENAGGIO URBANO	25
6.1 DEFINIZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA	25
6.2 CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA	27
6.3 TRASFORMAZIONE AFFLUSSO DEFLUSSO – METODO DELL'INVASO	32
6.4 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A CRITICITA'	34
6.5 VERIFICA CAPACITA' DI TRASPORTO A PELO LIBERO IN MOTO UNIFORME	34
6.6 VERIFICA SISTEMA DI SMALTIMENTO A SERVIZIO DI FRAZ.RIPALDINA (SB4B)	36
6.7 INDICAZIONE DELLE MISURE STRUTTURALI DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA.....	38
6.8 INDICAZIONE DELLE MISURE NON STRUTTURALI DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA.....	43
7. PRESCRIZIONI	45
8. MISURE DI INVARIANZA E PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO.....	47

ALLEGATI

- *TABELLA ARPA_curva possibilità climatica*
- *TABELLA n°1: calcolo coefficiente di afflusso SB1 (T=20 anni)*
- *TABELLA n°2: calcolo coefficiente di afflusso SB2a (T=20 anni)*
- *TABELLA n°3: calcolo coefficiente di afflusso SB2b (T=20 anni)*
- *TABELLA n°4: calcolo coefficiente di afflusso SB2c (T=20 anni)*
- *TABELLA n°5: calcolo coefficiente di afflusso SB3 (T=20 anni)*
- *TABELLA n°6: calcolo coefficiente di afflusso SB4a (T=20 anni)*
- *TABELLA n°7: calcolo coefficiente di afflusso SB4b (T=20 anni)*
- *TABELLA n°8: calcolo coefficiente di afflusso SB4c (T=20 anni)*
- *TABELLA n°9: calcolo coefficiente di afflusso SB4d (T=20 anni)*
- *TABELLA n°10: calcolo coefficiente di afflusso SB5a (T=20 anni)*
- *TABELLA n°11: calcolo coefficiente di afflusso SB5b (T=20 anni)*
- *TABELLA n°12: portata di piena per ogni bacino contribuente (T=20 anni)*
- *TABELLA n°13: verifica capacità di trasporto delle condotte (T=20 anni)*
- *TABELLA n°14: identificazione punto di allagamento - metodo della cadente*
- *TABELLA n°14_dimENSIONAMENTO PRELIMINARE vasca di laminazione - Fraz.Ripaldina (T=50 anni)*
- *TABELLA n°15_verifica centennale vasca di laminazione VL - Fraz.Ripaldina (Tr=100 anni)*

1. INTRODUZIONE

Con DGR n. 7372 della seduta del 20/11/2017 la Regione Lombardia ha approvato nella sua versione finale il “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’art. 58 bis della Legge Regionale 11 marzo 2005, n.12 (Legge per il governo del territorio)”.

Tale regolamento regionale è stato pubblicato sul BURL – Supplemento n.48 del 27/11/2017 e pertanto dal giorno 28/11/2017 sono partiti i tempi di legge per la sua applicazione.

Dato che il Comune di Arena Po ricade nelle aree definite dalla Regione Lombardia come a media criticità idraulica (Art. 7), esso è tenuto a redigere, al fine del conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica ed idrologica, lo studio comunale di gestione del rischio idraulico (Art. 14).

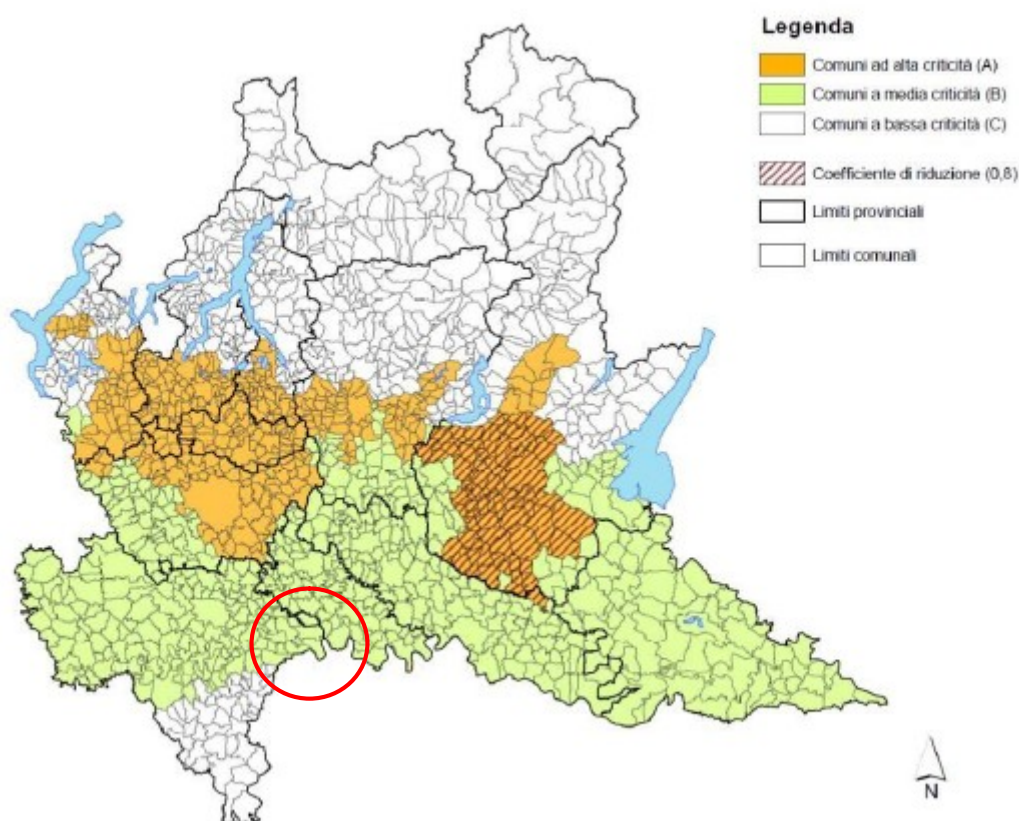


Fig.1: Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica secondo l'allegato B al RR 7/2017 modificato dal RR 8/2019_comune di Arena Po (PV)

Nello specifico, l'art. 14 comma 1 del R.R. introduce così gli Studi Comunali: “I comuni ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica [...] sono tenuti a redigere lo studio comunale di gestione del rischio idraulico di cui al comma 7”, definendo al comma 7 il loro contenuto minimo: “Lo studio

comunale di gestione del rischio idraulico contiene la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica che, associata a vulnerabilità ed esposizione al rischio, individua le situazioni di rischio, sulle quali individuare le misure strutturali e non strutturali. In particolare, lo studio comunale contiene:

1. la definizione dell'evento meteorico di riferimento per tempi di ritorno di 20, 50 e 100 anni;
2. l'individuazione dei ricettori che ricevono e smaltiscono le acque meteoriche di dilavamento, siano essi corpi idrici superficiali naturali o artificiali, quali laghi e corsi d'acqua naturali o artificiali, o reti fognarie, indicandone i rispettivi gestori;
3. la delimitazione delle aree soggette ad allagamento (pericolosità idraulica) per effetto della conformazione morfologica del territorio e/o per insufficienza della rete fognaria. [...]
4. la mappatura delle aree vulnerabili dal punto di vista idraulico (pericolosità idraulica) come indicate nella componente geologica, idrogeologica e sismica dei PGT e nelle mappe del piano di gestione del rischio di alluvioni;
5. l'indicazione, comprensiva di definizione delle dimensioni di massima, delle misure strutturali, quali vasche di laminazione con o senza disperdimento in falda, vie d'acqua superficiali per il drenaggio delle acque meteoriche eccezionali, e l'indicazione delle misure non strutturali ai fini dell'attuazione delle politiche di invarianza idraulica e idrologica a scala comunale, quali l'incentivazione dell'estensione delle misure di invarianza idraulica e idrologica anche sul tessuto edilizio esistente, la definizione di una corretta gestione delle aree agricole per l'ottimizzazione della capacità di trattenuta delle acque da parte del terreno, nonché delle altre misure non strutturali atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle condizioni di rischio, quali misure di protezione civile, difese passive attivabili in tempo reale;
6. l'individuazione delle aree da riservare per l'attuazione delle misure strutturali di invarianza idraulica e idrologica, sia per la parte già urbanizzata del territorio, sia per gli ambiti di nuova trasformazione, con l'indicazione delle caratteristiche tipologiche di tali misure. A tal fine, tiene conto anche delle previsioni del piano d'ambito del servizio idrico integrato;
- 6 bis. l'individuazione delle porzioni del territorio comunale non adatte o poco adatte all'infiltrazione delle acque pluviali nel suolo e negli strati superficiali del sottosuolo [...]."

Al punto 3 del comma 7 dell'art. 14 il RR indica inoltre che il Comune redige uno studio idraulico relativo all'intero territorio comunale il quale:

- 3.1. effettua la modellazione idrodinamica del territorio comunale per il calcolo dei corrispondenti deflussi meteorici, in termini di volumi e portate, per gli eventi meteorici di riferimento di cui al numero 1 (TR 10, 50 e 100 anni).
- 3.2. si basa sul Database Topografico Comunale (DBT) e, se disponibile all'interno del territorio comunale, sul rilievo Lidar; qualora gli stessi non siano di adeguato dettaglio, il comune può elaborare un adeguato modello digitale del terreno integrato con il DBT;

3.3. valuta la capacità di smaltimento dei reticoli fognari presenti sul territorio. A tal fine, il gestore del servizio idrico integrato fornisce il rilievo di dettaglio della rete stessa e, se disponibile, fornisce anche lo studio idraulico dettagliato della rete fognaria;

3.4. Valuta la capacità di smaltimento dei reticoli ricettori di cui al numero 2 diversi dalla rete fognaria, qualora siano disponibili studi o rilievi di dettaglio degli stessi;

3.5. Individua le aree in cui si accumulano le acque, provocando quindi allagamenti.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Arena Po è un comune italiano di 1.504 abitanti della provincia di Pavia in Lombardia. Si trova nell'Oltrepò Pavese, sulla riva destra del Po, al confine con la provincia di Piacenza.



Fig.2: Provincia di Pavia – Comune di Arena Po

L'estensione superficiale comunale ammonta a 22,27 km² e la relativa densità abitativa si attesta intorno a 67 ab/ km²

Di seguito sono riportati i dati ricognitivi inclusi nel documento "EL02 – Inquadramento geografico e territoriale" allegato al Piano d'Ambito della Provincia di Pavia, III^a Revisione in variante.

CODICE ISTAT	COMUNE	SUPERFICIE TERRITORIALE	ALTITUDINE MIN/MAX	ZONA ALTIMETRICA
		[kmq]	[m s.l.m.]	
18005	ARENA PO	22,27	57/103	PIANURA

Fig.3: Comune di Arena Po – Piano d'Ambito – dati ricognitivi

3. DELIMITAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A RISCHIO IDRAULICO

Nell'ambito della stesura del presente studio comunale, per delimitazione delle aree soggette a rischio idraulico si intende l'individuazione delle aree soggette ad allagamento e quindi a "pericolosità idraulica" per effetto della conformazione morfologica del territorio e/o per insufficienza della rete fognaria.

3.1 AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA E/O RISCHIO IDRAULICO DEL TERRITORIO COMUNALE INDICATE NELLA COMPONENTE GEOLOGICA P.G.T. – P.A.I. – P.R.G.A.

Una prima identificazione delle aree a pericolosità idraulica presenti sul territorio comunale di Arena Po è stata eseguita consultando tutti gli atti pianificatori esistenti quali, nello specifico, le cartografie del P.A.I. e quelle del più recente P.G.R.A. oltre a quelle relative alla componente geologica a corredo del P.G.T. vigente.

3.1.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (P.A.I.)

L'abitato di Arena Po si colloca prevalentemente in Fascia C (Capoluogo e le Frazioni di Fornace, Gerolo, Colombarolo, Frega, Porticone, Ca' Facaldo), nella quale il Piano persegue l'obiettivo di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica ai fini principali dell'invaso e della laminazione delle piene, unitamente alla conservazione e al miglioramento delle caratteristiche naturali e ambientali.

Anche le restanti Frazioni, facenti parte del territorio comunale, si collocano in Fascia C (ad es. Ripaldina e Zappellone) e in ambito collinare "non Fasciato" (ad es. Pavese, Fabbrica)

La Fascia C rappresenta l'area di inondazione per piena catastrofica (area inondabile per tracimazione o rottura degli argini maestri caratterizzata da tempo di ritorno T>500 anni); generalmente la relativa

porzione di territorio è delimitata da rilievi morfologici naturali e/o da elementi artificiali presenti sul territorio (rilevati, autostrada A21).



