



Anas S.p.A. - Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
Società con socio unico soggetta all'attività di direzione e coordinamento di
Ferrovie dello Stato Italiane S.p.A. e concessionaria ai sensi del D.L.
138/2002 (convertito con L. 178/2002)

Struttura Territoriale Emilia Romagna
Viale A. Masini, 8 - 40126 Bologna T [+30] 051 6301111 - F [+39] 051 244970
Pec anas.emiliaromagna@postacert.stradeanas.it - www.stradeanas.it

Miglioramento del collegamento tra S.S. 16 e S.S. 309 dir.

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTISTI: FRANCHETTI S.P.A. Direttore Tecnico: Ing. Paolo Franchetti		GRUPPO DI PROGETTAZIONE FRANCHETTI BRIDGE DIAGNOSTICS AND PREDICTIVE MAINTENANCE Ing. Michele Frizzarin Ing. Francesco Zaccaro Ing. Matteo Nicolodi Ing. Antonio Sbordoni	
IL GEOLOGO Geol. Matteo Scalzotto			
COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE			
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO Ing. Francesco Pisani			
PROTOCOLLO		DATA	

RELAZIONE IDRAULICA

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA	
PROGETTO	LIV. PROG.	N. PROG.	171-18_P_2_AM_RE_07.0_Relazione idraulica			
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	CODICE ELAB. <input type="text" value="T"/> <input type="text" value="O"/> <input type="text" value="O"/> <input type="text" value="I"/> <input type="text" value="D"/> <input type="text" value="O"/> <input type="text" value="O"/> <input type="text" value="I"/> <input type="text" value="D"/> <input type="text" value="R"/> <input type="text" value="R"/> <input type="text" value="E"/> <input type="text" value="O"/> <input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="A"/>	-	
A	EMISSIONE		Settembre 2020	Ing. Nicolodi	Ing. Zaccaro	Ing. Franchetti
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO



Comune di RAVENNA (RA)

Miglioramento del collegamento tra S.S. 16 e S.S. 309 dir

PROGETTO DEFINITIVO

Lavori di miglioramento del collegamento tra la S.S. 16
"Adriatica" e la S.S. 309 dir "Romea".

RELAZIONE IDRAULICA

INDICE

PARTE 1	5
PREMESSA	5
PARTE 2	6
RIFERIMENTI NORMATIVI	6
1 PIANO DI TUTELA DELLA ACQUE	6
2 PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO	6
3 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE	7
4 DIRETTIVA ALLUVIONI 60/2007/CE	8
5 PIANO OPERATIVO COMUNALE DI RAVENNA	8
6 NORMATIVA IN MERITO ALLE ACQUE DI PRIMA PIOGGIA	12
PARTE 3	13
ASPETTI GENERALI DEL TERRITORIO ATTRAVERSATO	13
1 CARATTERISTICHE CLIMATICHE E PLUVIOMETRIA	13
2 IDROGRAFIA SUPERFICIALE	13
2.1 FIUME RONCO	14
2.2 FIUME MONTONE	15
2.3 SCOLI E CANALI SECONDARI	16
2.4 AREE DI PERICOLOSITA' IDRAULICA	18
PARTE 4	24
DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI RACCOLTA, TRATTAMENTO E SMALTIMENTO DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA	24
1 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI RACCOLTA	25
2 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI TRATTAMENTO	27
2.1 I SISTEMI DI FITODEPURAZIONE	27
2.2 SCELTE PROGETTUALI	29
3 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI SMALTIMENTO	30
3.1 ASPETTI TEORICI	30
3.2 BACINI AFFERENTI	33
3.3 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA EMBRICI	34
3.4 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEI FOSSI DI GUARDIA	35
3.5 CANALETTE GRIGLIATE	37
3.6 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA TUBAZIONI	38
PARTE 5	40
VERIFICA DELL'INVARIANZA IDRAULICA	40
1 PROCEDURA PER IL CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO	40
2 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	41

3	PORTATA IMPOSTA ALLO SCARICO	42
4	VERIFICA DEI VOLUMI DI INVASO	42

PARTE 1

PREMESSA

Il presente documento si inserisce nell'ambito della progettazione definitiva dei lavori di miglioramento del collegamento tra la S.S. 16 "Adriatica" e la S.S. 309 dir "Romea", i quali hanno lo scopo di migliorare il livello di servizio dell'infrastruttura esistente, le condizioni di sicurezza e il *comfort* degli utenti.

In questo documento verrà descritto il progetto, in particolare la parte tecnica riguardante l'inserimento del progetto nel reticolo idrografico esistente e le opere idrauliche per una corretta gestione delle acque meteoriche sia dell'allargamento della piattaforma principale sia della realizzazione della nuova rampa nell'intersezione tra la S.S. 16 e la S.S. 3bis.

Gli ambiti che verranno principalmente affrontati all'interno di questo scritto sono:

- analisi dell'interferenza tra l'infrastruttura ed il reticolo idrografico presente;
- gestione delle acque meteoriche ricadenti sulla piattaforma prima del rilascio nell'idrografia superficiale del territorio;
- dimensionamento e verifica della rete delle acque meteoriche nel rispetto dell'invarianza idraulica e della portata di scarico imposta.

Lo studio è stato principalmente finalizzato ad individuare, nell'ambito territoriale considerato, il funzionamento idraulico della rete idrografica, in occasione di eventi di piena generati dalle precipitazioni più intense, in grado di produrre condizioni critiche per il sistema di drenaggio e di causare esondazioni ed allagamenti in porzioni più o meno estese di territorio.

Dal punto di vista qualitativo le acque drenate dalla pavimentazione stradale, specie nei primi minuti di precipitazione, rimuovono, in quantità variabili con la combinazione di diversi fattori, materiali biodegradabili e non; successivamente si descriverà la metodologia di trattamento utilizzata in modo da recapitare nei canali esistente acqua senza inquinanti. Dal punto di vista quantitativo la progettazione è legata alla definizione dell'intensità e della durata dell'evento piovoso di progetto e del sistema di raccolta e convogliamento ed alla capacità idraulica dei recettori finali.

PARTE 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

L'obiettivo del presente studio è quello di verificare la perseguibilità dell'iniziativa proposta, dal punto di vista idraulico, dell'area di interesse.

Gli strumenti normativi vigenti di riferimento sono i seguenti:

- Piano di tutela delle acque della regione Emilia-Romagna;
- Piano stralcio per il rischio idrogeologico;
- Piano di gestione del rischio di alluvione;
- Direttiva Alluvioni 2007/60 e D.Lgs. 49/2010;
- Piano Operativo Comunale di Ravenna.

1 PIANO DI TUTELA DELLA ACQUE

È lo strumento regionale volto a raggiungere gli obiettivi di qualità ambientale nelle acque interne e costiere della Regione e a garantire un approvvigionamento idrico sostenibile nel lungo periodo, in conformità con quanto emesso dal D.Lgs. 152/99 e dalla Direttiva europea 2000/60 (Direttiva Quadro sulle acque).

Il Piano di Tutela delle Acque è stato approvato in via definitiva con Delibera n. 40 in 21.12.2005 dall'Assemblea legislativa.

Secondo l'art 28 comma 1 delle Norme del PTA, *"le acque meteoriche di dilavamento delle superfici impermeabili (strade, piazzali, [...]) trasportano carichi inquinanti che possono comportare rischi idraulici ed ambientali rilevanti, in particolare per i corpi idrici superficiali nei quali hanno recapito. Si definiscono acque di prima pioggia le acque meteoriche di dilavamento corrispondenti ai primi 2,5-5 mm d'acqua uniformemente distribuita su tutta la superficie scolante, corrispondente a 25-50 m³ per ettaro di superficie contribuyente"*.

2 PIANO STRALCIO PER IL RISCHIO IDROGEOLOGICO

Il Piano rappresenta un testo coordinato con gli adeguamenti introdotti fino alla "Variante di coordinamento PAI-PGRA" (DGR 2112/2016): costituisce, in riferimento al rischio idraulico e al dissesto dei versanti, il quadro conoscitivo organizzato ed aggiornato del sistema fisico, l'individuazione e quantificazione delle situazioni di degrado e l'indicazione delle azioni di mitigazione dei rischi.

Il Piano si scompone in una parte di analisi e quantificazione dei fenomeni, da una parte di rappresentazione cartografica e di una parte prescrittiva.

L'art. 9 delle Norme del suddetto Piano definisce l'invarianza idraulica come di seguito: *"Per la trasformazione del territorio ad invarianza idraulica si intende la trasformazione di un'area che non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricevente i deflussi superficiali originati dall'area stessa. Al fine di garantire l'invarianza idraulica delle trasformazioni urbanistiche, è prescritto di realizzare un volume minimo di invaso atto alla laminazione delle piene, da collocarsi, in ciascuna area in cui si verifichi un aumento delle superfici impermeabili, a monte del punto di scarico dei deflussi nel corpo idrico recettore"*.

La predisposizione dei volumi di invaso a compensazione delle impermeabilizzazioni non è finalizzata a trattenere le acque di piena nel lotto, ma a mantenere inalterate le prestazioni complessive del bacino. Tali prestazioni sono riconducibili a due meccanismi di controllo "naturale" delle piene:

- l'infiltrazione e l'immagazzinamento delle piogge nel suolo (fenomeni rappresentati in via semplificativa dal coefficiente di deflusso);
- la laminazione, che consiste nel fatto che i deflussi devono riempire i volumi disponibili nel bacino prima di poter raggiungere la sezione di chiusura.

