

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



CUP: J64H17000140001

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO**

**APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA  
CURNO A BERGAMO**

**OPERE D'ARTE**

**FABBRICATO TECNOLOGICO CURNO**

Relazione idraulica e di smaltimento acque

SCALA:

-

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

N B 1 R 0 2 D 2 6 R I F A 0 3 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	F. Serrau	Marzo 2020	S. Scafa	Marzo 2020	M. Berlingieri	Marzo 2020	

File: NB1R02D26RIFA0300001A

n. Elab.:

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>6</b>
<b>3.1</b>	<b>PAI - ADB Po.....</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>PGRA – DISTRETTO IDROGRAFICO PADANO.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1</b>	<b>RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>STANDARD PROGETTUALI.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b>METODO DELL’INVASO.....</b>	<b>14</b>
<b>5.2</b>	<b>DIMENSIONAMENTO IDRAULICO .....</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>OPERE DI DRENAGGIO IDRAULICO .....</b>	<b>17</b>
<b>6.1</b>	<b>SISTEMA DI RACCOLTA .....</b>	<b>19</b>
<b>6.2</b>	<b>DIMENSIONAMENTO E SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE .....</b>	<b>21</b>
<b>7</b>	<b>TABULATI DI DIMENSIONAMENTO.....</b>	<b>24</b>

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>Relazione idraulica e di smaltimento acque</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO FA 0300 001	REV. A

## 1 INTRODUZIONE

Nel 2018, su incarico di RFI, Italferr ha redatto il progetto di raddoppio della linea ferroviaria Ponte S. Pietro-Bergamo-Montello, suddiviso in due lotti funzionali:

- Lotto 1 da Bergamo (km 0+000 LS) alla stazione di Ponte S. Pietro, con il raddoppio da Bergamo a Curno e sistemazione del PRG di Ponte S. Pietro;
- Lotto 2 da Bergamo (km 0+000 Ponte S. Pietro LS coincidente con km 21+880 LS Treviglio) a Montello (km 33+100 LS).

Per entrambi i lotti era previsto il raddoppio in presenza di esercizio.

A valle della consegna (estate 2018), nell'ottica di contenere i costi di realizzazione e di velocizzarne i tempi, si è aperto un tavolo tecnico tra il Ministero, la Regione Lombardia e i vertici aziendali di Gruppo FSI e nel dicembre del 2018 RFI ha richiesto ad Italferr di revisionare il progetto del solo Lotto 1 (incluso il PRG di Ponte S. Pietro) sotto l'ipotesi di realizzare il raddoppio in assenza di esercizio e di ricomprendere nello stesso lotto 1, la soppressione di tutti i PL inclusi nel Lotto 2.

Tali lotti sono poi stati redistribuiti in:

APPALTO 1: APPARATO CENTRALE COMPUTERIZZATO DI BERGAMO SU FERRO ATTUALE	FA01, FA02
APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA DA CURNO A BERGAMO	WBS rimanenti
APPALTO 8: OPERE SOSTITUTIVE PER SOPPRESSIONE PL TRA BERGAMO E MONTELLO	SL02/NV02, SL03/NV03.

Nella figura seguente è segnata la zona oggetto intervento per il progetto in essere.



Figura 1.1 Individuazione dell'area d'intervento

Il fabbricato tecnologico di Curno si svilupperà su un piano fuori terra, con pianta rettangolare di

dimensioni pari a 34,30x6,70 m.

L'edificio sarà caratterizzato da una copertura a capanna la cui altezza massima in corrispondenza del colmo sarà pari a circa 4,60 m (altezza sotto gronda pari a circa 3,50 m), munito di una serie di porte di varia dimensione su 2 lati, tutte dotate di sopraluce, e di finestre a nastro di altezza pari a 0,80 m.

I locali previsti sono: la Sala Centralina IS, con adiacente Locale Batterie e Sala ACC, un Locale TLC, i locali destinati ai due trasformatori e un locale a disposizione.



*Figura 1.2 Localizzazione del fabbricato tecnologico Curno*

Il sistema di drenaggio previsto per il nuovo fabbricato tecnologico Curno sarà costituito da un sistema di raccolta e smaltimento delle acque pluviali della copertura e di tutte le superfici impermeabili il cui recapito finale sarà costituito da cassonetti disperdenti.

Per tutte le superfici scoperte (piazze e parcheggi) sarà prevista una pavimentazione che favorisce l'infiltrazione delle acque nel terreno a mezzo di masselli autobloccanti. Per garantire il corretto funzionamento della pavimentazione drenante e scongiurare la formazione di percorsi di scorrimento preferenziali, la pendenza dell'intera pavimentazione è stata posta nulla. Per cautela sono stati aggiunti pozzetti grigliati che consentono la raccolta delle acque superficiali di scolo e garantiscono l'allontanamento delle acque in eccesso dalla superficie del piazzale.

La raccolta dell'acqua proveniente dai pluviali sarà realizzata per mezzo di canalette grigliate disposte tra il marciapiede ed il piazzale.

Nel fabbricato tecnologico Curno non sono previsti servizi igienici.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA</b> <b>DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>Relazione idraulica e di</b> <b>smaltimento acque</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO FA 0300 001	REV. A

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie".
- D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 e ss.mm.ii. Norme in materia ambientale
- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- PAI - 1. Relazione Generale;
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Alpi Orientali (P.G.R.A. 03/03/2016).
- Dlgs 16 marzo 2009, n. 30. Protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento.
- Dm Ambiente 16 giugno 2008, n. 131. Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici.
- Dm Ambiente 6 novembre 2003, n. 367. Dlgs 152/1999 - Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le sostanze pericolose.
- Dm Ambiente 12 giugno 2003, n. 185. Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue.
- Dlgs 27 gennaio 1992, n. 132. Protezione delle acque sotterranee.
- Dpr 24 maggio 1988, n. 236. Qualità delle acque destinate al consumo umano.

Il progetto in essere considera inoltre:

- "Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico e quadro degli interventi Bacino dell'Adda Sottolacuale" dell'Autorità di bacino del Fiume Po.
- UNI EN 12056-3 "Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici - Sistemi per l'evacuazione delle acque meteoriche, progettazione e calcolo".
- Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8 Disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 'Legge per il governo del territorio').

### 3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 8 distretti idrografici, Figura 3.1, in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.



Tabella 3.1 Suddivisione territoriale in distretti

Gli interventi in progetto ricadono nel bacino idrografico "Adda sublacuale" ricadente nell'area di giurisdizione del Distretto idrografico Padano.

Le competenze in materia di pianificazione idraulica per gli interventi che ricadono nel Distretto idrografico Padano sono demandate all'Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po con il PGRA in vigore.

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi sono:

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

#### 3.1 PAI - ADB Po

I vincoli d'uso del territorio e le direttive in materia di progettazione di opere idrauliche, sono contenute nel Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dalla stessa Autorità di Bacino e approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 in data 26 aprile 2001.

Il "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" rappresenta l'atto di pianificazione, per la difesa del suolo dal rischio idraulico e idrogeologico, conclusivo e unificante di due strumenti di pianificazione precedentemente approvati, ovvero:

- il "Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione", realizzato a seguito della piena del novembre 1994;

- il "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" (PSFF), relativo alla rete idrografica principale del sottobacino del Po sotteso alla confluenza del Tanaro (territorio della Regione Piemonte e Valle d'Aosta) e, per la restante parte del bacino, all'asta del Po e agli affluenti emiliani e lombardi, limitatamente ai tratti arginati.