Fig.4: Stralcio carta PAI -PGRA

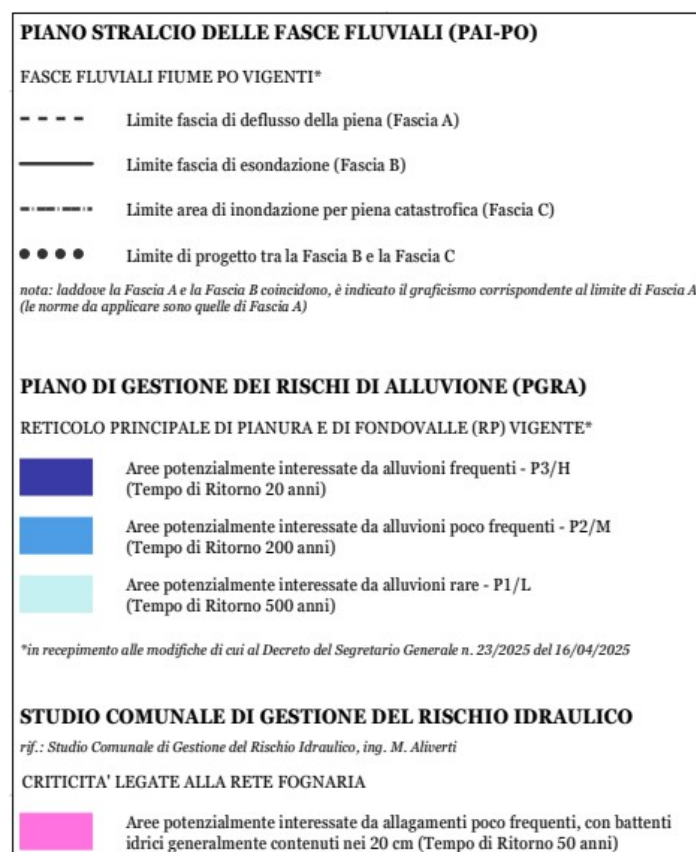


Fig.5: LEGENDA Fasce P.A.I. e P.G.R.A

3.1.2 Piano di Gestione del Rischio Alluvione (P.G.R.A) – D.G.R. X/6738 del 19/06/2017

Mappa di pericolosità

Le mappe di pericolosità contengono la delimitazione delle aree allagabili per diversi scenari di pericolosità:

- Aree P3 (H in cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- Aree P2 (M in cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- Aree P1 (L in cartografia), o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

L'immagine sottostante riporta la mappatura della pericolosità idraulica nel territorio comunale di Arena



Fig.6: Stralcio carta PAI -PGRA

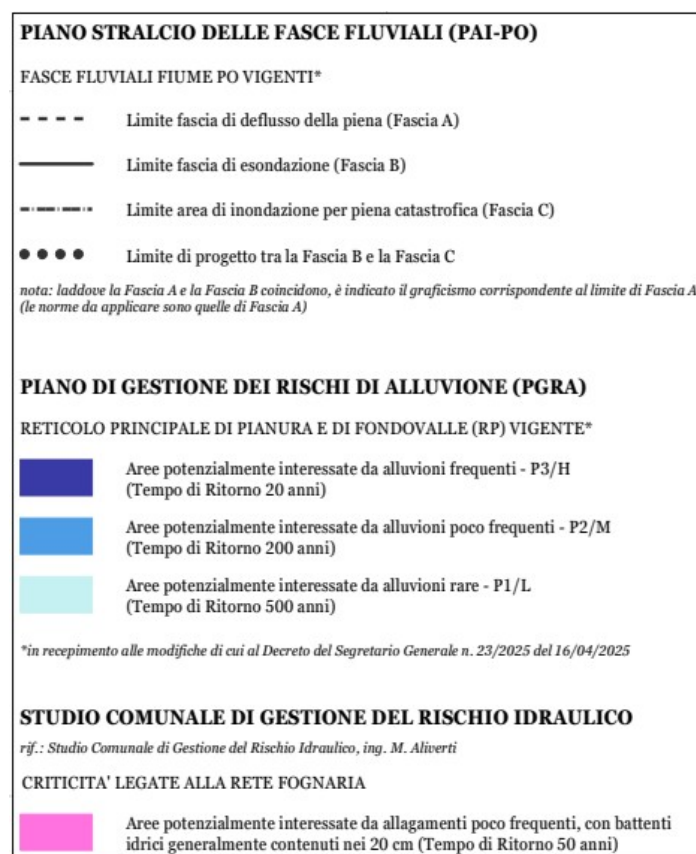


Fig. 7: LEGENDA Fasce P.A.I. e P.G.R.A

Come riportato nell'Allegato 2 delle "Disposizioni Regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (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 dicembre 2016 con Deliberazione n.5 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po" (Deliberazione n. X/6738 seduta del 19/06/2017), nel comune di Arena Po sono presenti aree allagabili in ambito di:

- reticolo principale di pianura (RP - scenario frequente - aree in blu scuro)

Le aree allagabili riferite al Po e cartografate nella mappe del P.G.R.A., corrispondono alle fasce fluviali delimitate dal PAI vigente.

- reticolo secondario di pianura (RSP - scenario poco frequente - aree in azzurro)

Il capoluogo di Arena Po e le Frazioni di Frega Gerolo Fornace risultano inseriti prevalentemente in area P2.

Il restante territorio comunale NON è invece interessato da aree allagabili nè per il reticolo principale di pianura (RP) nè per quello secondario.

Mappa di rischio

Le mappe di rischio classificano invece secondo 4 gradi di rischio crescente (R1 – rischio moderato o nullo, R2 - rischio medio, R3 – rischio elevato e R4 – rischio molto elevato) gli elementi che ricadono entro le aree allagabili.

Le mappe di pericolosità e rischio contenute nel PGRA rappresentano pertanto un aggiornamento ed integrazione del quadro conoscitivo rappresentato negli elaborati del PAI.

Ne consegue che il P.G.R.A., ai sensi dell'art. 3, comma 1 del DPCM 27 ottobre 2016, costituisce stralcio funzionale del Piano di Bacino del distretto idrografico padano e ha valore di Piano territoriale di settore. Ai sensi dell'art. 3 comma 3 del DPCM 27 ottobre 2016 le amministrazioni e gli enti pubblici si devono pertanto conformare alle disposizioni del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni in base a quanto riportato all'art. 65, commi 4, 5 e 6 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n.152 e successive modificazioni.

Il Comune di Arena Po deve pertanto da subito applicare la normativa sulle aree allagabili così come presenti nelle mappe di pericolosità del P.G.R.A., modificando di conseguenza le revisioni degli studi urbanistici comunali che dovessero risultare in contrasto ed aggiornando, di conseguenza, i Piani di Emergenza Comunali. Con riferimento al reticolo secondario le succitate disposizioni indicano invece che per tali corsi d'acqua non è richiesto un aggiornamento dell'elaborato 2 del PAI da D.G.R. VII/7385/2001.

Nella Figura 8 di seguito allegata si riporta uno stralcio della mappa di rischio del Comune di Arena Po.





Fig.8 - Mappa del rischio in corrispondenza del comune di Arena Po

Fin da subito si evince come l'abitato del capoluogo di Arena Po si collochi in area a rischio medio R2. La realizzazione della nuova arginatura in destra idrografica a difesa dell'abitato, la riattivazione della lanca di Po prospiciente l'abitato e l'ottimizzazione del reticolo di drenaggio superficiale attraverso un aumento dell'entità della diversione delle portate scolmate e convogliate all'esterno dell'area sottesa dalle nuove arginature in progetto (con particolare riferimento al rio Rile e al rio Cardanile) hanno comportato una risoluzione pressochè totale delle annose criticità di tipo idraulico che interessavano le aree maggiormente abitate, anche al verificarsi di eventi meteorici caratterizzati da tempi di ritorno $T=200$ anni.

Per maggiori dettagli si rimanda ai progetti delle "opere di difesa idraulica dell'abitato di Arena Po" consultabili presso l'Ufficio Tecnico Comunale.

3.1.3 Analisi e confronto cartografia

Dal confronto della mappa della pericolosità del P.G.R.A. e quella delle fasce PAI si osserva come la delimitazione e la classificazione di tali aree vengano sostanzialmente a coincidere con quelle del PAI. Laddove differiscano leggermente, quelle del PAI risultano essere più estese. Per maggior chiarezza si rimanda alle tavole di riferimento.

3.2 AREE SOGGETTE AD ALLAGAMENTO PER EFFETTO DELLA CONFORMAZIONE MORFOLOGICA DEL TERRITORIO

Il comune di Arena Po ha un'estensione superficiale di circa 22,3 kmq e ospita oltre 1.500 residenti. Il territorio comunale si attesta tra le quote di +57,00 m.s.l.m.(aree golenali Fiume Po), +59,00 m.s.l.m. (centro abitato del capoluogo) e +103,00 m.s.l.m. (ambito collinare). La realizzazione della nuova arginatura in destra Po, la riattivazione della lanca di Po prospiciente l'abitato, l'ottimizzazione del reticolo di drenaggio superficiale e una serie di opere complementari - soprattutto in località Frega, Sabbina, Gerolo, Monteacuto ed il limite Ovest dell'abitato del Capoluogo

comunale - ha comportato una risoluzione pressoché totale delle annose criticità di tipo idraulico che interessavano le aree maggiormente abitate (a tal proposito è opportuno ricordare come la quota di progetto della sommità arginale a difesa del capoluogo vari da +63.20 m.s.l.m. a +62.93 m.s.l.m., cioè risulti superiore di circa 1,30÷1,50 m rispetto al livello di piena duecentennale +61,70 m.s.l.m.)

3.2.1. Analisi conformazione morfologica

Il comune di Arena Po confina con Bosnasco, Castel San Giovanni (PC), Pieve Porto Morone, Portalbera, San Zenone al Po, Spessa, Stradella, Zenevredo, Zerbo.

Il territorio, prevalentemente pianeggiante, è descritto in dettaglio nell'ambito degli Studi a supporto della pianificazione comunale e degli elaborati del P.G.T, a cui si rimanda per approfondimenti.

Il Fiume Po, in occasione delle piene, rappresenta un ostacolo al deflusso dei colatori secondari.

Parimenti anche la stessa nuova arginatura ha rappresentato un impedimento al naturale deflusso dei suddetti colatori.

Quest'ultimi, avendo alvei "a debole pendenza", provocano criticità idrauliche da valle verso monte innescando profili di rigurgito e conseguenti allagamenti. Tale criticità è stata mitigata prevedendo, in primis, l'ottimizzazione del reticolo di drenaggio superficiale, attraverso un aumento dell'entità della diversione delle portate scolmate e convogliate all'esterno dell'area sottesa dalle nuove arginature in progetto (con particolare riferimento al rio Rile e al rio Cardanile).

3.2.2. Ricettori – Reticolo Idrografico

La rete idrografica del Comune di Arena Po, riportata sulla Carta dei vincoli è costituita principalmente dal Fiume Po, che scorre lungo il confine settentrionale. Ulteriori corsi d'acqua sono soprattutto colatori che arrivano dalle limitrofe colline e in minor numero fossi adibiti all'irrigazione.

L'idrografia e la dinamica fluviale, come noto, rappresentano per il territorio comunale di ARENA PO il problema principale soprattutto per la presenza al confine Nord del fiume Po. Se i fenomeni erosivi e deposizionali del Po avvengono all'interno dell'alveo di piena ordinaria, la pericolosità è rappresentata dall'esondazione del fiume durante le piene catastrofiche, per tali ragioni si sono adottate le fasce fluviali proposte dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

Gli altri corsi d'acqua, tutti affluenti o sub affluenti del Po, risentono direttamente delle fasi fluviali del Po; la caratteristica preminente degli affluenti di destra del Po (rio Carogna, Torrente Bardoneggia, scolo Rivalto e Sanguinale) è lo sviluppo del loro corso, che nella parte alta del territorio comunale di ARENA PO è impostato in ampie vallate, larghe anche più di 100 metri, originatesi per erosione fluviale, mentre giunti nella pianura proseguono meandreggiando in modo pronunciato. Solo l'intervento antropico ha in alcuni casi modificato l'originale percorso, rendendolo più rettilineo. Alla

stessa stregua i corsi d'acqua che partono dal piede del terrazzo che separa le alluvioni recenti dalle alluvioni antiche presentano alvei rettilinei e quindi di chiara natura antropica. Se si eccettua il rio Carogna, il torrente Bardoneggia ed evidentemente il Po, gli altri corsi d'acqua sottendono un bacino imbrifero modesto e di pochi chilometri quadrati, che arriva a malapena ai piedi delle colline o che addirittura inizia ai piedi del terrazzo delle alluvioni antiche. Nonostante questo, tutti i corsi d'acqua che giungono al Po esondano per rigurgito. I terreni allagati sono però entro le aree delle fasce fluviali del PAI ed hanno come limite estremo il tracciato della strada provinciale 144 che scorre da Ovest a Est su tutto il territorio comunale. Sono avvenute esondazioni dei corsi d'acqua minori anche in zone poste più a Sud delle fasce fluviali del Po, soprattutto in occasione di intensi e violenti temporali estivi e in corrispondenza alle brevi tombinature dei piccoli ponti stradali o ferroviari. Se le sezioni di deflusso in queste strettoie dei corsi d'acqua sono sufficienti a smaltire le acque in transito, avviene spesso l'intasamento con ramaglie delle tubature sotterranee provocando la fuoruscita delle acque dall'alveo con l'allagamento dei terreni circostanti e della sede stradale con spessori d'acqua di qualche decimetro, poi le acque scavalcano la strada rientrano nell'alveo a valle delle tubature. Questi eventi però non sono imputabili a dissesto idrogeologico ma a mancata manutenzione degli alvei.

4. DELIMITAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD ALLAGAMENTO PER INSUFFICIENZA DELLA RETE FOGNARIA

La stesura dello studio comunale di gestione del rischio idraulico si articola a partire dal Regolamento Regionale n. 7 del 2017 e Regolamento Regionale n. 8 del 2019 della Regione Lombardia e si attiene alle seguenti linee guida condivise con il Gestore del Servizio Idrico Integrato Pavia Acque:

- al Par.4.1: si descrive il contesto spaziale di studio e la rete fognaria del comune di Arena Po con le relative caratteristiche;
- al Capitolo 5 : si raccolgono i dati disponibili e gli studi pregressi con lo scopo di raggiungere la maggiore completezza delle informazioni;
- al Capitolo 6: si descrive il modello matematico che riproduce lo stato di fatto della rete fognaria per gli scenari con tempo di ritorno 20 (rete di trasporto) 50 e 100 anni (opere d'invarianza idraulica ed idrologica); si riportano i risultati ottenuti e le criticità emerse dalla modellazione idraulica; si descrivono gli interventi strutturali e non strutturali mirati alla risoluzione delle criticità presenti; si riporta un dimensionamento di massima (e contestuale

verifica centennale) degli interventi strutturali da prevedere nelle aree assoggettate alle criticità idrauliche di cui ai punti precedenti.