Il criterio dell'invarianza idraulica delle trasformazioni delle superfici che il piano di bacino adotta prevede la compensazione delle riduzioni sul primo meccanismo attraverso il potenziamento del secondo meccanismo.

L'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli ha introdotto una classificazione degli interventi di trasformazione delle superfici. Tale classificazione consente di definire soglie dimensionali in base alle quali si applicano considerazioni differenziate in relazione all'effetto atteso dell'intervento. La classificazione è riportata nella tabella seguente.

Classe di Intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $Imp > 0,3$

Tabella 1: Classificazione degli interventi

Dalla rappresentazione cartografica del Piano è possibile notare che l'area di interesse ricade all'interno della categoria definita come area di potenziale allagamento, così definite dall'art. 6 della Normativa: "nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica, nonché di sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d'acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni, senza apprezzabili effetti dinamici".

3 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONE

La Direttiva 2007/60/CE in riferimento alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, si prefigge l'obiettivo di creare un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali. In collaborazione con il D.Lgs. 49/2010, privilegia un approccio di pianificazione a lungo termine che prevede una valutazione preliminare del rischio alluvioni, un'elaborazione di mappe e pericolosità e del rischio di alluvione, predisposizione ed attuazione di piani di gestione del rischio di alluvioni.

I Piani di gestione del rischio di alluvioni (art. 7 Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs. 49/2010) (adottati il 17 dicembre 2015), sono stati approvati il 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali.

Il territorio della Regione Emilia-Romagna è interessato da tre nuovi Piani: il PGRA del distretto padano,

del distretto dell'Appennino Settentrionale e del distretto dell'Appennino Centrale.

I Piani si compongono di una parte cartografica (nella quale è possibile riscontrare le mappe di pericolosità e di rischio alluvione), una relazione generale ed il rapporto ambientale.

4 DIRETTIVA ALLUVIONI 60/2007/CE

La Direttiva 2007/60/CE cosiddetta "Direttiva alluvioni", entrata in vigore il 26 novembre 2007, ha istituito *"un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni all'interno della Comunità"*.

In linea con i principi internazionali di gestione dei bacini idrografici già sostenuti dalla Direttiva 2000/60/CE ("Direttiva Acque"), la "Direttiva Alluvioni" promuove un approccio specifico per la gestione dei rischi di alluvioni e un'azione concreta e coordinata a livello comunitario, in base alla quale gli Stati membri dovranno individuare tutte le aree a rischio di inondazioni, mappare l'estensione dell'inondazione e gli elementi esposti al rischio in queste aree e adottare misure adeguate e coordinate per ridurre il rischio di alluvione.

Tale direttiva è stata attuata in Italia attraverso il D.Lgs. 49/2010.

5 PIANO OPERATIVO COMUNALE DI RAVENNA

La finalità del POC, formato ai sensi della L.R. 20/2000 e s.m.i. ed approvato come previsto dalla L.R. 20/2000 ai sensi di quanto disposto dal c.5 dell'art.3 della L.R. 24/2017, è quella di definire, sulla base degli obiettivi prestazionali e dei campi di variazione stabiliti dal PSC, la disciplina urbanistica generale di quelle parti del territorio comunale sottoposte dal PSC alle varie forme dell'Attuazione indiretta di cui all'art. 22 del PSC.5 o rinviate al POC dall'art. 1.1.3 del RUE.5 vigente ai fini della specificazione, della integrazione, della eventuale modifica degli elaborati grafici e normativi del RUE stesso. Ulteriore finalità del POC è quella di individuare, ad integrazione del Piano dei Servizi e all'interno della Città da riqualificare e della Città di nuovo impianto, attrezzature e spazi collettivi da realizzare tenendo conto della programmazione settoriale e di quella delle opere pubbliche.

Il POC promuove e assicura la sostenibilità dei nuovi insediamenti con particolare riguardo ai temi del contenimento del consumo energetico, del regime idraulico e tutela delle acque, del rischio sismico, del contenimento dell'inquinamento atmosferico e del miglioramento della sicurezza del territorio. La disciplina urbanistica generale definita dal POC ricomprende norme con valore prescrittivo o con valore di indirizzo.

Le norme del POC hanno valore prescrittivo quando:

- a) specificano la disciplina di PSC relativa a componenti da esso individuate che ricadono negli Ambiti oggetto di POC;
- b) individuano specifiche quantificazioni dei parametri urbanistici ed edilizi in coerenza con le previsioni del PSC;

- c) esprimono le disposizioni urbanistiche, morfologiche e di salvaguardia per l'attuazione delle trasformazioni previste;
- d) individuano usi vincolanti e integrativi da realizzarsi in forma compatibile e sostenibile;
- e) individuano specifiche azioni di mitigazione in relazione alle componenti ambientali;
- f) definiscono, in accordo con le disposizioni contenute nel PSC, i meccanismi compensativi, premiali e gli obiettivi di qualità;
- g) precisano le modalità attuative.

In particolare il POC individua con valore prescrittivo i perimetri degli Ambiti e, al loro interno, i perimetri dei Comparti oggetto di stralcio funzionale, nonché le prescrizioni vincolanti, la definizione progettuale dell'assetto dell'Ambito ovvero dei Comparti stralcio oggetto di PUA inseriti nel POC. Tali prescrizioni sono riferite ad elementi di continuità funzionale e spaziale delle reti (rete ecologica, viabilità, verde, spazi aperti, mitigazioni, etc.), attraverso i quali si realizzano le relazioni tra l'Ambito o lo stralcio con il contesto urbano e territoriale, nonché ad elementi per la definizione dell'assetto morfologico-funzionale. Le prescrizioni non possono essere modificate senza costituire variante al POC salvo quanto eventualmente e puntualmente previsto dalle prescrizioni stesse. Non costituiscono altresì variante gli adeguamenti derivanti da normative sovraordinate.

Il POC assume dal Regolamento Urbanistico ed Edilizio - RUE, eventualmente integrandoli:

- la definizione dei parametri urbanistici ed edilizi (art. II.1.1 RUE.5);
- le procedure per l'attuazione degli interventi sottoposti a intervento diretto (artt. III.1.1, III.1.2, del RUE.5);
- le procedure per la cessione delle aree da destinare a dotazioni territoriali ed ecologiche;
- i requisiti edilizi da rispettare per l'attuazione delle previsioni individuate.

Le norme contenute nel POC hanno valore di indirizzo quando si riferiscono a misure di inserimento urbano e paesaggistico degli interventi ovvero ai caratteri planivolumetrici, morfologici, tipologici e costruttivi relativi a comparti assoggettati a piani urbanistici attuativi, nei cui progetti tali caratteri dovranno trovare esplicito riscontro ed opportuno riferimento e approfondimento, unitamente alle opere di urbanizzazione e infrastrutturazione. Il grado di recepimento e/o variazione in sede attuativa di tali norme può determinare differenti percorsi valutativi e procedurali, accentuando o meno il ricorso a procedure concertative, di valutazione e d'approvazione da parte dei soggetti competenti.

In accordo con le indicazioni contenute nella VALSAT di POC, tutti gli interventi di trasformazione del territorio previsti dal POC devono concorrere al raggiungimento degli obiettivi strategici indicati dal PSC e dalla relativa VALSAT.

I Piani Urbanistici Attuativi (PUA), e i Progetti Unitari assistiti da Convenzione (PUC) ove indicato nelle schede d'Ambito normative, sono gli strumenti urbanistici di dettaglio per dare attuazione agli interventi di nuova urbanizzazione e di riqualificazione previsti dal POC. Qualora la disciplina definita dagli elaborati prescrittivi di POC sia difforme da quella definita dal RUE, prevale quella di POC che costituisce quindi variante al RUE. In tali casi le modifiche agli elaborati grafici e normativi del RUE sono un mero recepimento.

Si riportano gli estratti delle tavole di piano.

La tavola dei Vincoli ambientali vigenti, riportata in Figura 1, evidenzia l'assenza di vincoli per l'area di intervento.

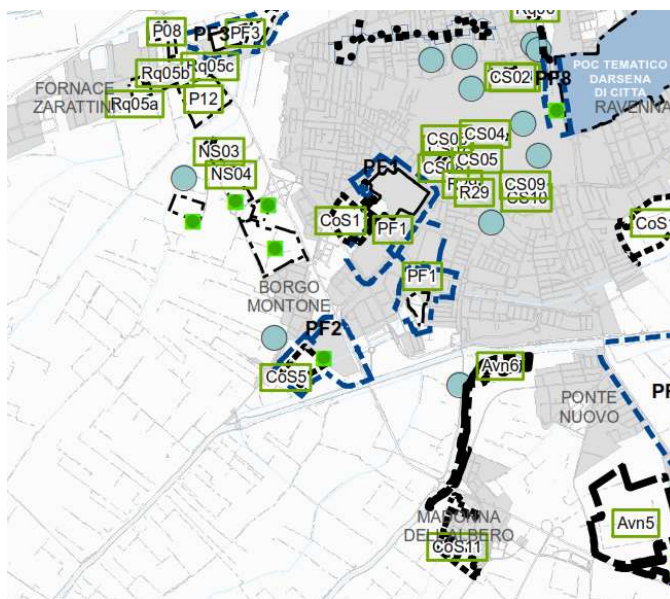


Figura 1: Vincoli ambientali

L'estratto di Figura 2 riprende la tavola del Rischio idrogeologico dei piani stralcio di bacino vigenti nel Comune di Ravenna. Per quanto riguarda l'area di intervento le informazioni corrispondono a quelle riportate nelle tavole di perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico del Piano Stralcio per il rischio idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.