Il "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" (PSFF) è stato approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri il 24 luglio 1998. Esso contiene la definizione e la delimitazione cartografica delle fasce fluviali dei corsi d'acqua principali piemontesi, del fiume Po e dei corsi d'acqua emiliani e lombardi, limitatamente ai tratti arginati a monte della confluenza in Po.

Il PAI estende la delimitazione delle fasce fluviali ai rimanenti corsi d'acqua principali del bacino, per i quali assume la normativa relativa alla regolamentazione degli usi del suolo e degli interventi nei territori fluviali delimitati già approvata nell'ambito del PSFF.

Sulla base del PAI, 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.

Uno schema esplicativo della definizione delle Fasce fluviali è riportato in Figura 3.2.

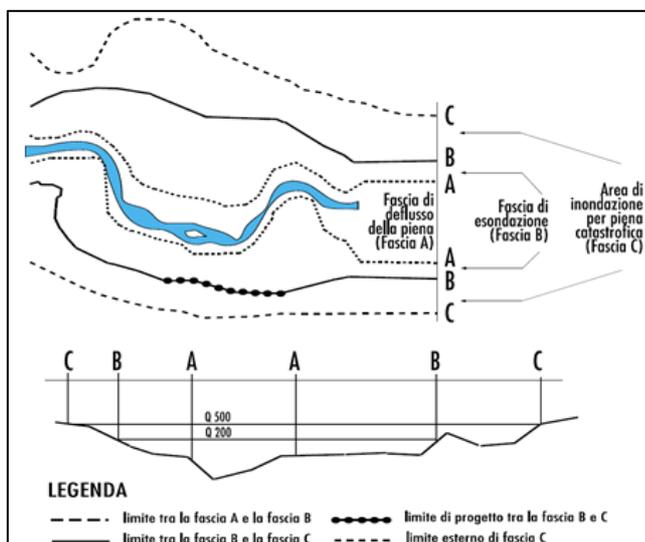


Figura 3.2 Schema per la delimitazione delle fasce fluviali

Le fasce fluviali sono state delimitate in funzione dei principali elementi dell'alveo che ne determinano la connotazione fisica: caratteristiche geomorfologiche, dinamica evolutiva, opere idrauliche, caratteristiche naturali e ambientali.

L'individuazione delle fasce rappresenta l'assetto di progetto di ciascuno dei corsi d'acqua, determinando i caratteri idraulici dell'alveo in condizioni di piena e le modalità di uso della regione fluviale dalle stesse perimetrata.

In base alla tavola di delimitazione delle fasce fluviali allegata al PAI, di cui in Figura 3.3 si riporta lo stralcio planimetrico delle aree interessate, l'intervento in progetto risulta esterno ai limiti definiti dalle fasce fluviali.



Figura 3.3 Stralcio planimetrico di delimitazione delle fasce fluviali AdBPo

### 3.2 PGRA – DISTRETTO IDROGRAFICO PADANO

Le norme comunitarie prevedono l'obbligo di predisporre per ogni distretto, a partire dal quadro della pericolosità e del rischio di alluvioni definito con l'attività di mappatura, uno o più Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni (art. 7 D.Lgs. 49/2010 e art. 7 Dir. 2007/60/CE), contenenti le misure necessarie per raggiungere l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative dei fenomeni alluvionali nei confronti, della salute umana, del territorio, dei beni, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche e sociali. In particolare, il PGRA 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 hanno reso necessario effettuare la mappatura della pericolosità secondo approcci metodologici differenziati per i diversi ambiti territoriali, di seguito definiti:

- Reticolo principale (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura (RSP);
- Aree costiere marine (ACM);

- Aree costiere lacuali (ACL).

Le mappe delle aree allagabili rappresentano l'estensione massima degli allagamenti conseguenti al verificarsi degli scenari di evento riconducibili ad eventi di elevata, media e scarsa probabilità di accadimento.

Gli scenari di inondazione sono:

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

Tabella 3.1 Scenari di inondazione PGRA

Le condizioni di pericolosità dell'area d'interesse sono riportate nella Figura 3.4, rappresentante un estratto della carta della pericolosità da alluvione dedotta dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA).

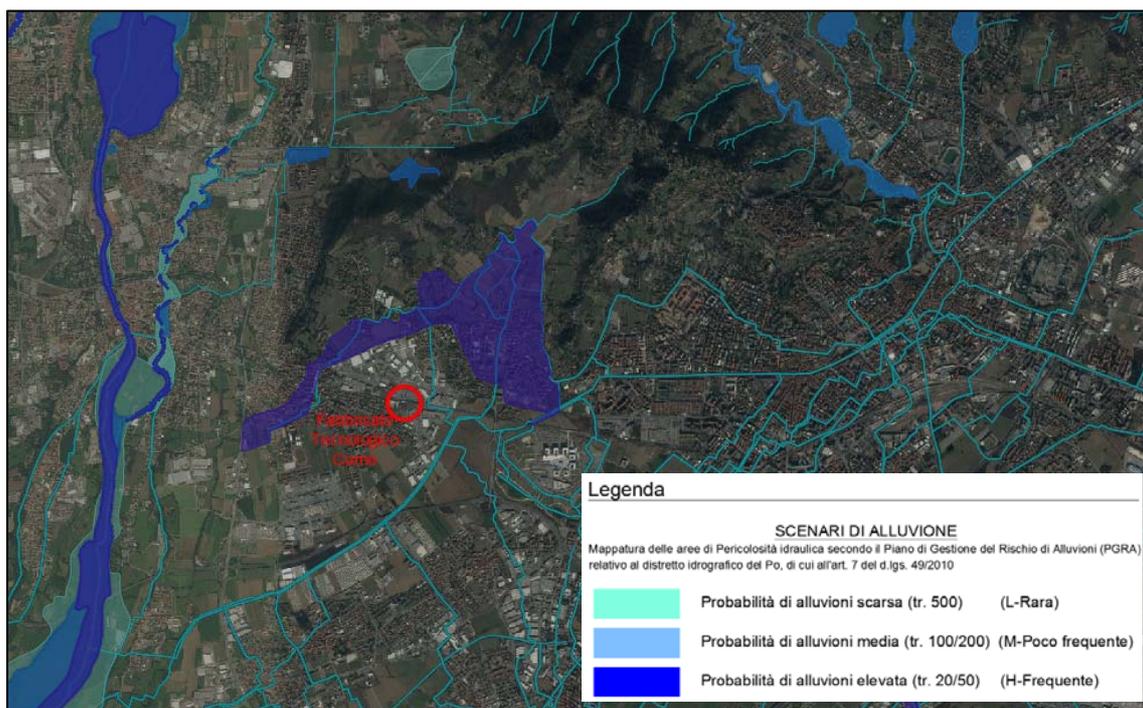


Figura 3.4 Stralcio planimetria PGRA

In base alla tavola di perimetrazione delle aree a rischio esondazione del PGRA del Distretto Padano il fabbricato in progetto risulta esterno alle aree di esondazione attualmente in vigore.