- Capitolo 7 e 8: si riportano le conclusioni relative allo studio in oggetto;

4.1 DESCRIZIONE GENERALE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO URBANO

Nella presente paragrafo si descrive la configurazione esistente del sistema di smaltimento delle acque meteoriche (rete di drenaggio urbano). Con riferimento ai sopralluoghi effettuati *in loco* e ai colloqui intercorsi con gli Enti Preposti (Amm.Comunale, Pavia Acque) si possono individuare, per caratteristiche topografiche e assetto della rete fognaria esistente, n°6 macroaree principali (\approx bacini scolanti contribuenti nella rete di drenaggio urbano), e i relativi ricettori, siano essi corsi d'acqua naturali che reti fognarie:

1. **Sistema Bacino n°1 (SB1):** sistema di drenaggio a servizio di una porzione del territorio comunale ad ovest del capoluogo che raccoglie e smaltisce le acque meteoriche che dilavano le superfici impermeabilizzate di Crocetta, San Pietro, Frega e Gerolo.
Il Rio Rivalto rappresenta il principale recapito delle acque di sfioro meteorico.
2. **Sistema Bacino n°2 (SB2):** sistema di drenaggio a servizio di una porzione del territorio comunale che raccoglie e smaltisce le acque meteoriche che dilavano le superfici impermeabilizzate del capoluogo.
Il Rio Cardanile e il Rio Rile rappresentano i principali recapiti delle acque di sfioro meteorico.
3. **Sistema Bacino n°3 (SB3):** sistema di drenaggio a servizio di una porzione di territorio comunale a sud del capoluogo che raccoglie e smaltisce le acque meteoriche che dilavano le superfici impermeabilizzate della piattaforma logistica (ricovero automezzi) in Frazione Piantà.
Lo scolmatore del Rio Cardanile (afferente nello scolo Rivalto) rappresenta il principale recapito delle acque di sfioro meteorico
4. **Sistema Bacino n°4 (SB4):** porzione di territorio comunale a sud del capoluogo che raccoglie e smaltisce le acque meteoriche che dilavano le superfici impermeabilizzate dapprima di Fabbrica e quindi di di Ripaldina.
I colatori secondari rappresentano il principale recapito delle acque di sfioro meteorico.
5. **Sistema Bacino n°5 (SB5):** porzione di territorio comunale ad est del capoluogo che raccoglie e smaltisce le acque meteoriche che dilavano le superfici impermeabilizzate di Montecuto e Zappellone.
I colatori secondari rappresentano il principale recapito delle acque di sfioro meteorico

In generale il territorio comunale di Arena Po è servito da un sistema fognario di tipo misto che recapita, tramite n°6 di stazioni di sollevamento principali (SS1, SS2, SS3, SS4, SS5 e SS6), la totalità delle acque di origine domestica e la frazione più inquinata delle acque meteoriche verso il depuratore consortile di Zappellone, cui sono collegati anche i sistemi fognari di Rovescala, Bosnasco e San Damiano.

Come precedentemente accennato, le acque di origine meteorica eccedenti la capacità di trattamento del suddetto depuratore consortile vengono sfiorate e recapitate nel Reticolo Idrico Minore (Rivalto, Cardanile, Rile) e Principale (Bardoneggia, Po) e nei fossi colatori secondari afferenti in destra idrografica del Fiume Po.

Sulla base dei colloqui intercorsi con gli Enti Proposti, il territorio comunale di Arena Po, allo stato di fatto, non risulta assoggettato a particolari criticità di tipo idraulico, in virtù soprattutto degli ingenti investimenti in tema di opere di difesa idraulica del territorio avvenuti nel corso degli ultimi anni (realizzazione nuova arginatura, riprofilazione lanca, interventi di regimazione del reticolo idraulico minore, etc.).

Di seguito la descrizione e le principali grandezze caratteristiche di ciascuno dei sistemi di drenaggio a servizio dei sopramenzionati bacini scolanti.

Per completezza d'informazioni si rimanda agli elaborati grafici di riferimento F1 e F2.

4.1.1 Sistema Bacino n°1 (SB1):

Le frazioni di Crocetta, San Pietro, Frega e Gerolo sono prevalentemente servite da un sistema fognario di tipo misto; esso recapita la totalità dei reflui dapprima entro la stazione di sollevamento SS1 e quindi nella stazione di sollevamento SS2 sita in Gerolo, in fregio alla S.P.75.

Da qui diparte una tubazione di mandata in PE100 PN16 che recapita tutte le acque di origine domestica e la frazione di acqua meteorica più inquinata [corrispondente al contributo pro-capite di 750 l/(AE d)] verso la rete fognaria del capoluogo.

L'acqua meteorica eccedente la capacità di sollevamento di SS1 e SS2 viene sfiorata entro collettori comunali che si sviluppano a gravità fino alla chiavica SC1, posta indicativamente all'altezza della rotonda tra la S.P.75 e la diramazione verso il ponte di Spessa Po.

Peraltro il sistema SB1 comprende anche una rete di sole acque meteoriche, (realizzata di recente in virtù della nuova arginatura comunale che ha comportato criticità e difficoltà di allontanamento delle acque meteoriche) convogliante le acque di scolo delle campagne intorno a Sabbina e Gerolo verso la suddetta chiavica SC1.

A valle di SC1, le acque di dilavamento meteorico convergono nello scolo Rivalto (facente parte del RIM) per poi essere recapitate, dopo circa 530 metri, direttamente nel Fiume Po.

Al verificarsi di eventi meteorici ordinari ($T=5\div 10$ anni) non si segnala alcuna criticità di tipo idraulico.

In occasione delle piene centennali del Fiume Po, cioè al crescere del livello idrometrico oltre i 56 m.s.l.m. all'interno del colatore Rivalto si innestano condizioni di rigurgito idraulico che si traducono in allagamenti puntuali dell'area "golenale" in fregio alla suddetta rotatoria.

Per tale motivo, in fregio alla chiavica SC1, è stata predisposta una vasca entro cui allocare n°2 idrovore che, all'occorrenza, smaltiscono la piena, ivi mantenendo tiranti idrici abbondantemente sotto i livelli di guardia:

- Livello di piena ordinaria: +52,70 m s.l.m
- Livello max Fiume Po: +60.60 m s.l.m. (max livello piena anno 2000);
- Quota piano campagna area laminazione = +58,60 m.s.l.m.;
- Quota sommità arginatura= +63,00 m.s.l.m.;

L'estensione superficiale del bacino gravante sul sistema SB1 è pari a :

- $A1=0,2533$ kmq (sezione di chiusura SC1 - chiavica scolo Rivalto)



Fig.9: SB1 – Chiavica SC1 (rosso), colatore Rivalto (azzurro), area "golenale" (giallo)

- **SB2a:** esso, oltre a ricevere le portate provenienti dal sistema SB1 in corrispondenza della cameretta posta in testa a via San Rocco, drena la porzione sud-occidentale dell'abitato del capoluogo. Il punto di confluenza è rappresentato dalla stazione di sollevamento comunale SS3 posta in via del Porto.
- **SB2b:** sistema drenante l'area centrale del capoluogo che si sviluppa lungo gli assi viari di via Garibaldi, via Mandelli, via Cavour e via Roma. Il relativo punto di confluenza è rappresentato dalla stazione di sollevamento comunale SS3 posta in via del Porto.
- **SB2c:** sistema drenante la porzione centro-orientale del capoluogo convergendo a gravità nella stazione di sollevamento comunale SS4 in fondo a via Po, oltre il castello Beccaria. Qui converge, tramite condotta transitante lungo la nuova arginatura, anche la totalità dei reflui provenienti dagli anzidetti sistemi SB2a e SB2b. Dalla stazione SS4 diparte una tubazione di mandata in PE100 PN16 che recapita tutte le acque di origine domestica e la frazione di acqua meteorica più inquinata [corrispondente al contributo pro-capite di 750 l/(AE d)] nella cameretta comunale all'altezza della RSA Fondazione Conte, sotto la SP.144.
Da qui ha origine il collettore fognario, che a gravità, lambendo per i primi 1.000 metri la SP.144 e quindi deviando nei campi agricoli per altri 1.500 metri, convoglia la totalità dei reflui raccolti entro la stazione di sollevamento SS5 posta in adiacenza a Cascina Gattera.

L'estensione superficiale del bacino gravante sul sistema SB2 è pari a :

- $A_2=0,3437 \text{ kmq}$ (sezioni di chiusura SC2 e SC3)



Fig.11: SB2 – Rio Cardanile deviato in Lanca (azzurro); stazione di sollevamento principale SS4 afferente nella cameretta in fregio a RSA Fondazione Conte (rosso)

4.1.3 Sistema Bacino n°3 (SB3):

A sud della rete ferroviaria che attraversa il territorio comunale di Arena Po, è presente un'importante piattaforma per il ricovero e lo smistamento di automezzi in tutta Europa.

Essa si staglia alla quota media di +68,00 ms.l.m., ai piedi del versante collinare (+92,00 m.s.l.m.), per un'estensione superficiale impermeabilizzata di oltre 200.000 mq. Nel corso degli ultimi decenni, al verificarsi di eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno superiori a $T=10$ anni, si sono sempre manifestati modesti allagamenti locali all'interno della stessa piattaforma per un'insufficiente capacità di trasporto della rete di drenaggio in relazione alle portate di piena derivanti sia dal dilavamento dei piazzali sia dal ruscellamento superficiale del fronte collinare.

Per ovviare a tali criticità sono state previste e installate n°3 idrovore sul fronte occidentale della piattaforma al fine di allontanare e smaltire entro lo scolmatore del rio Cardanile (afferente al rio Rivalto) le eventuali acque di allagamento.

Le principali grandezze caratteristiche del sistema SB3 sono:

- $A2=0,2608$ kmq (estensione del bacino contribuente alle sezioni di chiusura SC4)



Fig. 12: SB3 – Piattaforma per ricovero e smistamento automezzi e collocazione idrovore per drenaggio acque di dilavamento meteorico (rosso)

4.1.4 Sistema Bacino n°4 (SB4):

Il sistema SB4, per effetto della conformazione morfologica del territorio e della conseguente configurazione planimetrica della rete, si articola principalmente in n°2 sottosistemi a servizio delle Frazioni Fabbrica e Ripaldina:

- **SB4a:** sistema drenante la totalità delle superfici impermeabilizzate della Frazione Fabbrica, ad eccezione della rilevante piattaforma logistica presente lungo il fronte occidentale, la cui rete di pertinenza risulta afferente a scoli secondari.

Il principale collettore fognario comunale sottostante la SP.144 recapita verso Ripaldina la totalità dei reflui domestici e la sola frazione più inquinata di acque meteoriche [corrispondente al contributo pro-capite di 750 l/(AE d)], essendo dotato di sfioratore appena a valle dell'intersezione tra la SP.144 e strada vicinale verso Cascina Negresi Mazza.

- **SB4b:** esso, oltre a ricevere le portate di monte derivanti da Fabbrica, smaltisce la totalità delle acque di dilavamento meteorico delle superfici impermeabilizzate della Frazione Ripaldina (quota media piano campagna +67,00 m.s.l.m.) e del versante collinare “retrostante” (quota

media piano campagna +87,00 m.s.l.m.); i reflui raccolti vengono recapitati a monte di Cascina Gattera, tramite n°3 condotte che sottopassano ortogonalmente l'autostrada A21, nel collettore fognario principale in arrivo dal capoluogo (vedi par.3.3.2) e convergente nella stazione di sollevamento SS5.

Fin da subito preme sottolineare come, proprio in virtù dei suddetti contributi di monte, in termini di portata, il sistema fognario di Ripaldina lavori frequentemente in pressione, provocando periodiche, seppur modeste, criticità, in termini di allagamento, specie in corrispondenza dell'intersezione tra via Ripaldina Sopra, via Botteghino e la SP.144.

Da qui il suggerimento di prevedere, come illustrato ai capitoli successivi, misure strutturali in tema di prevenzione del rischio idraulico.

L'estensione superficiale del bacino gravante sul sistema SB4 è pari a:

- $A_4 = 0,5159 \text{ km}^2$ (estensione del bacino contribuente alle sezioni di chiusura SC5, SC6, SC7, SC8)



Fig.13: SB4 – Punto ove prevedere misure strutturali in difesa dell'abitato di Ripaldina

4.1.5 Sistema Bacino n°5 (SB5):

Il sistema SB5, per effetto della conformazione morfologica del territorio e della conseguente configurazione planimetrica della rete si articola principalmente in n°2 sottosistemi, l'uno a servizio di Monteacuto, l'altro di Zappellone.

Tuttavia prima di illustrare la configurazione del suddetto sistema di smaltimento è opportuno segnalare, ai fini della presente trattazione, la recente realizzazione di un collettore di fognatura mista (in capo a CAP HOLDING) che dalla Frazione Fabbrica si sviluppa a gravità per circa 4.300 m fino al depuratore consortile di Zappellone, attraversando le succitate Frazioni di Monteacuto e Zappellone.

Tale collettore è stato realizzato al fine di "alleggerire" la rete di valle, intercettando, oltre alle acque di origine domestica, anche parte delle acque di dilavamento dei versanti collinari insistenti sul territorio comunale di Arena Po.

Nel tratto terminale, appena a monte del depuratore consortile, esso accoglie anche la totalità dei reflui derivanti dai Sottosistemi fognari descritti ai paragrafi precedenti (SB1, SB2, SB4)

Per quanto riguarda il sistema di fognatura comunale:

- **SB5a:** esso drena la totalità delle superfici impermeabilizzate della Frazione Monteacuto immettendosi nel collettore CAP HOLDING precedentemente descritto.

Non sono presenti sfioratori.

- **SB5b:** esso riceve nel pozzetto di testa del sistema fognario comunale, posto sul fronte occidentale della stessa Frazione, la totalità dei reflui provenienti dalla stazione SS5 .

Da qui ha origine il collettore di fognatura mista che attraversa la Zappellone fino a conferire le acque di origine domestica di pertinenza e la frazione più inquinata di acque meteoriche [corrispondente al contributo pro-capite di 750 l/(AE d)] dapprima entro la stazione di sollevamento SS6, posta in uscita dalla Frazione, in fregio alla SP.144 (fronte orientale) e quindi al depuratore. I reflui provenienti da SS5 vengono direttamente scaricati, tramite un opportuno sistema di livelli all'interno del succitato pozzetto di testa, nel collettore CAP HOLDING.