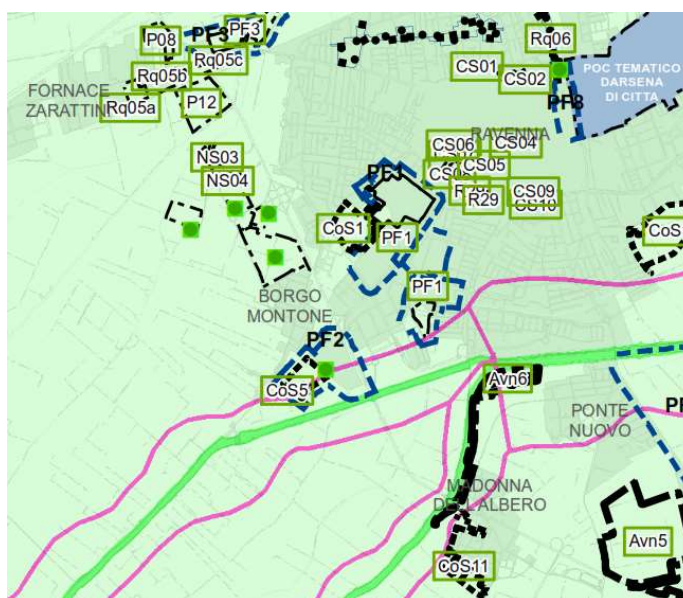


Figura 2: Rischio idrogeologico

6 NORMATIVA IN MERITO ALLE ACQUE DI PRIMA PIOGGIA

L'art. 113, Parte III del D.Lgs. 152/06 delega alle Regioni i pareri circa la gestione delle acque di prima pioggia e di dilavamento.

L'Emilia-Romagna ha provveduto in tal senso attraverso l'emanazione delle Delibere di seguito riportate:

- D.G.R. 286/2005
- D.G.R. 1860/2006

La D.G.R. 286/2005 decreta la necessità di inserire le azioni di contenimento del carico inquinante relativo alle acque di prima pioggia all'interno di uno specifico Piano di Indirizzo.

In seguito sono state emanate, tramite la D.G.R. 1083/2006, le "Linee Guida per la redazione dei Piani di indirizzo in riferimento all'applicazione del punto 3.6 della D.G.R. 286/2005".

All'interno della D.G.R. 286/2005 è riportato inoltre che il Piano di Indirizzo per il contenimento delle acque di prima pioggia rappresenta lo strumento di attuazione del Piano di Tutela delle Acque.

Il PTA dell'Emilia-Romagna è stato approvato con Delibera n.40 dell'assemblea legislativa il 21 dicembre 2005. Le Norme Tecniche dello stesso PTA stabiliscono che il Piano di Indirizzo per la gestione delle acque di prima pioggia rappresenta uno degli strumenti di pianificazione in materia di tutela delle acque,

Con deliberazione del Consiglio Provinciale n. 35 del 22 luglio 2014 è stato approvato il Piano d'Indirizzo per il contenimento del carico inquinante delle acque di prima pioggia.

Il Piano di Indirizzo è uno strumento attuativo del Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Emilia-Romagna, e della relativa Variante al PTCP, in cui sono indicate le priorità di intervento per il raggiungimento degli obiettivi di tutela delle acque in esso stabiliti.

PARTE 3

ASPETTI GENERALI DEL TERRITORIO ATTRAVERSATO

Il territorio considerato ricade all'interno della zona di pianura romagnola, caratterizzata da una maggiore densità insediativa e di attività produttive e pertanto, di conseguenza, è l'area con la più alta concentrazione di rifiuti e scarichi della Regione Emilia-Romagna. L'area è caratterizzata inoltre dall'elevata domanda di risorsa idrica a fronte di una potenzialità quantitativamente sempre più scarsa e qualitativamente scadente. Negli ultimi anni sempre più frequenti sono divenute le problematiche legate alle esondazioni derivanti dall'urbanizzazione e dall'impermeabilizzazione del territorio.

1 CARATTERISTICHE CLIMATICHE E PLUVIOMETRIA

Il clima dell'area di interesse è condizionato dalla posizione geografica, localizzata al centro della zona temperata settentrionale e al margine inferiore della pianura padana. Il territorio risente pertanto sia delle caratteristiche della pianura e sia della vicinanza al mar Adriatico. Questo mare chiuso e poco profondo ha un'influenza mitigatrice sul clima.

La regione, basandosi sulle serie storiche ventennali dei dati di precipitazione, si può suddividere in quattro zone idrometriche:

- una zona montana, con quota superiore ai 600 m, in cui il valore medio annuo di precipitazioni è compreso tra i 1195 mm ed i 1612 mm;
- una zona di medio-alta collina, con quota inferiore ai 600 m, con un valore medio annuo di precipitazione compreso tra i 885 mm ed i 1188 mm;
- una zona di bassa collina, con quota inferiore ai 300 m, nella quale le precipitazioni hanno un valore medio annuo compreso tra i 916 mm ed i 1030 mm;
- una zona di pianura, con quota inferiore ai 100 m, nella quale le precipitazioni annue sono comprese tra i 602 mm ed i 912 mm.

Il clima può essere definito di tipo sub-litoraneo nelle aree di pianura e temperato da sub-continentale a freddo negli Appennini. L'area di studio ricade all'interno del comune di Ravenna, la località meno piovosa dell'area pianeggiante (682 mm/anno).

In riferimento alla vegetazione presente nel territorio, la foresta che copriva il territorio romagnolo si è notevolmente ridotta ed impoverita. In pianura, dove la macchia mediterranea è ormai quasi completamente scomparsa, è possibile trovare il querceto caducifoglio con la farnia, il frassino ed il pioppo.

2 IDROGRAFIA SUPERFICIALE

L'idrografia dell'area è caratterizzata dai corpi idrici che competono all'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.

Il reticolo idrografico principale è costituito dai seguenti corpi idrici: Pisciatello e Rubicone, Savio e Borello, Rabbi, Ronco, Montone, Lamone e Marzeno, Fiumi Uniti, Bevano e del Voltre.

I corpi idrici che hanno foce diretta in Adriatico sono i seguenti: Lamone, Canale Candiano, Fiumi Uniti,

Bevano, Savio e Rubicone. Di questi solo 5 hanno origine nella cresta appenninica: Lamone, Montone, Rabbi, Bidente e Savio. Il Torrente Bevano, il Torrente Pisciatello ed il Fiume Rubicone traggono origine, invece, da contrafforti collinari.

Il Lamone è il primo per lunghezza dei fiumi Romagnoli (97 km); il suo bacino imbrifero comprende la sua vallata e quella del Marzeno, ha una superficie complessiva di 530 km².

Il Canale Candiano è considerato un bacino idrografico a sé stante, che si sviluppa per una lunghezza di 11 km, mantenendo il collegamento tra la città di Ravenna, la sua darsena e il mare. In esso confluiscono numerosi scoli di bonifica tra cui il Lama.

I Fiumi Uniti costituiscono il più importante sistema idrografico della Romagna, composto da due corsi d'acqua principali, Montone e Ronco, originariamente dotati di foci distinte, che confluiscono presso Ravenna in seguito all'invalveamento artificiale del XVIII secolo. Il bacino ha una superficie complessiva di 1241 km², suddivisa per facilità di studio nei due sottobacini del Rabbi-Montone e del Bidente.

Il torrente Bevano origina dalle colline presso Bertinoro e il suo bacino, di 320 km², è quasi esclusivamente di pianura. Nel tratto iniziale funge da collettore di numerosi canali di bonifica e la sua foce in Adriatico è l'unica lasciata alla libera divagazione.

Il fiume Savio ha un bacino imbrifero di 647 km². Si snoda lungo un percorso tortuoso di 61 km nel tratto collinare, ove raccoglie anche il contributo del suo affluente Borello, e per altri 27 km in quello pianeggiante, per buona parte arginato.

Anche il fiume Rubicone ha un bacino prevalentemente collinare di 190 km², composto dai sottobacini del Pisciatello del Rigossa e del Rubicone stesso, che confluiscono ad 1 km dalla foce.

A seguito di significativi approfondimenti degli studi idraulici, permessi dalla disponibilità di rilievi topografici aggiornati, alla possibilità di calibrare i modelli di moto vario per la propagazione delle piene e sfruttando i dati idrometrici opportunamente elaborati, l'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli ha potuto constatare che i corsi d'acqua principali di pianura di propria competenza mostrano tutt'ora estese insufficienze per portate con tempo di ritorno di 200 anni, mentre sono quasi ovunque strutturalmente adeguati per tempi di ritorno di 30 anni (a meno di brevi tratti localizzati).

L'area di intervento è caratterizzata dalla presenza dei fiumi Ronco e Montone e di diversi scoli e canali.