	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELLO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA</b> <b>DA CURNO A BERGAMO</b>					
<b>Relazione idraulica e di smaltimento acque</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO FA 0300 001	REV. A	FOGLIO 10 di 25

### 3.3 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

L'intervento in essere è un intervento di interesse pubblico, si rimanda quindi alle indicazioni fornite dall'art. 38 delle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico del bacino idrografico del Fiume Po.

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

1. Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modificano i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui la comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.
2. L'Autorità di bacino emana ed aggiorna direttive concernenti i criteri, gli indirizzi e le prescrizioni tecniche relative alla predisposizione degli studi di compatibilità e alla individuazione degli interventi a maggiore criticità in termini d'impatto sull'assetto della rete idrografica. Per questi ultimi il parere di cui al comma 1 sarà espresso dalla stessa Autorità di bacino.
3. Le nuove opere di attraversamento, stradale o ferroviario, e comunque delle infrastrutture a rete, devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva emanata dall'Autorità di bacino.

Le opere in progetto sono opere di interesse pubblico, puntuali che non comportano una riduzione della capacità di invaso e soprattutto sono opere non delocalizzabili.

A valle delle indicazioni da normativa si può affermare che gli interventi in oggetto non costituiscono significativo ostacolo al deflusso, non pregiudicano la possibilità di sistemazione idraulica definitiva dell'area, assicurano il mantenimento delle condizioni di drenaggio superficiale dell'area e la sicurezza delle opere di difesa esistenti e non producono effetti né in termini di modifica di deflussi idrici, né in termini di squilibrio degli attuali bilanci della risorsa idrica (prelievi e scarichi), risultando interventi idraulicamente compatibili.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA</b> <b>DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>Relazione idraulica e di</b> <b>smaltimento acque</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO FA 0300 001	REV. A

#### 4 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici in particolare per la valutazione dei tiranti idrici.

Per il progetto in essere esistono differenti analisi validate e autorevoli, nella relazione idrologica sono state confrontate le curve di possibilità climatiche ottenute a partire dai dati disponibili dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e le medesime ottenute utilizzando i dati derivanti da Arpa Lombardia. È emerso che le curve orarie fornite dal Progetto STRADA (Arpa Lombardia) sono le più gravose, per tale motivo sono state scelte come base progettuale.

Il contesto in cui ARPA Lombardia ha svolto le attività progettuali di aggiornamento della descrizione statistica delle precipitazioni intense è quello della presenza di una base di dati strumentali già consolidata, costituita dalle osservazioni delle piogge massime annue di fissata durata di 1, 2, 3, 6, 12 e 24 ore per 105 stazioni meccaniche del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, già utilizzate per lo sviluppo di un'attività di caratterizzazione statistica del territorio regionale mediante un modello scala-invariante secondo la distribuzione probabilistica GEV (Generalized Extreme Value), che ha prodotto la parametrizzazione delle LSPP su 69 punti strumentati e da questi su tutto il territorio regionale tramite tecniche di estrapolazione geostatistica; questo servizio è attualmente operativo e accessibile su piattaforma web-gis sul sito web istituzionale di ARPA (<http://idro.arpalombardia.it>). Per una conoscenza più dettagliata dei dati utilizzati si rimanda alla relazione idrologica del progetto in essere.

Le leggi di probabilità pluviometrica sono state determinate sulla base dei dati disponibili sul sito web del servizio idrografico dell'ARPA Lombardia il quale fornisce i parametri necessari per il calcolo dell'altezza di pioggia con riferimento ad una precipitazione di durata maggiore o uguale all'ora e per un assegnato tempo di ritorno. Il calcolo viene eseguito tramite la relazione seguente:

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

in cui  $w_T$  è il fattore di crescita in funzione del tempo di ritorno calcolato con la seguente espressione:

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

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

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

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

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

	S [Km <sup>2</sup> ]	Tr [anni]
Linea ferroviaria	S ≥ 10	300
	S < 10	200
Deviazioni stradali	-	200

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

In bacini imbriferi di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa.

Nel caso oggetto della presente relazione il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica per tempi di pioggia inferiori ad un'ora è stata utilizzata la formula di Bell (si rimanda alla relazione idrologica per lo studio completo) che ha proposto, in relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, la seguente relazione:

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

applicabile per  $5 \leq t \leq 120$  minuti dove:

- $P_T^t$  indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo t riferita al periodo di ritorno T
- $h_T^{60}$  è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora riferita al periodo di ritorno T
- t è il tempo di pioggia espresso in minuti.

Nota l'altezza di pioggia  $h_t$  relativa all'evento di durata t, passando ai logaritmi, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro a e il coefficiente angolare rappresenta il parametro n'.

Le curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni e durata inferiore ad un ora, riferite al progetto in essere, sono riportate di seguito, con tempo t espresso in minuti.

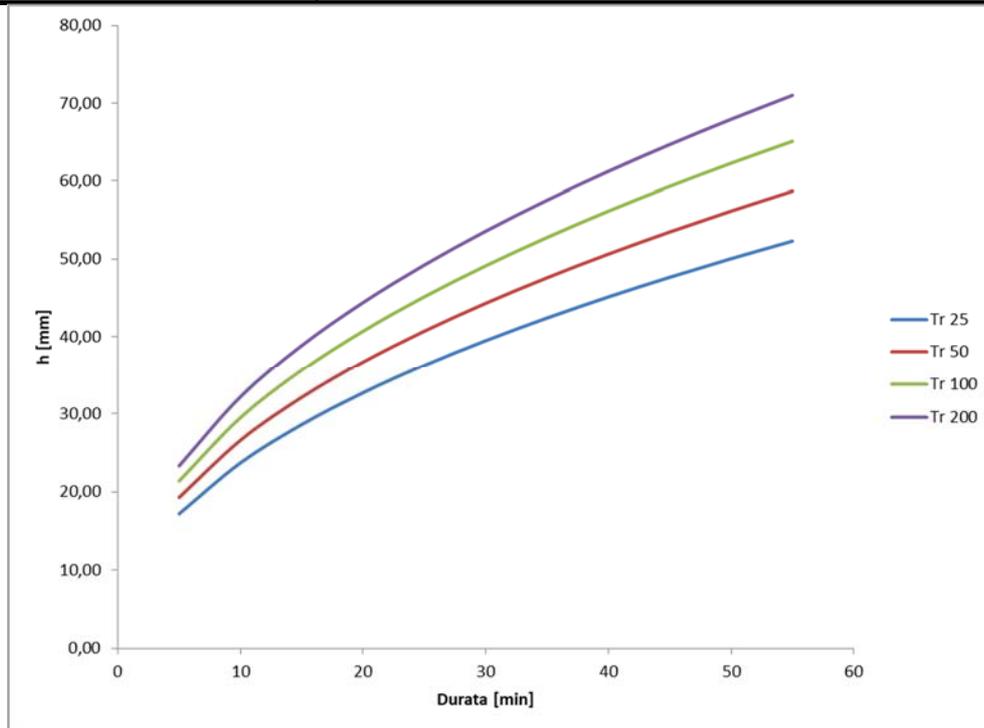


Figura 4.1 Curve di possibilità pluviometrica di durata inferiore ad un'ora

Per l'area oggetto d'intervento, con riferimento a tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni, secondo lo studio di Arpa Lombardia e con l'applicazione del metodo di Bell, si ottengono i valori di  $a_1 \cdot w_T$  ed  $n$  riportati in Tabella 4.1.

	t ≤ 1 ora				t > 1ora			
	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 200
<b>a1</b>	30.26				30.26			
<b>n</b>	0.464				0.298			
<b>wT</b>	1.80015	2.01999	2.24003	2.46109	1.80015	2.01999	2.24003	2.46109

Tabella 4.1 Parametri delle curve di possibilità pluviometrica

Per lo studio completo si rimanda alla Relazione idrologica NB1R00D26RHID0001001A.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA</b> <b>DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>Relazione idraulica e di smaltimento acque</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO FA 0300 001	REV. A

## 5 STANDARD PROGETTUALI

Il progetto in essere necessita di varie opere idrauliche da dimensionare e verificare adeguatamente, la procedura da seguire può essere riepilogata con i seguenti passi:

- Individuazione delle curve di possibilità pluviometrica (Analisi idrologica);
- Calcolo delle portate generate dalla precipitazione meteorica (Metodo dell'invaso);
- Dimensionamento e verifica degli elementi di raccolta delle acque.