L'estensione superficiale del bacino gravante sul sistema SB5 è pari a:

- $A_5 = 0,1547 \text{ km}^2$



*Fig.14: SB5 – Pozzetto di testa/Punto di confluenza (rosso) reflui provenienti da SS5
Collettore CAP afferente al depuratore consortile (giallo)*

5. STUDI PREGRESSI E RACCOLTA DATI

La descrizione del sistema di drenaggio urbano di cui al paragrafo 3.3 è stata desunta dalla cartografia fornita dall'Ente Gestore Pavia Acque, dai colloqui intercorsi con i Tecnici dell'Amm.ne Comunale e raccogliendo i dati da una serie di studi idrologici-idraulici pregressi.

Come precedentemente accennato, il territorio comunale di Arena Po, allo stato di fatto, non evidenzia particolari problematiche di tipo idraulico, in virtù delle importanti opere di difesa idraulica realizzate negli ultimi anni, soprattutto a difesa del centro abitato, e degli interventi complementari sugli scolmatori; di seguito se ne menzionano le più rilevanti ai fini della presente trattazione:

1. Arginatura a difesa del capoluogo (intervento A, B, C, D)
2. Muro arginale in uscita lanca (intervento G)
3. Deviazione rio Cardanile in lanca (intervento H)
4. Troppo pieno rio Rile (intervento I)
5. Chiavica rio Rile (intervento L)
6. Scolmatore rio Rile (intervento M)

7. Manufatto deviatore rio Rile (intervento O)
8. Scolmatore scolo secondario nel Rile (intervento P)
9. Scolmatore rio Cardanile (intervento Q)
10. Manufatti scolmatore rio Cardanile (intervento R)
11. Riprofilatura rio Rivalto (intervento S)

In generale la realizzazione della nuova arginatura in destra Po a difesa dell'abitato di Arena Po, la riattivazione della lanca di Po prospiciente l'abitato e l'ottimizzazione del reticolo di drenaggio superficiale, attraverso un aumento dell'entità della diversione delle portate scolmate e convogliate all'esterno dell'area sottesa dalle nuove arginature in progetto (con particolare riferimento al rio Rile e al rio Cardanile) hanno comportato una risoluzione pressoché totale delle annose criticità di tipo idraulico che interessavano le aree maggiormente abitate (vedi par. 3.3.1 "sistema SB1" e par. 3.3.2 "sistema SB2").

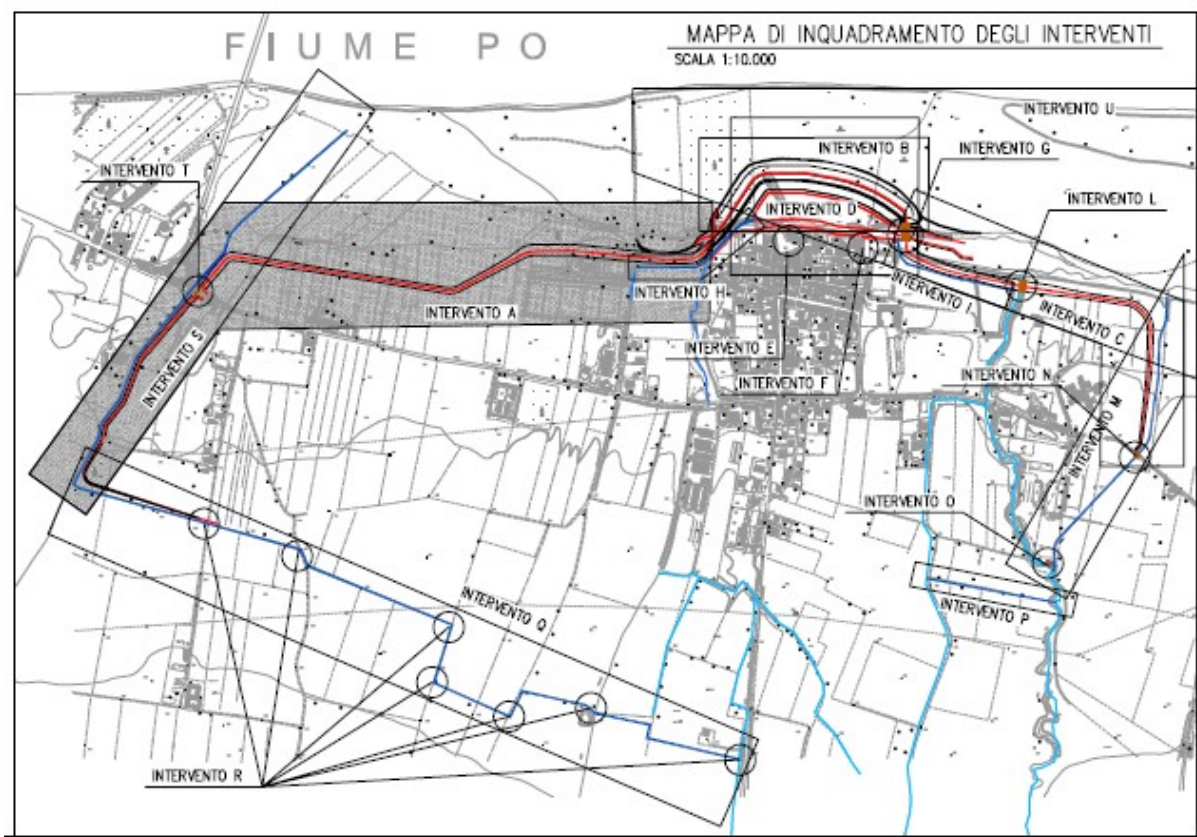


Fig. 15: inquadramento delle principali opere di difesa idraulica

A conferma di quanto sopra riportato si segnala come dai report di Pronto Intervento consultati dallo Scrivente presso gli Uffici di Pavia Acque, contenenti l'estrazione degli ultimi anni delle segnalazioni inerenti problematiche di allagamento, non siano evidenziate particolari problematiche.

Anche la realizzazione del collettore di competenza CAP, transitante in fregio alle Frazioni di Montecuto e Zappellone (vedi par. 3.3.5 “sistema SB5”) è da considerarsi positivo sugli effetti del sistema drenaggio urbano.

Tale collettore infatti, intercettando parte delle acque di dilavamento dei versanti collinari ivi insistenti, alleggerisce la rete di valle, scongiurando di fatto qualsivoglia criticità, in termini di allagamento.

Per quanto riguarda invece il sistema di drenaggio urbano di Ripaldina (vedi par. 3.3.4 “sistema SB4”) si segnala la necessità di realizzare interventi strutturali mirati alla risoluzione delle criticità idrauliche che si manifestano al verificarsi di intensi eventi meteorici, specie in corrispondenza del crocevia tra la SP.144, via Ripaldina Sopra e via Botteghino (vedi Fig.7).

Sebbene circa 500 metri più a monte sia stato previsto uno sfioratore delle portate di piena provenienti dalla Fraz. Fabbrica verso i colatori secondari limitrofi (vedi Tav. F1 – SC5), le acque di dilavamento del versante collinare che insiste sull’abitato di Ripaldina rappresentano una criticità, in termini di portata (e trasporto solido).

Per maggiori informazioni circa le opere di mitigazione del rischio idraulico succitate si rimanda alla documentazione progettuale di riferimento, consultabile presso l’Ufficio Tecnico Comunale.

6. ANALISI RETE DI DRENAGGIO URBANO

6.1 DEFINIZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITA’ CLIMATICA

Per il calcolo del regime pluviometrico si è utilizzato il foglio di calcolo fornito da ARPA LOMBARDIA, da cui si ottengono, mediante formulazione analitica, le curve segnalatrici per durate di pioggia 1-24 ore, secondo vari tempi di ritorno T (anni).

Di seguito si riportano la tabella e il grafico dei risultati ottenuti adottando la classica espressione monomia della curva di possibilità pluviometrica:

$$\underline{h = a \times t^n}$$

in cui con h si intende l’altezza di pioggia in mm corrispondente alla durata t in ore.

T di ritorno (anni)	a	n
2	22,9	0,2985
5	31,4	0,2985
10	37,6	0,2985
20	43,9	0,2985
50	52,7	0,2985
100	59,7	0,2985
200	62,2	0,2985

Fig.16: curva di possibilità climatica

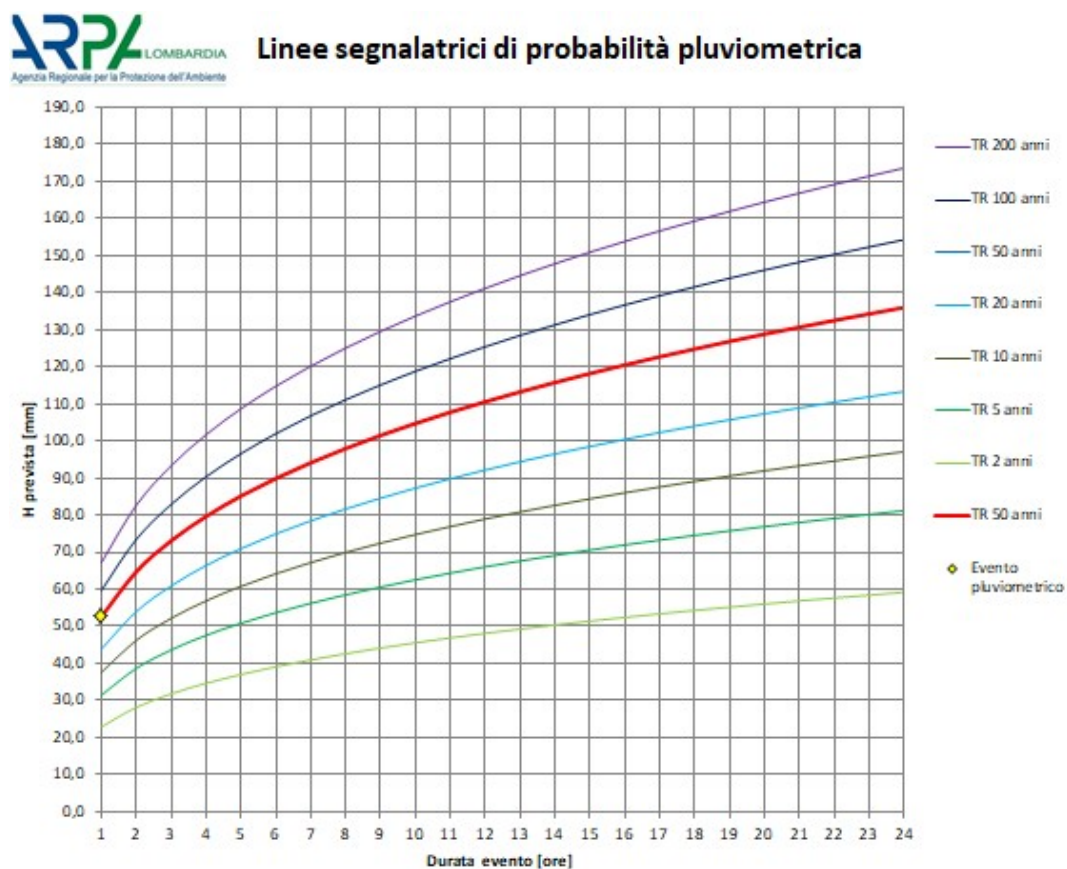


Fig.17: grafico curva di possibilità climatica

Ai fini della presente trattazione e tenuto conto della conformazione topografica morfologica del comune di Arena Po si ritiene del tutto accettabile verificare la capacità di trasporto della rete di drenaggio urbano comunale per gli scenari con tempo di ritorno **T=20 anni**.

Per quanto riguarda il dimensionamento delle misure strutturali da prevedere si ritiene più appropriato, nel rispetto anche del Regolamento Regionale d'Invarianza Idrologica ed Idraulica n°07/17, adottare la curva avente tempo di ritorno **T=50 anni** (con contestuale verifica **T=100 anni** ai sensi dell'art.11, comma 2, lett. A)

6.2 CALCOLO DELLA PIOGGIA NETTA

Per definizione è l'aliquota di pioggia che si trasforma in deflusso superficiale, ovvero si ottiene applicando allo ietogramma di calcolo un modello che tiene conto delle perdite del bacino che, nel caso in cui interessa il solo fenomeno della piena, avvengono principalmente per infiltrazione.

Quale modello di infiltrazione si è scelto di utilizzare il metodo CN del Soil Conservation Service, particolarmente adatto per la determinazione del deflusso corrispondente allo scorrimento superficiale nelle zone sia urbanizzate che rurali.

Tale metodo risulta del tutto equivalente a un metodo di stima del coefficiente di afflusso Φ , che rappresenta, come noto, il rapporto tra il volume defluito e quello affluito.

