

AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE - BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E
TANGENZIALE DI BOLOGNA
INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE
INTERMEDIA DI PIANURA

PROGETTO DEFINITIVO

CORPO STRADALE

IDROLOGIA E IDRAULICA SISTEMA DI DRENAGGIO ACQUE DI PIATTAFORMA

RELAZIONE IDRAULICA DI DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Paolo De Paoli
Ord. Ingg. Pavia N. 1739

Responsabile Idraulica

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Raffaele Rinaldesi
Ord. Ingg. Macerata N. A1068


IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Gianluca Salvatore Spinazzola
Ord. Ingg. Milano N. A26796

T.A. - Strade

CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE 00
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111443	0000	PD	RQ	IDR	00000	DP000	D	IDR	0006	-	SCALA 1:2000

	ENGINEER COORDINATOR:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Arch. Flavio Camboni Ing. Raffaele Rinaldesi						n.	data
							-	DICEMBRE 2021
	REDATTO:			VERIFICATO:				

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Fabio Visintin

VISTO DEL CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibili
DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE
E I SISTEMI INFORMATIVI

AUTOSTRADA (A14): BOLOGNA – BARI – TARANTO TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO

POTENZIAMENTO DEL SISTEMA TANGENZIALE DI BOLOGNA TRA BORGO PANIGALE E SAN LAZZARO INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE

INTERMEDIA DI PIANURA

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDRAULICA DI DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

INDICE

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2.1	Normativa Nazionale	5
2.2	Normativa regionale	9
2.3	Autorità di bacino	10
2.4	Consorzi Di Bonifica	11
3.	IDROLOGIA	12
4.	SISTEMA DI DRENAGGIO DELLA PIATTAFORMA	15
4.1	Controllo quantitativo e qualitativo delle acque meteoriche	15
4.2	Requisiti prestazionali	16
1.1	Schema di drenaggio	16
4.3	Struttura del sistema e tipologia delle opere in progetto	18
4.3.1	Sezioni in rilevato	19
4.3.2	Sezioni in presenza di rilevati realizzati alleggeriti su terre armate:	20
4.3.3	Sezioni in viadotto	21
4.4	Verifiche idrauliche del sistema di drenaggio stradale	23
4.5	Modello di trasformazione afflussi-deflussi	24
4.6	Dimensionamento dei fossi di laminazione	25
4.6.1	Verifica delle soglie di sfioro dei fossi di laminazione	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.7	Verifiche elementi marginali - tubazioni	26
4.7.1	L'allontanamento delle acque dalla sede stradale	27
4.7.2	Determinazione dell'interasse degli elementi marginali	29
4.7.3	Verifica delle canalette continue grigliate in PEAD 25 x20 cm.	31
4.7.4	Verifica collettori	33
5.	RETICOLO IRRIGUO	34
6.	ALLEGATO 1: Dimensionamento e verifica del sistema di drenaggio	37
6.1	Tabelle Dimensionamento Caditoie viadotti – Scarichi	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.2	Tabelle Dimensionamento Canalette Discontinue - Scarichi	Errore. Il segnalibro non è definito.
6.3	Tabelle Dimensionamento Fossi	37

1. PREMESSA

Il progetto Intermedia di Pianura collega i Comuni di Calderara e Castenaso creando una rete viaria di interesse provinciale con funzione intercomunale di connessione fra la direttrice Persicetana e la direttrice Lungo Savena. In particolare, l'infrastruttura in esame congiunge i distretti industriali di Sala Bolognese, Calderara, Castel Maggiore, Bologna, Granarolo e Castenaso, fornendo una viabilità per l'appunto "intermedia" tra la S.P.3 Trasversale di Pianura e la Tangenziale di Bologna. Oltre a ciò, essa costituisce un raccordo con le principali viabilità radiali del Comune di Bologna quali la Padullese, la Galliera, la Saliceto, l'autostrada A13, la Porrettana e la Lungo Savena. L'Intermedia di Pianura è una strada di connessione/distribuzione costituita dalla successione di strade comunali esistenti cui, tuttavia, mancano dei tratti per realizzare una viabilità continua in grado di collegare alcune delle zone industriali principali della Provincia. A tal fine, il progetto individuato prevede la ricucitura della rete viaria esistente razionalizzando e raccordando tra loro i vari tratti di strade comunali.

La presente relazione si occupa del dimensionamento dal punto di vista idraulico del sistema di drenaggio e smaltimento delle acque di piattaforma, inteso sia come opere longitudinali che trasversali, necessarie all'allontanamento delle precipitazioni dal manto stradale.

Considerata l'esigenza di impedire lo sversamento diretto nei corsi d'acqua naturali soggetti a maggior tutela individuati dalle autorità competenti delle sostanze inquinanti accidentalmente immesse nella rete di drenaggio, si rende necessario progettare per tali recapiti un sistema di canalizzazioni di tipo che intercetti l'acqua di pioggia ricadente sulla sede viaria e la convogli in punti caratterizzati da manufatti di scarico che prevedano l'accumulo e successivo smaltimento dei detriti trasportati, nonché attuino la disoleazione delle acque nel caso essa sia prevista; dati poi il vincolo imposto dal PTA (piano di tutela delle acque) della regione Emilia Romagna riguardante la laminazione delle nuove superfici stradali impermeabili realizzate, secondo il parametro di volume necessario pari a 500 m³ per ettaro di superficie impermeabile e l'indicazione di limitare a 15 l/s ha il contributo di piena generato della nuova infrastruttura, i manufatti destinati alla laminazione saranno posizionati al termine di strutture di invaso (quali i fossi inerbiti/rivestiti) e dotati di bocche tarate per la parzializzazione degli scarichi nel recettore finale. Per i corpi d'acqua a minor tutela i manufatti di scarico saranno di tipo aperto, ma anch'essi dotati di sistema di laminazione munito di bocche tarate. Su tali manufatti si è poi prevista la presenza di una soglia sfiorante di emergenza in grado di convogliare tutta la portata generata dai bacini afferenti. I manufatti di scarico si dividono quindi in aperti e chiusi, in funzione della presenza o meno del disoleatore. Le opere in progetto sono quindi dimensionate per eventi meteorici con un adeguato tempo di ritorno, pari a 25 anni.

I corpi idrici dell'area per i quali si applica la maggior tutela e che richiedono sistemi di scarico di tipo chiuso sono lo Scolo Riolo, il Savena Abbandonato, il Canale Navile, lo Scolo Zenetta di Quarto e il Fiume Reno

Oltre a questi, è considerata a tutela anche una fascia identificata nel PTRC come fascia di ricarica, in adiacenza al fiume Reno, all'interno della quale ricadono i lotti B e C, per i quali risulta uniforme l'applicazione di sistemi chiusi.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa Nazionale

Di seguito vengono riportate le principali leggi nazionali in materia ambientale e di difesa del suolo, accompagnate da un breve stralcio descrittivo.

- RD 25/07/1904 n° 523
Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.
- Regio Decreto Legislativo 30/12/1923, n° 3267
Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.
La legge introduce il vincolo idrogeologico.
- DPR 15/01/1972 n° 8
Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici.
- L. 64/74
Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- DPR 24/7/1977 n° 616
Trasferimento delle funzioni statali alle Regioni
- L. 431/85 (Legge Galasso)
Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale.
- L. 183/89
Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.
Scopo della legge è 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 comma 1).

Vengono inoltre individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione (art. 3); vengono istituiti il Comitato Nazionale per la difesa del suolo (art. 6) e l'Autorità di Bacino (art. 12).

Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale (artt. 13, 14, 15, 16) e date le prime indicazioni per la redazione dei Piani di Bacino (artt. 17, 18, 19).

- L. 142/90
Ordinamento delle autonomie locali.
- DL 04-12-1993 n° 496
Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (Convertito con modificazioni dalla L. 61/94).
- L. 36/94 (Legge Galli)
Disposizioni in materia di risorse idriche.
- DPR 14/4/94
Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, N. 183.
- DPR 18/7/95
Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei Piani di Bacino.
- DPCM 4/3/96
Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della Legge Galli).
- Decreto Legislativo 31/3/1998, n° 112
Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59
- DPCM 29/9/98
Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, N. 180.
Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (punto 2) e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia (punto 3).
- L. 267/98 (Legge Sarno)
Conversione in legge del DL 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania.
La legge impone alle Autorità di Bacino nazionali e interregionali la redazione dei Piani Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio (art. 1).
- DL 152/99
Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.
- DL 258/00
Disposizioni correttive e integrative del DL 152/99.
- L. 365/00 (Legge Soverato)

Conversione in legge del DL 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della Regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000.

La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile (art. 1); individua la procedura per l'adozione dei progetti di Piano Stralcio (art. 1-bis); prevede un'attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio (art. 2).

- DLgs 152/2006

Ha riorganizzato le Autorità di bacino introducendo i distretti idrografici. Tale Decreto legislativo disciplina, in attuazione della legge 15 dicembre 2004, n. 308, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche. Istituisce i distretti idrografici nei quali sarà istituita l'Autorità di bacino distrettuale, che va a sostituire la o le Autorità di Bacino previste dalla legge n. 183/1989. In forza del recente d.lgs 8 novembre 2006, n. 284, nelle more della costituzione dei distretti idrografici di cui al Titolo II della Parte terza del d.lgs. 152/2006 e della revisione della relativa disciplina legislativa con un decreto legislativo correttivo, le Autorità di Bacino di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, sono prorogate fino alla data di entrata in vigore del decreto correttivo che, ai sensi dell'articolo 1, comma 6, della legge n. 308 del 2004, definisca la relativa disciplina. Fino alla data di entrata in vigore del decreto legislativo correttivo di cui al comma 2-bis dell'articolo 170 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, come inserito dal comma 3, sono fatti salvi gli atti posti in essere dalle Autorità di Bacino dal 30 aprile 2006.

Inoltre l'articolo 113 del medesimo Decreto legislativo, stabilisce, in materia di controllo dell'inquinamento prodotto dal dilavamento delle acque meteoriche, che “..le regioni disciplinano:..b) i casi in cui può essere richiesto che le immissioni delle acque di dilavamento ...siano sottoposte a particolari prescrizioni..”, art. 113 comma 1, e che “... i casi in cui può essere richiesto.. siano convogliate e opportunamente trattate.. in relazione alle attività svolte, vi sia il rischio di dilavamento da superfici impermeabili scoperte di sostanze pericolose..”, art. 113 comma 3.

- DM 14/01/2008

"Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" Il decreto si compone di due articoli e precisamente dell'articolo 1 con cui viene approvato il testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni ad eccezione delle tabelle 4.4.III e 4.4.IV e del Capitolo 11.7. Le nuove norme sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 settembre 2005.

Nel paragrafo 5.1.7.4, denominato “Smaltimento dei liquidi provenienti dall’impalcato”, si prescrive che: “... il progetto del ponte deve essere corredato dallo schema delle opere di convogliamento e di scarico. Per opere di particolare importanza, o per la natura dell’opera stessa o per la natura dell’ambiente circostante, si deve prevedere la realizzazione di un apposito impianto di depurazione e/o decantazione.”