### 5.1 METODO DELL'INVASO

Si riprende nel presente paragrafo qualche considerazione riguardante il metodo dell'invaso utilizzato per la determinazione delle portate di progetto per il sistema di raccolta e smaltimento delle acque.

Il metodo tiene conto della diminuzione di portata per il velo (sottilissimo) che rimane sul terreno e per il volume immagazzinato in rete. L'acqua piovana proveniente dall'atmosfera viene in parte assorbita dal terreno, una porzione evapora ed il resto defluisce; la porzione che evapora è molto piccola e quindi trascurabile. Indicando con "ψ" l'aliquota che defluisce sul terreno, bisogna tenere conto che tale valore dipenderà dalla natura del terreno, dalla durata dell'evento di pioggia, dal grado di umidità dell'atmosfera e dalla stagione; ψ prende il nome di coefficiente di afflusso e moltiplicato per l'area del bacino (A) e per l'intensità di pioggia (I) fornisce una stima della portata che affluisce nel bacino nell'unità di tempo:

$$p = \psi I A$$

Nel tempo dt il volume d'acqua affluito sarà p\*dt, mentre nell'istante t nella rete di drenaggio defluirà una portata q, inizialmente nulla e man mano crescente.

Se il volume che affluisce nel tempo dt è pari a p\*dt e quello che defluisce è q\*dt, la differenza, che indicheremo con dw, rappresenterà il volume d'acqua che si invasa nel tempo.

Pertanto, l'equazione di continuità in forma differenziale sarà:

$$p dt = q dt + dw$$

Considerando che la portata q può essere considerata costante, le variabili da determinare sono q(t), w(t), e t, per cui l'equazione non sarebbe integrabile se non fissando q o w.

Tuttavia, valutando che il valore massimo di portata verrà raggiunto alla fine dell'evento di pioggia di durata t, il problema di progetto si riduce ad individuare, tramite processo iterativo, la durata di pioggia che massimizzi la portata, tenuto conto che al diminuire di questa aumenta l'intensità di pioggia.

Tale problema è stato risolto, nell'ipotesi di intensità di pioggia (I) costante e di rete di drenaggio inizialmente vuota (q = 0 per t = 0), considerando:

- una relazione lineare tra il volume w immagazzinato nella rete a monte e l'area della sezione idrica ω:

$$w/\omega = W/\omega = cost$$

questa condizione, nel caso di un singolo tratto, corrisponde all'ipotesi di moto uniforme, mentre nel caso di reti, si basa su due ulteriori ipotesi: che i vari elementi si riempiano contemporaneamente senza che mai il deflusso affluente sia ostacolato (funzionamento autonomo) e che il grado di riempimento di ogni elemento sia coincidente con quello degli altri (funzionamento sincrono);

- una relazione lineare tra la portata defluente e l'area della sezione a monte:

$$q/\omega = Q/\Omega = cost$$

Tale relazione corrisponde all'ipotesi di velocità costante in condotta, ipotesi abbastanza prossima alla realtà nella fascia dei tiranti idrici che in genere si considerano.

Con queste ipotesi semplificative si ottiene:

$$\frac{dw}{W} = \frac{dq}{Q}$$

l'equazione di continuità diviene quindi:

$$(p - q)dt = \frac{W}{Q} dq$$

ovvero:

$$p - q = \frac{dW}{dt}$$

L'integrazione dell'equazione di continuità consente di ottenere una relazione tra la portata e il tempo di riempimento di un canale, ovvero consente la stima dell'intervallo temporale tra un valore nullo di portata ed un valore massimo. Definendo  $T$  il tempo necessario per passare da  $q=0$  a  $q=q_{max}$ , e  $t_r$  il tempo di riempimento, un canale risulterà adeguato se  $T \leq t_r$ , viceversa se  $T > t_r$  il canale sarà insufficiente.

Il corretto dimensionamento del canale di drenaggio delle acque piovane si ottiene ponendo  $T = t_r$ , ovvero nel caso in cui la durata dell'evento piovoso eguagli il tempo di riempimento del canale. In quest'ottica nasce il metodo dell'invaso non come metodo di verifica, ma come strumento progettazione, imponendo la relazione  $T = t_r$  si ottiene l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

$$u = \frac{k (\psi a)^{1/n}}{w^{1/(n-1)}}$$

Il coefficiente udometrico rappresenta la portata per unità di superficie del bacino, ed è espresso in  $l/s \cdot ha$ ,  $\psi$  è il coefficiente di afflusso,  $w$  è il volume di acqua invasata riferito all'area del bacino in  $m^3/m^2$ ,  $a$  [ $m/ora^n$ ] ed  $n$  sono i coefficienti della curva di possibilità climatica,  $k$  un coefficiente che assume il valore di  $2168 \cdot n$  [Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, CSU Editore, Hoepli; Appunti di Costruzioni idrauliche, Girolamo Ippolito, Liguori Editore].

L'espressione del coefficiente udometrico utilizzata nel nostro studio è:

$$u = \frac{2168 n (\psi a)^{1/n}}{w^{1/(n-1)}}$$

Il coefficiente di afflusso, nel rispetto del Regolamento Regionale 19 aprile 2019 -Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7, art. 11 comma 2 lettera d) è assunto pari a  $\psi=1$  per le coperture mentre pari a  $\psi=0.7$  per le pavimentazioni drenanti costituenti il piazzale.

Il volume  $w$  rappresenta il volume specifico di invaso totale pari al rapporto tra il volume di invaso totale  $W_{tot}$  e la superficie drenata  $S$ :

$$w = \frac{W_{tot}}{S}$$

in cui il volume d'invaso totale è definito come segue:

$$W_{tot} = w_{0c} + \sum_i w_i + w_l$$

dove:

$w_{0c}$ , volume dei piccoli invasi e del velo idrico superficiale (si è assunto  $w_{0c} = 30 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ );

$w_i$ , volume invasato nel collettore i-esimo;

$w_l$ , volume invasato nel collettore in progetto.