Di seguito si riporta la procedura concettuale del metodo CN (*Curve Number* - parametro adimensionale $0 < CN < 100$)

1. Finchè l'afflusso non raggiunge un valore minimo I_a il deflusso resta uguale a zero (perdita iniziale dovuta essenzialmente all'intercezione, all'infiltrazione e all'immagazzinamento nelle depressioni superficiali)
2. $Q = P - I_a - S$
A partire da I_a dell'afflusso P si osserva un deflusso Q diverso da zero, che cresce secondo una curva concava (a causa delle perdite sussistenti anche dopo l'inizio dello scorrimento superficiale) verso l'alto, la quale tende asintoticamente a confondersi con una retta con coefficiente angolare $m=1$ e ordinata all'origine $X = -(I_a + S)$ dove S ha il significato di valore limite di questo secondo tipo di perdite.
3. Si assume $(P - I_a - Q)/S = Q/(P - I_a)$
4. Si ricava $Q = (P - I_a)^2 / (P - I_a + S)$
5. Si assume $I_a = 0,2S$ (il parametro I_a dipende dalle condizioni del suolo e si può assumere proporzionale a S)

6. Si ricava $Q = (P - 0,2S)^2 / (P - 0,8S)$

7. $CN = 1000 / (S + 10)$

Ai fini della determinazione del parametro CN si è fatto riferimento alle tabelle di cui sotto:

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Fig.18: tipologia di suolo - Arena Po (SCS, 1985)

Tipo di copertura			Classe del suolo			
Uso del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi diritti	–	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi diritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi diritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi diritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi diritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi diritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi diritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		–	59	74	82	86
Strade sterrate		–	72	82	87	89
Str. pavimentate		–	74	84	90	92

Fig.19: valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura (SCS, 1985)

Tipo di copertura		Classe del suolo			
		A	B	C	D
Aree residenziali⁽¹⁾					
Area media dei lotti	Area impermeabile (%)				
1/8 acro o meno	65	77	85	90	92
1/4 acro	38	61	75	83	87
1/3 acro	30	57	72	81	86
1/2 acro	25	54	70	80	85
1 acro	20	51	68	79	84
Parcheggi pavimentati, tetti, viali d'accesso ⁽²⁾		98	98	98	98
Strade urbane ed extraurbane					
pavimentate, a dorso di mulo e con fognatura ⁽³⁾		98	98	98	98
in ghiaia		76	85	89	91
sterrate		72	82	87	89
Aree commerciali e professionali (impermeabili per l'85%)		89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabili per il 72%)		81	88	91	93
Spazi aperti, prati, parchi, campi da golf, cimiteri etc.					
in buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più		39	61	74	80
in discrete condizioni: copertura erbosa sul 50-75%		49	69	79	84
⁽¹⁾ Si assume che il deflusso dalla casa e dal viale di accesso sia diretto verso la strada, con una minima quantità di acqua del tetto diretta al prato, dove potrebbe aver luogo un'infiltrazione addizionale. ⁽²⁾ Si assume che le rimanenti aree permeabili (prato) si trovino nelle condizioni di un buon pascolo. ⁽³⁾ In alcuni climi particolarmente caldi degli Stati Uniti CN si può assumere uguale a 95.					

Fig.20: valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura (SCS, 1975)

Per ciascun bacino contribuente nella rete di drenaggio urbano, identificato ai capitoli precedenti come SB1, SB2, SB3, SB4, SB5, il valore CN di riferimento è stato ricavato come media pesata dei CN delle tre diverse tipologie di destinazione d'uso del suolo prese in considerazione:

- 1) CN=98 (coperture)
- 2) CN=95 (aree commerciali/produttive)
- 3) CN=92 (strade pavimentate)
- 4) CN=80 (spazi aperti in buone condizioni)

Quindi, per ciascun bacino, utilizzando i parametri della curva di possibilità climatica caratterizzata da T=20 anni si è calcolato il tempo di corrivazione* e di conseguenza il relativo coefficiente di afflusso Φ . Le principali grandezze geometriche di ciascun bacino (estensione superficiale, lunghezza dei tronchi fognari, etc...) è desunto dagli elaborati grafici di riferimento; il dislivello geodetico alla sezione di chiusura considerata è ricavato per interpolazione dalla Carta Tecnica Regionale (vedi Fig.15)



Fig.21: stralcio C.T.R. – comune di Arena Po

Di seguito un estratto dei risultati ottenuti; per maggior chiarezza si rimanda alle tabelle di calcolo in allegato.

	CN	Φ (T=20 anni)
BACINO SB1	84,8	0,36
BACINO SB2a	90,2	0,51
BACINO SB2b	96,5	0,72
BACINO SB2c	93,9	0,65
BACINO SB3	91,4	0,62
BACINO SB4a	88,4	0,43
BACINO SB4b	91,1	0,47
BACINO SB4c	88,4	0,29
BACINO SB4d	89,6	0,41
BACINO SB5a	89,5	0,39
BACINO SB5b	90,6	0,38

Fig.22: coefficiente di afflusso

* Il calcolo del tempo di corrivazione è stato ottenuto dalla media dei risultati mediante le formule analitiche di letteratura di Ventura e Pasini; nel prosieguo della trattazione si è ritenuto più idoneo sostituire tale tempo di corrivazione con la costante d'invaso vista la conformazione prevalentemente pianeggiante del comune di Arena Po

6.3 TRASFORMAZIONE AFFLUSSO DEFLUSSO – METODO DELL'INVASO

Per il calcolo delle portate massime connesse con eventi meteorici intensi si è adottato il classico metodo dell'invaso lineare.

Tale metodo appartiene alla categoria dei modelli concettuali e globali, ovvero schematizza il bacino attraverso l'elemento concettuale del serbatoio lineare e dove la portata alla sezione di chiusura è individuata sulla base dell'intero bacino gravante sulla sezione, quindi di opportune grandezze mediate sull'intera superficie a monte di essa.

La relazione lineare che definisce il modello è:

$$Q(t) = W(t)/K$$

dove

Q = portata in uscita dalla sezione (m³/sec)

W = volume immagazzinato a monte (m³)

K = costante d'invaso lineare (sec)

Adottando le classiche ipotesi e semplificazioni che stanno alla base di questo metodo, il coefficiente udometrico, cioè la portata massima per unità di superficie di bacino che defluisce da una prefissata sezione della rete fognaria, è valutabile con l'espressione:

$$U = \frac{10^7}{3600^n} 0,65 \varphi a K^{(n-1)} \quad (1)$$

nella quale i simboli assumono il seguente significato:

U = coefficiente udometrico [l/(s ha)];

n = esponente della curva di probabilità pluviometrica ragguagliata all'area del bacino;

a = coefficiente della curva di probabilità pluviometrica ragguagliata all'area del bacino [m];

φ = coefficiente di afflusso;

K = costante di invaso del sistema bacino-rete sotteso dalla sezione di calcolo [s].

Per la definizione della portata alla sezione di chiusura del bacino è stato utilizzato il modello dell'invaso lineare, con costante K definita secondo la relazione di letteratura:

$$K = 0,7 \times \tau_c[h] \quad \text{se } \Phi < 0,6$$

$$K = 0,5 \times \tau_c[h] \quad \text{se } \Phi > 0,6$$

ove $\tau_c[h]$ è il tempo di corrivazione desunto dal calcolo del coefficiente di afflusso di cui al paragrafo precedente.

Sulla base di esperienze, verifiche e studi analoghi pregressi, si è optato di non calcolare direttamente la costante d'invaso K perché, nel caso in esame, cioè per bacini di estensione modesta, le relazioni di letteratura (ad es. formula di Desbordes, Ciaponi e Papiri, etc..) tendono a sottostimarla rendendola poco aderente alla realtà.

Di seguito un estratto dei risultati ottenuti; per maggior chiarezza si rimanda alle tabelle di calcolo in allegato.

	Q_{T=20} (l/s)	Φ (T=20 anni)
BACINO SB1	807,68	0,36
BACINO SB2a	1189,79	0,51
BACINO SB2b	693,48	0,72
BACINO SB2c	699,34	0,65
BACINO SB3	1211,85	0,62
BACINO SB4a	565,89	0,43
BACINO SB4b	1981,30	0,47
BACINO SB4c	442,58	0,29
BACINO SB4d	594,33	0,41
BACINO SB5a	1052,15	0,39
BACINO SB5b	216,48	0,38

Fig.23: portata di piena

* Circa i risultati delle portate derivanti dal dilavamento di ogni bacino considerato (vedi Fig.17) si è scelto di non considerare il contributo pro-capite di 750 l/(AE d) - corrispondente alla frazione meteorica più inquinata - perché trascurabile rispetto alla portata "propria" di dilavamento meteorico di ogni bacino.

6.4 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE A CRITICITA'

In base alle informazioni desunte dalla relazione geologica a corredo del PGT vigente e dai colloqui intercorsi con i Tecnici Comunali e i Tecnici dell'Ente Gestore Pavia Acque si evidenzia come allo stato attuale non ci siano settori del territorio comunale interessati da evidenti fenomeni di allagamento dovuti a criticità della rete fognaria comunale.

Le sole criticità idrauliche connesse con il sistema comunale si manifestavano fino a qualche anno fa' nelle sole aree abitate del capoluogo e saltuariamente in Frazione Ripaldina, all'altezza del crocevia tra la SP.144, via Ripaldina Sopra e via Botteghino.

Tuttavia, per quanto riguarda le prime, pare che esse siano completamente rientrate a seguito della realizzazione degli interventi di regimazione dei colatori e di difesa idraulica del capoluogo di cui al CAP.5 della presente trattazione.

Per quanto riguarda le seconde, come accennato ai capitoli precedenti, è auspicabile realizzare interventi strutturali mirati alla risoluzione delle criticità idrauliche che si manifestano saltuariamente al verificarsi di intensi eventi meteorici, specie in corrispondenza del crocevia tra la SP.144, via Ripaldina Sopra e via Botteghino (vedi Fig.7)

Tali assunti sono comunque supportati dai risultati di cui ai paragrafi seguenti ottenuti attraverso i calcoli di verifica di capacità di trasporto dei collettori fognari comunali rispetto alle portate di piena precedentemente calcolate (vedi Fig.17)

6.5 VERIFICA CAPACITA' DI TRASPORTO A PELO LIBERO IN MOTO UNIFORME

La verifica viene condotta per le principali dorsali fognarie di ogni bacino scolante individuato afferente alla sezione di chiusura di pertinenza (per maggiore chiarezza si rimanda all'elaborato grafico di riferimento F02):

- in una prima fase si stabilisce se le dorsali principali in esame sono idraulicamente insufficienti, cioè si determina se al verificarsi di intensi eventi meteorici ($T=20$ anni) i collettori comunali smaltiscono la piena superando il massimo grado di riempimento ammesso, in funzione del diametro interno.
- in una seconda fase si valuta se i collettori sono idraulicamente rigurgitati, ovvero se il pelo libero d'acqua in relazione alla portata di piena determina l'entrata in pressione delle condotte,

con conseguente rischio di esondazione sul piano stradale; a tal proposito si usa il **metodo della cadente J**.

La cadente J, dunque, rappresenta l'inclinazione della linea dei carichi totali relativa ad una massa di fluido in movimento. È quindi un coefficiente adimensionale per la determinazione delle perdite di carico dovute all'attrito tra il fluido in movimento e la parete della condotta (nel caso di moto all'interno di una condotta) o dell'alveo (in caso di canali).

Nel caso in esame (moto uniforme) la cadente J va a coincidere con l'abbassamento per unità di percorso della linea piezometrica, e prende così il nome tradizionale di cadente piezometrica. Il suo valore è dato da:

$$I = - \frac{\delta(z + \frac{p}{\gamma})}{\delta s}$$

Dove z è la quota geodetica del fluido, e p/γ l'altezza piezometrica del fluido. La loro somma dà la quota piezometrica, definita appunto dalla linea piezometrica. Quest'ultima rappresenta la quota che raggiungerebbe un fluido (costretto in una condotta) se fosse lasciato libero. Tale linea, cioè, rappresenta il pelo libero che il fluido avrebbe se non fosse sottoposto ad alcun vincolo; in condizioni di moto uniforme la cadente J coincide con la pendenza i.

La prima verifica viene dunque condotta in moto uniforme, calcolando la capacità di trasporto Qu secondo la relazione di Gauckler – Strickler:

$$Qu [mc/s] = k_s \times i^{1/2} \times A \times R^{2/3} / 1000$$

dove:

- i [m/m] è la pendenza della dorsale principale
- A [m²] è l'area occupata dalla corrente;
- R [m] è il raggio idraulico;
- k_s è la conduttanza, dipendente dal materiale con cui è realizzata la condotta

A ed R dipendono ovviamente dal grado di riempimento assunto, ovvero dall'altezza di corrente h [m]; pertanto si fa ricorso alle scale di deflusso normalizzate per valutare la percentuale di riempimento, cioè la capacità di trasporto, delle condotte in esame:

$$r = \left(\frac{Q_{tot}}{k \times \frac{A}{r^2} \times \left(\frac{R}{r} \right)^{2/3} \times \sqrt{i}} \right)^{3/8}$$

La seconda verifica viene condotta determinando, mediante la medesima relazione di Gauckler – Strickler, la cadente J ovvero la dissipazione di energia specifica per unità di percorso della corrente. Nelle tavole in allegato si riportano gli eventuali punti di fuoriuscita dell'acqua sulla carreggiata stradale in funzione dei tempi di ritorno considerati (T=20 anni).

Analizzando i risultati idraulici di cui alle tabelle di calcolo n°12 e n°13 emerge come il sistema fognario comunale a servizio del Bacini indagati non entri mai in crisi al verificarsi di eventi di pioggia caratterizzati da tempi di ritorno di 20 anni; infatti ammettendo che sul sistema fognario comunale (condotte, caditoie, stazioni di sollevamento) vengano svolte le classiche e necessarie operazione di manutenzione ordinaria, ciascuna dorsale è in grado di trasportare le piene senza mai entrare in pressione, cioè con un grado di riempimento massimo della sezione di deflusso pari a $h/DN < 87\%$.

Fa eccezione il sistema di smaltimento a servizio di Ripaldina; nello specifico il sistema SB4b afferente alla sezione di chiusura SC6.

Qui, in corrispondenza di eventi meteorici ventennali, la condotta principale indagata (tratto dalla sezione di chiusura SC5 alla SC6) possa lavorare in pressione ($h/DN=103\%$), innescando profili di rigurgito idraulico a partire dalla stazione di sollevamento di via Stradagrande (corrispondente alla sezione di chiusura SC6).

Applicando il sopradescritto metodo della cadente J, i primi allagamenti si manifestano a una distanza di circa D=670 metri, cioè all'altezza di via Botteghino (lungo la SP.144).

Da qui la scelta di prevedere *in loco* interventi strutturali (vasca di laminazione/invasi naturali) condivisi con i Tecnici Comunali mirati alla risoluzione delle criticità presenti.

Di seguito si esplicita la verifica condotta sul bacino appena descritto (SB4b).