Successivamente con il DM 06/05/2008 "Integrazioni al decreto 14 gennaio 2008" sono stati approvati il capitolo 11.7 e le tabelle 4.4.III e 4.4.IV del testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni allegate al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.

- Decreto n. 131 del 16/06/2008

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare - Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del Decreto Legislativo n. 152 del 3/04/2006 recante: "Norme in materia ambientale", predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 4, dello stesso decreto. (GU n. 187 del 11/08/2008 - Suppl. Ordinario n. 189)

- Decreto n. 56 del 14/04/2009

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare - Regolamento recante "Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del Decreto Legislativo n. 152 del 3/04/2006 recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo" (GU n.124 del 30/05/2009 - Suppl. Ordinario n. 83)

Si riportano inoltre gli estremi di alcune leggi riguardanti la progettazione e la verifica dei ponti stradali:

- L. 532/1904

Testo unico sulle opere idrauliche. Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali

- D. Min. LL.PP 4 maggio 1990

Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali.

"Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da una relazione riguardante i problemi idrologici, idrografici ed idraulici relativi alle scelte progettuali, alla costruzione e all'esercizio del ponte.

L'ampiezza e l'approfondimento della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all'importanza del problema e al grado di elaborazione del progetto.

Una cura particolare è da dedicare, in ogni caso, al problema delle escavazioni dell'alveo ed alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

La trattazione dei citati problemi dovrà avvenire nel rispetto del testo unico 25 luglio 1904, n. 523 e successivi aggiornamenti." (Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali – par. 2.4)

- Circ. LL.PP. n° 34233 del 25/02/1991

Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali

....Gli elementi del ponte, quali le opere di sostegno, di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo di un corso d'acqua, specie se di qualche importanza, dovranno far parte di un progetto unitario.....

Nel caso in cui l'opera di attraversamento sia costituita, oltre che dal ponte vero e proprio, anche da uno o due rilevati collocati in alveo, dovranno essere valutate quali modifiche possono prodursi a monte dell'opera in conseguenza della riduzione della luce libera rispetto a quella primitiva.....

La quota idrometrica e il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto anche in considerazione della tipologia dell'opera e delle situazioni ambientali.....

2.2 Normativa regionale

- Delibera della giunta regionale 14 febbraio 2005 n. 286

Attuazione al D.lgs 152/1999, ha per oggetto la tutela delle acque, tra cui, art.1, comma 1 c), le acque meteoriche e di lavaggio delle aree esterne di cui all'art. 39 del decreto legislativo citato.

L'art.2 comma III definisce:

“Altre condotte separate”: sistema di raccolta ed allontanamento dalle superfici impermeabili delle acque meteoriche di dilavamento costituito da canalizzazioni a tenuta o condotte dedicate non collegate alla rete fognaria delle acque reflue urbane e disgiunte fisicamente e funzionalmente dagli insediamenti e dalle installazioni dove si svolgono attività commerciali o di produzione di beni. Rientrano in questo ambito, ad esempio, i sistemi a tale scopo adibiti delle reti stradali ed autostradali e delle relative opere connesse (ponti, gallerie, viadotti, svincoli, ecc.)...

L'art.7.2 – La gestione delle acque di prima pioggia e delle acque meteoriche di dilavamento:

I – Per le nuove opere ed i nuovi progetti di intervento di cui al precedente punto 7.1 – lettera a) (opere soggette e VIA), le prescrizioni per il contenimento dell'inquinamento prodotte dalle acque di prima pioggia derivanti dalle “altre condotte separate” possono trovare applicazione nei casi in cui tali acque siano immesse direttamente o in prossimità di corpi idrici superficiali “significativi” e di “interesse” inseriti nel PTA.

II – Per i corpi idrici diversi da quelli richiamati al precedente punto I l'adozione di specifiche prescrizioni per la gestione delle acque di prima pioggia legate alle immissioni delle condotte di cui trattasi è determinata sulla base delle esigenze di tutela e protezione dei corpi idrici ricettori stabilite dagli strumenti di pianificazione provinciale (Piano territoriale di Coordinamento provinciale - PTCP), secondo i criteri di valutazione richiamati al precedente punto I.

III – Le prescrizioni da adottarsi ai sensi dei precedenti punti I e II avranno a riferimento, di norma, soluzioni progettuali di tipo strutturato che garantiscano la raccolta ed il convogliamento delle acque di prima pioggia in idonei bacini di raccolta e trattamento in grado di sedimentare le acque raccolte prima dell'immissione nel corpo ricettore. Trattamenti aggiuntivi (quali ad esempio la disoleatura)

saranno prescritti in ragione della destinazione d'uso e di attività delle aree sottese dall'"altre condotte separate" che danno origine alle predette immissioni. Dette soluzioni possono essere finalizzate anche al trattamento dell'acqua di prima pioggia mediante la realizzazione di sistemi di tipo naturale i quali la "fito-depurazione" o le "fasce filtro/fasce tampone".

IV – Riguardo al diffuso sistema di raccolta allontanamento delle acque meteoriche di dilavamento dalle reti stradali ed autostradali e delle relative opere connesse, l'eventuale applicazione delle prescrizioni per la gestione delle acque di prima pioggia, di cui ai precedenti punti I e II, s'intende riferita esclusivamente alle canalizzazioni/condotte a tenuta responsabili delle immissioni diretta nei corpi recettori, con esclusione delle "cunette bordo strada" in terra adibite all'allontanamento delle acque meteoriche dalla sede stradale. Al riguardo, sono fatte salve le disposizioni regionali emanate ai sensi dell'art. 21 del decreto in materia di aree di salvaguardia delle acque destinate al consumo umano.

- Delibera giunta regionale 18 dicembre 2006 n. 1860

Tale delibera concerne "Linee guida d'indirizzo per la gestione delle acque meteoriche di dilavamento e acque di prima pioggia in attuazione alla deliberazione G.R. del 14 febbraio 2005 n° 286". Contiene specifiche Linee guida attuative in merito, tra gli altri aspetti, agli orientamenti tecnici di riferimento "per la scelta e la progettazione dei sistemi di gestione delle acque di prima pioggia da altre condotte separate con particolare riferimento a quelle asservite alla rete viaria".

- Piano di Tutela delle Acque (PTA)

Approvato dall'Assemblea Legislativa con Deliberazione n. 40 del 21 dicembre 2005, sul BUR - Parte Seconda n. 14 del 1 febbraio 2006 si dà avviso della sua approvazione, mentre sul BUR n. 20 del 13 febbraio 2006 si pubblicano la Delibera di approvazione e le norme.

2.3 Autorità di bacino

I corsi d'acqua interferiti dalle opere in progetto che appartengono all'Autorità di Bacino del Fiume Reno sono il fiume Reno stesso ed il torrente Savena abbandonato.

Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) ad oggi vigente è stato adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino con delibera C.I. AdB Reno n. 1/1 del 06.12.2002.

Con delibera della Giunta Regionale n. 567 del 07.04.2003, la Regione Emilia-Romagna ha approvato il piano per il territorio di competenza (così come previsto dal comma 2 dell'art. 19 della L. 18 maggio 1989 n. 183 e s.m.i.). Il piano è entrato in vigore con la pubblicazione sul B.U. Regione Emilia-Romagna il 14.05.2003.

Le prescrizioni dell'AdB sono riportate nella Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B"

adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Reno n.1/1 del 5 marzo 2014, approvato con deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 857 del 17/06/2014 ed entrato in vigore con la pubblicazione nel BUR del 2 luglio 2014.

In particolare, per quanto riguarda la portata di progetto per le verifiche idrauliche dei ponti si deve normalmente rispettare i seguenti valori:

per i corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali, non inferiore a quello assunto per la delimitazione della Fascia B (200 anni);

per i corsi d'acqua non interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali non inferiore a 100 anni.

2.4 Consorzi Di Bonifica

Il Consorzio di Bonifica interessato dall'ampliamento di potenziamento del sistema tangenziale di Bologna è il seguente:

- Consorzio di Bonifica Renana.

Per completezza, si rammenta che l'intervento ricade pienamente all'interno del territorio del suddetto consorzio i cui ambiti territoriali si estendono dal fiume Reno fino al confine con la regione Toscana, nella direzione Nord - Sud, e all'incirca dal comune di Calcara al comune di San Pietro Terme nella direzione Est - Ovest.

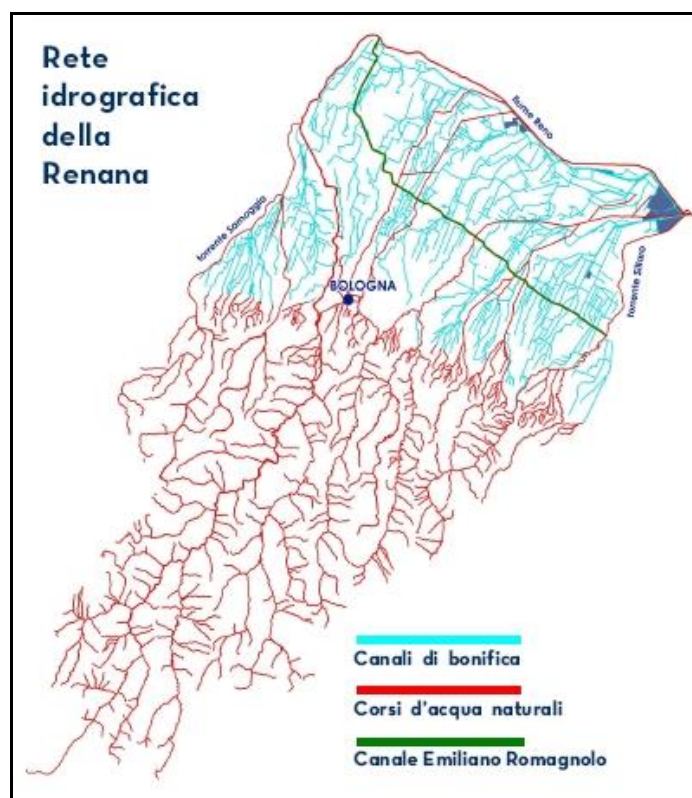


Figura 1 Rete idrografica Bonifica Renana

Nella progettazione si rispetteranno tutti i vincoli imposti dai consorzi sui corsi d'acqua di propria competenza.

I canali e scoli principali intersecati dalle opere sono, da ovest verso est:

- Gli scoli Canocchietta, Calderara, Peloso, Stelloni, Botte, Carsè, Cadriano e Zenetta di Quarto

3. IDROLOGIA

Per la determinazione del regime pluviometrico della zona si è fatto riferimento ai risultati ricavati nell'ambito dello studio *“La valutazione delle piogge intense su base regionale”* (A. Brath, M. Franchini, 1998) di seguito descritto.

Lo studio citato ha come oggetto la definizione del Metodo VAPI-pioggie al territorio appartenente alle regioni amministrative Emilia-Romagna e Marche.