## 5.2 DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

Definiti i parametri pluviometrici e il metodo di trasformazione afflussi/deflussi si effettua il dimensionamento delle opere idrauliche in progetto. La verifica idraulica degli specchi viene effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy:

$$V = k * \sqrt{R * i}$$

e l'equazione di continuità

$$Q = \sigma V$$

dove K, coefficiente di scabrezza, è stato valutato secondo la formula di Gaukler-Strickler:

$$K = K_s R^{1/6}$$

ottenendo:

$$Q = A K_s R^{2/3} i^{1/2}$$

dove: Q indica la portata ( $\text{m}^3/\text{s}$ ), i la pendenza media (m/m), A la sezione idrica ( $\text{m}^2$ ), R il raggio idraulico pari al rapporto tra sezione idrica e perimetro bagnato (m) e  $K_s$  il coefficiente di scabrezza di Gaukler-Strickler, assunto pari a  $K_s=80 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per le tubazioni in PVC mentre pari a  $K_s=66 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  per le canalette in cls.

In base alle relazioni di cui sopra, è possibile verificare le differenti opere idrauliche, tenendo conto dei seguenti vincoli di progetto:

- la velocità minima di moto uniforme non deve essere inferiore a  $0,5 \div 0,6 \text{ m/s}$ , al fine di evitare il deposito di sedimenti sul fondo;
- la velocità massima non deve essere maggiore di  $5 \text{ m/s}$ , al fine di contenere i fenomeni di abrasione (Circolare n. 11633 del 07.01.1974 del Ministero dei Lavori Pubblici);
- il grado di riempimento, per le opere idrauliche connesse alla piattaforma ferroviaria, deve essere non superiore al 70% per evitare che la condotta possa andare in pressione; il grado di riempimento per le opere idrauliche deve essere non superiore al 50% per le condotte con DN minore di 500 mm.

## 6 OPERE DI DRENAGGIO IDRAULICO

Il sistema di drenaggio previsto per il nuovo fabbricato tecnologico Curno è costituito da un sistema di raccolta e smaltimento delle acque pluviali della copertura e di tutte le superfici il cui recapito finale sarà costituito da una vasca a dispersione e laminazione.

Le aree circostanti il fabbricato hanno quota assoluta pari a 235,75 m s.l.m. compatibile con la quota del piazzale in progetto. Dato che non vengono modificate le pendenze attuali non si prevede l'afflusso di acque piovane, dalle aree esterne, all'interno del piazzale in progetto. Il funzionamento del sistema di smaltimento è assicurato anche nell'ipotesi in cui una minima parte delle acque interessanti la superficie esterna scarichi sul piazzale in progetto, date le assunzioni di natura idraulica alla base della progettazione.

Per tutte le superfici scoperte (piazzale e parcheggi) sarà prevista una pavimentazione che favorisce l'infiltrazione delle acque nel terreno a mezzo di masselli autobloccanti. Per garantire il corretto funzionamento della pavimentazione drenante e scongiurare la formazione di percorsi di scorrimento preferenziali, la pendenza dell'intera pavimentazione è stata posta nulla. Per cautela sono stati aggiunti pozzetti grigliati che consentono la raccolta delle acque superficiali di scolo e garantiscono l'allontanamento delle acque in eccesso dalla superficie del piazzale.

Nella seguente figura è rappresentata la schematizzazione della rete idraulica considerata nel calcolo, si rimanda all'elaborato "Planimetria di smaltimento idraulico" Codice NB1R02D26PZFA0300001A per i dettagli.

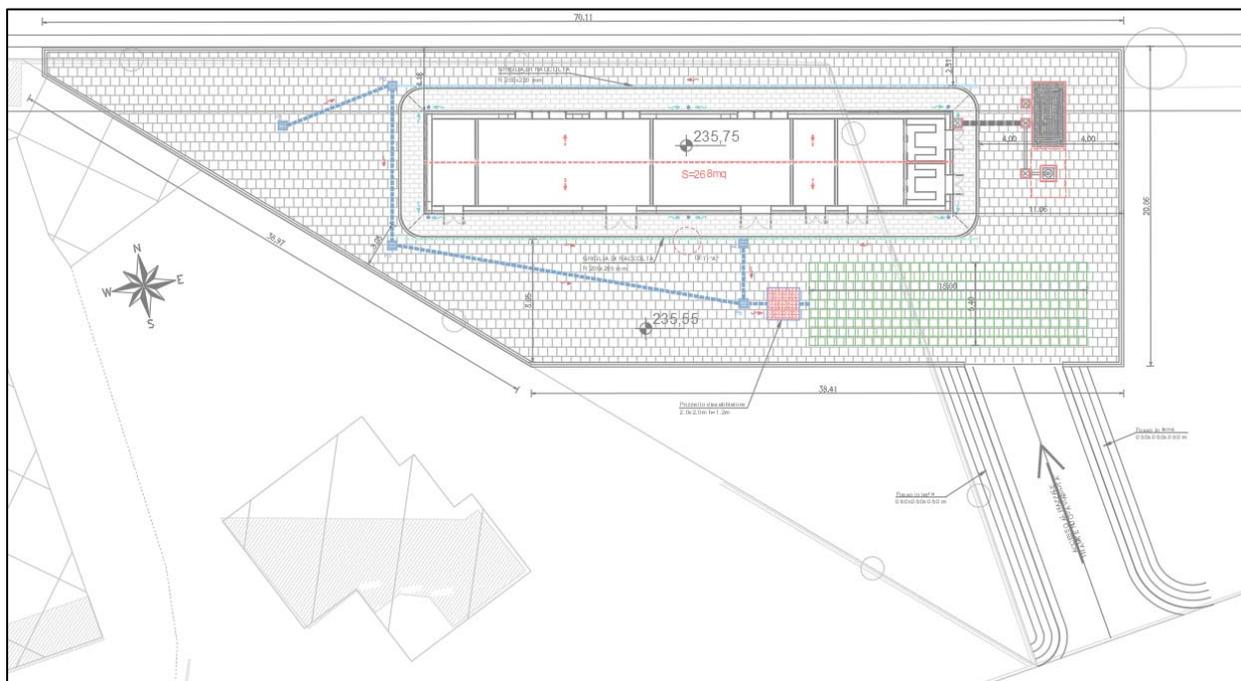


Figura 6.1 Schema idraulico fabbricato tecnologico Curno

Il sistema di raccolta delle acque del fabbricato prevede la captazione e l'invio delle acque della copertura, attraverso le grondaie, all'interno dei pluviali presenti su entrambi i lati corti del fabbricato.

In corrispondenza dei pluviali  $\phi 100$ , è presente la canaletta grigliata che raccoglie le acque e le invia, attraverso un collettore  $\phi 315$  nel recapito finale.

La rete di smaltimento è quindi costituita da:

- Discendenti di opportuno diametro;
- Pozzetti dimensione 60x60 cm provvisti di caditoie grigliate carrabili;
- Canalette dimensione 20x20.5 cm con griglia carrabile in ghisa sferoidale classe D400 lungo il lato sud;
- Canaletta dimensione 20x23 cm con griglia carrabile in ghisa sferoidale classe D400 lungo il lato nord dell'edificio;
- Tubazioni circolari in PVC di diametro pari a 315 mm.

Data la disposizione del fabbricato all'esterno dell'area di piattaforma dei binari di corsa il dimensionamento dell'intera rete è effettuato considerando un tempo di ritorno di 25 anni. La superficie della copertura completamente impermeabile ( $\psi=1$ ) e dei piazzali parzialmente permeabile ( $\psi=0.7$ ) ha dimensioni limitate impone, quindi, l'utilizzo di curve con tempi di pioggia minori di un'ora.