6.6 VERIFICA SISTEMA DI SMALTIMENTO A SERVIZIO DI FRAZ.RIPALDINA (SB4b)

In idraulica urbana la sezione di chiusura rappresenta generalmente una qualunque sezione del sistema di drenaggio che sottende un bacino o una porzione di esso attraverso cui si calcola la portata di piena derivante dal dilavamento meteorico delle superfici impermeabilizzate (secondo la definizione del Regolamento Regione Lombardia n°4 del 24.03.2006) gravanti sullo stesso bacino e contribuenti in fognatura.

Dall'analisi della configurazione planimetrica e dalle linee di flusso indicate nella documentazione progettuale di Pavia Acque consultabile presso l'Ufficio Tecnico di Arena Po si ricavano le seguenti grandezze caratteristiche del Bacino SB4b (Bacino Est di Frazione Ripaldina):

- SC6=sezione di chiusura del bacino rappresentata da una stazione di sollevamento afferente ad una tubazione in cls DN800 transitante ortogonalmente al di sotto dell'autostrada A21 TO-PC.
- $A1=0,2474 \text{ kmq}$ (estensione del bacino gravante sulla sezione di chiusura SC6)
- $L1=1.270 \text{ metri}$ (sviluppo lineare dorsale fognaria principale, da SC5 a SC6)
- $\Delta H_{SC5-SC6}=(87,05 - 64,35)=22,70 \text{ m}$ (dislivello geodetico da SC5 a SC6)
- $D=\text{punto di fuoriuscita dell'acqua}$

Per maggior chiarezza si rimanda all'elaborato di riferimento F03.

Ai fini della presente trattazione è importante sottolineare quanto segue:

- il dislivello $\Delta H_{SC5-SC6}$ è marcato perchè la sezione di chiusura SC5 si colloca in ambito ancora collinare, mentre la sezione SC6 si colloca ai piedi del centro abitato, in un'area pianeggiante e/o debolmente acclive (area soggetta a criticità idrauliche)

Da qui la scelta di considerare, per la verifica in esame, il dislivello geodetico relativo all'area prevalentemente abitata/pianeggiante, cioè $\Delta H'=(82,55 - 64,35)=18,20 \text{ m}$, in modo che la cadente J "aderisca" più realisticamente al profilo del piano campagna.

Di seguito si riporta il risultato di calcolo della verifica effettuata.

T=20 anni	J (m/m)	Distanza SC6-D (m)
BACINO SB4a	0,027	674

*Fig.24: Individuazione aree soggette ad allagamento con T=20 anni
Metodo della cadente*

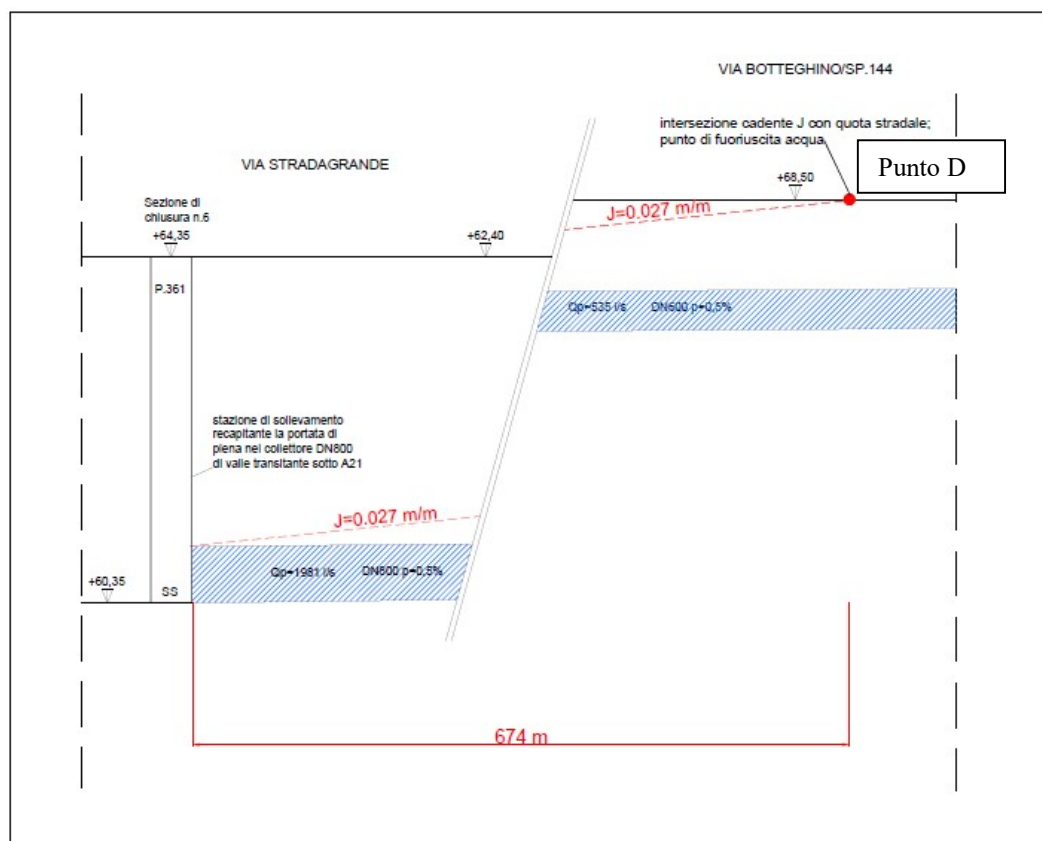


Fig.25: Individuazione punto di allagamento D – Frazione Ripaldina

Il punto D rappresenta il punto d'intersezione tra la cadente J ed il piano campagna, cioè il punto di fuoriuscita dell'acqua.

Per maggior chiarezza si rimanda all'elaborato grafico di riferimento F3.

6.7 INDICAZIONE DELLE MISURE STRUTTURALI DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA

Il Comune Arena Po è tenuto ad introdurre nel Regolamento di attuazione e far rispettare i principi di gestione del rischio idraulico in relazione a trasformazioni del territorio.

A seguito dell'introduzione delle prescrizioni riguardanti l'applicazione di tali principi pare opportuno fornire alcuni elementi tecnici per la valutazione delle opere di mitigazione rischio idraulico connesso alle impermeabilizzazioni e alle criticità riscontrate di cui ai paragrafi precedenti.

Tali prestazioni sono riconducibili a due meccanismi di controllo "naturale" delle piene:

- l'infiltrazione e l'immagazzinamento delle piogge nel suolo (fenomeni rappresentati in via semplificativa dal coefficiente di deflusso);

- la laminazione, la quale si manifesta nel fatto che i deflussi devono riempire i volumi disponibili nel bacino prima di poter raggiungere la sezione di chiusura.

I principi di corretta gestione del rischio idraulico sul territorio, ed in particolare il criterio dell'invarianza idraulica delle trasformazioni delle superfici prevedono la compensazione delle riduzioni sul primo meccanismo attraverso il potenziamento del secondo meccanismo.

E' importante evidenziare che l'obiettivo dei principi di gestione del rischio idraulico richiede a chi propone una trasformazione di uso del suolo di accollarsi, attraverso opportune azioni compensative, gli oneri del consumo della risorsa territoriale costituita dalla capacità di un bacino di regolare le piene e quindi di mantenere le condizioni di sicurezza territoriale nel tempo.

Per questo il criterio contenuto nel recente Regolamento Regionale si applica, per equità, a tutto il territorio comunale, senza distinzione fra campagna e urbanizzato; inoltre, esso tiene conto dell'effettivo grado di consumo della risorsa associato ad ogni singolo intervento, e richiede azioni compensative proporzionate di conseguenza; infine, il criterio consente di tenere in considerazione i benefici derivanti dalla realizzazione di reti di drenaggio (fognature) ben dimensionate ed adeguate nelle quali avviene in certa misura una laminazione delle piene.

Nella presente trattazione è emerso come il territorio comunale di Arena Po non sia potenzialmente soggetto ad allagamenti in virtù delle importanti opere di difesa idraulica realizzate negli ultimi anni.

Fa eccezione, come dimostrato al capitolo precedente, la Frazione Ripaldina (sistema SB4b – fronte Est) per una parziale insufficienza delle sezioni di deflusso della fognatura comunale.

Per mitigare la pericolosità idraulica e quindi in ultima istanza il rischio idraulico *in loco* si suggeriscono i seguenti interventi, peraltro condivisi con i Tecnici comunali:

1. Realizzazione di un nuovo pozzetto lungo l'esistente dorsale di via Botteghino circa 100 metri più a valle rispetto al crocevia tra la SP.144, via Ripaldina Sopra e via Botteghino
2. Dotare tale pozzetto di una tubazione di "troppo pieno" DN400 che intercetti le eventuali portate di piena/rigurgito idraulico conferendole a gravità nell'invaso adiacente, previsto a lato della carreggiata su area incolta.
3. Tale invaso deve essere costituito, se le condizioni idrogeologiche lo consentono (in termini di permeabilità e soggiacenza di falda) da un manufatto disperdente (ad es. trincea drenante, depressione naturale di terreno, etc..) che smaltisca le eventuali acque di piena nei primi strati del terreno. In caso contrario è possibile prevedere una tradizionale vasca volano VL con graduale rilascio verso i collettori di valle.

Non avendo a disposizione prove puntuali di permeabilità *in loco*, di seguito si riporta il dimensionamento preliminare della succitata vasca di laminazione comunale VL.

Ipotesi progettuali

- Curva possibilità climatica: **52 t^{0,2985}** (tempo di ritorno 50 anni)
- Estensione bacino scolante SB4b: **S=24,74 ha**
- Coefficiente di afflusso medio ponderale: **Φ=0,47**
- Estensione area impermeabile SB4b: **Aimp=11,62 ha**
- Portata di piena SB04b: **Qp=1.981 l/s**
- Portata in uscita da SB04b (stimata ammettendo un grado di riempimento max della sezione di deflusso delle condotte alla sezione di chiusura SC6 e degli sfioratori presenti pari al 70%):
Q_{out sdf}= 520 l/s
- Portata ammessa allo scarico in uscita da VL (Q_{out specifica}=20 l/s per ettaro impermeabile):
- **Q_{out prog.VL} = (20 l/s*haimp X 11,62 haimp)= 234 l/s**

Adottando le suddette ipotesi si è proceduto a stimare preliminarmente la capacità d'invaso della vasca di laminazione affinché non si verifichino più criticità idrauliche (allagamenti, funzionamento delle condotte in pressione, etc...)

La procedura di calcolo utilizzata consiste nei seguenti passi:

- 1) Si fissa una durata di precipitazione t_p (ad esempio 5 minuti) e si calcola, dalla curva di probabilità pluviometrica, la conseguente intensità di pioggia $i(t_p)$ ipotizzando che sia costante nel tempo.
- 2) Si calcola l'idrogramma di piena corrispondente alla precipitazione di durata t_p e di intensità $i(t_p)$; l'idrogramma è calcolato assumendo il modello dell'invaso lineare esplicitato dalle seguenti espressioni:

$$a) \quad q = \varphi i S \left(1 - e^{-t/K}\right) \quad \text{per } t \leq t_p \quad (3)$$

$$b) \quad q = Q_m e^{-\frac{t-t_p}{K}} \quad \text{per } t > t_p \quad (4)$$

essendo Q_m la portata massima ricavata dalla (3) imponendo $t = t_p$

- 3) Si calcola il volume W della parte di idrogramma che eccede il valore di portata ammessa allo scarico Q_{out} finché il sistema non è completamente vuoto.
- 4) Si incrementa la durata di precipitazione t_p e si ritorna al punto 2) fin tanto che il volume W non diminuisce.



Fig.26: Misure strutturali da prevedere in Fraz.Ripaldina
Nuovo pozzetto con tubazione di troppo pieno (blu) e invaso di laminazione (rosso)

Dalla procedura di calcolo sopra descritta si è ricavato che il sistema di laminazione necessita di una capacità d'invaso pari circa **V=1.925 mc** (Tr=50 anni) al verificarsi di una durata critica di pioggia nell'ordine dei 60 minuti (si sottolinea come tale dimensionamento sia indicativo e da approfondire nelle successive fasi progettuali).

Per maggior chiarezza si rimanda alla tabella di calcolo n°14 in allegato.

Di seguito si illustra la verifica del grado di sicurezza delle opere di invarianza idraulica facenti parte del progetto in esame per eventi meteorici caratterizzati da un tempo di ritorno $T=100$ anni, così come previsto dall'art.11, comma 2, lett. A.

Tale verifica è mirata a valutare che non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno.

Nel caso specifico la curva, caratterizzata da un tempo di ritorno pari a $T=100$ anni, è la seguente:

- **$h = 59,72 t^{0,29}$**

Per le modalità di calcolo si rimanda alla tabella ARPA in allegato.

Assumendo le caratteristiche “di impermeabilizzazione” di cui sopra e adottando la medesima procedura di calcolo, si ottiene il seguente volume centennale:

- $\Delta W_{T=100}=2.568 \text{ mc}$

Tla volume eccede quello caratterizzato da T=50 anni della seguente quantità:

- $+\Delta=(W_{T=100}-W_{T=50})=(2.568-1.925)=643 \text{ mc}$

Ipotizzando di distribuire il volume in eccesso $+\Delta=643 \text{ mc}$ nell'intorno abitato di via Botteghino, si otterrebbe un battente idrico **$h=0,02 \text{ m}$**

Pertanto la verifica si ritiene abbondantemente soddisfatta (vedi tabella di calcolo n°15).