I modelli regionali VAPI si basano sull'ipotesi di esistenza di regioni compatte e idrologicamente omogenee all'interno delle quali le portate di colmo normalizzate rispetto ad una portata di riferimento – la portata indice – siano descrivibili da una stessa distribuzione di probabilità, denominata curva di crescita.

In particolare l'area in esame è stata suddivisa in 5 zone omogenee, come mostrato in Figura 2, per le quali valgono i valori dei parametri della curva di crescita riportati nella Tabella 1.

L'area oggetto di intervento ricade all'interno della Zona E.

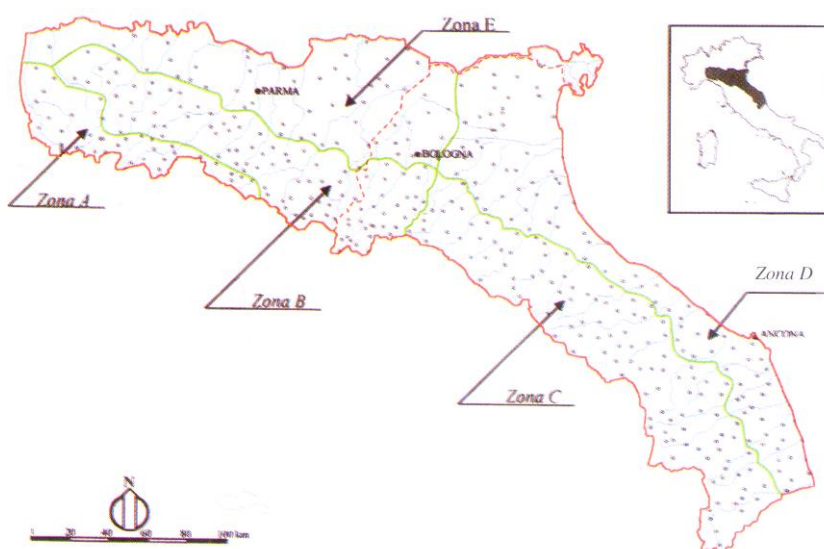


Figura 1 Zone omogenee con riferimento regime di frequenza delle piogge intense

Tabella 1 Parametri delle curve di crescita relative al modello TCEV per le varie durate

Zona	λ	θ	λ_1	η	Note
Zona	0.109	2.361	24.70	4.005	Valida per tutte le durate
Zona B	1.528	1.558	13.65	4.651	Valida per d = 1 ora
			19.35	5.000	Valida per d = 3 ore
			26.20	5.303	Valida per d = 6 ore
			39.20	5.706	Valida per d ≥ 12 ore ed 1
Zona C			13.65	4.615	Valida per d = 1 ora
			14.70	4.725	Valida per d = 3 ore
			20.25	5.046	Valida per d = 6 ore
			25.70	5.284	Valida per d ≥ 12 ore ed 1
Zona	0.361	2.363	29.00	4.634	Valida per tutte le durate
Zona E	0.044	3.607	13.60	3.328	Valida per d = 1 ora
			19.80	3.704	Valida per d = 3 ore
			23.65	3.882	Valida per d = 6 ore
			30.45	4.135	Valida per d ≥ 12 ore ed 1

La curva di crescita si ricava invertendo l'espressione (3.1) scritta in funzione del tempo di ritorno, mentre la pioggia indice viene calcolata mediante la (3.2):

$$P(x) = \exp \left[-\lambda_1 \exp(-x \eta) - \lambda \lambda_1^{1/\theta} \exp(-x \eta / \theta) \right] \quad (3.1)$$

$$\mu = m_1 \cdot d^{\frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)}} \quad (3.2)$$

$m(h24)$ = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione di durata d(24 ore);

m_G = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera;

m_1 = media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione in 1 ora;

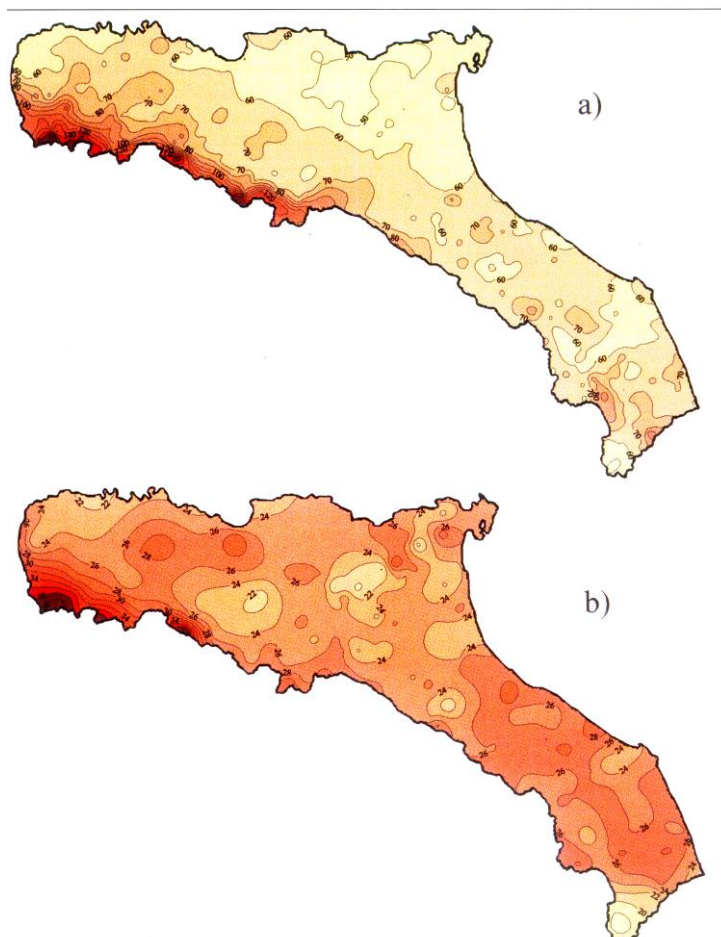
$\gamma = m_G / m(h24) = 0.89$ nella regione esaminata.

Per la determinazione dei parametri m_1 e m_G si fa riferimento alle isolinee riportate in Figura 3.

In conclusione, si ricava che il parametro a delle LSPP è pari al prodotto del coefficiente m_1 per la curva di crescita, mentre il parametro n è pari a:

$$n = \frac{\ln(m_G) - \ln(\gamma) - \ln(m_1)}{\ln(24)} \quad (3.3)$$

Figura 2 Isolinee delle altezze medie di pioggia massime annuali della durata di 1 giorno (a) e 1 ora (b).



Per l'area di intervento, ricadente nella "zona omogenea E", sono stati stimati valori dei parametri m_1 e m_6 pari rispettivamente a 24 e 60, mentre il parametro γ , che, come dimostrato da numerosi studi, risulta poco variabile da sito a sito, assume il valore di 0.89.

Dalle formule sopra riportate, si ottiene un valore del parametro "n" uguale per tutte le durate considerate e per tutti i tempi di ritorno, mentre il parametro "a" varia sia in funzione della durata sia del tempo di ritorno. Per poter avere per ogni tempo di ritorno un'unica formula per il calcolo delle portate dei corsi d'acqua, si è calcolato il parametro "a" in modo da minimizzare gli scarti.

La Tabella 2 riporta i valori calcolati per i parametri "a" e "n" delle LSPP, validi per le diverse durate e i valori del parametro "a" interpolati.

Tabella 2 Valori dei parametri delle LSPP per diversi TR

a	T _R (anni)				n
	25	50	100	200	
1 ora	45.43	53.22	63.31	77.01	0.32
3 ore	43.25	50.25	59.31	71.63	
6 ore	42.36	49.05	57.69	69.44	
12 ore	41.24	47.51	55.63	66.66	
Interpolato	42.68	49.40	58.10	69.91	

Le leggi di pioggia calcolate sono valide per tempi di corrvazione superiori all'ora. Per determinare le leggi di pioggia valide per eventi di breve durata, utilizzate per il dimensionamento del **sistema di drenaggio**, si è utilizzato lo studio di Calenda e altri (1993) basato su un campione di 8 anni di dati di pioggia registrati al pluviometro di Roma Macao. Questo studio evidenzia come il rapporto tra l'altezza di pioggia di 5 minuti e quella oraria sia pressoché costante in tutta Italia e pari a 0.278. Imponendo questa condizione ed il passaggio per l'altezza di pioggia oraria si ottiene il valore del parametro **n** per tempi di pioggia inferiori all'ora pari a **0.515**. In questo caso si utilizzeranno i valori del parametro **a** relativi alla durata di un'ora.

Tabella 3 Valori dei parametri delle LSPP per diversi TR e durate inferiori all'ora

a	T _R (anni)				n
	25	50	100	200	
1 ora	45.43	53.22	63.31	77.01	0.515

4. SISTEMA DI DRENAGGIO DELLA PIATTAFORMA

Il sistema di drenaggio garantisce la raccolta delle acque meteoriche ricadenti sulla superficie pavimentata ed il trasferimento dei deflussi fino al recapito mediante reti di collettori e/o fossi inerbiti laminanti; il recapito è costituito dalle aste di qualsivoglia ordine della rete idrografica naturale o artificiale, purché compatibili quantitativamente e qualitativamente.

4.1 Controllo quantitativo e qualitativo delle acque meteoriche

Per quanto concerne il controllo quantitativo degli scarichi, i fossi sono stati dimensionati in modo da consentire il recupero di 500 mc/ettaro di nuova superficie pavimentata come prescritto dalle Norme tecniche del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dell'autorità di Bacino del fiume Reno.

La laminazione all'interno dei fossi sarà garantita da manufatti terminali di controllo dotati di luce tarata per la regolazione delle portate in uscita.

Per quanto riguarda invece il controllo qualitativo degli scarichi, in ottemperanza alla normativa vigente, il sistema di drenaggio è stato suddiviso in due categorie: sistema aperto e sistema chiuso.

Il sistema di drenaggio che prevede lo scarico dell'acqua di piattaforma nel recettore finale tramite manufatti per il controllo qualitativo dell'acqua dilavante la piattaforma è denominato "sistema chiuso" mentre il sistema di drenaggio che prevede lo scarico libero dell'acqua di piattaforma nel recettore finale, senza l'interposizione di presidi idraulici per il trattamento delle acque meteoriche, è denominato "sistema aperto".

