



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU



MIT
MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE
E DEI TRASPORTI



Italiadomani
PIANO NAZIONALE
DI RIPRESA E RESILIENZA



Regione Lombardia

Direzione Generale Infrastrutture e Opere Pubbliche



FERROVIENORD
FNM GROUP



un progetto di
FNM FERRARIOVIA S.p.A. FERRARIOVIA S.p.A.

CODICE
COMMESSA

LIVELLO
PROGETTAZIONE

D.P.R.
207/10

PROGRESSIVO
ELABORATO

CATEGORIA
OPERA

NUMERO
OPERA

REVISIONE

SCALA

B 3 5

D

b

0 0 3

I D

0 2

R 0

Impianto di produzione, stoccaggio e distribuzione
di idrogeno di Edolo
Progetto Definitivo

Relazione tecnica illustrativa
Idrologica idraulica

Revisioni		Data	Descrizione	Redatto	Controllato
	3		-		
	2		-		
	1		-		
	0	Lug. 2024	PRIMA EMISSIONE		

FERROVIENORD

APPALTATORE



Progettista



BTP INFRASTRUTTURE S.p.A.

Via di Torre Rosa 66 - 00165 ROMA
☎ (+39) 06 8710088 ✉ info@btpinfra.it
Web: www.btpinfrastrutture.com

REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	DATA
L. Blesio	P. Turbolente	N. Sbarigia	09/07/2024
CODICE ARCHIVIO COLLABORATORE			AGG.

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

Sommario

1. PREMESSA	3
2. STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE	4
2.1. DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO RISPETTO AL PAI PO	4
2.2. CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI	5
2.3. CARATTERISTICHE DELL'IDROLOGIA DI PIENA	6
2.4. DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI	7
2.5. DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO RISPETTO AL PGRA PO	8
3. STUDIO IDROLOGICO	13
3.1. CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO	13
3.1.1. Curve Di Probabilità Pluviometrica	13
3.1.2. Altezze di pioggia per durate maggiori di 1 ora	13
3.1.1. Altezze di pioggia per durate minori di 1 ora	15
3.2. CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	17
4. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLA RETE DI DRENAGGIO	19
4.1. DIMENSIONAMENTO DEI COLLETTORI	19
4.2. DIMENSIONAMENTO DELLE CANALETTE	21

1. PREMESSA

Gli interventi interessano due zone:

- LOTTO 1, sito tra Via Industriale e Via Rassiche, in cui è in previsione la demolizione dell'attuale capannone che interessa quasi l'intera area, per la realizzazione di una nuova area di stoccaggio idrogeno, fabbricato per alloggio e sosta dei carri bombolai, locale in cemento armato per l'alloggio dei compressori dell'impianto e altri accessori utili alla gestione ed al controllo dell'impianto;
- LOTTO 2, ubicato all'interno dell'area della stazione ferroviaria, in cui verrà realizzare una banchina sulla quale verranno alloggiati i dispenser per l'erogazione di idrogeno ai treni, e 4 colonnine elettriche per la ricarica delle motrici. Per dettagli si rimanda alle specifiche planimetrie di progetto.

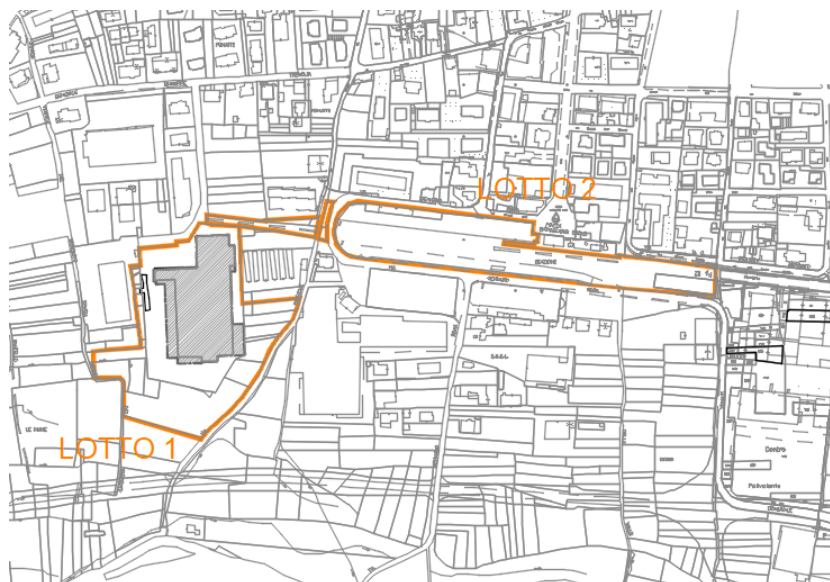


Figura 1 - vista d'insieme

2. STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

2.1. DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO RISPETTO AL PAI PO

La legge 18/5/1989 n. 183, “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo” definisce finalità, soggetti, strumenti e modalità dell’azione della pubblica amministrazione in materia di difesa del suolo introducendo importanti innovazioni nella normativa previgente. Le finalità della legge sono di “assicurare la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi” (art. 1). Per il loro conseguimento la pubblica amministrazione deve svolgere ogni opportuna azione sia di carattere conoscitivo sia di programmazione e pianificazione degli interventi, nonché di esecuzione e controllo dell’attuazione degli interventi medesimi (art. 1, comma 2), in conformità con le disposizioni contenute nella legge stessa e nelle sue successive modifiche e integrazioni. Il principale strumento è costituito dal Piano di bacino, mediante il quale sono “pianificate e programmate le azioni e le norme d’uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato” (art. 17, primo comma).