Le aree scoperte del piazzale sono realizzate in masselli autobloccanti, per ridurre le superfici impermeabili attuali, aumentare la dispersione delle acque nel terreno, ripristinare l'attuale sistema a dispersione delle acque e garantire l'invarianza idraulica.

Il recapito finale della rete di raccolta delle opere in progetto è un sistema di infiltrazione negli strati superficiali del sottosuolo realizzato con moduli parallelepipedi in materiale plastico con volume di ritegno pari al 95% del volume totale. I moduli sono componibili per realizzare la vasca delle volute dimensioni; sono inoltre carrabili per ricoprimenti minimi di 80 cm e vengono avvolti esternamente con geotessile per evitare il trasferimento del materiale all'interno della trincea. Il rinterro viene effettuato con materiale di elevate capacità drenanti ben costipato (ghiaia, ghiaietto).

Questi moduli hanno una doppia funzione, disperdono e contemporaneamente laminano le portate in arrivo. La Figura 6.2 riporta uno schema tipo del sistema.

Prima dell'immissione nel sottosuolo le acque subiranno un trattamento di dissabbiatura e grigliatura in apposito pozzetto di dimensioni 2.0x2.0 m e altezza 1.20 m per depurare le acque meteoriche.



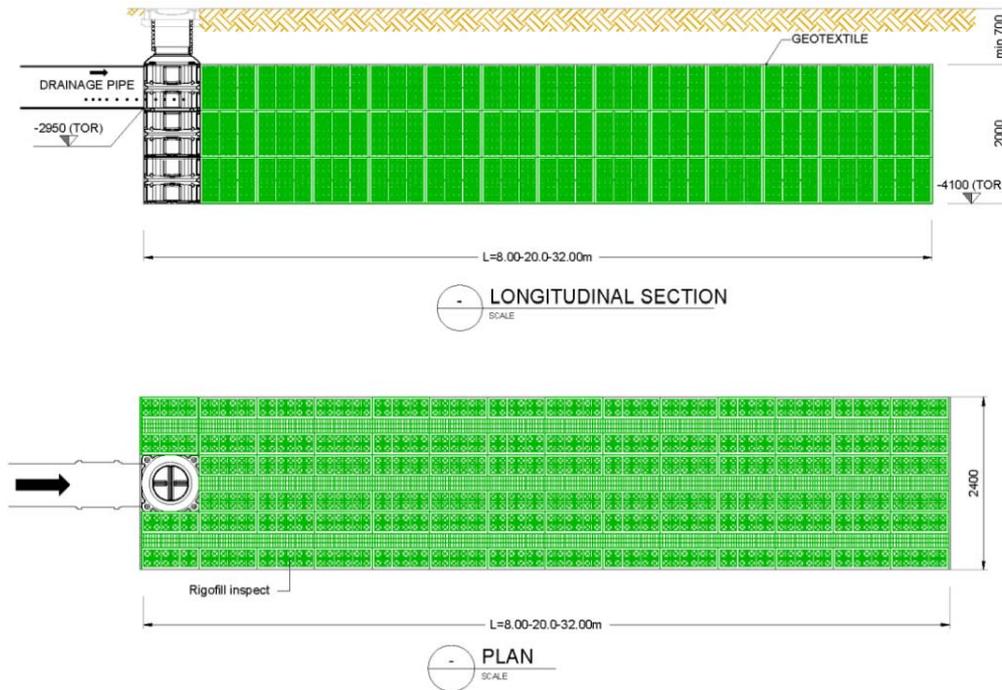


Figura 6.2 Tipologico di trincea drenante con modulo in materiale plastico

## 6.1 SISTEMA DI RACCOLTA

Le acque della copertura e delle superfici impermeabili sono raccolte all'interno delle canalette grigliate, attraverso una rete di collettori in PVC inviate al recapito finale.

### Pluviali

La superficie totale delle coperture in progetto è pari a 268 m<sup>2</sup>. Le acque provenienti dai tetti vengono raccolte tramite pluviali e quindi convogliate attraverso delle canalette ai pozzetti di raccolta. Nel fabbricato il tetto è a doppia falda quindi si dispongono 6 pluviali complessivamente, 3 su ciascun lato lungo dell'edificio.

Per il calcolo dei canali di gronda e dei pluviali si fa riferimento alla norma UNI EN 12056 "Sistemi di scarico funzionanti a gravità all'interno degli edifici -Impianti per acque reflue progettazione e calcolo". Si calcola quindi la capacità della bocca di efflusso secondo la seguente relazione:

$$Q_0 = \frac{K_0 D^2 h^{0.5}}{15\,000}$$

dove:

Q<sub>0</sub>, capacità (l/s)

D, diametro efficace bocca di efflusso (mm)

K<sub>0</sub>, coefficiente di scarico (1 per scarico libero, 0.5 in presenza di filtri)

h, carico alla bocca di efflusso (mm)

h = W \* F<sub>h</sub> (mm)

$W$ , altezza dell'acqua,

$F_h$ , coefficiente di carico alla bocca (pari a 0.47 se  $S/T = 1$ ), dipende dal rapporto  $S/T$  del canale di gronda e si calcola mediante il grafico riportato in Figura 6.3.

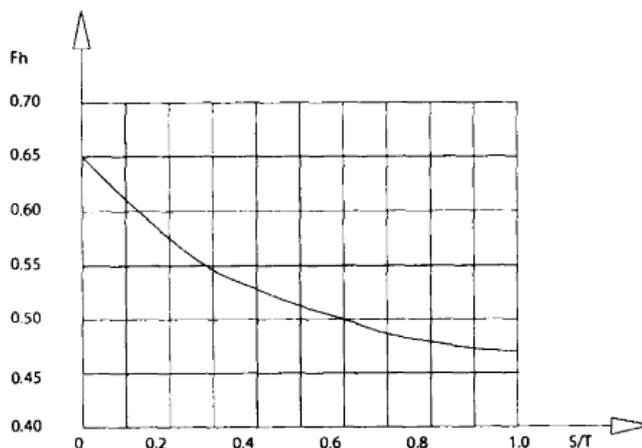


Figura 6.3 Dimensionamento pluviali

Dalle formulazioni precedenti si può quindi effettuare la verifica riportata in Tabella 6.1, da cui si evince che la portata del pluviale rispetta il grado di riempimento imposto dalla normativa UNI EN 12056, inoltre la bocca di efflusso risulta sufficiente per convogliare le portate generate dalla copertura.

$a_1$ (coeff. curva possibilità pluviometrica $Tr=25$ anni)	$a_1$	30.26	mm/h
$n$ (coeff. curva possibilità pluviometrica $Tr=25$ anni)	$n$	0.464	-
$w_t$ (coeff. curva possibilità pluviometrica $Tr=25$ anni)	$w_t$	1.80015	
Tempo di corrvazione	$T_c$	5	min
Intensità di pioggia critica	$I_c$	206.36	mm/h
Coefficiente di deflusso	$\psi$	1	-
Area copertura	$S$	268.00	$m^2$
Numero di pluviali	$n$	6	-
Area afferente ad un pluviale	$S_p$	44.7	$m^2$
<b>Portata pluviale</b>	<b><math>Q</math></b>	<b>2.56</b>	<b>l/s</b>
Diametro nominale DN	$\phi$	0.10	m
Altezza dell'acqua	$w$	0.14	m
Coeff. di carico alla bocca	$F_h$	0.47	-
Carico alla bocca di efflusso	$h$	0.07	m
Coeff. di scarico	$K_0$	1	-
<b>Capacità bocca di efflusso</b>	<b><math>Q_0</math></b>	<b>5.41</b>	<b>l/s</b>

Tabella 6.1 Verifica dei sistemi di scarico del nuovo fabbricato tecnologico Curno

La raccolta dell'acqua proveniente dai pluviali sarà realizzata per mezzo di canalette grigliate disposte tra il marciapiede ed il piazzale.