Gli ambiti in cui è previsto il sistema di tipo chiuso (costituito dal fosso che funge da sedimentatore e dal manufatto di controllo che funziona da disoleatore) sono stati definiti come segue:

1. aree in cui le acque di piattaforma vengono immesse direttamente o in prossimità di corpi idrici superficiali "*significativi*" e di "*interesse*" inseriti nel PTA;
2. aree in cui le acque di piattaforma vengono immesse in ricettori per i quali sono definiti obiettivi di qualità secondo le Norme del PTA;
3. aree in cui le acque di piattaforma vengono immesse in ricettori per i quali si indicano esigenze di tutela e vincoli stabiliti dagli strumenti di pianificazione provinciale (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – PTCP);

4.2 Requisiti prestazionali

Le soluzioni per lo smaltimento delle acque meteoriche ricadenti sulla pavimentazione stradale dipendono dalle diverse situazioni ed esigenze che si incontrano nello studio della rete drenante, e dovranno soddisfare i seguenti requisiti fondamentali:

- garantire, ai fini della sicurezza degli utenti in caso di forti precipitazioni, un immediato smaltimento delle acque evitando la formazione di ristagni sulla pavimentazione stradale; questo si ottiene assegnando alla pavimentazione un'adeguata pendenza trasversale e predisponendo un adeguato sistema di raccolta integrato negli elementi marginali e centrali rispetto alle carreggiate;
- convogliare, ove necessario, tutte le acque raccolte dalla piattaforma ai punti di recapito presidiati, separandole dalle acque esterne che possono essere portate a recapito senza nessun tipo di trattamento;
- laminare le acque di piattaforma relative alle nuove superfici pavimentate in ottemperanza alle *Norme tecniche del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico* che impongono il recupero di 500m³/(ha) di nuova superficie impermeabilizzata;
- evitare che le acque di ruscellamento esterne alle trincee possano determinare l'allagamento della sede viabile.

1.1 Schema di drenaggio

Il sistema di drenaggio è suddiviso in tre parti fondamentali:

- Elementi di raccolta: costituiscono il sistema primario, possono essere elementi continui marginali alla carreggiata o discontinui, ad interassi dimensionati in modo da limitare i tiranti idrici in piattaforma

garantendo la sicurezza degli utenti. Rientrano negli elementi di raccolta gli embrici, le canalette grigliate continue o discontinue e le caditoie grigliate.

- Elementi di convogliamento: rappresentano un sistema secondario, a valle degli elementi di raccolta. Gli elementi del sistema primario scaricano nel sistema secondario; si garantisce così la funzionalità del sistema primario e si evitano rigurgiti in piattaforma ottimizzando la sicurezza dell'infrastruttura. Gli elementi di convogliamento sono costituiti da canalizzazioni a cielo aperto (fossi rivestiti e non predisposti per laminazione) e da collettori in genere. Tali elementi provvedono al trasferimento delle acque verso i recapiti.
- Elementi di recapito: sono individuati in funzione della vulnerabilità, a seguito delle indicazioni provenienti dagli enti competenti, possono essere aperti o chiusi. Sono posizionati al termine dei fossi di laminazione e scaricano nei corsi d'acqua naturali, nei canali irrigui e nei fossi di scolo della viabilità esistente.

Il tipo di elemento di raccolta da prevedere sull'infrastruttura dipende strettamente dal tipo di sezione che viene considerata. Le sezioni si possono suddividere in:

- sezione in rilevato;
- sezione in rilevato su muri interra armata;
- sezione in viadotto;

Il sistema di drenaggio, a seconda della pendenza trasversale della piattaforma stradale, si può schematizzare in:

- drenaggio su entrambi i lati, tipologia presente nei tratti rettilinei (esterno della carreggiata);
- drenaggio su di un solo lato, presente nei tratti in curva.

Gli elementi costitutivi del sistema di drenaggio sono stati quindi individuati in funzione del tipo di drenaggio e della sezione corrente dell'infrastruttura, secondo lo schema riportato nella seguente tabella; tale schematizzazione resta, comunque, passibile di modifiche laddove esigenze locali del sistema di drenaggio, dell'infrastruttura o dei recapiti le dovessero richiedere.

Tipo di drenaggio	Sezione stradale	Elemento di drenaggio
Marginale laterale, uno o entrambi i lati	rilevato	embrici con scarico ad intervalli regolari nel fosso al piede con recapito in fosso inerbito
		canaletta grigliata discontinua a passo calcolato con scarico ad intervalli regolari nella tubazione sottostante e scarico con recapito in pozzetto e in fosso inerbito

	rilevato in terra armata alleggerito con pista ciclabile	canaletta grigliata continua sul lato cordolo corto con recapito in pozzetto e poi in fosso – lato ciclabile con canaletta continua in pead con recapito in pozzetto e in fosso inerbito
	rilevato con muro di sostegno	canaletta grigliata discontinua con scarico ad intervalli regolari nella tubazione sottostante e scarico con recapito in pozzetto e i in fosso inerbito
	viadotto	caditoie grigliate a passo calcolato con scarico nella tubazione sottostante, successiva discesa e scarico in fosso inerbito

Tabella 4 Sistema di drenaggio in funzione della tipologia viabilistica

Il tracciato stradale può, infine, essere suddiviso in due categorie definite in base all'inserimento o meno di presidi idraulici prima del recapito nel ricettore finale. Il sistema di drenaggio che prevede il convogliamento dell'acqua di piattaforma ai presidi idraulici è denominato "sistema chiuso" (con trattamento), in quanto permette il trattamento dell'acqua dilavante la piattaforma e l'immagazzinamento degli sversamenti accidentali. Qualora l'acqua di piattaforma venga scaricata direttamente nella reticolo naturale, senza l'interposizione di presidi idraulici, il sistema drenante è denominato "aperto" (senza trattamento).

Gli elementi primari e secondari di raccolta e convogliamento stati ottimizzati sulla base dello studio delle sezioni stradali, delle planimetrie e dei profili di progetto.

4.3 Struttura del sistema e tipologia delle opere in progetto

Prima di entrare nel dettaglio dell'argomento in oggetto è doveroso fare una breve descrizione del progetto di viabilità per il quale tale sistema è stato pensato. Come già esposto nella premessa, trattasi di viabilità di collegamento tra tratte esistenti al fine di migliorare la mobilità del tessuto urbano. Sono presenti due tipologie di realizzazione, una riguardante la nuova viabilità in senso stretto, una di rifacimento della viabilità esistente con miglioramento della stessa dal punto di vista delle caratteristiche viabilistiche.

Il progetto si divide quindi in tratte denominate mediante codice alfanumerico da ovest verso est; troviamo quindi le tratte dalla A alla E.

Al fine di assicurare lo smaltimento delle acque meteoriche interessanti la sede viaria, è stato progettato un sistema di drenaggio a gravità in grado di convogliare, con un margine di sicurezza adeguato, le precipitazioni intense verso i recapiti individuati.

Il sistema di raccolta delle acque meteoriche di piattaforma è stato dimensionato e verificato sulla base della precipitazione di progetto e con gli obiettivi di:

- limitare i tiranti idrici sulle pavimentazioni a valori compatibili con la loro transitabilità;

- garantire margini di capacità per evitare rigurgiti delle canalizzazioni che possano dare luogo ad allagamenti localizzati.
- garantire una linea idraulica chiusa sino al punto di controllo prima dello scarico nella rete idrografica naturale.

Il tracciato stradale in esame si sviluppa principalmente in rilevato, con presenza di alcuni tratti in viadotto. Si riporta di seguito una breve descrizione del sistema di smaltimento previsto in corrispondenza delle varie tipologie di sezioni stradali di progetto.

4.3.1 Sezioni in rilevato

Le sezioni in rilevato prevedono, come elemento marginale di captazione delle acque meteoriche, l'impiego di embrici a passo regolare e calcolato, scaricanti in fossi inerbiti al piede del rilevato. In corrispondenza dello scarico il fosso è protetto mediante rivestimento. Nel caso di presenza di pista ciclabile, come riportato nelle tavole dei particolari idraulici allegate al progetto, sarà presente una testa d'embrice in grado di convogliare le acque dalla viabilità alla ciclabile; al ciglio di questa il drenaggio continua con embrice e fosso di scarico al piede del rilevato.

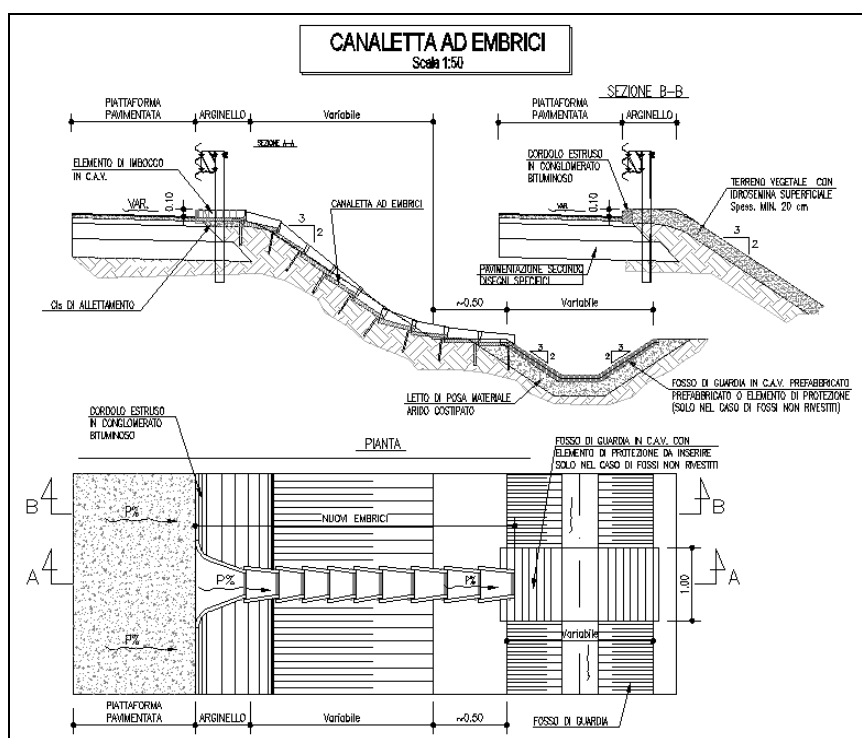


Figura 3 Pianta vista e sezionbne tipologia scarico con embrici

Le sezioni in rilevato che non permettono il posizionamento di un fosso di laminazione al piede vengono drenate mediante l'utilizzo di una canaletta grigliata discontinua in PEAD di altezza pari a 25 cm, larghezza 20 cm e lunghezza pari a 1m. L'elemento è posto longitudinalmente, ai bordi esterni delle banchine. Le canalette assolvono la funzione di primo elemento ricettore, si prevede quindi il successivo scarico di queste

ultime nella tubazione sottostante mediante collettori discendenti DN 160, previsti a opportuni interassi. Lungo detta tubazione sono stati previsti pozzetti d'ispezione sfalsati rispetto ai suddetti punti di scarico, con passo di 50 metri.