Figura 2 – Delimitazione dei principali sottobacini idrografici

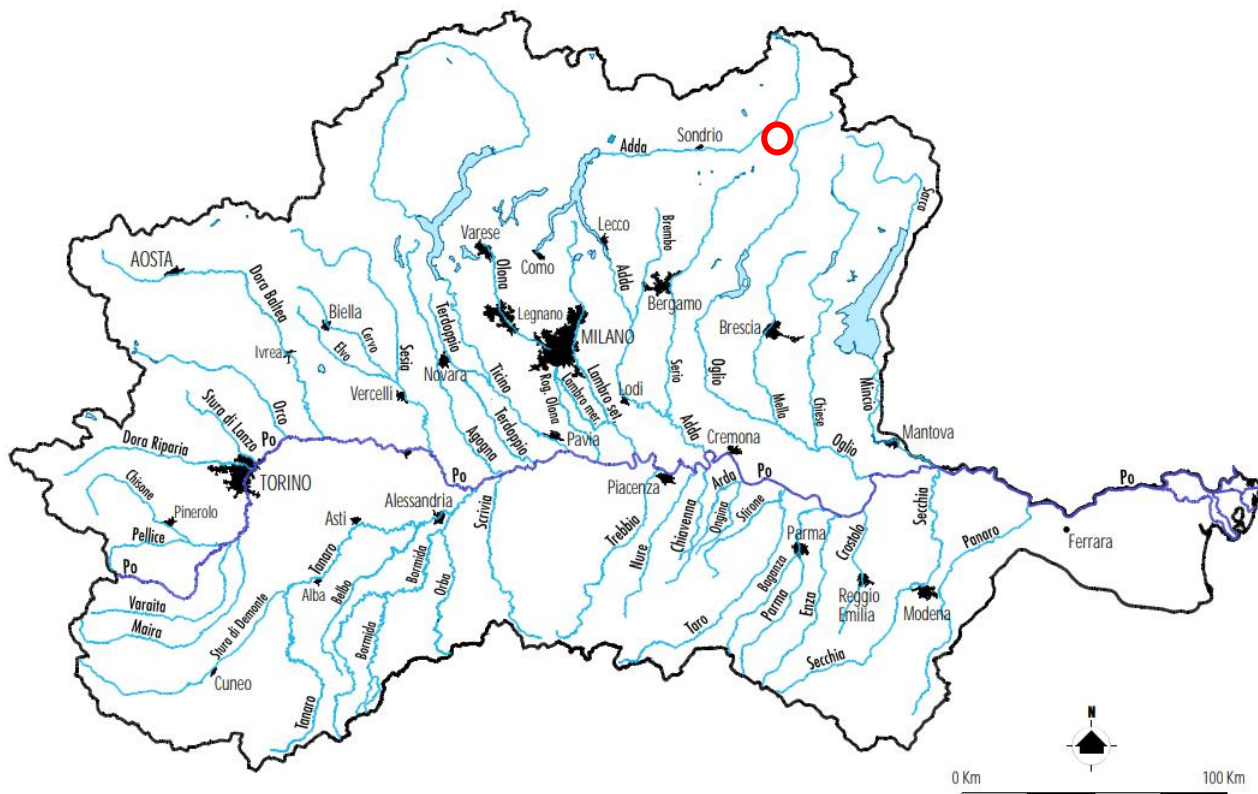


Figura 3 – Corsi d'acqua costituenti la rete idrografica principale

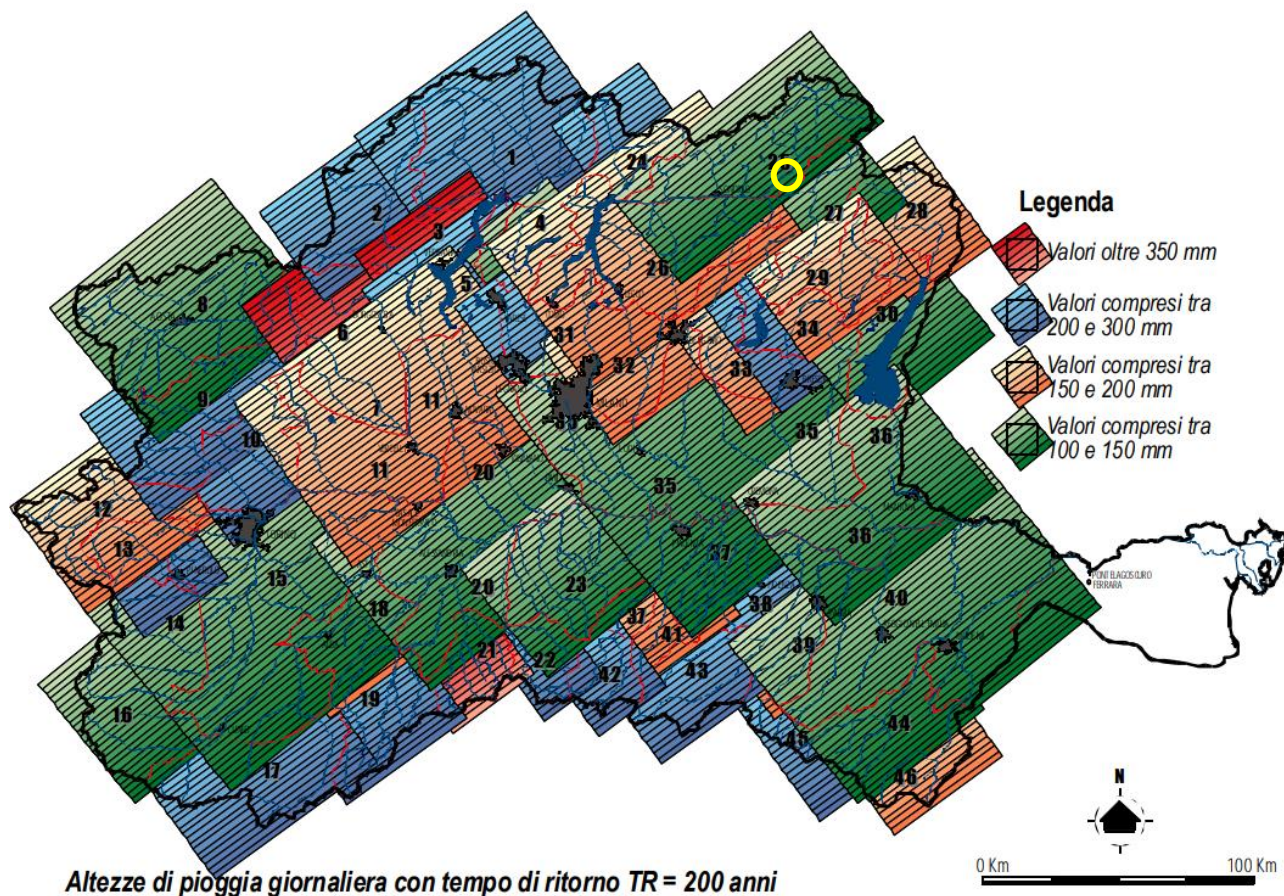
2.2. CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI

Il bacino padano nel suo complesso è caratterizzato da un clima che risente della vicinanza del Mare Mediterraneo; ha infatti un'escursione termica minore di quella delle pianure dell'Europa centro-orientale.

Le serie storiche sulle temperature massime e minime medie annue evidenziano un valore medio, riportato al livello del mare, corrispondente a circa 9°-10 ° per le minime e a 18°-19° per le massime. Il gradiente rispetto all'altitudine è simile sia per le temperature massime e che per le minime; corrisponde circa alla diminuzione di un grado ogni 180-200 m di quota. L'escursione termica media annua varia da un minimo di 15° ad un massimo di 22°, con valori maggiori in pianura e minori sui rilievi.

Le aree con piogge più intense sono quelle esposte alle perturbazioni meteoriche che giungono dal Mediterraneo e dal golfo di Genova sullo spartiacque Appenninico, con le punte più elevate sulle zone di testata dei bacini del Bormida, Scrivia, Trebbia e Taro e sulla zona prealpina tra la Stura di Lanzo e il lago Maggiore. Valori in proporzione abbastanza elevati si riscontrano anche nella zona dei grandi laghi lombardi e nell'alto bacino del Tanaro. Intensità di pioggia sensibilmente inferiori caratterizzano invece le zone di pianura e le aree

montane più interne, soprattutto nell'arco alpino occidentale, come la valle d'Aosta, l'alta valle di Susa, l'alta val d'Ossola, la valle del Sarca e la zona di Bormio.