Canalette e Tubazioni

I collettori in PVC usati hanno diametro  $\phi 315$ , con pendenze minima di progetto fissate pari allo 0.4%; le canalette in cls grigliate disposte nel lato sud dell'edificio hanno dimensioni interne 20x20.5 cm con pendenza minima 0.5%, mentre la canaletta in cls grigliata disposta lungo il lato nord ha dimensioni interne 20x23 cm con pendenza minima fissata allo 0.5%.

Nel progetto in essere la quota assoluta del piano campagna, coincidente con la quota del nuovo piazzale, è pari a 235.55 m s.l.m

La verifica del diametro D delle tubazioni è stata effettuata con la formula di Chezy con  $K = 80 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  ed ipotizzando un riempimento massimo delle tubazioni pari a 50% al fine di garantire un sensibile margine di sicurezza; per la verifica delle canalette in cls è stato utilizzato un  $K = 66 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ . Il dimensionamento rispetta i limiti sulle velocità indicate da normativa. Nel capitolo 7 è riportata la tabella riassuntiva del dimensionamento delle canalette e dei collettori.

Per i dettagli relativi al posizionamento dei pozzetti e all'intero sistema di raccolta e smaltimento si rimanda all'elaborato "Planimetria smaltimento idraulico" Codice NBR02D26RIPZ0300001A.

## 6.2 DIMENSIONAMENTO E SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

Qualora sia impossibile oppure tecnicamente ed economicamente sconveniente recapitare le acque piovane di dilavamento ad un altro tipo di recettore che non sia il terreno, è necessario adottare un sistema che consenta una dispersione efficace sul suolo, compatibilmente con i parametri qualitativi imposti dalle norme vigenti.

Il calcolo del volume da assegnare alla vasca di laminazione V, necessario per laminare la portata in arrivo dalla piattaforma è effettuato risolvendo, con riferimento ad un bacino scolante con superficie S, al variare del tempo di pioggia  $t_p$  (espresso in ore), l'equazione di bilancio dei volumi, ossia:

$$V = V_{IN} - V_{OUT}$$

con:

- $V_{IN}$ , volume di pioggia entrante nel sistema di invaso in conseguenza ad un evento pluviometrico di durata t si può esprimere

$$V_{IN} = S \psi h(t) = S \psi a t^n$$

Dove  $\psi$  è il coefficiente di afflusso e S la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso.

Tale ipotesi è valida nell'ipotesi semplificativa che inizi la dispersione contestualmente all'inizio dell'evento piovoso.

Per la pioggia di progetto si farà riferimento ad eventi con tempo di ritorno di 50 anni (come richiesto da normativa) e durata superiore all'ora, con la curva di possibilità pluviometrica calcolata nella relazione idrologica del presente progetto. La durata superiore all'ora, per le piogge di progetto, è scelta in funzione dei suoli di modesta permeabilità [Jonason, 1984].

- $V_{OUT}$ , volume di pioggia in uscita dal sistema nello stesso intervallo di tempo si può esprimere

$$V_{out} = K j S t_p$$

Il calcolo dell'andamento temporale dei volumi drenati nel sottosuolo a dispersione ( $V_{out}$ ), è stato effettuato utilizzando lo schema di moto filtrante secondo la formulazione:

$$Q_u = K j S$$

dove  $k$  rappresenta la conducibilità idraulica,  $S$  la superficie del bacino drenato a monte del sistema di invaso e  $j$  la cadente idraulica (posta pari a 1).

Il valore di conducibilità idraulica,  $k = 7.5 \times 10^{-6}$  m/s, è stato dedotto dal "Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica", elaborato NB1R00D69RGGE0000001A, e dal "Profilo Geologico", elaborati NB1R00D69FZGE0001001A- NB1R00D69FZGE0001002A- NB1R00D69FZGE0001003A- NB1R00D69FZGE0001004A.

Individuata la durata di pioggia  $t_{cr}$  che massimizza il volume invasato  $V_{max}$  derivando l'espressione precedente secondo la relazione:

$$t_{cr} = \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

Il volume da assegnare al sistema di invaso sarà dunque:

$$V_{max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

In particolare, è da riferire che l'approccio adottato in accordo alle relazioni analizzate conduce a valutazioni del volume di laminazione  $V$  in favore di sicurezza, non tenendo conto degli effetti di laminazione nella rete di drenaggio; inoltre la superficie di infiltrazione viene valutata considerando, a vantaggio di sicurezza, solo l'area del fondo della vasca.

Nel progetto in essere non sono previsti scarichi verso corpi ricettori ma solo strutture di infiltrazione, di conseguenza come previsto dal Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8 - Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7, art. 11 comma 2 lettera e), il volume destinato alla laminazione viene ridotto del 30%.

Le superfici oggetto d'intervento sono riportate in Tabella 6.3, mentre in Tabella 6.4 sono riportate le caratteristiche geometriche della vasca di laminazione.

$S_{imp.} [m^2]$	$\psi_{imp.} [-]$	$S_{pavimentazione} [m^2]$	$\psi_{pavimentazione} [-]$	$S_{afferente} [m^2]$
375.00	1.00	735.92	0.70	890.14

Tabella 6.2 Superfici oggetto d'intervento

$b [m]$	$H [m]$	Lung. [m]	Area disperdente [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]
5.40	1.20	18.00	97.20	116.64

Tabella 6.3 Caratteristiche della vasca di laminazione

Nella Figura 6.4 è rappresentato l'andamento del volume teorico accumulato nella vasca a dispersione al variare del tempo di pioggia per un evento con tempo di ritorno di 50 anni; in particolare vengono

rapresentati i volumi: in ingresso ( $V_{IN}$ ), in uscita ( $V_{OUT}$ ) e la loro differenza ( $\Delta V$ ) ed il 70% del volume di laminazione.