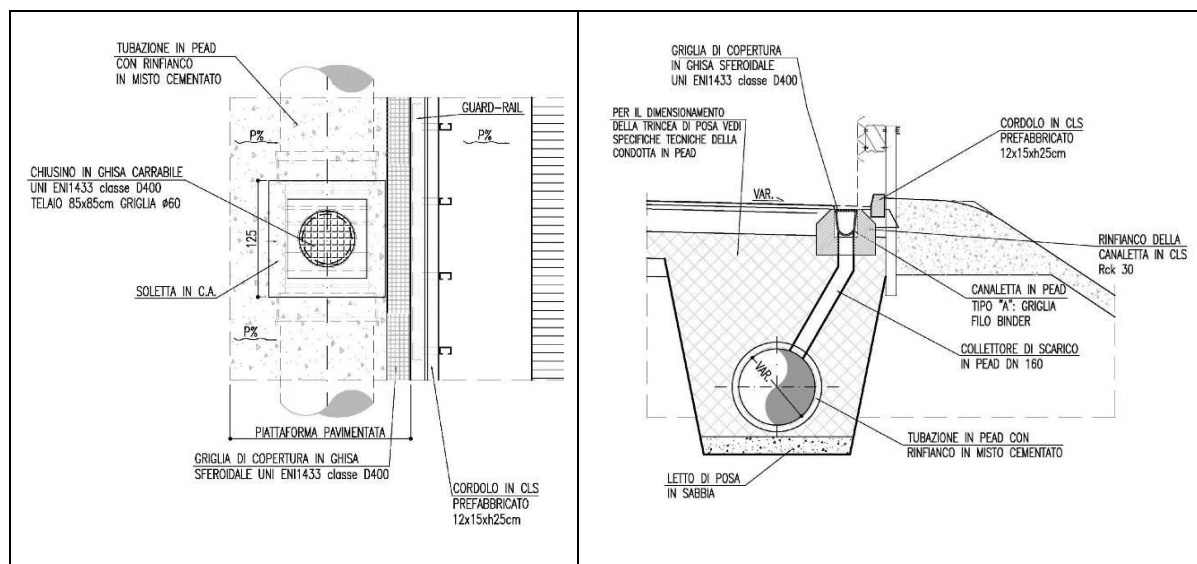


Figura 4 Pianta tipo pozzetto di ispezione e sezione tipo con scarico nella sezione longitudinale nel caso di rilevato

Le tubazioni di drenaggio, in PEAD con diametro nominale variabile tra i 400 e i 630 mm, sono protette da un calottamento in calcestruzzo, qualora necessario, e sono poste altimetricamente in modo da garantire un ricoprimento minimo, rispetto all'estradosso della tubazione, di circa 0.6 m; le pendenze delle tubazioni seguono generalmente quelle della piattaforma, ma non sono mai inferiori allo 0.2%.

4.3.2 Sezioni in presenza di rilevati realizzati alleggeriti su terre armate:

In presenza di rilevati realizzati alleggeriti su terre armate si procede al posizionamento di una canaletta continua in PEAD di altezza pari a 25 cm e larghezza 20 cm, posto in continuità all'estremità del cordolo delimitante la banchina stradale. Al passaggio tra rilevato su muri in terra armata e rilevato convenzionale la canaletta scarica in un pozzetto, dal quale le acque vengono recapitate mediante un collettore in PP SN 16 KN/m² al fosso inerbito sottostante.

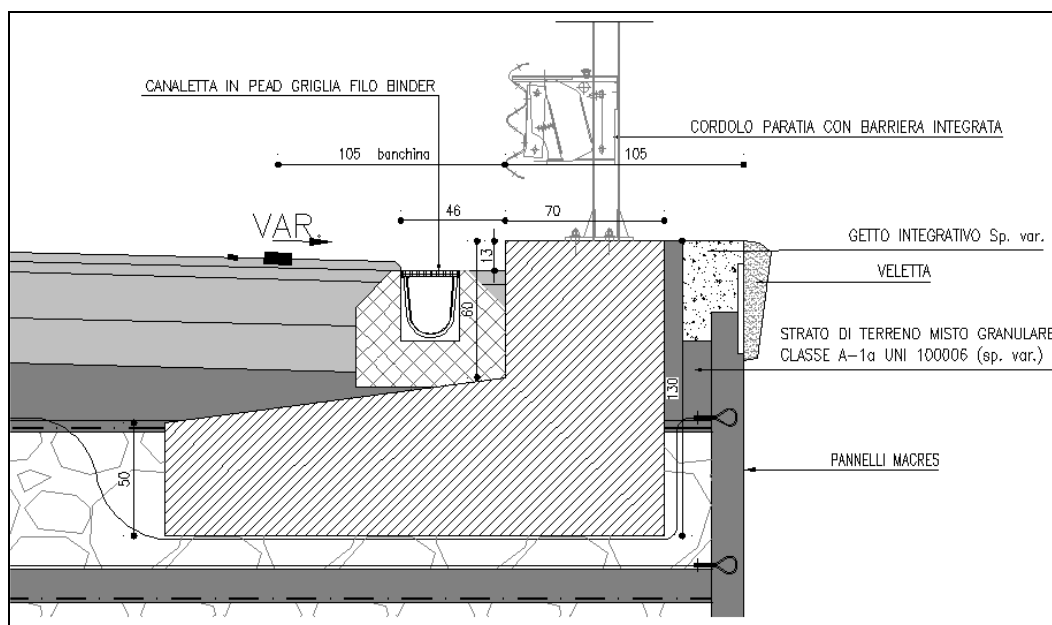


Figura 5 Sistema di drenaggio su muri in terra armata

In presenza di rilevati realizzati alleggeriti su terre armate con predisposizione per pista ciclabile, il drenaggio viene realizzato anch'esso mediante canaletta prefabbricata in pead continua. A passo regolare lungo il cordolo sono presenti le trasparenze necessarie a convogliare le acque alla canaletta.

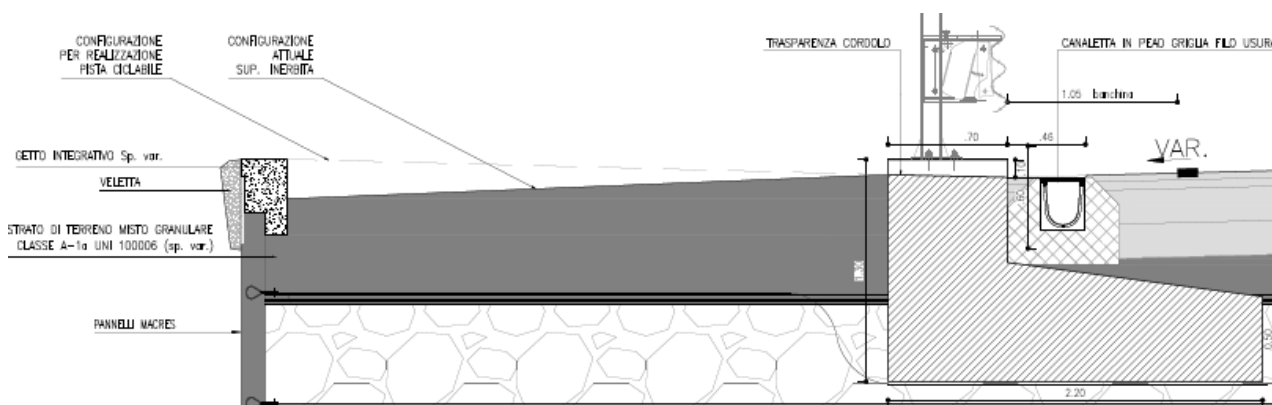


Figura 6 Sistema di drenaggio su muri in terra armata in presenza di predisposizione per pista ciclabile

4.3.3 Sezioni in viadotto

Nonostante la presenza di diverse tipologie di viadotto, il sistema di drenaggio avviene in tutti i casi mediante caditoie con passo regolare calcolato. Le acque che precipitano sul manto stradale nei tratti in viadotto defluiscono longitudinalmente sul bordo della pavimentazione, in una canaletta ideale delimitata lateralmente dal cordolo dell'impalcato ed inferiormente dalla superficie pavimentata. I deflussi vengono scaricati, tramite caditoie poste al margine della carreggiata, in un collettore in PRFV, di diametro nominale

variabile tra i 300 e gli 400 mm, longitudinale sospeso all'intradosso dell'impalcato oppure appoggiato e vincolato ad esso.

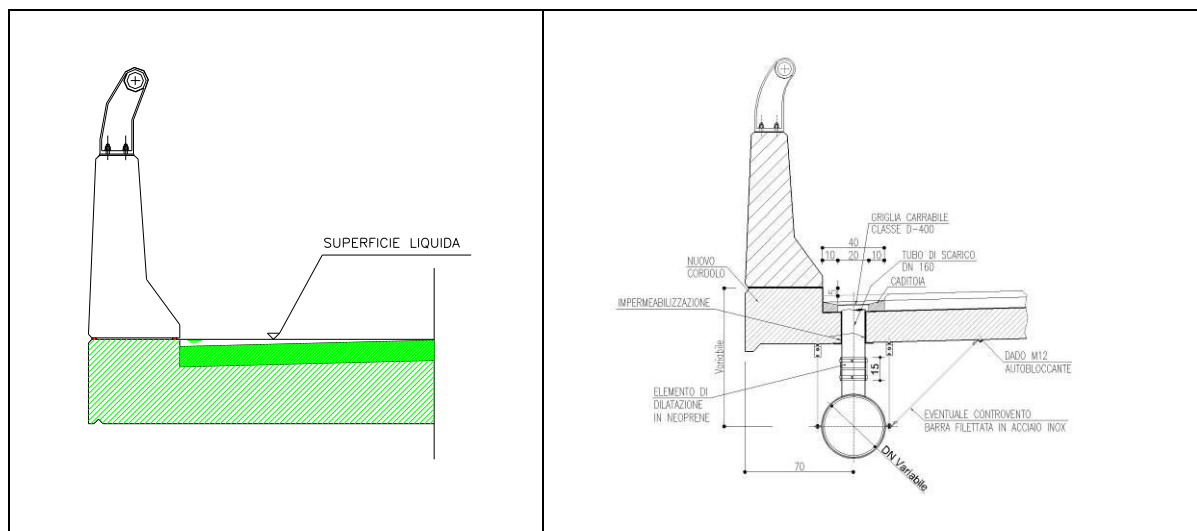


Figura 7 Elementi marginali di convogliamento delle acque meteoriche e sezione tipo di scarico nel collettore secondario in viadotto

Nei tratti di viadotto con predisposizione per la realizzazione di eventuale pista ciclabile, come accade sul viadotto di attraversamento del fiume Reno, i deflussi giungono alle caditoie poste oltre il cordolo della barriera di sicurezza mediante opportune trasparenze realizzate nel cordolo stesso. Le portate vengono poi scaricate in un collettore in PRFV, di diametro nominale di 400 mm, longitudinale sospeso all'intradosso dell'impalcato.