2.3. CARATTERISTICHE DELL'IDROLOGIA DI PIENA

Il bacino del Po presenta corsi d'acqua con caratteristiche idrologiche di piena molto differenziate, in funzione essenzialmente dell'esposizione alle perturbazioni meteoriche, della morfologia e, in minore misura, del tipo di substrato e di copertura del suolo. Per quanto le classificazioni comportino sempre un certo grado di arbitrarietà, è possibile riconoscere 5 aree a comportamento omogeneo:

- i bacini alpini interni,
- i bacini alpini pedemontani,
- i bacini appenninici piemontesi,
- i bacini alpini lombardi,
- i bacini appenninici emiliani.

Bacini alpini dal Toce al Sarca

Nei bacini lombardi la distribuzione delle precipitazioni è più regolare rispetto a quanto accade nel settore occidentale. Esiste comunque una differenza nel comportamento idrologico dei corsi d'acqua tra la zona delle prealpi, che va dal lago Maggiore al Lago di

Garda, e la retrostante area montana, comprendente parte del Canton Ticino, la Valtellina, l'alta val Camonica e la valle del Sarca.

Nella zona prealpina le precipitazioni sono generalmente più abbondanti e quindi maggiori sono le portate specifiche; inoltre nelle retrostanti aree montane sono presenti rilievi più elevati in cui parte delle precipitazioni sono sotto forma nevosa.

Si ha inoltre una riduzione delle piogge di massima intensità procedendo da ovest verso est, da porre in relazione al fatto che il settore alpino lombardo appare maggiormente protetto dalle perturbazioni di origine atlantica, rispetto a quello piemontese.

Gli eventi alluvionali inoltre sono normalmente concentrati in aree più ristrette rispetto al settore occidentale e spesso sono originati da nubifragi che interessano aree limitate (ad esempio sul bacino del Toce, eventi del 1958 e del 1978).

L'evento del luglio 1987, che pure ha interessato un'area superiore a quella generalmente colpita da una piena in questa zona, ha fundamentalmente interessato il solo bacino sopralacuale dell'Adda, esclusa la parte alta dello stesso, e qualche modesto settore del bacino dell'Oglio. Si è quindi lontani, come ampiezza delle aree interessate, dalle piene congiunte di Tanaro, Sesia e Dora Baltea, che in passato hanno colpito più volte il settore occidentale del bacino.

I caratteri dei fenomeni idrologici, come sopra evidenziati, fanno assumere in queste aree grande importanza ai processi torrentizi di trasporto di massa e attivazione dei conoidi, che frequentemente coinvolgono i centri abitati adiacenti, con deposizione di alluvioni grossolane anche di diversi metri di spessore, osservati varie volte negli ultimi decenni soprattutto in valle Ossola (alluvione del 1978) e in Valtellina (alluvione del 1987).

A tale proposito è significativo l'esempio dell'Ossola, in cui nel 1977 la piena sul Toce, che ha superato la portata massima storica nella stazione di Candoglia, ha causato allagamenti tutto sommato modesti, che hanno interessato alcuni centri abitati sul fondovalle in prossimità della confluenza nel lago Maggiore; la successiva piena del 1978, a fronte di una portata minore sul Toce, ha comportato danni molto più rilevanti a causa dei fenomeni torrentizi impulsivi che hanno coinvolto gli affluenti minori.

2.4. DELIMITAZIONE DELLE FASCE FLUVIALI

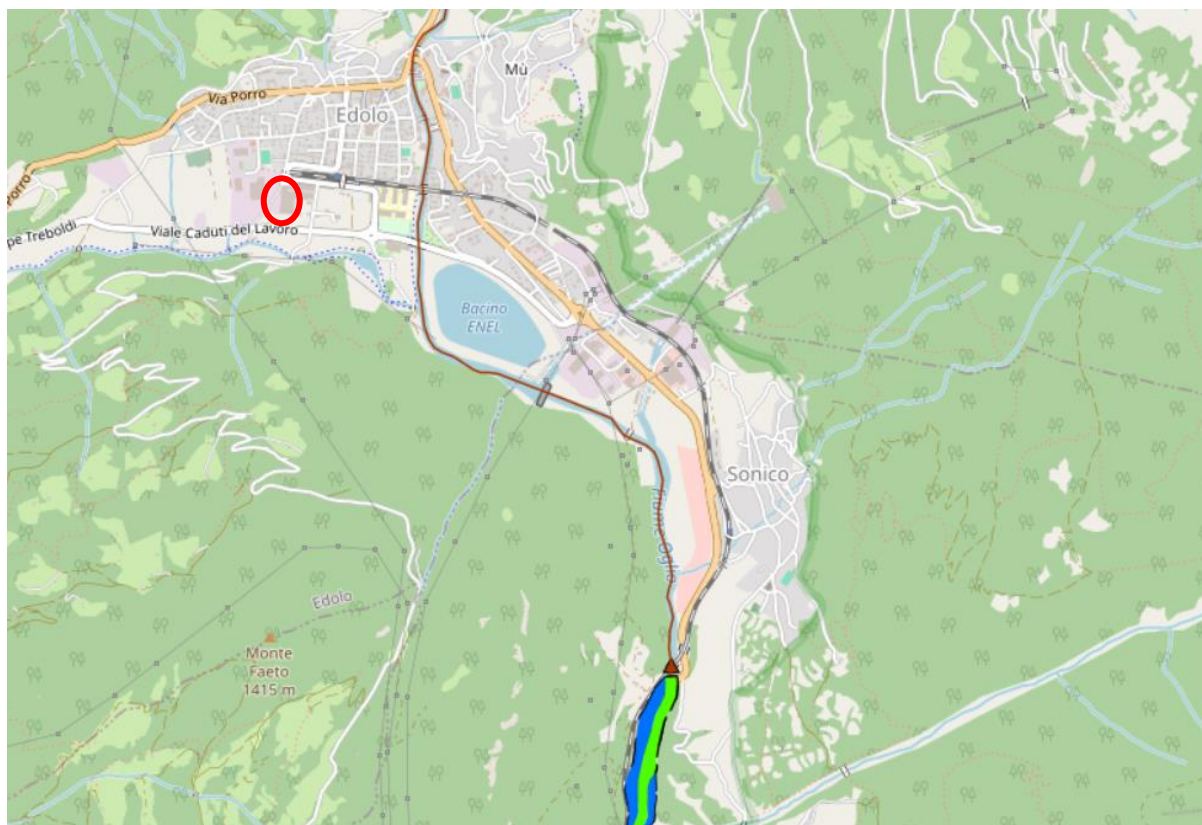
L'alveo fluviale e la parte di territorio limitrofo, costituente nel complesso la regione fluviale, sono oggetto della seguente articolazione in fasce:

- Fascia di deflusso della piena (Fascia A), costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente, ovvero che è costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena;
- Fascia di esondazione (Fascia B), esterna alla precedente, costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Con l'accumulo temporaneo in tale fascia di parte del volume di piena si attua la laminazione dell'onda di piena con riduzione delle portate di colmo. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai

livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento ovvero sino alle opere idrauliche esistenti o programmate di controllo delle inondazioni (argini o altre opere di contenimento), dimensionate per la stessa portata.

- Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

L'area di intervento non risulta ubicata all'interno di alcuna fascia fluviale, la cui delimitazione sul fiume Oglio comincia più a valle, a partire dal ponte sulla SS42.



Fascia A

Fascia B

Fascia C

Figura 4 – *Fasce fluviali area d'intervento*

2.5. DEFINIZIONE DELL'INTERVENTO RISPETTO AL PGRA PO

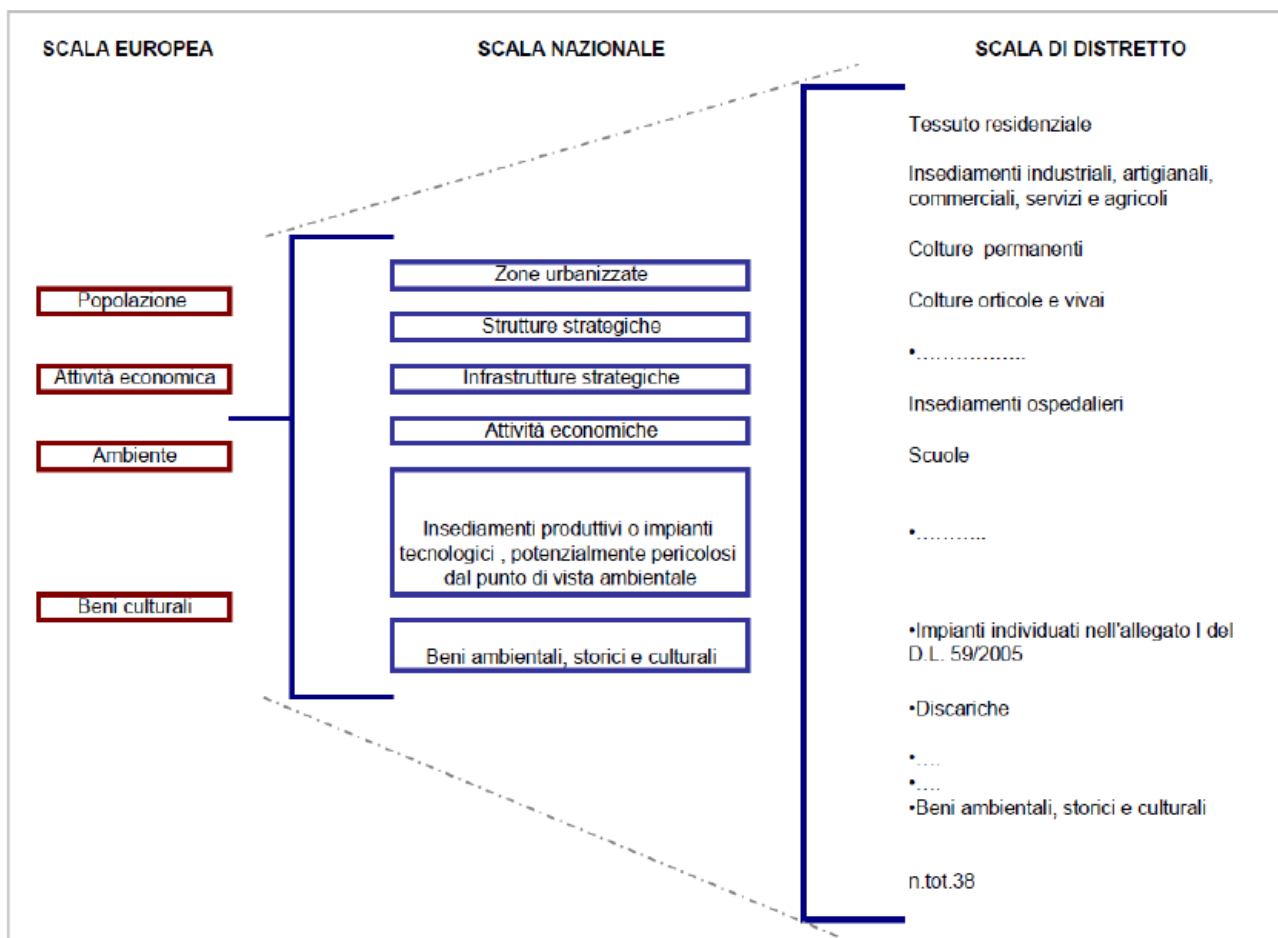
La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che il

Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA) deve attuare, nel modo più efficace. Il PGRA, introdotto dalla Direttiva per ogni distretto idrografico, dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

La rilevante estensione del bacino del fiume Po e la peculiarità e diversità dei processi di alluvione sul suo reticolo idrografico, precedentemente descritti, hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti: Reticolo principale: costituito dall'asta del fiume Po e dai suoi principali affluenti nei tratti di pianura e nei principali fondovalle montani e collinari (lunghezza complessiva pari a circa 5.000 km). Reticolo secondario collinare e montano: costituito dai corsi d'acqua secondari nei bacini collinari e montani e dai tratti montani dei fiumi principali. Reticolo secondario di pianura: costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui nella medio bassa pianura padana. Aree costiere marine: sono le aree costiere del mare Adriatico in prossimità del delta del fiume Po. Aree costiere lacuali: sono le aree costiere dei grandi laghi alpini (Lago Maggiore, Como, Garda, ecc.). Le mappe delle aree allagabili in ciascun ambito sono rappresentate ad una scala compresa tra 1:10.000 e 1:25.000. Le mappe rappresentano l'estensione massima degli allagamenti conseguenti al verificarsi degli scenari di evento riconducibili ad eventi di elevata, media e scarsa probabilità di accadimento. Le attività condotte hanno consentito il raggiungimento di un livello di confidenza adeguato rispetto alla caratteristica strategica del PGRA. Tale livello di confidenza risulta tuttavia differenziato sui diversi corsi d'acqua a causa dei dati disponibili (dati idrologici, topografici, idraulici, tarature su eventi storici, ecc.) non sempre omogenei.

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale (anni)				
Scenario	TR (anni)		RP	RSCM (legenda PAI)	RSP	ACL	ACM
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 (frequente)	P3 elevata	10-20	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni	10 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 (poco frequente)	P2 media	100-200	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500	Em, Cn		Massimo storico registrato	>> 100 anni

Le mappe del rischio sono il risultato finale dell'incrocio fra le mappe delle aree allagabili per i diversi scenari di pericolosità esaminati e gli elementi esposti censiti raggruppati in classi di danno potenziale omogenee. I dati sugli elementi esposti provengono principalmente dalle carte di uso del suolo regionali e il dettaglio delle informazioni raccolte è adeguato ad una rappresentazione cartografica ad una scala compresa tra 1:10.000 e 1:25.000. Le mappe rappresentano una sintesi delle informazioni derivate dalle banche dati regionali, che tuttavia sono risultate significativamente eterogenee fra loro, principalmente per asincronia del momento di rilevamenti dei dati, ma anche per il diverso livello di dettaglio con il quale i dati sono stati rilevati.