2.1 FIUME RONCO

Il fiume Ronco richiede interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria quali: taglio di vegetazione, consolidamento delle sponde, ripristino di sezioni ostruite e riprese di finestre arginali per il suo adeguamento alla portata trentennale. Il fiume ha una portata trentennale a fine bacino (Via Emilia) di 700 m³/s e una portata duecentennale di 1030 m³/s. L'officiosità massima nel tratto arginato di valle è attualmente di 600-750 m³/s ("sporco" - "pulito" ed in funzione dei tratti interessati) con riduzioni di 50-100 m³/s dovute ai rigurgiti provocati dai ponti (Cervese, Fs, A14, Coccolia, Ghibullo) ed alla chiusa di S. Bartolo. Non potendo alzare ulteriormente le arginature di valle o ricavare ulteriore area di deflusso in alveo (unico intervento a valle previsto è alla confluenza con il fiume Montone in località Punta Galletta), sono strategici gli interventi di laminazione a monte, specie nel tratto Via Emilia-Meldola (fine di bacino) dove sono presenti

ex-cave da riqualificare. Con la messa in funzione delle casse denominate "Golf", "Foma" e "Sfir" si raggiungerebbero già delle buone laminazioni a valori di circa 800 m³/s; con l'innescio di altre aree quali quella di "Grotta", "Selbagnone", "Spinadello" e "Sapifo" come espansioni naturali (non come vere e proprie casse d'espansione) si metterebbe in sicurezza tutto il tratto di valle (compresi ponti ora inofficiosi).

2.2 FIUME MONTONE

Il fiume Montone ha una portata trentennale a fine bacino (Via Emilia) di 700 m³/s e una portata duecentennale di 1030 m³/s. L'officiosità massima nel tratto arginato di valle è attualmente di 650-750 m³/s ("sporco" – "pulito").

Il fiume Montone mostra una criticità nel tratto compreso fra San Pancrazio, in Comune di Russi, e la Chiusa di San Marco, in Comune di Ravenna. In tale tratto, la presenza della chiusa storica (di non buono stato strutturale e con officiosità massima di 550 m³/s) e di sezioni al limite, configura attualmente un rischio di esondazione già per piene trentennali.

Occorre precisare, però, che la laminazione lungo l'alveo da Forlì a Ravenna può contribuire per circa 150-200 m³/s, visti anche i nuovi interventi di sgolenamento previsti a monte. Vista la presenza anche di altri ponti al limite di officiosità (come ad esempio il ponte "3 assi" e il ponte della strada provinciale Ragone) e del loro improbabile rifacimento, risulta importante il completo abbassamento golenale del tratto ravennate e la riverifica idraulica delle laminazioni a monte.

Il tratto rimarrebbe comunque critico per la possibilità di collasso arginale dovuto a sifonamenti; il rischio associato è notevole in quanto si è in prossimità del centro di Ravenna. Secondo quanto indicato dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, il vecchio progetto generale del tratto ravennate sarà da rivedere in base alle nuove informazioni idrauliche ed ai progetti di monte, nel tratto forlivese.

Un'altra rilevante criticità è riscontrata nel tratto forlivese presso Villanova-Villafranca, dove si sono verificate esondazioni anche recenti, dovuta alla presenza di ponti inofficiosi; ad esempio il Ponte Braldo è il più stretto e consente un passaggio di non più di 650-700 m³/s. Parte della criticità è risolvibile con la manutenzione ordinaria, con il taglio di vegetazione o con la rimozione di detriti, parte con il rifacimento dei ponti e una ulteriore parte con l'abbassamento di golene interne e di ampie varici per avere delle laminazioni naturali in serie (progetti in fase di attuazione che riusciranno a far passare circa 900 m³/s).

Nell'abitato di Forlì sono stati eseguiti lavori per un massimo di officiosità di 950-1000 m³/s; il surplus di portata è previsto che si possa risolvere grazie ad un progetto di adeguamento alla confluenza Montone-Rabbi, che prevede un importante contributo alla laminazione con la ottimizzazione delle aree tramite espropriazioni/servitù ed eliminazione di argini (già attualmente sormontabili) che difendono campi agricoli. In tale area si attende un non trascurabile beneficio dal completamento di una riqualificazione ambientale, già in parte attuata, volta al recupero di spazi di esondazione, ripristino degli ecosistemi fluviali ed istituzione di un parco fluviale.

Sono in studio eventuali altre aree di laminazione a monte di Forlì che saranno da preferire come schema in "linea" (esondazione naturale) piuttosto che in "parallelo" (casse). Altri interventi di sistemazione e messa in sicurezza locale sono previsti a monte nelle località di Castrocaro, Dovadola e S. Ruffillo.

Alcuni attraversamenti risultano inofficiosi e da sistemare da parte degli enti gestori, quali il ponte comunale di Castrocaro, il ponte sulla SP 54 Baccanello, il ponte in località Tirli.

2.3 SCOLI E CANALI SECONDARI

Di seguito sono riportati gli scoli ed i canali che interferiscono con il tracciato di interesse della S.S.16 Adriatica.

Corso d'acqua	Interferenza	Tipologia
Canale Magni	km 148+800	superficiale
Scolo Drittolo	km 148+900	superficiale
Fiume Abbandonato	km 150+600	interrato
Canale Lama Inferiore	km 151+640	superficiale
Canaletta Inferiore destra	km 152+100	superficiale
Canale Lama Vecchia	km 152+700	superficiale
Canale Prevosture	km 152+830	superficiale
Canale Arcabologna Chiavichetta	km 153+670	interrato