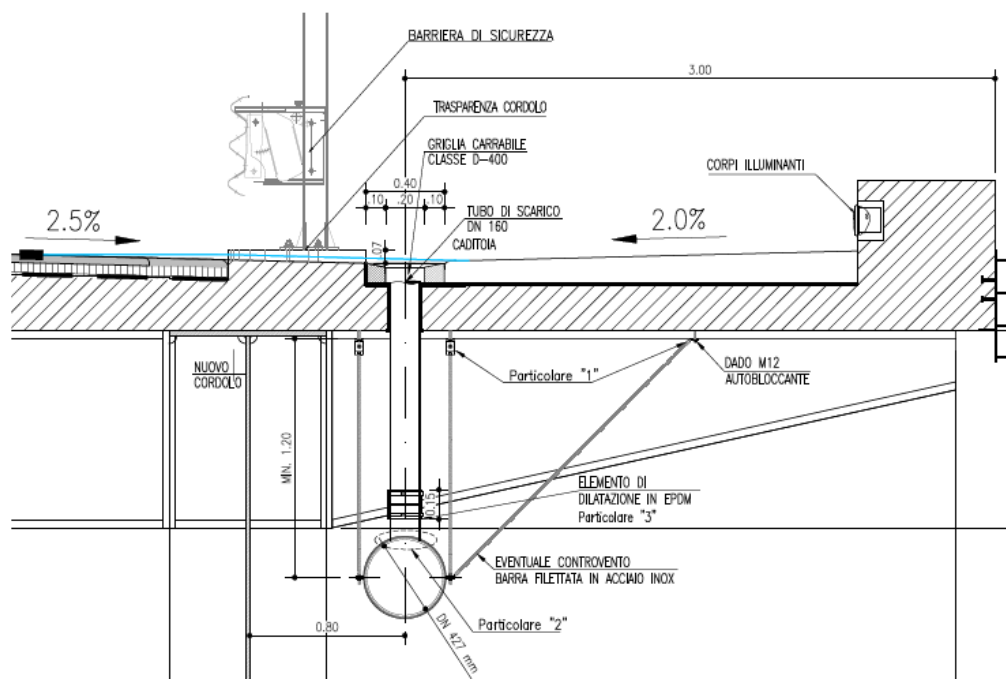


Figura 8 Elementi marginali di convogliamento delle acque meteoriche e sezione tipo di scarico nel collettore secondario in viadotto nel caso di presenza di predisposizione per pista ciclabile

4.4 Verifiche idrauliche del sistema di drenaggio stradale

Il dimensionamento di una generica opera idraulica dipende in prima analisi dalla definizione del cosiddetto rischio d'insufficienza che dovrà caratterizzare l'opera stessa durante la fase di esercizio; tale rischio fissa la probabilità che occasionalmente si possano manifestare eventi estremi più gravosi di quelli compatibili con le caratteristiche idrauliche dell'opera, quindi con portate e/o volumi complessivi maggiori di quelli previsti, con conseguenti esondazioni, ristagni d'acqua ed in ultima analisi danni a cose e persone.

Discende da ciò che nei calcoli di verifica, o dimensionamento, occorre preliminarmente stabilire quale rischio d'insufficienza si voglia accettare. In altri termini occorre fissare il valore del tempo di ritorno T di progetto, definito come il numero di anni che mediamente intercorre tra due eventi di entità uguale o superiore a quella di progetto.

La definizione del tempo di ritorno dell'evento pluviometrico di progetto è effettuata generalmente sulla base del compromesso fra due obiettivi:

- contenere la frequenza attesa delle insufficienze funzionali del sistema di drenaggio, rappresentata, nel caso in esame, dagli allagamenti dell'infrastruttura;
- contenere i costi di intervento, compatibilmente con i vincoli progettuali e territoriali.

Detto compromesso, che dovrebbe discendere da analisi tipo costi-benefici, conduce, in base all'esperienza ingegneristica, ad adottare valori del tempo di ritorno dell'ordine di 5-10 anni nel caso di dimensionamento di una rete di drenaggio urbano.

Nel caso in esame è sembrato opportuno adottare un tempo di ritorno pari a:

- **25 anni** per il dimensionamento del sistema di canalette, caditoie, embrici e fossi di laminazione

Individuato il tempo di ritorno, è possibile definire la probabilità di superamento dell'evento di progetto in un periodo di N anni di esercizio ossia il rischio d'insufficienza, definito dalla relazione:

$$R_N(T) = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Con: $R_N(T)$ = rischio di insufficienza idraulica associabile al tempo di ritorno T (anni) ed alla vita utile N dell'opera (anni).

Nella figura qui di seguito si riporta l'andamento del rischio idraulico al variare del tempo di ritorno e della vita attesa dell'opera.

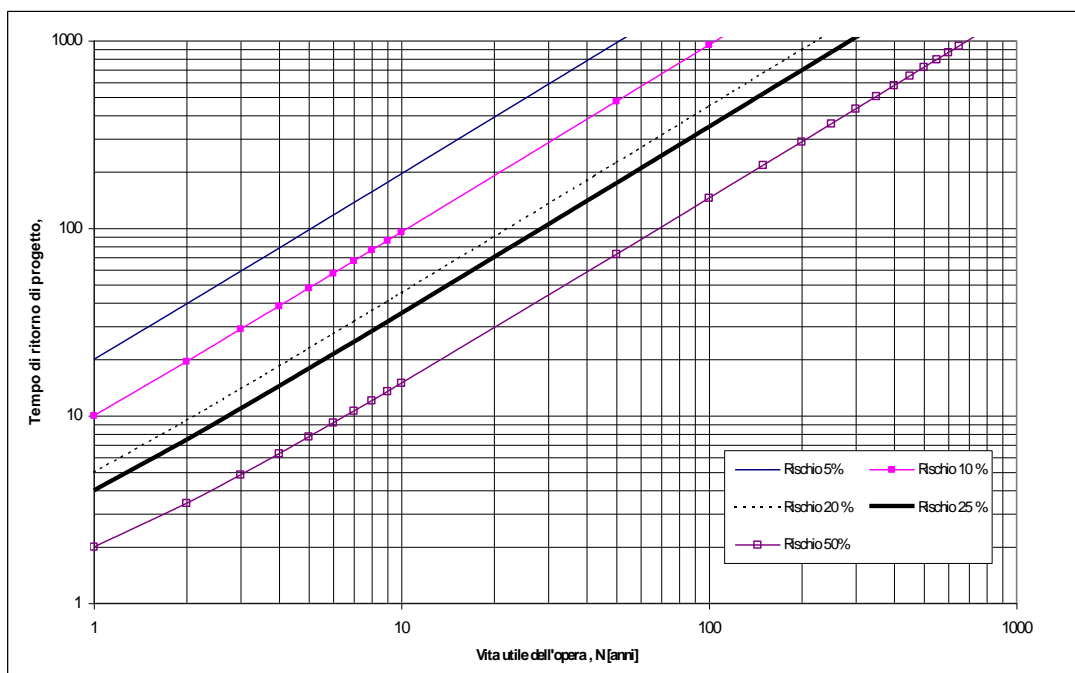


Figura 9 Andamento del rischio idraulico al variare del tempo di ritorno di progetto e della vita utile dell'opera

Nei paragrafi che seguono verranno illustrati i risultati delle analisi atte a definire le caratteristiche idrauliche del sistema di drenaggio stradale. Con riferimento ad un periodo di un anno, assumendo valori di tempo di ritorno pari a 25 anni, la probabilità teorica di insufficienza idraulica risulterebbe del 4%, mentre con tempi di ritorno di 50 anni risulterebbe del 2%. Ciò significa che, nel caso specifico esiste una probabilità valutabile attorno al 2-4% che il sistema di drenaggio stradale possa entrare in crisi nell'arco di un anno.

4.5 Modello di trasformazione afflussi-deflussi

La determinazione delle portate defluenti nelle sezioni di chiusura dei sottobacini stradali è stata effettuata mediante l'applicazione di un particolare modello afflussi-deflussi, quello dell'invaso lineare.

Assumendo l'ipotesi di pioggia costante e con riferimento ad una funzione IUH del tipo:

$$u(t) = \frac{1}{k} e^{-t/k}$$

la portata al colmo per l'evento critico è data dalla relazione:

$$Q_c = 2.78 \cdot \phi \cdot S \cdot D(n) a k^{n-1}$$

ove ϕ è il coefficiente d'afflusso (1 per la piattaforma stradale e 0.4 per le superfici inerbite delle scarpate), S [ha] la superficie scolante afferente, a [mm/oraⁿ] ed n [adm] i parametri della linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, presi dallo studio idrologico a cui si rimanda, k [ore] la costante d'invaso e D una funzione del parametro n (D assunto nei calcoli = 0.65); il coefficiente. 2.78 serve a rendere omogenee tra loro le unità di misura affinché il valore di portata ottenuto risulti espresso in [l/s].

La costante d'invaso k è stata calcolata utilizzando il metodo *Urbis* (definito presso il *Politecnico di Milano* dai proff. Paoletti e Mignosa):

$$k = 0.7 \theta_c = 0.7 \left(T_e + \frac{T_r}{1.5} \right)$$

dove T_e è il tempo d'ingresso in rete, ipotizzato pari a 180 s date le dimensioni delle superfici in gioco; T_r è il cosiddetto tempo di traslazione della rete di drenaggio pari a $\sum L_i/V_i$ (L_i = lunghezza della tratta i -esima nel percorso idraulicamente più lungo e V_i = velocità di moto uniforme in corrispondenza del massimo riempimento del collettore/manufatto della i -esima tratta); θ_c è il tempo di corrivazione dell'intero bacino.

4.6 Dimensionamento dei fossi di laminazione

Il dimensionamento dei fossi di laminazione prevede una procedura di calcolo piuttosto articolata. Tale procedura è comandata da alcuni parametri fondamentali:

- PTA regione Emilia Romagna, che impone, per le nuove superfici afferenti impermeabili, un volume di invaso che sia almeno pari a 500 mc/ha di superficie impermeabile.
- Normativa di invarianza idraulica, che prevede un coefficiente udometrico massimo di 15 l/s ha di superficie
- Le soglie di sfioro presenti in corrispondenza dei manufatti di laminazione devono essere in grado di caricare le massime portate afferite dal bacino contribuente.

Con tali premesse si è quindi costruita una procedura di dimensionamento che viene qui di seguito riassunta:

- 1) Definisco un bacino contribuente omogeneo per caratteristiche viabilistiche e/o morfologiche
- 2) Calcolo i parametri fondamentali del bacino, quali lunghezza asta principale, pendenze, superficie afferente,
- 3) Fisso il tempo di ingresso in rete pari a 3 minuti e calcolo il tempo di corrivazione del bacino
- 4) Calcolo portata esistente;
- 5) Impongo che la portata in uscita dalla bocca tarata del tratto in esame coincida con la portata esistente;

- 6) Calcolo il volume di laminazione con il metodo delle sole piogge imponendo che il $t^* \geq t_c$;
- 7) Calcolo volume moto uniforme;
- 8) Ricavo volume effettivamente disponibile per la laminazione, imponendo una pendenza media del fosso pari a 0.2% e tratti omogenei di circa 100 m;
- 9) Confronto che il volume utile del fosso sia maggiore del volume idrico invasato;
- 10) Controllo che il volume invasato sia maggiore del volume minimo di normativa (500mc/ha);
- 11) Verifico che il franco minimo sia rispettato;
- 12) Se le verifiche non sono positive aumento la dimensione del fosso;
- 13) A verifiche positive calcolo, il valore del diametro della bocca tarata.