In mancanza di specifiche curve del danno correlate alla tipologia, magnitudo e frequenza dell'evento considerato e al comportamento delle strutture e agli usi delle stesse, la vulnerabilità è stata assunta in modo semplificato assegnando, a favore di sicurezza, un valore costante uguale ad 1 a tutti gli elementi esposti considerati. Anche la stima del danno è stata condotta in modo qualitativo e sulla base di un giudizio esperto, attribuendo un peso crescente da 1 a 4 a seconda dell'importanza della classe d'uso del suolo. Sono stati assegnati i pesi maggiori alle classi residenziali che comportano una presenza antropica costante e pesi decrescenti alle diverse tipologie di attività produttive, privilegiando le attività maggiormente concentrate (attività industriali), rispetto alle attività estensive (attività agricole).

CLASSE D4		CLASSE D3		CLASSE D2		CLASSE D1	
1111	Tessuto residenziale denso	133	Canieri	211	Seminativi	134	Aree degradate non utilizzate e non vegetate
1112	Tessuto residenziale continuo mediamente denso	12124	Cimiteri	1411	Parchi e giardini	231	Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive
1121	Tessuto residenziale discontinuo	132	Discariche	221	Vigneti	311	Boschi di latifoglie
1122	Tessuto residenziale rado e nucleiforme	131	Cave	222	Frutteti e frutti minori	312	Boschi conifere
1123	Tessuto residenziale sparso	2113	Colture orticole	223	Oliveti	313	Boschi misti
11231	Cascine	2114	Colture floro-vivaistiche	3114	Castagneti da frutto	314	Rimboschimenti recenti
1424	Aree archeologiche	2115	Orti familiari	213	Risale	331	Spiege, dune ed alvei ghiaiosi
12122	Impianti di servizi pubblici e privati			2313	Marcite	321	Praterie naturali d'alta quota
12111	Insedimenti industriali, artigianali, commerciali			1412	Aree verdi incolte	322 - 324	Cespuglieti
12112	Insedimenti produttivi agricoli			2241	Pioppeti	332	Accumuli detritici e affioramenti litoidi privi di vegetazione
12121	Insedimenti ospedalieri			2242	Altre legnose agrarie	333	Vegetazione rada
12123	Impianti tecnologici					411	Vegetazione delle aree umide interne e delle torbiere
1222	Reti ferroviarie e spazi accessori					3113	Formazioni ripariali
123	Aree portuali					3222	Vegetazione dei greti
12125	Aree militari oblitrate					3223	Vegetazione degli argini sopraelevati
124	Aeroporti ed eliporti					511	Alvei fluviali e corsi d'acqua artificiali
1421	Impianti sportivi					5121	Bacini idrici naturali
1423	Parchi divertimento					5123	Bacini idrici da attività estrattive interessanti la falda
1422	Campeggi e strutture turistiche e ricettive					5122	Bacini idrici artificiali
						335	Ghiacciai e nevi perenni

Reti stradali	
D4	Reti primarie: autostrade, strade statali/regionali, strade provinciali
D3	Reti secondarie: strade comunali

La determinazione del rischio è ottenuta dalla combinazione dei parametri vulnerabilità, danno e pericolosità, condotta attraverso una matrice con 4 righe e 3 colonne, ovvero 4 righe e 2 colonne. Nelle righe sono riportati i parametri danno-vulnerabilità e nelle colonne i livelli di pericolosità associabili agli eventi ad elevata, media e bassa probabilità di accadimento. L'implementazione di tale matrice ha consentito l'attribuzione di ogni elemento esposto ad una delle classi di rischio previste nei dispositivi nazionali. Per distinguere l'impatto assai diverso in termini di pericolo per la vita umana e danno per le attività antropiche, in relazione alla diversa intensità e modalità di evoluzione dei processi di inondazione negli ambiti territoriali considerati, si è sono utilizzare tre diverse matrici.

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R4	R2
	D3	R4	R3	R2
	D2	R3	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

Matrice 1

- Reticolo principale (RP)
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM alpino)

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'		
		P3	P2	P1
CLASSI DI DANNO	D4	R4	R3	R2
	D3	R3	R3	R1
	D2	R2	R2	R1
	D1	R1	R1	R1

Matrice 2

- Aree costiere lacuali (ACL)
- Aree costiere marine (ACM), Reticolo secondario collinare e montano (RSCM appenninico)

CLASSI DI RISCHIO		CLASSI DI PERICOLOSITA'	
		P3	P2
CLASSI DI DANNO	D4	R3	R2
	D3	R3	R1
	D2	R2	R1
	D1	R1	R1

Matrice 3

- Reticolo secondario di pianura (RSP)

Rispetto alla cartografia del PGRA, l'area d'intervento non è compresa all'interno di aree definite a pericolosità idraulica.



- Aree allagabili a elevata probabilità
- Aree allagabili a media probabilità
- Aree allagabili a bassa probabilità

Figura 5 – Mappa pericolosità alluvioni

3. STUDIO IDROLOGICO

3.1. CALCOLO DELLE PRECIPITAZIONI DI PROGETTO

3.1.1. Curve Di Probabilità Pluviometrica

Le curve di probabilità pluviometrica esprimono la relazione fra le altezze di precipitazione h e la loro durata t , per un assegnato valore del periodo di ritorno T . Tale relazione viene spesso indicata anche come curva di possibilità climatica o, ancora, linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP).

Nel caso in esame, le Curve di probabilità pluviometrica sono state determinate attraverso il metodo GEV (Generalized Extreme Values), generalizzazione della distribuzione di Gumbel, come richiesto nella normativa della Regione Lombardia.

3.1.2. Altezze di pioggia per durate maggiori di 1 ora

Per il calcolo delle precipitazioni di progetto si fa riferimento allo studio "IL REGIME DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE SUL TERRITORIO DELLA LOMBARDIA - Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata" (Carlo De Michele, Renzo Rosso & Maria Cristina Rulli, 2005) pubblicato dall'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Regione Lombardia.

Secondo tale studio, l'altezza di pioggia per un evento di durata D e tempo di ritorno T è dato dall'espressione:

$$h_T(D) = a \cdot D^n \quad (1)$$

dove:

- $h_{T(D)}$ [mm] = altezza di precipitazione
- D [ore] = durata di precipitazione
- n [-] = parametro di scala
- a [mm/ora] = parametro curva di probabilità pluviometrica. Il parametro a è funzione di un fattore di crescita w_T :

$$a = a_1 \cdot w_T \quad (2)$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \cdot \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} \quad (3)$$


- a_1 [mm/ora] = coefficiente pluviometrico orario
- w_T [-] = fattore di crescita legato al tempo di ritorno T
- T [anni] = tempo di ritorno

- $\varepsilon, \alpha, k [-]$ = parametri del modello GEV.

I parametri dell'espressione precedente sono stati calcolati per tutto il territorio regionale e sono disponibili sul portale idrologico di Arpa Lombardia (<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>).