Tabella 2: Elenco scoli e canali secondari

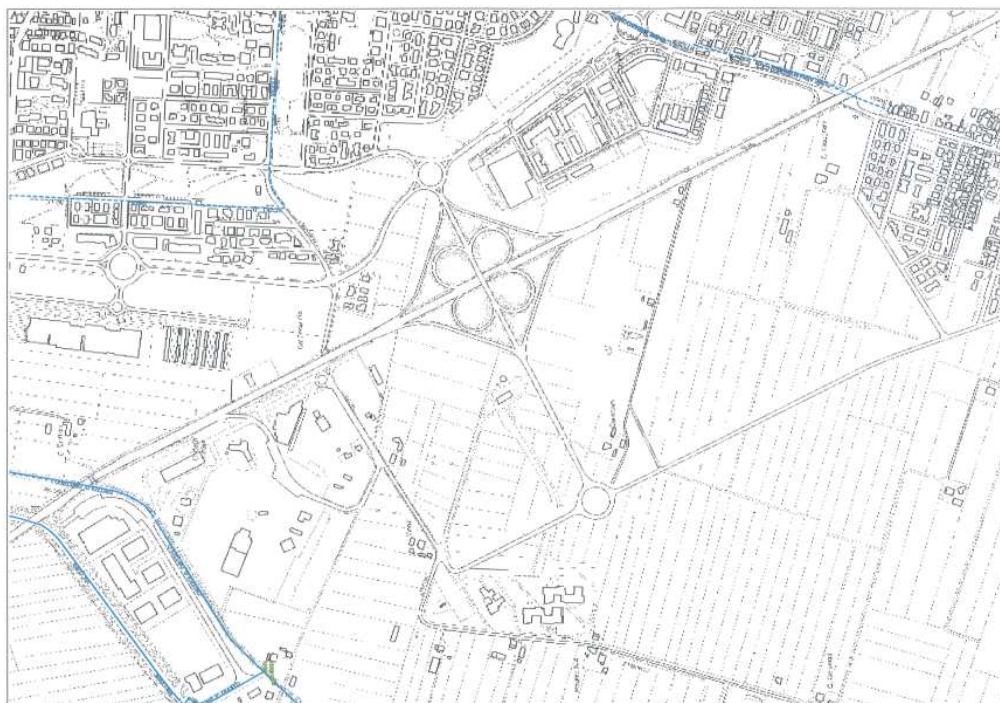


Figura 5: Planimetria canali 1 di 3

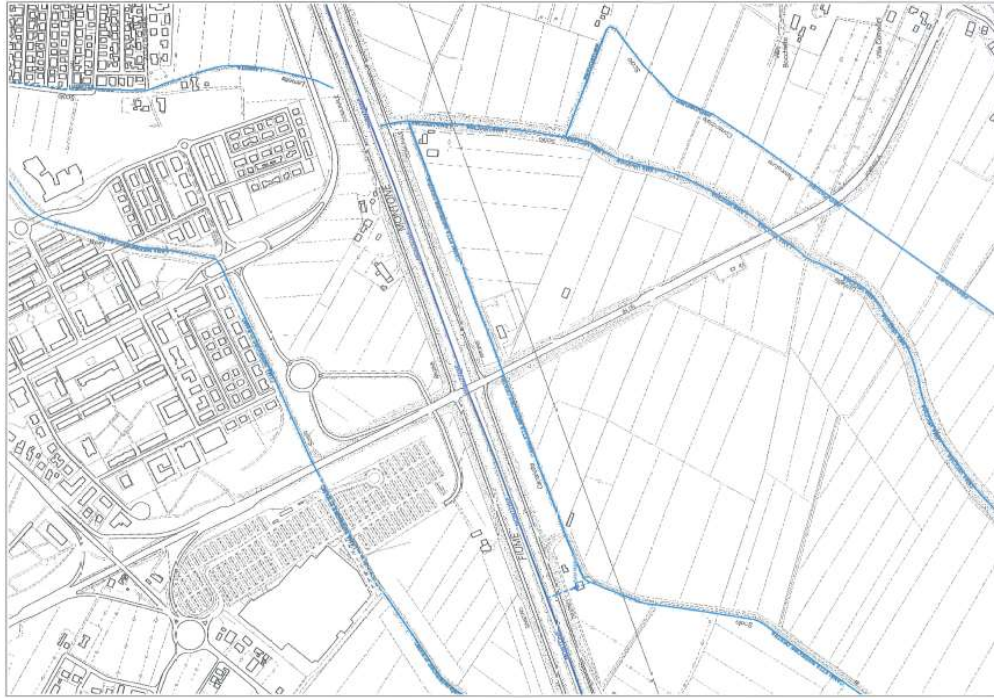


Figura 6: Planimetria canali 2 di 3

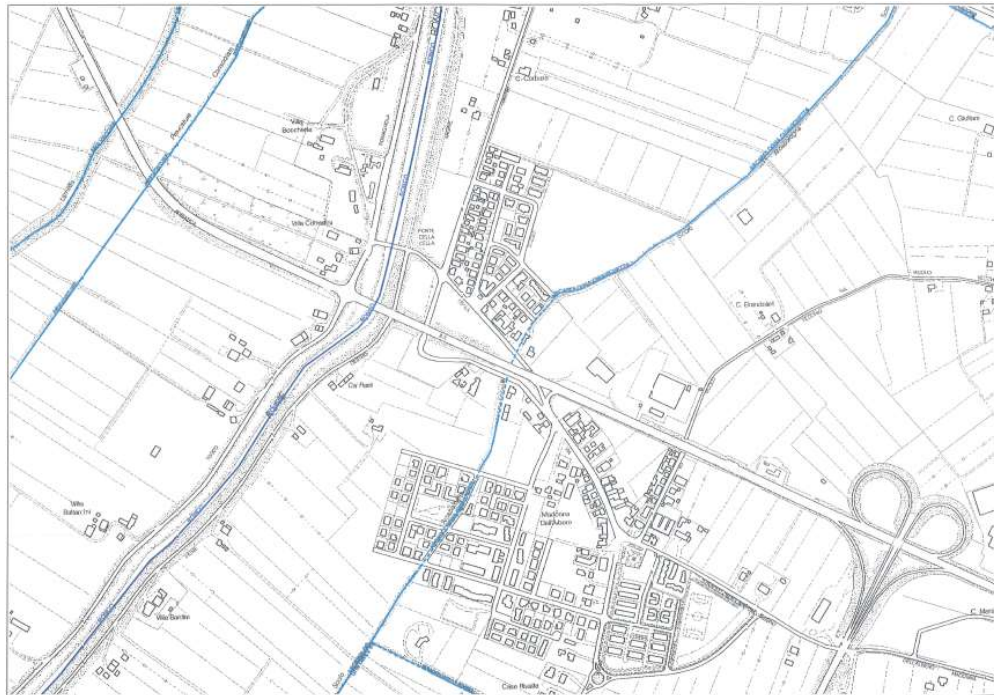


Figura 7: Planimetria canali 3 di 3

2.4 AREE DI PERICOLOSITA' IDRAULICA

I Piani di Bacino sono lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo e alla corretta utilizzazione delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. I Piani Stralcio sono piani di bacino sviluppati per settori funzionali e/o per sottobacini.

L'approvazione del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 "Norme in materia ambientale", ha modificato l'impianto organizzativo ed istituzionale della legge 183/1989 prevedendo, all'articolo 63, la soppressione, dal 30 aprile 2006, delle Autorità di Bacino previste dalla legge 183/1989 sostituendola con le Autorità di bacino distrettuale.

Il 17 febbraio 2017 con l'entrata in vigore del D.M. 25 ottobre 2016, sono state soppresse le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali, e tutte le relative funzioni sono state trasferite alle Autorità di bacino distrettuali.

Le Autorità di bacino interregionali del fiume Reno e del Marecchia-Conca e l'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli confluiscono pertanto nell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po.

La pianificazione di bacino è sancita dalla legge 18 maggio 1989, n. 183, che ha, tra le altre, la finalità di assicurare la difesa del suolo e la tutela degli aspetti ambientali assumendo il "bacino idrografico" come ambito territoriale di riferimento.

Alle Autorità di bacino è attribuito il compito di pianificazione e di programmazione al fine di fornire uno strumento, il Piano di bacino, per il governo unitario del bacino idrografico.

La legge 183/1989 istituisce le Autorità di bacino per i bacini idrografici di rilievo nazionale e demanda alle Regioni le funzioni amministrative relative ai bacini idrografici di rilievo interregionale e regionale.

Ad oggi, anche in relazione all'impulso alla pianificazione dato dalla legge 267/1998, tutte le Autorità di bacino hanno approvato Piani stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che contengono l'individuazione delle principali criticità idrauliche e idrogeologiche della Regione e delle azioni necessarie per il raggiungimento di un livello adeguato di sicurezza territoriale.

I PAI sono periodicamente aggiornati attraverso varianti che recepiscono la revisione e l'implementazione del quadro conoscitivo.

I Piani di Assetto Idrogeologico tuttora vigenti in Regione Emilia-Romagna sono i seguenti:

- PAI Autorità di Bacino Interregionale Marecchia e Conca;
- PAI Autorità di Bacino Interregionale Reno;
- PAI Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.

Nello specifico, l'area di intervento è inclusa nell'area di competenza dei Bacini Regionali Romagnoli.

L'Autorità dei bacini Romagnoli ha emanato un Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, definitivamente approvato dalla Regione Emilia Romagna nel 2003.

Il quadro nazionale di disciplina nel settore della difesa del suolo ed in particolare dell'assetto e del rischio idrogeologico è stato poi integrato dall'approvazione dei Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni, in attuazione della direttiva comunitaria 2007/60, recepita a livello nazionale con D.Lgs. 49/2010.

La Direttiva Alluvioni (DA) prevede la valorizzazione delle conoscenze e degli strumenti già a disposizione degli Stati membri; il decreto di recepimento italiano, parimenti, ha fatto salvi gli strumenti già predisposti nell'ambito della pianificazione di bacino e ha previsto che la propria attuazione utilizzi le sole risorse umane, strumentali e finanziarie già disponibili. Ulteriore elemento di novità introdotto dalla DA discende dalla richiesta di considerare anche le inondazioni di origine marina; a questo si aggiunge la scelta della Regione Emilia Romagna di valutare e di individuare azioni, attraverso la redazione di mappe e il PGRA, anche per i fenomeni di inondazione dovuti ai corsi d'acqua, in relazione all'importanza che riveste il sistema di bonifica nel territorio della regione per la raccolta e il convogliamento delle acque piovane.

Il processo che ha portato alla redazione del PGRA ha consentito di rivedere in modo integrato e strategico gli strumenti che collaborano alla gestione del rischio, portando anche ad individuare le azioni di miglioramento degli strumenti esistenti. In particolare, per quanto riguarda la pianificazione di bacino, il PGRA richiede di disciplinare le aree inondabili di nuova individuazione e di elaborare norme che consentano un maggiore collegamento fra le azioni della pianificazione di bacino e quelle di protezione civile.

A tal fine si è resa necessaria la redazione di una variante di coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico Approvata con Delibera Giunta Regionale n. 2112 del 05 dicembre 2016. Tale variante costituisce una prima attuazione delle misure che il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni pone in capo alla pianificazione di bacino funzionale a procedere in tempi rapidissimi a mettere in campo tutte le azioni possibili per arrivare ad adottare un primo progetto di variante al Piano Stralcio vigente attuando le prime misure più urgenti per evitare un vuoto normativo tra PGRA e PAI. Le misure, poste in carico all'Autorità di bacino dal PGRA, sono:

- modifiche e integrazioni ai PAI: per le aree inondabili attualmente non individuate specificazione e attuazione di misure in funzione delle varie realtà territoriali;
- modifiche e integrazioni ai PAI: elaborazione norme di collegamento tra la pianificazione di bacino e le azioni di protezione civile.

La prima misura richiede di integrare nella pianificazione una disciplina in relazione alle aree potenzialmente interessate da alluvioni non attualmente disciplinate, facendo riferimento alle caratteristiche territoriali e del fenomeno di inondazione per tutte e tre le Autorità di bacino (del Reno, dei bacini Romagnoli e del Marecchia - Conca). Tale misura si coniuga in modo diverso in relazione al sistema di pianificazione di bacino. In tutte e tre le Autorità, la pianificazione vigente non include la valutazione del fenomeno delle inondazioni marine e una disciplina conseguente, dove il maggiore impulso è stato dato alla pianificazione nel settore dell'Assetto Idrogeologico (i PAI), ossia all'assetto dei versanti e dei corsi d'acqua. L'attuazione della misura richiede in primo luogo di identificare le aree inondabili non individuate nei piani di bacino: le mappe della pericolosità di alluvioni, redatte ai sensi del D.lgs. 49/2010, per i bacini Regionali Romagnoli, individuano le seguenti aree non già individuate e/o sottoposte a disciplina nei piani vigenti:

- 1) per le inondazioni dovute ai corsi d'acqua naturali:
 - a. le aree appartenenti all'alveo dei corsi d'acqua principali (integrazione);
 - b. alcune limitate aree che discendono da acquisizioni recenti sulla morfologia del territorio relativamente a tratti fluviali già ricompresi nei P.A.I;

c. alcune limitate aree che discendono da approfondimenti recenti, su corsi d'acqua prima non indagati;

2) le aree relative alla pericolosità di alluvioni dal reticolo di bonifica (integrazione);

3) le aree relative alla pericolosità di alluvioni da mare.

Per le aree al punto 3) è stata prevista una disciplina che mira al collegamento con le azioni di protezione civile (seconda misura), alla riduzione della vulnerabilità e alla sua integrazione nella pianificazione urbanistica. Per tali aree sono, inoltre, previste disposizioni temporanee in attesa dell'attuazione da parte della Regione delle misure per la costa ad essa attribuite dal PGRA.