Nell'appendice A sono riportate le tabelle di dimensionamento dei fossi di laminazione, delle bocche tarate, degli elementi marginali.

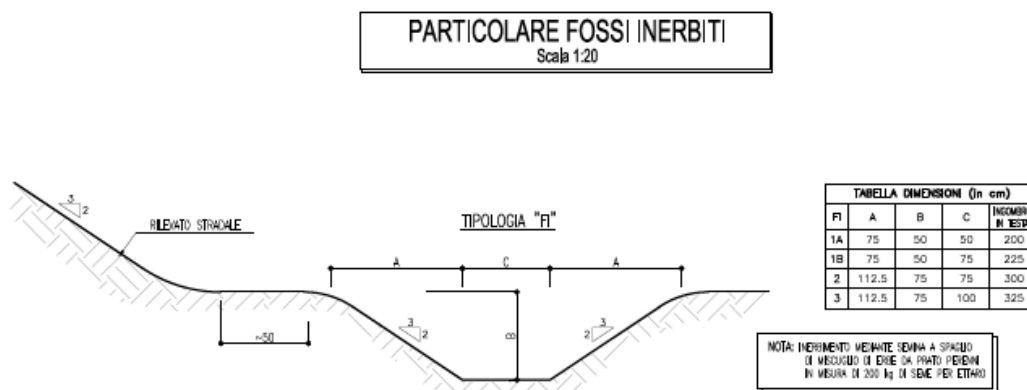


Figura 10 Dimensioni dei fossi inerbiti

4.7 Verifiche elementi marginali - tubazioni

Il moto all'interno dei vari rami della rete sarà descritto adottando uno schema di moto uniforme, come è usuale in casi simili al presente. Sarà per questo adottata la formula di Chézy per verificare le scale di deflusso delle canalizzazioni adottate:

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

dove:

- Q è la portata di progetto del ramo;
- K_s è il coefficiente di scabrezza di Strickler;
- A è l'area bagnata della sezione ;
- R è il raggio idraulico;

- i è la pendenza longitudinale.

Per quanto attiene i valori del coefficiente di scabrezza di Strickler:

- $k_s = 80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per tubazioni e canalette in PEAD e tubazioni in PRFV (rete di drenaggio stradale);
- $k_s = 60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per canalette e tubazioni in cls.

Nel caso di pendenze elevate (esempio sui viadotti o nei tratti di viabilità afferenti al tunnel) la verifica del collettore è stata fatta calcolando il riempimento del tubo considerando, però, non l'altezza di moto uniforme ma quella critica (che si instaura nel caso la corrente diventi veloce).

4.7.1 L'allontanamento delle acque dalla sede stradale

Laddove possibile, la raccolta e l'allontanamento delle acque di piattaforma verrà effettuata tramite la realizzazione di fossi di laminazione ai piedi del rilevato stradale che colleteranno le acque nei ricettori individuati nelle planimetrie idrauliche allegate.

Si considera in questa sede la larghezza corrispondente alla banchina stradale, pari a 1.05 m con sezione liquida triangolare $b=105 \text{ cm}$ e $y=3 \text{ cm}$ per pendenza trasversale pari a 2.5% e 7.3 cm per pendenza trasversale pari a 7% (viabilità in curva) che scarica in caditoie a griglia delle dimensioni di 50x50cm, oppure a stramazzo mediante embrici. Lateralali o canalette a passo costante.

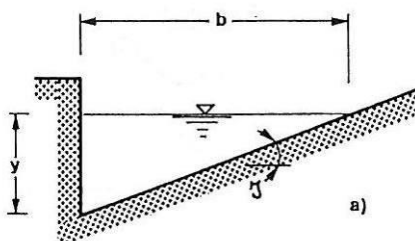


Figura 11 Banchina a sezione triangolare

La portata massima smaltibile dalla banchina in funzione della pendenza longitudinale della strada è stata calcolata con la legge di Gauckler-Strickler:

$$Q = K \cdot A \cdot R^{2/3} i^{1/2} \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

con: K = coefficiente di scabrezza pari a $70 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$

i = pendenza longitudinale

A = Area Bagnata in mq

C = Contorno bagnato in m

R = Raggio idraulico in m

Con i valori sopra riportati risulta che la banchina è in grado di convogliare per la pendenza longitudinale dello 0.5% una portata pari a:

- 20 l/s per pendenza trasversale pari a 7%
- 5 l/s per pendenza trasversale pari a 2.5%

Channel Analysis

Type: **Triangular** Define...

Side slope 1 (Z1): **0.01** H : 1V

Side slope 2 (Z2): **14.38** H : 1V

Channel width (B): **0.0** (m)

Pipe diameter (D): **0.0** (m)

Longitudinal slope: **0.005** (m/m)

☐ Override default

Manning's roughness: **0.0143**

☐ Use lining

Lining type: **Woven Paper Net**

Permissible shear stress: **7.2** (N/m²)

☐ Enter flow: **0.020** (cms)

☒ Enter depth: **0.073** (m)

Calculate

Plot... Compute Curves...

OK Cancel

Parameter	Value	Unit
Flow	0.020	cms
Depth	0.073	m
Area of Flow	0.038	sq m
Wetted Perimeter	1.125	m
Hydraulic Radius	0.034	m
Average Velocity	0.520	m/s
Top Width (T)	1.050	m
Froude Number	0.868	
Critical Depth	0.000	m
Critical Velocity	0.024	m/s
Critical Slope	32282...	
Critical Top Width	0.002	m
Calculated Max Sh...	3.578	N/m ²
Calculated Avg She...	1.670	N/m ²

Figura 12 Risultato moto uniforme banchina pendenza 7%

The screenshot shows the 'Channel Analysis' window. On the left, input parameters are set for a triangular channel with side slopes of 0.01 and 35.0, a channel width of 0.0, and a longitudinal slope of 0.005. Manning's roughness is 0.0133, and the lining type is 'Woven Paper Net'. On the right, a table displays calculated parameters:

Parameter	Value	Unit
Flow	0.005	cms
Depth	0.030	m
Area of Flow	0.016	sq m
Wetted Perimeter	1.080	m
Hydraulic Radius	0.015	m
Average Velocity	0.317	m/s
Top Width (T)	1.050	m
Froude Number	0.827	
Critical Depth	0.000	m
Critical Velocity	0.001	m/s
Critical Slope	40240...	
Critical Top Width	0.000	m
Calculated Max Sh...	1.470	N/m^2
Calculated Avg She...	0.715	N/m^2

Figura 13 Risultato moto uniforme banchina pendenza 2.5%

Quando l'apporto di acqua piovana di un determinato tratto di strada raggiunge la predetta portata massima, la banchina non sarà più in grado di smaltire le portate affluenti, per cui si dovrà prevedere un elemento marginale che consenta di convogliare le acque lontano dalla sede stradale.

La verifica del passo degli elementi marginali è quindi stata effettuata sia mediante la massima capacità di smaltimento dell'elemento considerato per il tratto in esame sia confrontandolo alla capacità della banchina stradale così come sopra riportato. Il valore minore tra i due stabilisce il passo dell'elemento marginale in questione.

In siffatta maniera si è certi che la carreggiata non sarà invasa da battenti idrici che potrebbero causare fenomeni di acquaplaning.

4.7.2 Determinazione dell'interasse degli elementi marginali

L'interasse delle caditoie, degli scarichi delle canalette è valutato con la seguente formula:

$$X_{cad} = \frac{Q_{max}}{q_o}$$

dove con Q_{max} si è indicata il valore minimo tra la portata massima convogliabile dall'elemento marginale e quella massima scaricabile nel collettore sottostante.

Il valore della portata massima convogliabile è stato calcolato imponendo l'esistenza di un determinato franco di sicurezza, ossia, ad esempio, imponendo che il grado di riempimento della canaletta sia inferiore all'80% (il grado di riempimento è il rapporto tra il tirante idrico effettivo ed il tirante massimo ammissibile).

Il moto all'interno dei vari lati della rete è stato descritto adottando uno schema di moto uniforme, come è usuale in casi simili al presente. E' stata per questo adottata la formula di Chézy per ricavare le scale di deflusso delle canalizzazioni adottate:

$$Q = K_s AR^{2/3} i^{1/2} \quad (5)$$

dove: K_s è il coefficiente di scabrezza di Strickler (pari a $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per il cls, 80 per il PEAD e PRFV));

A è l'area del condotto;

R è il raggio idraulico;

i è la pendenza media del condotto.

Nel caso di canalette grigliate e caditoie la portata massima scaricabile è stata calcolata attraverso la portata effluente da una luce di fondo secondo la relazione:

$$Q = C_c A \sqrt{2gh_1}$$

Dove: C_c è il coefficiente contrazione assunto pari a 0,61

A è l'area della luce con $D=0,152$ diametro interno del tubo in PVC DN160 mm

$h_1 = y$, profondità di moto uniforme nella canaletta o nella cunetta ideale

La portata massima è quindi:

$$Q_{\max} = \min\{Q_{\text{moto_uniforme}}, Q_{\text{luce_a_battente}}, Q_{\text{canaletta}}\}$$

Nei tratti in viadotto in cui le acque defluiscono longitudinalmente sul bordo della pavimentazione si è ipotizzato che il deflusso avvenga in una cunetta triangolare ideale delimitata dal manto e dal cordolo stradale. In questo caso le caditoie devono essere posizionate ad una distanza tale che la vena liquida non superi né il livello del cordolo stradale né la larghezza della banchina, per non allagare la carreggiata.

Per gli embrici analogamente:

$$X_{\text{cad/embr.}} = \frac{Q_{\max}}{q_o}$$

dove con Q_{\max} si è indicata, appunto, la portata massima scolante in un determinato tratto di piattaforma stradale.

La portata che un embrice è in grado di convogliare è stata calcolata considerando il funzionamento di quest'ultimo come a soglia sfiorante a sezione trapezia e quindi secondo la formula:

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

Ove $\mu = 0.385$

L = larghezza della soglia sfiorante (larghezza minore dell'embrice pari 0.3 m)

h = altezza massima della lama d'acqua determinata dal valore massimo ammissibile per la banchina al quale si sommano 1.5 cm derivanti dal termine dello strato di usura (cautelativamente al posto dello spessore totale di 4 cm). Come sopra espresso per le canalette/caditoie il passo minimo è individuato dal valore minimo di portata compatibile con i vincoli esistenti.

4.7.3 Verifica delle canalette continue grigliate in PEAD 25 x20 cm.

Per tale verifica si è valutata la massima portata confluyente alla canaletta continua alla sezione di chiusura del bacino afferente. Con tale portata si è verificato che le condizioni di moto uniforme non superassero il valore dell'80% del riempimento ed in caso di corrente veloce che l'altezza di stato critico non superasse il medesimo valore. Il massimo valore di portata generato dai bacini affluenti ai tratti drenati con canaletta continua è pari a 31 l/s ottenuti nella tratta D per la rotonda R8 e per i rami discendenti lato ovest del rilevato in terra armata a tergo del viadotto A13. La condizione maggiormente gravosa risulta essere quella esistente alla rotatoria 8, ove la pendenza longitudinale della canaletta è pari a zero. In tal caso il processo di moto attraverso la canale allo sbocco nel pozzetto è un comportamento a stramazzo, quindi la verifica viene effettuata come tale:

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

Ove $\mu = 0.385$

L = larghezza della soglia sfiorante (larghezza canale pari 0.2 m)

h = altezza massima della lama d'acqua pari all'80% del riempimento, ovvero 0.2 m.