I risultati del calcolo delle curve di possibilità pluviometrica per il sito di progetto e per differenti tempi di ritorno sono riportati nella tabella seguente.

La curva di probabilità pluviometrica per un tempo di ritorno 50 anni è $h=44.927t^{0.4161}$.



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

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 19.89

N - Coefficiente di scala 0.4161

GEV - parametro alpha 0.2989

GEV - parametro kappa -0.1156

GEV - parametro epsilon 0.785

Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: *Edolo*

Coordinate: 602448.87, 5114455.44

Linea segnatrice

Tempo di ritorno (anni) 50

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore] 1

Precipitazione cumulata [mm]

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/isop.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	0.89690	1.27455	1.55323	1.84426	2.25877	2.60000	2.96851	2.25876815
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	17.8	25.4	30.9	36.7	44.9	51.7	59.0	44.9268986
2	23.8	33.8	41.2	48.9	59.9	69.0	78.8	59.946664
3	28.2	40.0	48.8	57.9	71.0	81.7	93.3	70.9637559
4	31.8	45.1	55.0	65.3	80.0	92.1	105.1	79.9877722
5	34.9	49.5	60.4	71.7	87.8	101.0	115.3	87.7703556
6	37.6	53.4	65.1	77.3	94.7	109.0	124.4	94.6880503
7	40.1	57.0	69.4	82.4	101.0	116.2	132.7	100.960556
8	42.4	60.2	73.4	87.1	106.7	122.9	140.3	106.728937
9	44.5	63.2	77.1	91.5	112.1	129.0	147.3	112.089969
10	46.5	66.1	80.5	95.6	117.1	134.8	153.9	117.113359
11	48.4	68.8	83.8	99.5	121.9	140.3	160.1	121.851235
12	50.2	71.3	86.9	103.2	126.3	145.4	166.0	126.343748
13	51.9	73.7	89.8	106.7	130.6	150.4	171.7	130.622583
14	53.5	76.0	92.6	110.0	134.7	155.1	177.0	134.71325
15	55.0	78.2	95.3	113.2	138.6	159.6	182.2	138.636636
16	56.5	80.4	97.9	116.3	142.4	163.9	187.2	142.410091
17	58.0	82.4	100.4	119.2	146.0	168.1	191.9	146.048209
18	59.4	84.4	102.8	122.1	149.6	172.2	196.6	149.5634
19	60.7	86.3	105.2	124.9	153.0	176.1	201.0	152.966318
20	62.0	88.2	107.5	127.6	156.3	179.9	205.4	156.266189
21	63.3	90.0	109.7	130.2	159.5	183.6	209.6	159.471062
22	64.6	91.7	111.8	132.8	162.6	187.2	213.7	162.58801
23	65.8	93.5	113.9	135.2	165.6	190.6	217.7	165.623284
24	66.9	95.1	115.9	137.6	168.6	194.1	221.6	168.58244

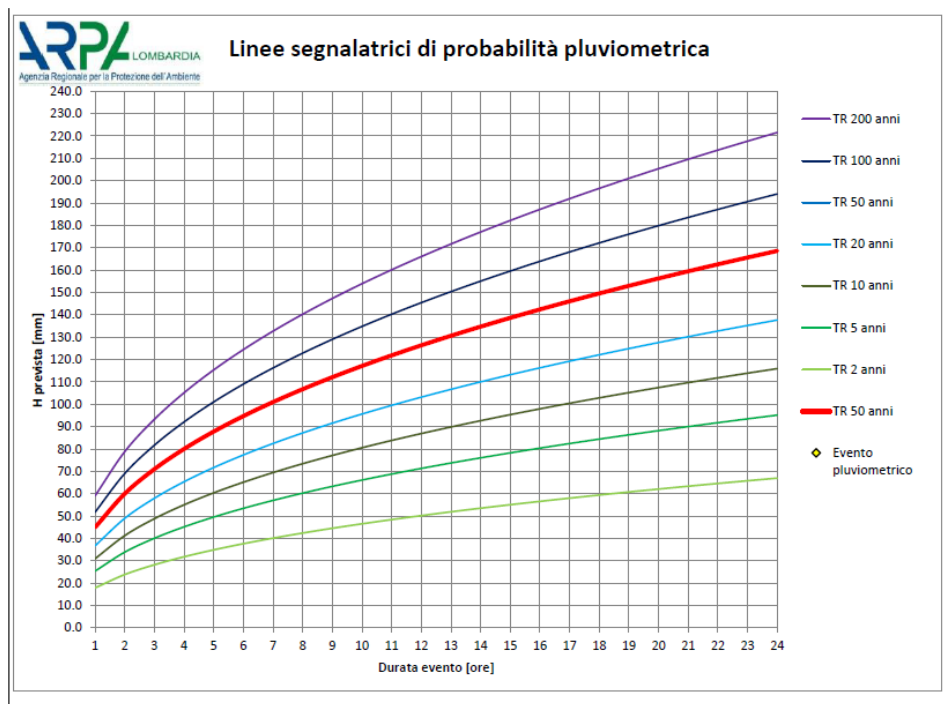


Tabella 1 – Curve segnalatrici per eventi di durata maggiore di 1 ora per diversi tempi di ritorno

3.1.1. Altezze di pioggia per durate minori di 1 ora

Per eventi meteorici di durata minore di 1 ora, che presentano una particolare fenomenologia, la determinazione delle altezze di pioggia necessarie per la progettazione delle opere idrauliche sarà effettuata attraverso applicazione dell'equazione di Bell. Bell ha osservato che i rapporti r_δ tra le altezze di durata t molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

t (minuti)	5	10	15	30
$r_{t,Tr} = h_{t,Tr} / h_{60,Tr}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Tabella 3 – Curve Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora – U.S. Water Bureau

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

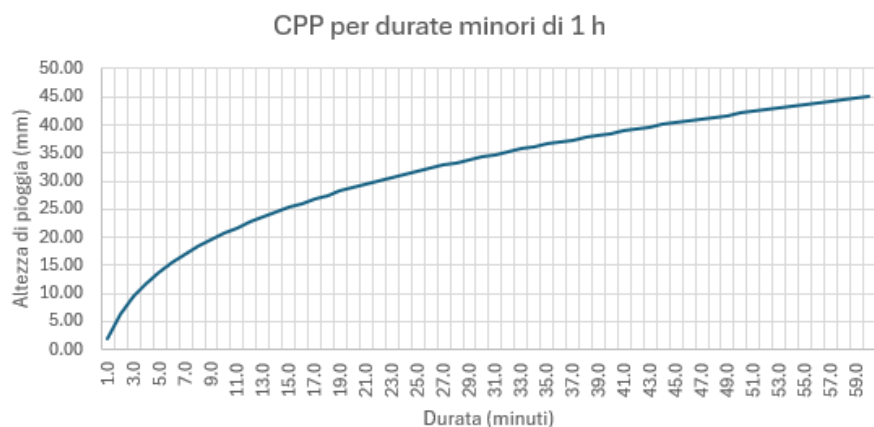
$$\frac{h_{t,Tr}}{h_{60,Tr}} = (0.54 \cdot \tau^{0.25} - 0.50)$$

applicabile per durate $5 \leq t \leq 120$ min dove:

- $h_{\tau,Tr}$ indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo τ riferita al periodo di ritorno TR;

- $h_{60,Tr}$ è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno TR (nel caso in esame, pari a circa 44.9 mm);
- τ è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Per l'area in esame, la curva di possibilità pluviometrica che ne deriva è questa mostrata nel grafico e nella tabella seguenti.