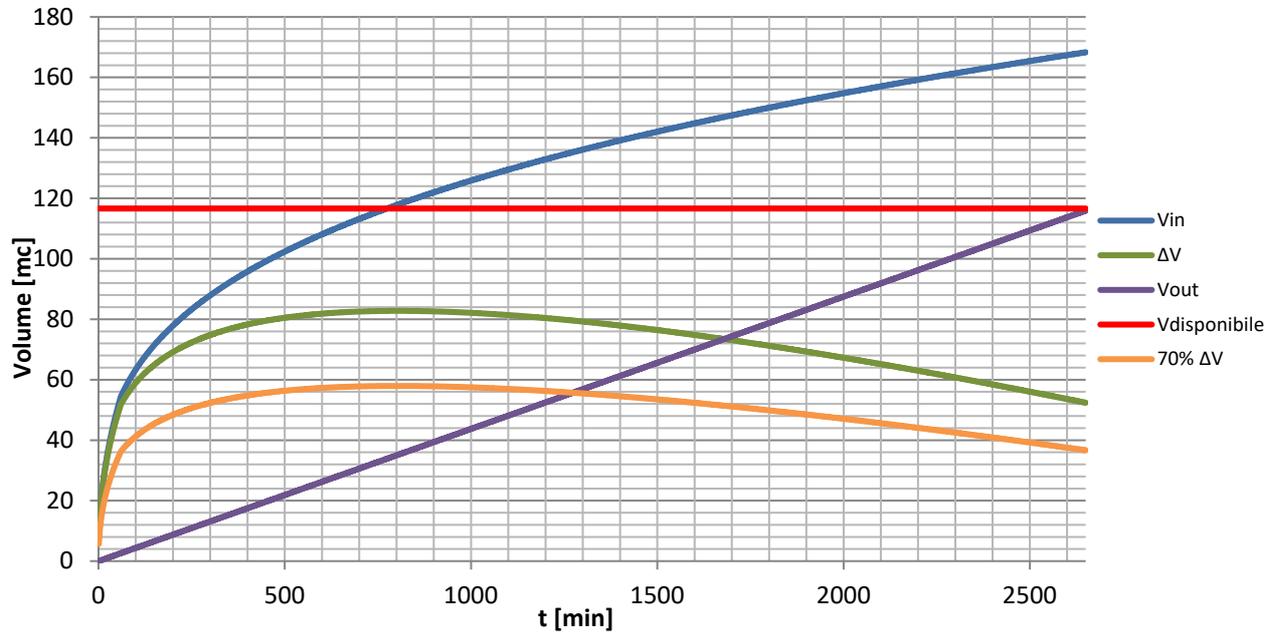


Figura 6.4 Dimensionamento trincea drenante

Il massimo volume di laminazione richiesto risulta essere pari a  $57.94\text{m}^3$ . Mentre il volume della vasca di delaminazione  $V_{\text{disponibile}} = 116.64\text{m}^3$ . Il rendimento massimo della vasca drenante  $\eta = 70\%$  si raggiunge dopo 804 min dall'evento meteorico.

t [min]	t [h]	h [mm]	$Q_{\text{offerente}}$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$V_{IN}$ [ $\text{m}^3$ ]	$V_{OUT}$ [ $\text{m}^3$ ]	$\Delta V$ [ $\text{m}^3$ ]	70% $\Delta V$ [ $\text{m}^3$ ]	$V_{\text{disponibile}}$ [ $\text{m}^3$ ]	$\eta$ [-]
804	13.40	132.50	0.00	117.94	35.17	82.78	57.94	116.64	0.71

La trincea drenante così dimensionata rispetta il tempo di vuotamento inferiore a 48 ore nel rispetto del Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8 - Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7, art. 11 comma 2 lettera f; inoltre garantisce il doppio funzionamento a dispersione e laminazione, consentendo il rispetto del principio di invarianza idraulica.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>RADDOPPIO PONTE SAN PIETRO-BERGAMO-MONTELO</b> <b>APPALTO 2: PRG PONTE SAN PIETRO E RADDOPPIO DELLA LINEA</b> <b>DA CURNO A BERGAMO</b>					
	<b>Relazione idraulica e di smaltimento acque</b>	COMMESSA NB1R	LOTTO 02	CODIFICA D 26 RI	DOCUMENTO FA 0300 001	REV. A

## 7 TABULATI DI DIMENSIONAMENTO

Le acque della copertura e delle superfici impermeabili sono raccolte all'interno delle canalette grigliate e attraverso una rete di collettori in PVC inviate al recapito finale; sono inoltre previste opportune caditoie per la raccolta delle acque superficiali di scolo che garantiscono l'allontanamento delle acque in eccesso dalla superficie del piazzale.

Il dimensionamento delle canalette e dei collettori è riportato in Tabella 7.1 In cui sono presenti i seguenti parametri:

- $S_{imp}$ , superficie di copertura afferente;
- $S_{pav}$ , superficie di pavimentazione afferente;
- $S_{tot}$ , superficie totale afferente;
- $L$ , lunghezza del collettore o della canaletta;
- $i$ , pendenza del collettore o della canaletta;
- $K_s$ , coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler;
- $\psi_{medio}$ , coefficiente di deflusso medio pesato;
- $w_{0c}$ , volume dei piccoli invasi e del velo idrico superficiale;
- $u$ , coefficiente udometrico;
- $Q$ , portata;
- $B/DN$ , dimensione della base interna della canaletta o del diametro nominale del collettore;
- $h$ , livello idrico;
- $GR$ , grado di riempimento raggiunto;
- $v$ , velocità;
- $\tau$ , tensione tangenziale;
- $S'$ , superficie totale comprensiva dei tratti di monte;
- $w_{0\ monte}$ , volume invasato nei tratti di monte;
- $w_{0t}$ , volume invasato totale;
- $W_{0l}$ , volume invasato nella canaletta o collettore di progetto;
- $H_{monte}$ , quota della canaletta o del collettore in corrispondenza del nodo di monte;
- $H_{valle}$ , quota della canaletta o del collettore in corrispondenza del nodo di valle.

Nodo monte	Nodo valle	S <sub>imp</sub>	S <sub>pav</sub>	S <sub>tot</sub>	L	i	K <sub>s</sub>	ψ <sub>medio</sub>	W <sub>0c</sub>	u	Q	B/DN	h	GR	v	τ	S'	V <sub>0monte</sub>	W <sub>0t</sub>	W <sub>0l</sub>	H monte	H valle
		ha	ha	ha	m	m/m	m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>	-	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	l s <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup>	l s <sup>-1</sup>	mm	m	%	m s <sup>-1</sup>	Pa	ha	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m s.l.m.	m s.l.m.
C1	P2	0.019	0.013	0.032	37.70	0.005	66.00	0.87	30.00	534.13	17.21	200x230	0.11	47	0.692	4.17	0.032	0.000	1.904	0.937	235.32	235.13
C2	P4	0.008	0.015	0.023	15.20	0.005	66.00	0.80	30.00	613.67	14.08	200x205	0.10	51	0.657	4.13	0.023	0.000	1.014	0.326	235.35	235.27
C3	P4	0.011	0.000	0.011	22.00	0.005	66.00	1.00	30.00	728.72	8.19	200x205	0.07	34	0.573	2.41	0.011	0.000	0.651	0.314	235.35	235.24
P1	P2	0.000	0.012	0.012	7.00	0.004	80.00	0.70	30.00	574.11	6.82	315	0.07	22	0.605	1.52	0.012	0.000	0.435	0.079	234.44	234.41
P2	P3	0.000	0.010	0.010	9.80	0.004	80.00	0.70	30.00	361.55	19.44	315	0.12	39	0.779	3.36	0.054	1.323	3.779	0.244	234.41	234.37
P3	P5	0.000	0.012	0.012	22.50	0.004	80.00	0.70	30.00	301.20	19.74	315	0.12	39	0.791	3.36	0.066	1.613	5.168	0.561	234.37	234.28
P4	P5	0.000	0.000	0.000	3.30	0.004	80.00	0.00	0.00	394.87	13.50	315	0.09	32	0.708	2.57	0.034	1.025	2.530	0.063	234.75	234.74
P5	REC	0.000	0.015	0.015	1.20	0.004	80.00	0.70	30.00	184.75	21.19	315	0.12	40	0.821	3.48	0.115	2.991	14.127	0.031	234.74	234.73

Tabella 7.1 Dimensionamento dei collettori e delle canalette con il metodo dell'invaso