L'impostazione delle norme di coordinamento dei Piani Stralcio con il PGRA, costituenti la variante in questione, fa riferimento ai seguenti criteri:

- mantenere la vigenza di tutti i dispositivi già contenuti nei Piani Stralcio, essendo stata dimostrata negli anni la loro efficacia e avendone il PGRA confermato e rafforzato il loro ruolo nella gestione del rischio di alluvioni;
- in assenza di nuovi dati di carattere conoscitivo rispetto a quelli su cui si basano i piani di bacino vigenti al momento dell'approvazione del PGRA, non introdurre ulteriori vincoli urbanistici oltre a quelli attualmente previsti dai Piani Stralcio;
- attraverso la concreta presa d'atto delle mappe di pericolosità del PGRA da parte dei Comuni, promuoverne il coinvolgimento attivo nel perseguire la massima integrazione tra conoscenza della pericolosità e la pianificazione urbanistica dando concreta attuazione ai principi di precauzione e dell'azione preventiva;
- introdurre un efficace coordinamento tra piani di emergenza ai fini della Protezione Civile e la pianificazione urbanistica.

L'area di intervento, come si vede dagli estratti della "Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico" riportate nelle figure seguenti, rientra tra le aree di potenziale allagamento previste all'art. 6 della Normativa di Piano.

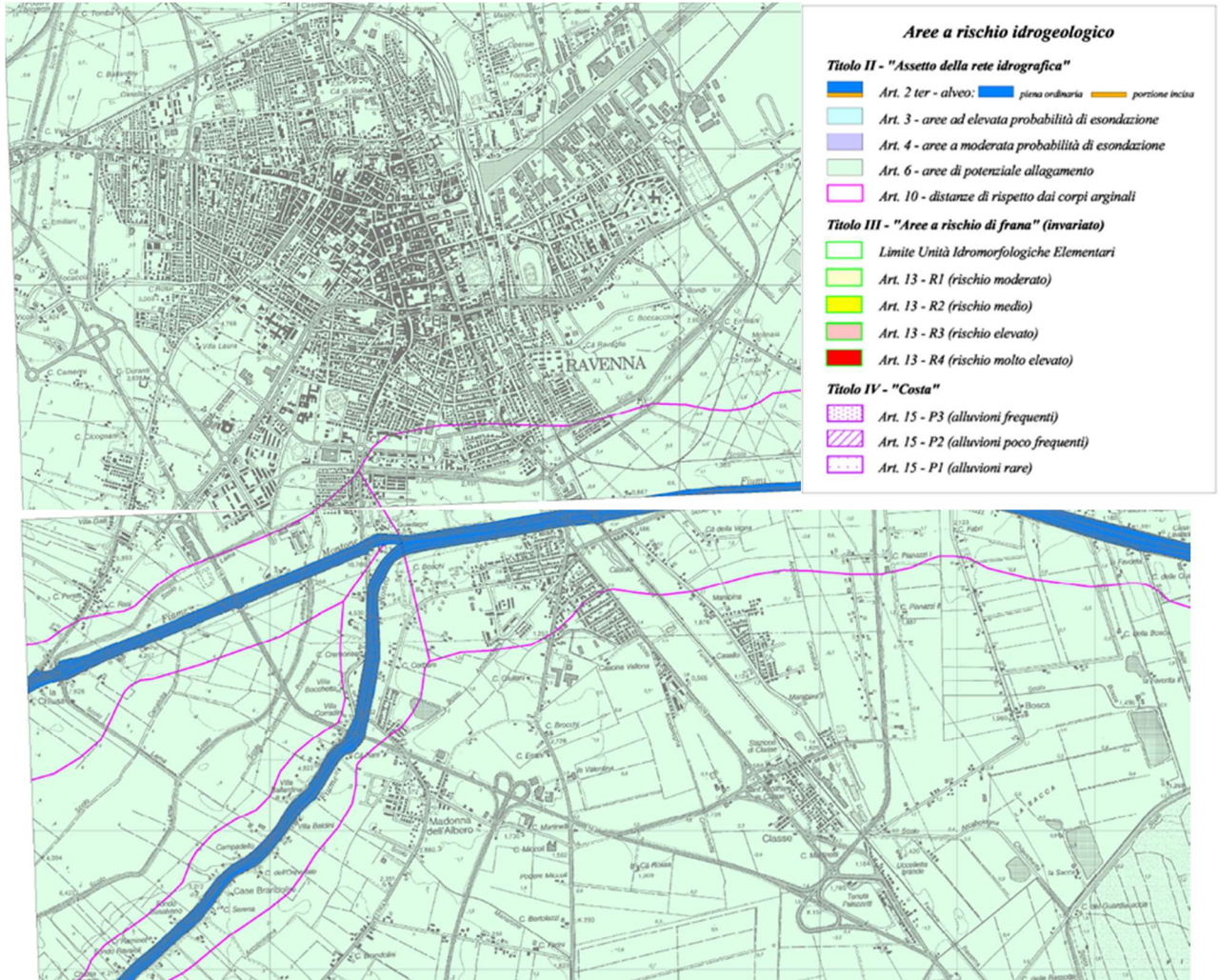


Figura 8: Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico

Ai sensi della normativa di piano, le aree di potenziale allagamento sono quelle nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica o di sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d'acqua principali, con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni e senza apprezzabili effetti dinamici. Tali aree sono individuate in conformità con il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni di cui alla Direttiva 2007/60/CE.

Tramite l'analisi delle mappe di pericolosità e di rischio alluvioni, cartografia associata al Piano di gestione del rischio di alluvione, è possibile trarre delle conclusioni maggiormente precise.

Il fenomeno "alluvione" viene definito nell'art. 2 "definizioni" del D.Lgs. 49/2010 come "l'allagamento temporaneo, anche con trasporto ovvero mobilitazione di sedimenti anche ad alta densità, di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Ciò include le inondazioni causate da laghi, fiumi, torrenti, eventualmente reti di drenaggio artificiale, ogni altro corpo idrico superficiale anche a regime temporaneo, naturale o artificiale, le inondazioni marine delle zone costiere ed esclude allagamenti non direttamente imputabili ad eventi meteorologici".

Le mappe della pericolosità si occupano pertanto di individuare le aree potenzialmente allagabili e di indicarle in relazione a tre scenari:

- Alluvioni frequenti, con un tempo di ritorno tra i 20 ed i 50 anni, caratterizzate da un'elevata probabilità di inondazione;
- Alluvioni poco frequenti, con un tempo di ritorno tra i 100 ed i 200 anni, caratterizzate da una probabilità di inondazione media;
- Alluvione rare di estrema intensità, con tempo di ritorno fino ai 500 anni.

È di seguito riportato lo stralcio della mappa della pericolosità associata al reticolo naturale principale e secondario dell'area interessata.

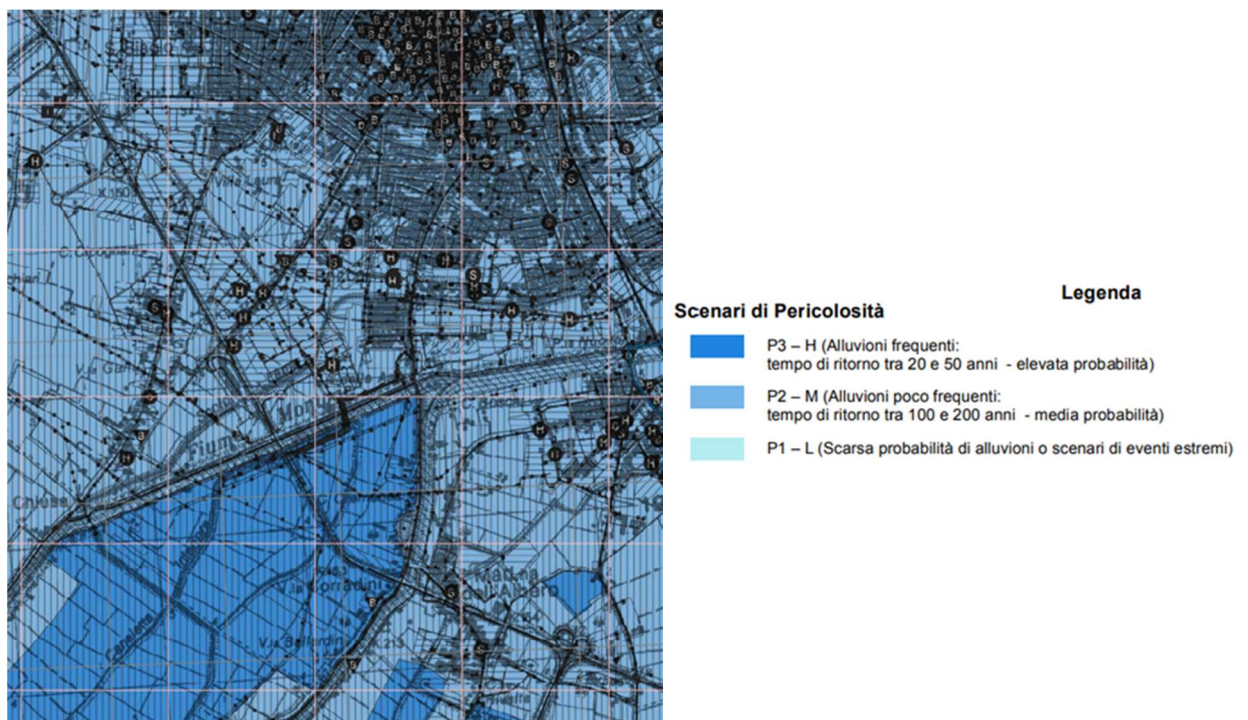
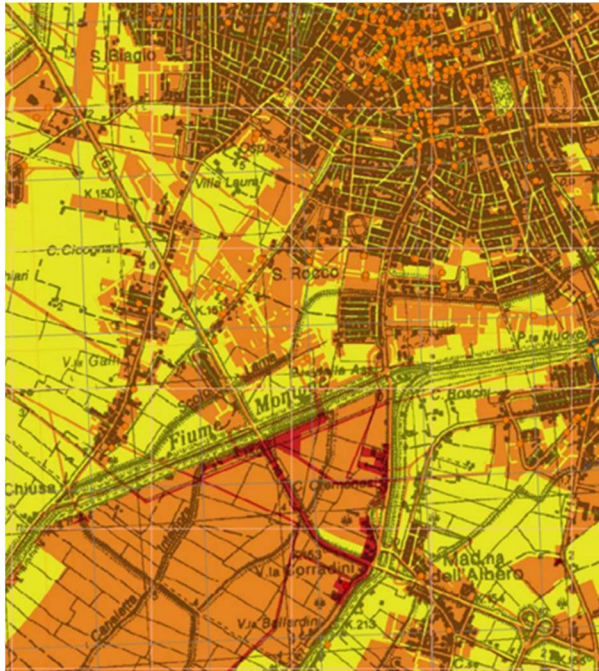