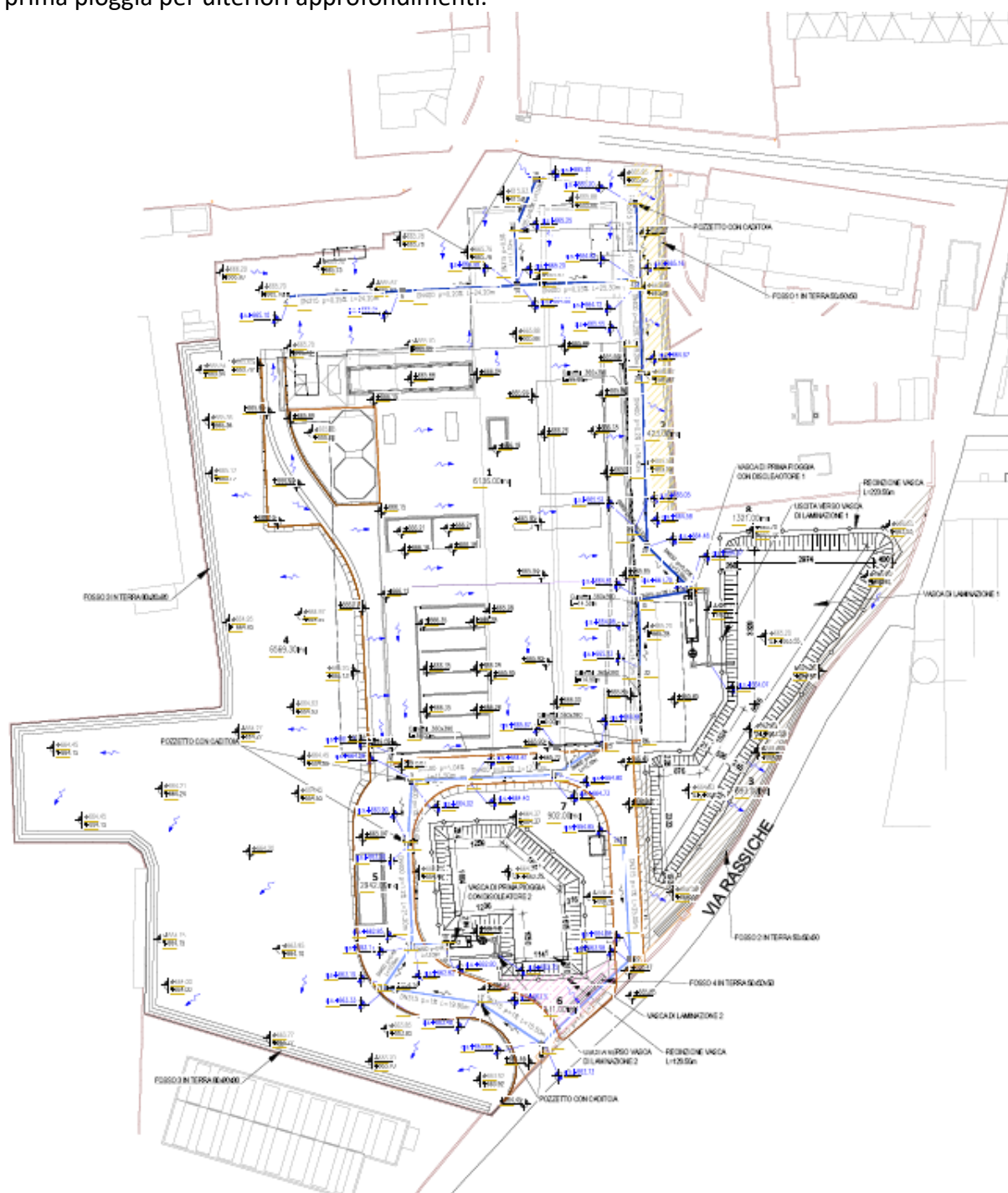


tp (min)	tp (h)	h _{tc} (mm)	i _{tc} (mm/h)	tp (min)	tp (h)	h _{tc} (mm)	i _{tc} (mm/h)
1.0	0.017	1.80	107.81	31.0	0.517	34.78	67.31
2.0	0.033	6.39	191.59	32.0	0.533	35.23	66.06
3.0	0.050	9.46	189.27	33.0	0.550	35.68	64.87
4.0	0.067	11.84	177.66	34.0	0.567	36.11	63.73
5.0	0.083	13.81	165.75	35.0	0.583	36.54	62.64
6.0	0.100	15.50	155.04	36.0	0.600	36.96	61.59
7.0	0.117	17.00	145.68	37.0	0.617	37.37	60.59
8.0	0.133	18.33	137.51	38.0	0.633	37.77	59.63
9.0	0.150	19.55	130.36	39.0	0.650	38.16	58.70
10.0	0.167	20.68	124.05	40.0	0.667	38.54	57.81
11.0	0.183	21.72	118.45	41.0	0.683	38.92	56.96
12.0	0.200	22.69	113.43	42.0	0.700	39.29	56.13
13.0	0.217	23.60	108.92	43.0	0.717	39.66	55.33
14.0	0.233	24.46	104.83	44.0	0.733	40.01	54.56
15.0	0.250	25.28	101.11	45.0	0.750	40.37	53.82
16.0	0.267	26.05	97.70	46.0	0.767	40.71	53.10
17.0	0.283	26.79	94.57	47.0	0.783	41.05	52.41
18.0	0.300	27.50	91.68	48.0	0.800	41.39	51.73
19.0	0.317	28.18	89.00	49.0	0.817	41.72	51.08
20.0	0.333	28.84	86.51	50.0	0.833	42.04	50.45
21.0	0.350	29.47	84.19	51.0	0.850	42.36	49.84
22.0	0.367	30.07	82.02	52.0	0.867	42.68	49.24
23.0	0.383	30.66	79.98	53.0	0.883	42.99	48.67
24.0	0.400	31.23	78.07	54.0	0.900	43.30	48.11
25.0	0.417	31.78	76.27	55.0	0.917	43.60	47.56
26.0	0.433	32.31	74.57	56.0	0.933	43.90	47.03
27.0	0.450	32.83	72.96	57.0	0.950	44.19	46.52
28.0	0.467	33.34	71.44	58.0	0.967	44.48	46.01
29.0	0.483	33.83	69.99	59.0	0.983	44.77	45.53
30.0	0.500	34.31	68.62	60.0	1.000	45.05	45.05

Tabella 4 – Curve Altezze ed intensità di pioggia per eventi di durata inferiore ad un'ora

3.2. CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

Il drenaggio dei piazzali e delle viabilità viene eseguito per mezzo di una rete di collettori sotto pavimentazione nei quali l'acqua confluisce in corrispondenza di caditoie puntuali. Il recapito della rete dei collettori sono degli invasi di laminazione nei quali le acque meteoriche si raccolgono, previo trattamento delle acque di prima pioggia, e poi si infiltrano nel terreno. Si rimanda alla relazione di invarianza idraulica e trattamento delle acque di prima pioggia per ulteriori approfondimenti.