La verifica fornisce una portata massima pari a 31 l/s, quindi le canalette continue sono verificate, essendo gli altri tratti in pendenza media superiore al 5%. L'altezza di stato critico è pari a 13.5 cm come si può verificare nell'immagine qui di seguito riportata.

The screenshot shows the 'Channel Analysis' window. On the left, input parameters are set: Type: Rectangular, Side slope 1 (Z1): 0.0 H: 1V, Side slope 2 (Z2): 0.0 H: 1V, Channel width (B): 0.200000 (m), Pipe diameter (D): 0.0 (m), Longitudinal slope: 0.05 (m/m), Manning's roughness: 0.0125, Lining type: Woven Paper Net, Permissible shear stress: 7.2 (N/m^2). Under 'Enter flow' or 'Enter depth', 'Enter flow' is selected with a value of 0.031 (cms) and 'Enter depth' is 0.072 (m). A 'Calculate' button is present. On the right, a table displays calculated parameters:

Parameter	Value	Unit
Flow	0.031	cms
Depth	0.072	m
Area of Flow	0.014	sq m
Wetted Perimeter	0.344	m
Hydraulic Radius	0.042	m
Average Velocity	2.151	m/s
Top Width (T)	0.200	m
Froude Number	2.558	
Critical Depth	0.135	m
Critical Velocity	1.150	m/s
Critical Slope	0.00933	
Critical Top Width	0.200	m
Calculated Max Sh...	35.317	N/m^2
Calculated Avg She...	20.526	N/m^2

At the bottom, there are buttons for 'Plot...', 'Compute Curves...', 'OK', and 'Cancel'.

Figura 14 Risultato moto uniforme canaletta PEAD pendenza 5%

La canaletta che drena internamente l'anello della rotatoria R8 è posata piana; i due rami opposti della canaletta scaricano in un pozzetto dal quale le acque vengono poi recapitate al fosso al piede della scarpata. La portata massima affluente al pozzetto è pari a 38 l/s, suddivisa in due contributi da 19 l/s ciascuno dai due rami della canaletta. Essendo posata a pendenza nulla, la verifica idraulica è stata fatta a stramazzo per la portata massima di ogni ramo della canaletta e a battente per lo scarico DN 160 mm nel pozzetto. Utilizzando le formule dello stramazzo a larga soglia ($\mu = 0.385$) e della bocca a battente (con $C_c = 0.61$), le verifiche hanno fornito i seguenti risultati.

- La portata per ogni ramo, 19 l/s, genera un battente massimo pari a 15 cm;
- La portata scaricata sotto un battente di 15 cm dal collettore di scarico nel pozzetto è pari a 20 l/s;

La canaletta è quindi in grado di convogliare la massima portata per ramo con un riempimento del 75%. Il collettore di scarico è in grado di far defluire 20 l/s, maggiore dei 19 l/s convogliati dalla canaletta e quindi anche lo scarico nel pozzetto risulta verificato.

The screenshot shows the 'Weir Analysis' window. 'Weir type' is set to 'Broad-crested'. 'Weir length' is 0.200 (m) and 'Weir coefficient' is 1.714. Under 'Enter head' or 'Enter flow', 'Enter flow' is selected with a value of 0.019 (cms). A 'Calculate' button is present. At the bottom, there are buttons for 'OK' and 'Cancel'.

Figura 15 Verifica a stramazzo della canaletta pead

Dai calcoli effettuati risulta che la canaletta in oggetto è sempre verificata.

Dai risultati ottenuti si è poi deciso, per una questione di semplificazione costruttiva e sicurezza, di ridurre ed uniformare i passi degli elementi marginali secondo la seguente metodologia cautelativa:

- Tratti rettilinei: elementi marginali ogni 15/20 metri
- Tratti in curva: elementi marginali ogni 10 metri
- Tratti in viadotto elementi marginali ogni 15 metri

4.7.4 Verifica collettori

Per quanto riguarda i collettori fognari utilizzati le verifiche riguardano il massimo riempimento degli stessi.

Suddividendoli per materiali, le verifiche saranno effettuate a moto uniforme e massima portata convogliata per ogni misura utilizzata.

Collettori in PEAD:

- DN 400/500mm: massima portata convogliata: 65 l/s, massima portata compatibile con riempimento 80% e pendenza 0.2% per DN 400 mm = 67 l/s
- DN 600 mm: massima portata convogliata: 91 l/s, massima portata compatibile con riempimento 80% e pendenza 0.2% = 238 l/s

Collettori in PRFV:

- DN 300 mm: massima portata convogliata: 12 l/s, massima portata compatibile con riempimento 80% e pendenza 0.2% = 44 l/s
- DN 400 mm: massima portata convogliata: 54 l/s, massima portata compatibile con riempimento 80% e pendenza 0.2% = 95 l/s

Da risultati sopra riportati deriva che tutti i collettori utilizzati hanno capacità superiore alla minima richiesta.

Collettori in PP:

Per tali collettori il diametro non è legato al dimensionamento idraulico ma è stato scelto in funzione della misura maggiore possibile compatibile con i vincoli progettuali, al fine di garantire una capacità di smaltimento nel tempo che venga influenzata il minimo possibile da eventuali corpi estranei entranti nei collettori (essendo questi stati utilizzati per gli attraversamenti esistenti tra i fossi di laminazione). Le misure maggiormente utilizzate sono il DN 630 mm ed in pochissimi casi il DN 500 mm.

5. RETICOLO IRRIGUO

E' necessario far notare che le opere in progetto intersecano ed alcune volte tombano tratti di reticolo irriguo marginale. Tale reticolo non è quello rappresentato dagli scolì principali bensì quello esistente configurato come una rete di canali intercomunicanti necessari a far giungere le acque di irrigazione in ogni appezzamento di terreno da essi asservito. Precisa prescrizione del Consorzio della Bonifica Renana è stata quella di rispettare le direzioni preferenziali di scolo delle acque irrigue dei campi.

Questa prescrizione ha fatto sì che, per rispettare la distribuzione esistente, le opere di canalizzazione interferite e quindi sopresse andassero ripristinate. Il ripristino di tali canalizzazioni ed il rispetto del "giro dell'acqua" come definito dal Consorzio è stato ottenuto mediante un'attenta analisi dei percorsi esistenti e soppressi. In siffatta maniera si è poi potuto procedere alla progettazione e quindi rappresentazione di appositi canali trapezi di dimensioni adeguate necessari alla ricucitura del reticolo, in modo da ripristinare l'originaria distribuzione delle acque irrigue. I collettori di collegamento tra fossi e per superamento di passi carrai sono stati progettati con tubazioni in cls autoportanti di dimensioni minime pari a diametro interno 600 mm per i fossi FI 1 A_B e diametro interno 800 mm per i fossi di dimensioni maggiori.

Tali fossi prevedono altresì opere di attraversamento per garantire la continuità idraulica delle maglie di irrigazione. Nell'immagine qui di seguito sono rappresentati un esempio di tali manufatti e canali di sostituzione delle opere rimosse.

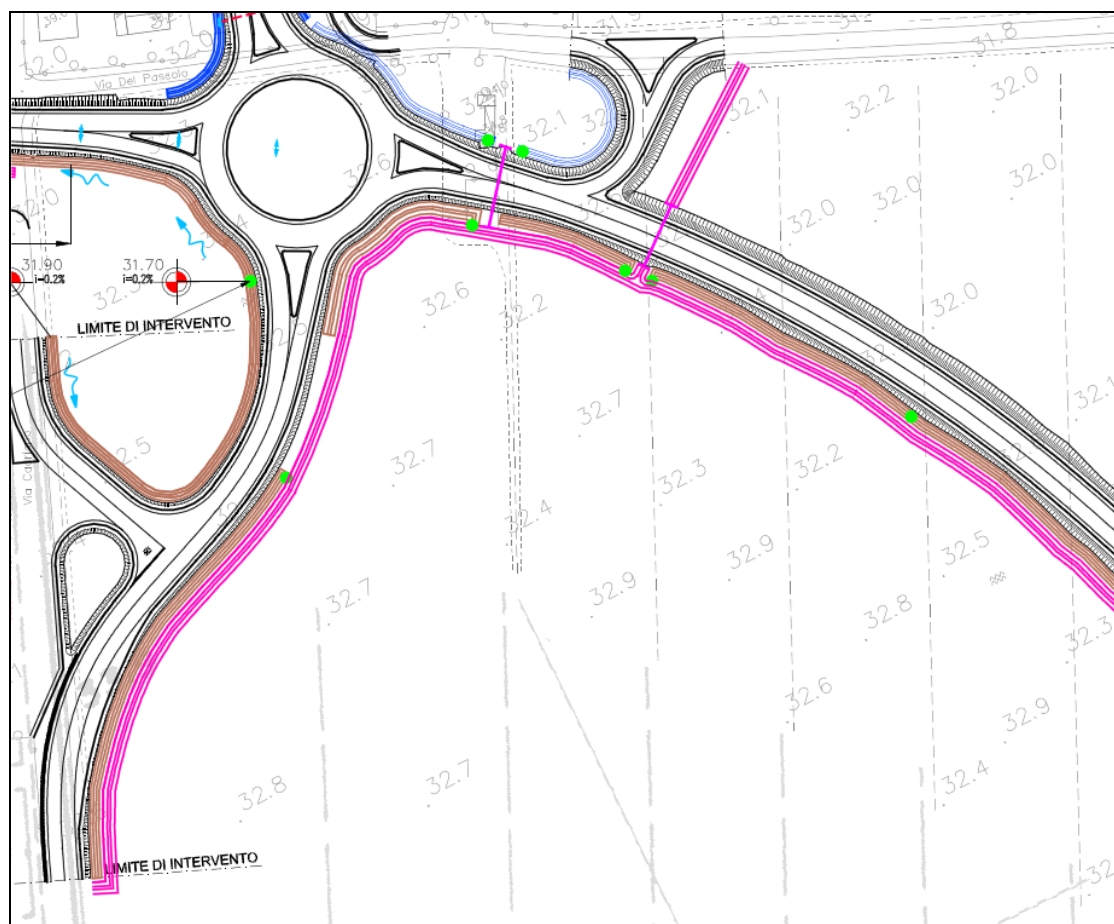


Figura 16 In magenta nell'immagine sopra riportata sono rappresentati i fossi di gronda e di ricucitura del reticolo irriguo nonché i tombini di attraversamento per il ripristino della continuità idraulica degli stessi.

6. ALLEGATO 1: Dimensionamento e verifica del sistema di drenaggio

6.1 Tabelle Dimensionamento Fossi