Figura 9: Scenari di pericolosità alluvione

È possibile notare che la S.S.16 si inserisce all'interno di aree caratterizzate da alluvioni poco frequenti, ma che, nel tratto compreso tra i fiumi Montone e Ronco, diventano zone nella quale la probabilità di inondazione è elevata.

Lo stesso D.Lgs. 49/2010 all'art. 2 definisce il "rischio alluvione" come *"la combinazione della probabilità di accadimento di un evento alluvionale e delle potenziali conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali derivanti da tale evento"*.

Le mappe del rischio di alluvioni contengono pertanto tali elementi con riferimento ai predetti scenari.



Classi di Rischio	puntuali	lineari	areali
R1 (rischio moderato o nullo)	●	—	■
R2 (rischio medio)	●	—	■
R3 (rischio elevato)	●	—	■
R4 (rischio molto elevato)	●	—	■

Figura 10: Classi di rischio alluvioni

Dall'analisi della mappa del rischio è possibile notare che l'area di interesse è caratterizzata soprattutto dalla presenza di zone a rischio moderato/nullo o a rischio medio. Solamente nel tratto compreso tra il fiume Montone ed il Ronco la cartografia evidenzia aree a rischio elevato.

PARTE 4

DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI RACCOLTA, TRATTAMENTO E SMALTIMENTO DELLE ACQUE DI PIATTAFORMA

Dal punto di vista qualitativo, le acque drenate dalla pavimentazione stradale, specie nei primi minuti di precipitazione (prima pioggia), rimuovono in quantità variabili le sostanze ivi depositate a causa di:

- esercizio della strada (carburanti incombusti, detriti di pneumatici, gocciolamento di sostanze detergenti e anticongelanti, abrasione di conglomerato bituminoso, ecc.) e manutenzione della stessa (vernici per demarcazione segnaletica orizzontale, sostanze chimiche utilizzate per la pulizia dei segnali verticali, ecc.);
- eventi accidentali (dispersione sostanze solubili e insolubili in acqua, liquidi infiammabili, ecc.);
- altri fattori inquinanti: resti di materiali da costruzione, depositi di componenti di vegetazione, ecc..

Il manto stradale, dunque, trasferisce alle acque di dilavamento sia materiale organico, biodegradabile (oli, grassi, alcani, alcheni, ecc.) ma con una piccola frazione a lenta degradabilità (idrocarburi policiclici aromatici, furani, ecc.), sia solidi inerti (sali inorganici di varia natura, nutrienti come azoto e fosforo, metalli pesanti, ecc.). La scelta progettuale è di sottoporre le acque meteoriche a trattamento per poi recapitarle senza inquinanti nei corsi d'acqua.

Dal punto di vista quantitativo, come già detto nella premessa, la progettazione è legata alla definizione dell'intensità e della durata dell'evento piovoso dell'area di progetto ed alla capacità idraulica dei recettori finali.

Il sistema di raccolta delle acque di piattaforma a servizio dell'infrastruttura in progetto è stato, dunque, definito in modo tale da raggiungere i seguenti obiettivi:

- garantire il trattamento delle acque di prima pioggia, quindi la protezione dei corpi idrici dal rischio da sversamento di sostanze inquinanti;
- garantire l'invarianza idraulica;
- smaltimento a gravità delle acque drenate;
- utilizzare, quali recapiti finali, corsi d'acqua capaci di smaltire le portate conferite senza alterare in modo significativo le proprie caratteristiche idrauliche e le condizioni di sicurezza idraulica del territorio a valle dell'infrastruttura, individuando interventi di mitigazione atti ad evitare possibili interferenze con i processi geomorfologici in atto;
- accessibilità per manutenzione e gestione d'esercizio delle opere, minimizzando l'interferenza di tali operazioni con il traffico;
- durabilità delle opere.

1 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI RACCOLTA

Il sistema di smaltimento delle acque meteoriche ricadenti sulla piattaforma stradale può essere realizzato principalmente in due tipologie:

- Sistema di raccolta aperto: caratterizzato da fossati a cielo aperto localizzati lateralmente alla piattaforma stradale, che hanno la funzione di raccogliere le acque di scorrimento superficiali;
- Sistema di raccolta chiuso: è un sistema costituito da caditoie e tubazioni che scorrono al di sotto del piano viario.

La tipologia di smaltimento delle acque meteoriche utilizzata principalmente all'interno del progetto in oggetto è il sistema di raccolta aperto, dove convogliano nei fossi di guardia le acque derivanti dalla piattaforma stradale, dalla scarpata e dalle canalette grigliate presenti. L'utilizzo di queste ultime è reso necessario dall'impossibilità, in certi punti, di usufruire dei fossi di guardia o nei tratti in curva, dove la pendenza della piattaforma stradale è ad unica falda. Lo smaltimento delle acque di piattaforma, in generale, è realizzato tramite un sistema tradizionale di embrici di scolo con imbocco posto a lato della banchina. Nei casi in cui lo scarico delle acque meteoriche, inoltre, avvenga in canali sotterranei, si sono utilizzati pozzetti caditoia e tubazioni per il raggiungimento dello scarico.

Le sezioni tipo della piattaforma stradale, in rettilo e in curva, sono illustrate nelle figure seguenti.