Si assume un evento meteorico con tempo di ritorno di 50 anni e durata dell'evento pari al tempo di corrivazione della rete fino alla sezione di chiusura considerata.

Le portate defluenti dalla pavimentazione sono calcolate con il metodo razionale mediante l'espressione:

$$Q = \frac{i \cdot S}{0,36}$$

con

- Q = portata (l/s)
- S = superficie del bacino defluente (ha)
- i = intensità di precipitazione (mm/h) di durata minore di 1 ora definita sulla base del tempo di corrivazione nei singoli tratti di rete.

Si è assunta la pavimentazione stradale completamente impermeabile e quindi il coefficiente di deflusso è assunto pari a 1.

Per il calcolo del tempo di corrivazione - nel caso generico di percorso idraulico che riguarda prima la percorrenza su un bacino, su strada/piazzale, e, poi in condotta condotta - si è utilizzata la seguente espressione di validità generale:

$$t_c = t'_c + L/v$$

in cui il primo termine rappresenta il tempo massimo che impiegano le particelle di pioggia, corrivando su un bacino (stradale), a raggiungere la caditoia in esame (posto pari a 5 minuti), L è la lunghezza della condotta e v è la velocità di trasferimento (media) della corrente lungo il percorso, posta pari a 1m/s.

I risultati dei calcoli sono inclusi nella tabella di dimensionamento dei collettori.

4. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLA RETE DI DRENAGGIO

4.1. DIMENSIONAMENTO DEI COLLETTORI

La verifica del collettore sotto impalcato è effettuata con la formula di Chezy:

$$Q = \chi S \sqrt{Rj}$$

con

Q = portata (m³/s)

$\chi = (1/n) R^{1/6}$ coefficiente di scabrezza con n=0.012 per il PVC

S = area bagnata (m²)

R= raggio idraulico (m)

j = pendenza della tubazione (m/m)

I collettori sono in PVC SN4, le velocità all'interno dei collettori sono comprese tra 0.5 e 2.5 m/s. Come principio generale, si è assunto un riempimento massimo del 50% per tubazioni con diametro fino a DN500 e fino al 70% per diametri maggiori.

Nella tabella seguente si riportano i calcoli di dimensionamento della rete dei collettori.

RETE AFFERENTE ALLA VASCA 1											
Tronco	DN (mm)	DN interno (mm)	AREA (mq)	Q.m (m s.l.m.)	Q.vm (m s.l.m.)	Lmax drenaggio (m)	φ	Q (l/s)	pendenza (%)	riempimento (%)	v (m/s)
4-9	315	300	515	665.10	665.04	24.20	1.00	23.71	0.2%	38.60	0.94
9-14	400	380	1096	665.04	664.98	24.20	1.00	47.20	0.2%	40.00	1.12
16-13	315	300	83	665.30	665.25	11.00	1.00	3.82	0.5%	13.30	0.69
13-14	315	300	418	665.25	665.20	11.10	1.00	18.00	0.5%	28.60	1.08
23-27	315	300	97	665.20	665.16	15.60	1.00	4.47	0.3%	16.50	0.59
14-27	400	380	2073	664.88	664.82	24.20	1.00	89.28	0.2%	57.72	1.32
27-28	400	380	2803	664.72	664.67	19.20	1.00	113.43	0.3%	66.60	1.41
28-29	400	380	2825	664.67	664.58	36.40	1.00	114.32	0.2%	68.50	1.38
21-29	500	475	3491	664.612	664.58	3.18	1.00	133.35	1.0%	34.80	2.44
29-31	630	599	7069	664.48	664.37	12.90	1.00	270.02	0.9%	54.00	2.79
32-30	315	300	512	665.13	664.98	14.75	1.00	23.57	1.0%	26.65	1.58
30-31	315	300	1136	664.8	664.70	10.50	1.00	52.30	1.0%	28.90	1.93
RETE AFFERENTE ALLA VASCA 2											
Tronco	DN esterno (mm)	DN interno (mm)	AREA (mq)	Q.m (m s.l.m.)	Q.vm (m s.l.m.)	Lmax drenaggio (m)	φ	Q (l/s)	pendenza min (%)	riempimento (%)	v (m/s)
25-17	400	380	1421	664.86	664.80	12.00	1.00	65.43	0.5%	39.50	1.58
17-11	400	380	1554	664.73	664.4	17.20	1.00	66.93	0.7%	36.40	1.80
11-5	400	380	1680	664.4	664.28	11.5	1.00	72.36	1.0%	34.10	2.12
5-8	400	380	2336	664.02	663.9	12.4	1.00	100.61	1.0%	41.40	2.25
8-6	400	380	2656	663.2	662.95	21.2	1.00	114.39	1.2%	42.20	2.51
26-22	315	300	128	664.85	664.6	25	1.00	5.89	1.0%	13.50	1.03
22-15	315	300	274	663.98	663.73	25.6	1.00	11.80	1.0%	19.00	1.26
15-12	315	300	492	663.68	663.53	15.5	1.00	21.19	1.0%	25.55	1.49
12-7	315	300	616	663.48	663.33	19.9	1.00	26.53	0.8%	31.00	1.46
7-6	400	380	879	663.19	663.15	10.5	1.00	33.58	0.4%	29.70	1.19
6-10	500	475	3535	662.82	662.80	6.2	1.00	135.04	0.4%	46.00	1.70

Tabella 5 – Dimensionamento della rete dei collettori

4.2. DIMENSIONAMENTO DELLE CANALETTE

I tratti 24-30, 35-30 e 33-25 sono realizzati con una canaletta grigliata.

La verifica della sezione della canaletta grigliata è effettuata con la formula di Chezy

$$Q = \chi S \sqrt{Rj}$$

con

Q = portata (m³/s)

$\chi = (1/n) R^{1/6}$ coefficiente di scabrezza con n=0.012

S = area bagnata (m²)

R = raggio idraulico (m)

j = pendenza della canaletta (m/m)

La canaletta ha dimensioni interne 300 x 390 mm (b x h) ed una pendenza incorporata pari allo 0.5%.

Il calcolo di verifica delle sezioni è riportato nella tabella seguente

Tratta	b	A	Q (l/s)	i	Tirante (m)	V (m/s)
24-30	0.3	520.1	23.95	0.005	0.08	0.99
35-30	0.3	2871	132.18	0.005	0.3	1.47
33-25	0.3	1098	50.55	0.005	0.14	1.2

Tabella 6 – Dimensionamento delle canalette grigliate