Ai fini della presente trattazione preme sintetizzare i seguenti criteri progettuali:

- Il recapito prioritario delle acque di dilavamento meteorico deve essere sempre rappresentato dai primi strati del sottosuolo;
- Il dimensionamento delle opere di laminazione deve essere effettuato per eventi con tempo di ritorno delle piogge pari a T=50 anni e con limitazione delle portate scaricate compatibilmente con la capacità ricettiva dei collettori intercomunali, oltre che dei criteri del P.T.U.A.;
- l'adozione della tecnologia “no-dig” con risanamento di tipo conservativo, accompagnata dalla preventiva effettuazione della video ispezione interna di tratti di condotti fognari oramai datati, quale strumento per limitare l'impatto di interventi a “cielo aperto” in zone più sensibili o con maggiore difficoltà operativa nei casi in cui si prevede il potenziamento idraulico quale soluzione tecnica alle problematiche riscontrate;
- la laminazione delle portate mediante invasi fuori rete, in alternativa alle tradizionali vasche volano, denominati “tombotti” e costituiti da condotti scatolari aventi funzioni di accumulo con svuotamento a gravità. In questo modo si possono ottenere sensibili effetti di attenuazione dei colmi d'onda mettendo in campo azioni aventi minore impatto urbanistico rispetto alle tradizionali vasche volano con svuotamento mediante pompaggio.
- l'introduzione del principio di prevedere, per tutti gli interventi di estensione della pubblica rete di fognatura, un sovradimensionamento delle tubazioni e l'inserimento di paratoie di regolazione a monte dei punti di scarico nella fognatura esistente, in modo da ottenere una “laminazione in rete” tale da contribuire a limitare le attuali portate addotte al sistema fognario verso valle;

6.8 INDICAZIONE DELLE MISURE NON STRUTTURALI DI INVARIANZA IDRAULICA ED IDROLOGICA

I provvedimenti NON strutturali sono volti a ridurre la vulnerabilità o il valore degli elementi esposti al Rischio.

Tali misure sono rappresentate da interventi atti a prevenire o ridurre i danni conseguenti all'evento di piena, senza costruzione di opere che interferiscano con il regolare deflusso delle acque:

- provvedimenti di tipo amministrativo destinati a disciplinare la destinazione d'uso del suolo di un territorio tramite l'introduzione di vincoli e restrizioni fortemente correlati con le caratteristiche idrogeologiche dei corsi d'acqua e delle aree confinanti e, più in generale, con il modello di sviluppo previsto per il territorio interessato;
- provvedimenti intesi a modificare l'impatto delle inondazioni sugli individui e sulle Comunità, tramite campagne di informazione che abituino la popolazione a convivere con tali eventi;
- provvedimenti intesi a realizzare sistemi di previsione delle piene, con diffusione dell'allarme alla popolazione e organizzazione e gestione dell'emergenza.

Ad ogni buon conto a livello NON strutturale si ritiene opportuno evidenziare alcune prescrizioni che potranno essere adottate all'interno del Regolamento Edilizio per quanto concerne il sistema idraulico, fognario e della depurazione:

a. i nuovi Piani di Attuazione dovranno prevedere l'installazione di un impianto di captazione, filtro e accumulo delle acque meteoriche provenienti dalla copertura degli edifici, per ridurre gli effetti sul reticolo fognario ed idrografico in genere e consentirne l'impiego per usi compatibili e comunque non potabili e la predisposizione di una rete di adduzione e distribuzione idrica delle stesse acque all'esterno dell'edificio. La cisterna dovrà avere capacità di stoccaggio adeguata e proporzionale alla superficie lorda complessiva destinata a verde pertinenziale e/o a cortile e le acque meteoriche così raccolte dovranno essere utilizzate per l'irrigazione del verde pertinenziale, la pulizia dei cortili e passaggi, il lavaggio di piazzali, il lavaggio di auto;

b. gli interventi dovranno tendere a minimizzare l'impermeabilizzazione delle superfici e dovranno adottare, per queste, tecnologie e materiali volti a ridurre il carico idraulico concordemente con quanto contenuto nella disciplina che regola l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica;

c. con riferimento alle reti fognarie si dovranno realizzare preferibilmente sistemi di raccolta delle acque di tipo duale, ossia sistemi costituiti da reti separate composte da un sistema maggiore per acque bianche non contaminate (ABNC) ed un sistema minore, costituito dalle reti fognarie per le acque nere e le acque bianche contaminate (ABC). Dovranno inoltre essere previsti interventi volti a ridurre di almeno il 20% gli apporti meteorici attualmente prodotti in fogna;

d. per ogni ambito, in sede di Pianificazione, in accordo con l'Ente gestore, dovranno essere meglio definiti gli eventuali interventi necessari, che potranno essere alternativi oppure integrativi delle infrastrutture fognarie attuali, al fine di verificare la sostenibilità dei nuovi interventi; l'approvazione dei Piani di attuazione è subordinata all'ottenimento del parere favorevole espresso dai competenti uffici

dell'Amministrazione Comunale e dal Gestore del Servizio Idrico Integrato (titolato alla pianificazione strategica e funzionale delle infrastrutture fognarie) sul recapito o sui recapiti delle reti fognarie da realizzare nei singoli ambiti attuativi. Nel caso si rendesse necessaria l'esecuzione di nuove infrastrutture fognarie o di adeguamenti delle stesse, nonché degli impianti a servizio, quali sollevamenti o scolmatori di piena, tali pareri individueranno le modalità tecniche, i tempi di realizzazione nonché gli oneri eventualmente da porre a carico degli ambiti oggetto di trasformazione urbana, laddove le opere a rete da realizzare siano considerate ad uso esclusivo dei soggetti attuatori.. La progettazione delle nuove infrastrutture fognarie dovrà, di norma, essere effettuata prevedendo verifiche con tempi di ritorno ventennali e fino ai 50 anni nel caso di strutture destinate alla laminazione; le soluzioni strutturali previste dovranno inoltre essere tali da poter supportare eventuali ulteriori incrementi di carico idraulico;

e. con specifico riferimento agli ambiti che insistono su bacini fognari in condizione di criticità idraulica già allo stato di fatto, si dovrà prevedere lo sgravio del bacino in sofferenza; in sede di trasformazione eseguita a qualsiasi titolo dovrà inoltre essere verificata l'effettiva capacità residua della rete fognaria mista e degli impianti a servizio, quali sollevamenti o scolmatori di piena e nel caso non fosse adeguata a sopportare il nuovo carico urbanistico, l'ambito dovrà farsi carico degli adeguamenti necessari, da concordare con l'Ente gestore;

f. In ogni caso per tutti gli insediamenti collocati in "area ad elevata pericolosità idraulica", si prescrive come condizione di sostenibilità ed adeguamento, che, in fase di trasformazione a qualsiasi titolo, sia predisposto uno studio di verifica dell'effettivo livello di pericolosità idraulica e vulnerabilità dell'ambito e di un suo congruo intorno. In tale studio saranno anche individuate le eventuali misure da mettere in atto per ridurre i possibili impatti (divieto di realizzazione di edifici su un unico piano, presenza di scale interne di collegamento tra il piano dell'edificio potenzialmente allagabile e i piani superiori, divieto di realizzazione di vani interrati o seminterrati, innalzamento piano di calpestio, barriere di protezione, altro...) e le eventuali misure mitigative (terrapieni di contenimento, ecc..) da adottare per assicurare condizioni di sicurezza idraulica.

7 PRESCRIZIONI

Alla luce di quanto illustrato nella presente trattazione, il Comune Arena Po allo stato di fatto, non risulta essere in una situazione critica o pericolosa per la Comunità dal punto di vista idraulico.

Tuttavia per mantenere lo *status quo* si raccomanda di prevedere per gli ambiti di nuova trasformazione volumi di invarianza idraulica applicando la metodologia proposta dal Regolamento Regionale n°07/17 e s.m.i.

In particolare, poichè il comune di Arena Po ricade in classe di criticità idraulica B, il calcolo del volume dell'invaso (ad es. vasca di laminazione, trincea drenante, pozzi perdenti, depressioni in aree verdi, etc..) è opportuno che venga determinato adottando il metodo delle sole piogge confrontando il risultato con il valore imposto dal requisito minimo (articolo 12 del R.R.07/17).

Il progetto d'invarianza idraulica, propedeutico all'ottenimento dei titoli abilitativi per la realizzazione di futuri interventi, deve essere corredato dei seguenti elementi:

a) relazione tecnica comprendente:

1. descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica e idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico nel ricettore o di disperdimento nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo;
2. calcolo delle precipitazioni di progetto;
3. calcoli del processo di infiltrazione nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti;
4. calcoli del processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
5. calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione;
6. calcoli e relativi dimensionamenti di tutte le componenti del sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico;
7. dimensionamento del sistema di scarico terminale, qualora necessario, nel ricettore, nel rispetto dei requisiti ammissibili del presente regolamento

b) documentazione progettuale completa di planimetrie e profili in scala adeguata, sezioni, particolari costruttivi;

c) piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'intero sistema di opere di invarianza idraulica e idrologica e di recapito nei ricettori, secondo le disposizioni dell'articolo 13;

d) asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del presente regolamento, redatta secondo il modello di cui all'allegato D (a fine cantiere) ed E (in fase di richiesta del titolo abilitativo)

Di seguito si riportano le principali assunzioni da considerare alla base del suddetto progetto di invarianza idraulica ed idrologica:

- *la riduzione della permeabilità del suolo va calcolata facendo riferimento alla permeabilità naturale originaria del sito, ovvero alla condizione preesistente all'urbanizzazione, e non alla condizione urbanistica precedente l'intervento eventualmente già alterata rispetto alla condizione zero, preesistente all'urbanizzazione. Per gli interventi di cui al comma 3, il riferimento di cui al precedente periodo corrisponde alla condizione preesistente all'impermeabilizzazione.*
- *le misure di invarianza idraulica e idrologica si applicano alla sola superficie del lotto interessata dall'intervento comportante una riduzione della permeabilità del suolo rispetto alla sua condizione preesistente all'urbanizzazione e non all'intero lotto. Per gli interventi di cui al comma 3, il riferimento di cui al precedente periodo corrisponde alla condizione preesistente all'impermeabilizzazione (articolo 5, comma 3)*
- *Gli scarichi nel ricettore sono limitati mediante l'adozione di interventi atti a contenere l'entità delle portate scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore stesso e comunque entro i seguenti valori massimi ammissibili (U_{lim}): a) per le aree B di cui al comma 3 dell'articolo 7: **20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;***
- *nel caso di interventi ricadenti in area B il volume minimo d'invaso deve essere **di 500 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;***

Inoltre si rimanda all'Allegato L del R.R.07/17 e s.m.i. per l'identificazione di soluzioni "nature-based" da adottare per affrontare i problemi idrici nei centri urbani, contribuendo così a ridurre il dilavamento delle precipitazioni, rallentando i flussi attraverso il suolo in contesto sia naturale che urbano e consentendo di ricaricare le riserve idriche sotterranee, invece di generare elevati volumi in occasione di eventi piovosi.

8 MISURE DI INVARIANZA E PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

Gli esiti dello “Studio comunale di Gestione del Rischio Idraulico” dovranno essere recepiti nel PGT ai sensi dell’articolo 5 comma 3 e comma 4, quinto periodo della L.R. 31/2014.

A tal fine il Comune dovrà:

- inserire la delimitazione delle ulteriori aree individuate come soggette ad allagamento (Fraz.Ripaldina), di cui al comma 7, lettera a), numero 3, e al comma 8, lettera a), numero 1, nella Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del PGT, redatta in conformità ai criteri attuativi di cui all’articolo 57 della l.r. 12/2005;
- inserire le misure strutturali di cui al comma 7, lettera a), numeri 5 e 6 e di cui al comma 8, lettera a), numero 2, nel Piano dei Servizi.

Si evidenzia inoltre come lo Studio Comunale dovrà essere aggiornato ogniqualvolta il quadro di riferimento assunto negli stessi documenti subisca una modifica a seguito di aggiornamenti conoscitivi, eventi naturali od interventi antropici.

Pavia, 30/09/2025

In fede

Ing. Michelangelo Aliverti



ALLEGATI

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: ARENA PO

Coordinate:

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) 50

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 25

N - Coefficiente di scala 0,2985

GEV - parametro alpha 0,2771

GEV - parametro kappa -0,0892

GEV - parametro epsilon 0,8132

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore] 1

Precipitazione cumulata [mm] 52,7

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Bibliografia ARPA Lombardia:

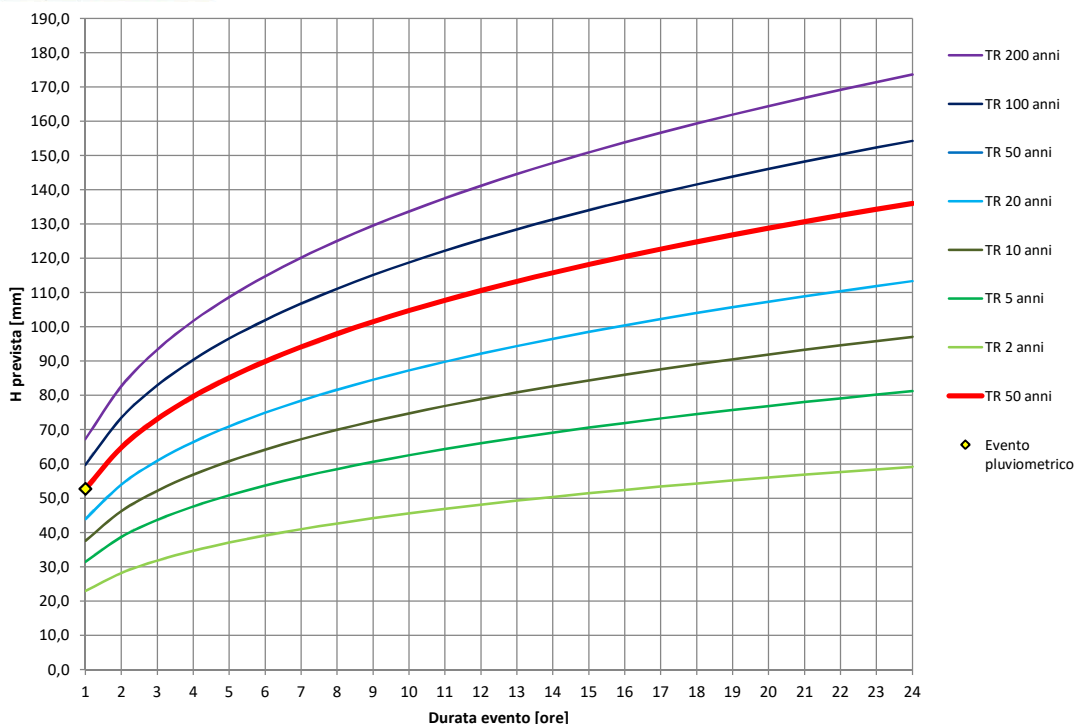
<http://idro.arpalombardia.it/manual/lspg.pdf>

http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,91644	1,25792	1,50377	1,75557	2,10646	2,38919	2,68896	2,10645928
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	22,9	31,4	37,6	43,9	52,7	59,7	67,2	52,6614821
2	28,2	38,7	46,2	54,0	64,8	73,5	82,7	64,7665153
3	31,8	43,7	52,2	60,9	73,1	82,9	93,3	73,0993932
4	34,7	47,6	56,9	66,4	79,7	90,3	101,7	79,6540725
5	37,0	50,8	60,8	71,0	85,1	96,6	108,7	85,1403877
6	39,1	53,7	64,2	74,9	89,9	102,0	114,8	89,9023876
7	41,0	56,2	67,2	78,5	94,1	106,8	120,2	94,1358053
8	42,6	58,5	69,9	81,6	98,0	111,1	125,1	97,9637584
9	44,1	60,6	72,4	84,6	101,5	115,1	129,5	101,469254
10	45,6	62,5	74,8	87,3	104,7	118,8	133,7	104,711186
11	46,9	64,3	76,9	89,8	107,7	122,2	137,5	107,73301
12	48,1	66,0	78,9	92,1	110,6	125,4	141,1	110,567803
13	49,3	67,6	80,8	94,4	113,2	128,4	144,6	113,241384
14	50,4	69,1	82,6	96,5	115,8	131,3	147,8	115,774335
15	51,4	70,6	84,4	98,5	118,2	134,0	150,9	118,183356
16	52,4	71,9	86,0	100,4	120,5	136,7	153,8	120,482201
17	53,4	73,3	87,6	102,2	122,7	139,1	156,6	122,682348
18	54,3	74,5	89,1	104,0	124,8	141,5	159,3	124,793487
19	55,2	75,7	90,5	105,7	126,8	143,8	161,9	126,823878
20	56,0	76,9	91,9	107,3	128,8	146,1	164,4	128,780626
21	56,8	78,0	93,3	108,9	130,7	148,2	166,8	130,669893
22	57,6	79,1	94,6	110,4	132,5	150,3	169,1	132,497062
23	58,4	80,2	95,9	111,9	134,3	152,3	171,4	134,266861
24	59,2	81,2	97,1	113,3	136,0	154,2	173,6	135,983474

Linee segnatrici di probabilità pluviometrica



TAB.1_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB1		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura S1 [kmq]	0,2533	
i_m [m/m]	0,0031	
L [m]	1225	
Δ [m]	3,8	
1) CN (suolo D)	CN	84,8
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	45,52830189
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	9,105660377
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	1,15
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	1,31
8) media T di corrivazione		1,23
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	46,70
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	17,00
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,36

TAB.2_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB2a		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC2 [kmq]	0,230878	
i_m [m/m]	0,0036	
L [m]	717	
Δ [m]	2,6	
1) CN (suolo D)	CN	90,2
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	27,59645233
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	5,519290466
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	1,01
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,98
8) media T di corrivazione		1,00
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	43,89
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	22,32
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,51

TAB.3_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB2b		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC2 [kmq]	0,03385	
i_m [m/m]	0,0054	
L [m]	298	
Δ [m]	1,6	
1) CN (suolo D)	CN	96,5
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	9,212435233
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	1,842487047
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,32
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,32
8) media T di corrivazione		0,32
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	31,20
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	22,35
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,72

TAB.4_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB2c		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC3 [kmq]	0,079029	
i_m [m/m]	0,0015	
L [m]	465	
Δ [m]	0,7	
1) CN (suolo D)	CN	93,9
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	16,44293015
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	3,288586031
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,92
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,93
8) media T di corrivazione		0,92
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	42,86
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	27,96
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,65

TAB.5_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB3		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC4 [kmq]	0,2608	
i_m [m/m]	0,0008	
L [m]	512	
Δ [m]	0,4	
1) CN (suolo D)	CN	91,4
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	23,89934354
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	4,779868709
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127 \cdot (A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	2,32
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108 \cdot (A \cdot L)^{1/3} \cdot i_m^{-0,5}$ [h]	1,97
8) media T di corrivazione		2,15
9) determinare afflusso lordo $P(t=Tc)$	$P(Tc) = a \cdot Tc^n$ [mm]	55,15
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	34,16
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,62

TAB.6_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB4a		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC5 [kmq]	0,1164	
i_m [m/m]	0,0037	
L [m]	1597	
Δ [m]	5,9	
1) CN (suolo D)	CN	88,4
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	33,33031674
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	6,666063348
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,71
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	1,01
8) media T di corrivazione		0,86
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	42,02
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	18,20
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,43

TAB.7_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB4b		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC6 [kmq]	0,247459	
i_m [m/m]	0,0201	
L [m]	1240	
Δ [m]	24,9	
1) CN (suolo D)	CN	91,1
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	24,81448957
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	4,962897914
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,45
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,51
8) media T di corrivazione		0,48
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	35,26
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	16,66
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,47

TAB.8_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB4c		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC7 [kmq]	0,0503	
i_m [m/m]	0,0172	
L [m]	320	
Δ [m]	5,5	
1) CN (suolo D)	CN	88,4
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	33,33031674
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	6,666063348
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127 \cdot (A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,22
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108 \cdot (A \cdot L)^{1/3} \cdot i_m^{-0,5}$ [h]	0,21
8) media T di corrivazione		0,21
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a \cdot Tc^n$ [mm]	27,65
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	8,11
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,29

TAB.9_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB4c		
Bacino sotteso alla sez.di chiusura SC8 [kmq]	0,0805	
i_m [m/m]	0,0058	
L [m]	260	
Δ [m]	1,5	
1) CN (suolo D)	CN	89,6
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	29,48214286
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	5,896428571
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,47
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,39
8) media T di corrivazione		0,43
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	34,20
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	13,86
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,41

TAB.10_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB5a		
Bacino sotteso al collettore CAP [kmq]	0,1349	
i_m [m/m]	0,0137	
L [m]	402	
Δ [m]	5,5	
1) CN (suolo D)	CN	89,5
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	29,8623156
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	5,97246312
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,40
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,35
8) media T di corrivazione		0,37
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	32,74
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	12,65
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,39

TAB.11_calcolo coefficiente di afflusso (T=20 anni)

METODO CN - BACINO n°SB5b		
Bacino alla stazione di sollevamento S6 [kmq]	0,0198	
i_m [m/m]	0,0067	
L [m]	262	
Δ [m]	1,75	
1) CN (suolo D)	CN	90,6
3) determinare S	$S=(25400-254 \text{ CN})/\text{CN}$ [mm]	26,29132642
4) determinare Ia	$Ia=0,2S$ [mm]	5,258265284
	a	43,90
5) curva di possibilità climatica Arena Po (T=20 anni)	n	0,2985
6) determinare T di corrivazione (Ventura)	$Tc = 0,127*(A \text{ [kmq]}/i_m)$ [h]	0,22
7) determinare T di corrivazione (Pasini)	$Tc = 0,108*(A*L)^{1/3} * i_m^{-0,5}$ [h]	0,23
8) media T di corrivazione		0,22
9) determinare afflusso lordo P(t=Tc)	$P(Tc) = a*Tc^n$ [mm]	28,08
10) determinare afflusso netto $P_N(Tc)$	$P_N(Tc) = (P(Tc)-Ia)^2/(P(Tc)-Ia+S)$ [mm]	10,60
11) determinare coefficiente afflusso	$\phi = P_N(Tc)/P(Tc)$	0,38

TAB.12_portata di piena per ogni bacino contribuente (T=20 anni)

PORTATA DI PIENA		
	Curva possibilità climatica T=20 anni	
	a	43,9000
	n	0,2985
	n-1	-0,70
	(n-1)*0,225	-0,15784
	Y	0,30
	Sr	0,30
per n=0,2985	r	0,6696
	z	0,7778
	f	0,6467

0,298

	A gravante[ha]	ΣArea gravante [ha]	φmedio	Area ridotta φ*S	K costante di invaso [s]	tempo critico di pioggia [s]	intensità media di pioggia [mm/h]	Q [mc/s]	Q [l/s]
BACINO SB1	25,3300	25,3300	0,3641	9,2225	3100	2075,8245	64,5954	0,8077	807,6897
BACINO SB2a	23,0878	23,0878	0,5085	11,7402	2518	1685,8143	74,7487	1,1898	1189,7976
BACINO SB2b	3,3850	3,3850	0,7162	2,4244	574	384,0921	210,9742	0,6935	693,4833
BACINO SB2c	7,9029	7,9029	0,6522	5,1546	1661	1112,2458	100,0693	0,6993	699,3474
BACINO SB3	26,0800	26,0800	0,6194	16,1549	3866	2588,5444	55,3289	1,2119	1211,8521
BACINO SB4a	11,6400	11,6400	0,4331	5,0408	2176	1457,0104	82,8022	0,5659	565,8935
BACINO SB4b	24,7459	24,7459	0,4724	11,6894	1209	809,8490	125,0159	1,9813	1981,3058
BACINO SB4c	5,0300	5,0300	0,2932	1,4750	536	358,7882	221,3053	0,4426	442,5802
BACINO SB4d	8,0500	8,0500	0,4053	3,2629	1091	730,8509	134,3491	0,5943	594,3389
BACINO SB5a	13,4900	13,4900	0,3864	5,2125	943	631,3186	148,8800	1,0522	1052,1556
BACINO SB5b	1,9800	1,9800	0,3776	0,7477	564	377,4847	213,5580	0,2165	216,4873

TAB.13_verifica capacità di trasporto delle condotte (T=20 anni)

DIMENSIONAMENTO TUBI					
Diametro interno	Grado di riempimento h/d	A/r2	R/r	V/Vr	Q/QR
D ≤ 400 mm	0,500	1,571	0,500	1,000	0,500
400 mm< D ≤ 600 mm	0,600	1,968	0,555	1,072	0,672
D> 600 mm	0,700	2,349	0,593	1,119	0,837
k cls	70				

									Sezioni esistenti			
	Q [l/s]	i [m/m]	k	A/r2	R/r	Grado di riempimento ammissibile	r [m]	diametro di calcolo [mm]	diametro interno [mm]	diametro esterno [mm]	Percentuale di riempimento	NOTE
Tratto finale SB1 verso SC1	807,690	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,419183	838	800	900	73	verifica positiva
Tratto finale SB2a+SB2b verso SC2	1883,281	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,575811	1.152	1.000	1.200	81	verifica positiva
Tratto finale SB2c verso SC3	699,347	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,397143	794	1.000	1.200	56	verifica positiva
Tratto finale SB3 verso SC4	1211,852	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,488068	976	1.000	1.200	68	verifica positiva
Tratto finale SB4a verso SC5	565,893	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,366828	734	600	700	86	verifica positiva
Tratto finale SB4b verso SC6	1981,306	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,586872	1.174	800	950	103	verifica NEGATIVA
Tratto finale SB4c verso SC7	442,580	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,334529	669	600	700	78	verifica positiva
Tratto finale SB4d verso SC8	594,339	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,373637	747	600	700	87	verifica positiva
Tratto finale SB5a verso SC10 (collettore CAP)	1052,156	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,462878	926	800	900	81	verifica positiva
Tratto finale SB5b verso SC10	216,487	0,0050	70	2,349	0,593	0,700	0,255843	512	600	700	60	verifica positiva

TAB.14_identificazione punto di allagamento - metodo della cadente

METODO DELLA CADENTE									
	Q [l/s]	Q [l/s]	k	A (mq)	R (m)	J=i	$\Delta H_{sc5-sc6}$ (m)	$\Delta H'$ (m)	D (m) distanza fuoriuscita acqua su piano stradale
Tratto finale SB4b verso SC6	1981,306	1976,285	70	0,502	0,200	0,02700	22,700	18,200	674

TABELLA n°15_dimensionamento preliminare vasca di laminazione VL - Fraz.Ripaldina

VASCA VL	
VL (mc)	1925,30

PORTATA VINCOLATA ALLO SCARICO+PORTATA SC6	
A gravante su SB4b (ha)	24,7459
coefficiente di afflusso ϕ	0,47
A imp SB4b (ha)	11,69
Qout (da esistente stazione sollevamento in SC6) l/s	520,00
Qout (l/s haimp)	20,00
Qout (l/s haimp)	233,79

Idrogrammi di piena	Tp (min)	i (mm/h)	Tcritica (min)	ΔW (mc)
	15	139,37	20	1082,45
	30	85,70	35	1621,91
	60	52,70	64	1925,30
	120	32,41	124	1121,35
	150	27,71	154	420,20

TABELLA n°16_verifica centennale vasca di laminazione VL - Fraz.Ripaldina (Tr=100 anni)

VASCA VL	
VL _Tr100 (mc)	2568,23
VL _Tr50 (mc)	1925,30
ΔW100-ΔW50 (mc)	642,93
A (mq)	30000,00
h (m)	0,02

PORTATA VINCOLATA ALLO SCARICO+PORTATA SC6	
A gravante su SB4b (ha)	24,7459
coefficiente di afflusso φ	0,47
A imp SB4b (ha)	11,69
Qout (da esistente stazione sollevamento in SC6) l/s	520,00
Qout (l/s haimp)	20,00
Qout (l/s haimp)	233,79

Idrogrammi di piena	Tp (min)	i (mm/h)	Tcritica (min)	ΔW (mc)
	15	157,96	20	1347,50
	30	97,13	35	2049,42
	60	59,73	64	2568,23
	120	36,73	124	2019,02
	150	31,41	154	1399,30
	180	27,64	184	658,93