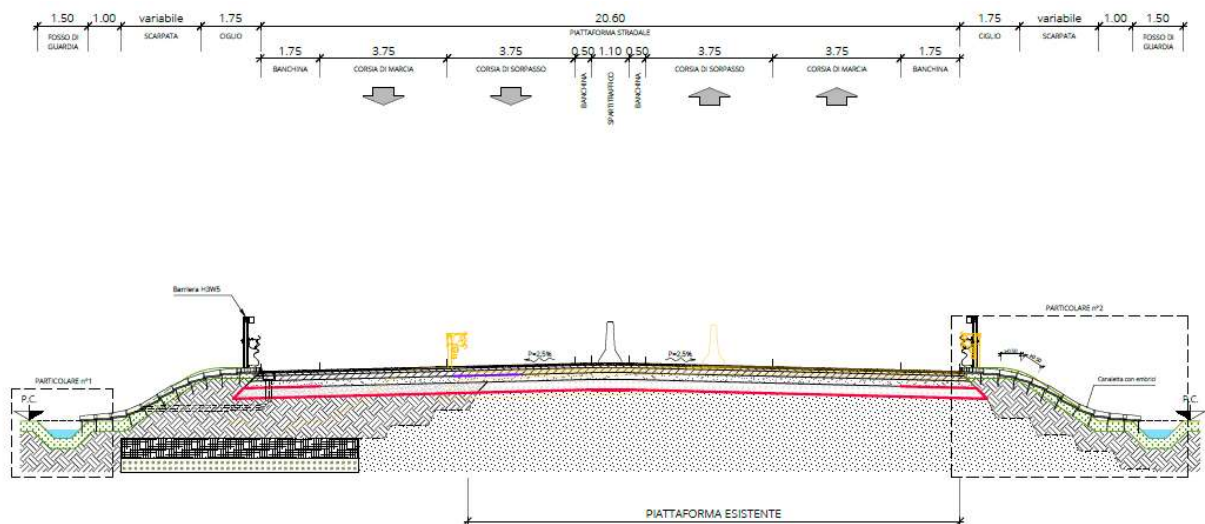


Figura 11: Sezione tipo in rettilo

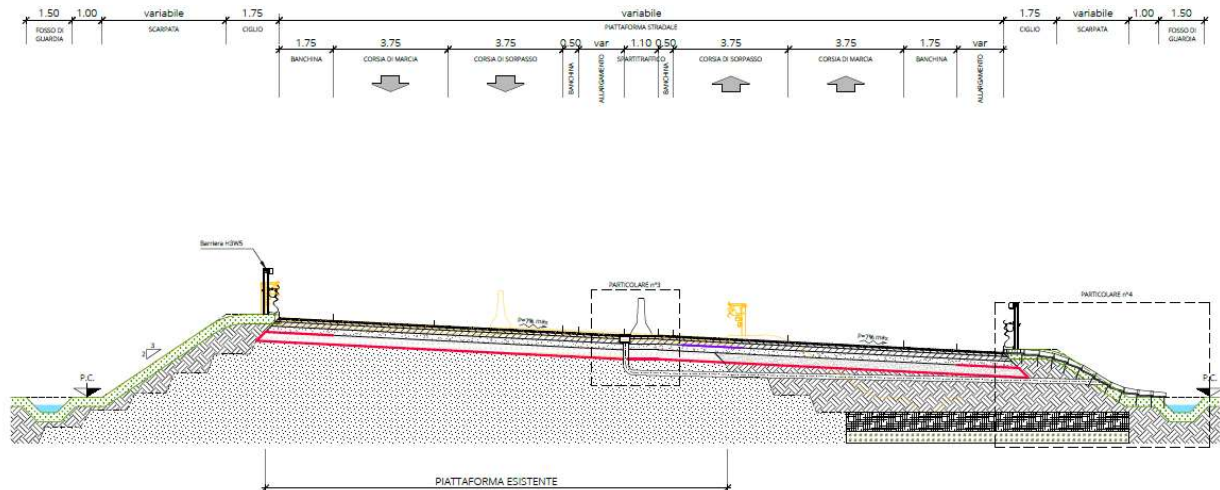


Figura 13: Sezione tipo in curva

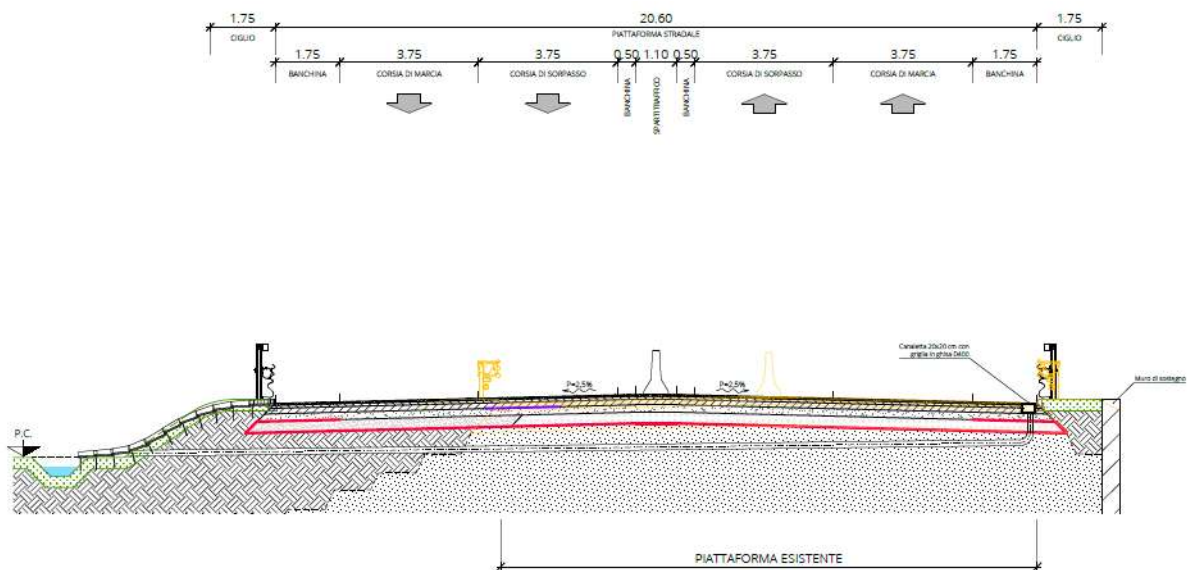


Figura 12: Sezione tipo nei punti dove non vi sono fossi di guardia

La pendenza della piattaforma stradale è di 2,5%, realizzata in modo tale da garantire lo scorrimento delle acque superficiali verso l'esterno. Nei tratti in curva vi sarà una variazione di pendenza, con una pendenza massima del 7,0%. Poiché il ciglio stradale è posto in continuità alla piattaforma asfaltata, non è necessario predisporre cunette di raccolta verso il fossato di guardia, ma risultano sufficienti il sistema tradizionale di embrici con imbocco citati in precedenza.

Lungo il tracciato sono presenti punti in cui non è stato possibile realizzare il fossato di guardia, ovvero:

- negli impalcati di strutture esistenti quali ponti e sottovia;
- dove vi è la presenza di sopraelevazioni aventi pile, ai lati della carreggiata di progetto, di sostegno;
- progettazione di muri di sostegno ai lati della nuova piattaforma stradale della S.S. 16;

- presenza di case, viabilità secondaria o ostacoli in generale.

In questi casi e lungo i tratti in curva del tracciato, sono state utilizzate canalette grigliate normali e ribassate in modo da allontanare le acque meteoriche dalla piattaforma stradale convogliandole, tramite tubazioni in PVC, ai fossi di guardia vicini.

Per collegare due fossi di guardia divisi da una rampa di ingresso o di uscita della S.S. 16, infine, verranno utilizzate tubazioni progettate specificatamente realizzate mediante tecnologie spingi tubo.

Si rimanda alla planimetria della rete e alla tavola dei particolari costruttivi idraulici per una visualizzazione grafica delle scelte progettuali attuate.

2 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI TRATTAMENTO

Per evitare un numero spropositato di strutture in cemento per il trattamento delle acque meteoriche, una o addirittura due per tutti i canali presenti, ed avere un miglior aspetto paesaggistico dell'area, si è scelto di eliminare gli inquinanti presenti nella prima pioggia attraverso processi di fitodepurazione.

2.1 I SISTEMI DI FITODEPURAZIONE

La fitodepurazione è un sistema di trattamento dei reflui basato su processi biologici, fisici e chimico-fisici caratteristici degli ambienti acquatici e delle zone umide, utilizzando l'attività microbica, l'assunzione diretta da parte delle piante, la sedimentazione, la filtrazione e l'adsorbimento. I sistemi di fitodepurazione sono ambienti umidi riprodotti artificialmente in bacini impermeabilizzati, attraversati dalle acque reflue opportunamente collettate. Tali sistemi sono caratterizzati dalla presenza di specie vegetali tipiche delle zone umide (macrofite igrofile), radicate ad un substrato di crescita o flottanti sullo specchio d'acqua. Sono anche definiti 'sistemi naturali' in quanto tendono a riprodurre in ambiente controllato i processi di autodepurazione che avvengono nelle zone umide naturali, in cui sono coinvolte, oltre alla specie vegetali, anche i microrganismi associati, per il trattamento delle acque reflue. In tali ambienti si realizzano i naturali processi di autodepurazione delle zone umide per degradare gli inquinanti contenuti nelle acque reflue. I sistemi di fitodepurazione sono classificati in base al tipo di macrofite utilizzate ed alle caratteristiche del percorso idraulico del refluo. La classificazione in funzione delle caratteristiche delle specie vegetali utilizzate è la seguente:

- Sistemi con macrofite galleggianti;
- Sistemi a macrofite radicate sommerse;
- Sistemi a macrofite radicate emergenti;
- Sistemi misti.

In relazione al percorso idraulico del refluo, i sistemi di fitodepurazione si distinguono in:

- SFS-h o HF (Subsurface Flow System – horizontal o Horizontal Flow): i sistemi a flusso sommerso orizzontale sono bacini riempiti con materiale inerte, dove i reflui scorrono in senso orizzontale in condizioni di saturazione continua e le specie vegetali utilizzate appartengono alle macrofite radicate emergenti;
- SFS-v o VF (Subsurface Flow System – vertical o Vertical Flow): i sistemi a flusso sommerso verticale

sono vassoi riempiti con materiale inerte, dove i reflui scorrono in senso verticale in condizioni di saturazione alternata e le specie utilizzate appartengono alle macrofite radicate emergenti;

- FW o FWS (Free Water o Free Water Surface): i sistemi a flusso libero riproducono, quanto più fedelmente, una zona palustre naturale, dove l'acqua è a diretto contatto con l'atmosfera e generalmente poco profonda, e le specie vegetali che vi vengono inserite appartengono ai gruppi delle idrofite e delle elofite.

Le diverse tipologie di sistemi di fitodepurazione possono essere combinate con l'obiettivo di ottimizzare le rese depurative di un particolare tipo di refluo; questi sistemi combinati prendono il nome di 'Sistemi ibridi'.

Le specie vegetali utilizzate nei sistemi di fitodepurazione naturale sono piante che vivono normalmente nelle zone umide (piante acquatiche e idrofile), adattate a crescere in suoli parzialmente o perennemente saturi d'acqua. La vegetazione svolge diverse funzioni, ripartite tra le diverse componenti strutturali. La parte sommersa delle piante acquatiche esplica la duplice funzione di filtro e di supporto per la popolazione microbica. Ulteriori funzioni svolte dalla vegetazione sono la riduzione del volume del refluo attraverso l'assorbimento radicale e la traspirazione fogliare, l'assorbimento e l'asportazione di fitonutrienti e di elementi tossici, la filtrazione del refluo. Il ruolo svolto dalle macrofite all'interno dei sistemi di depurazione naturale è riassunto nella tabella seguente.

Parte aerea	Parte sommersa	Apparati radicali e rizomi
attenuazione della luce	funzione di supporto per i microrganismi	stabilizzazione della superficie e controllo dell'erosione
influenza sul microclima	rilascio di ossigeno fotosintetico	prevenzione di infiltrazione nei sistemi a flusso sub-superficiale verticale
riduzione della velocità del vento	assunzione dei nutrienti	assunzione di nutrienti
funzione estetica	effetto filtrante per i detriti	rilascio di antibiotivi
riserva di nutrienti	riduzione della velocità della corrente	-

Tabella 3: Ruolo delle macrofite

La selezione delle specie vegetali deve essere effettuata tenendo conto di molteplici aspetti, quali le condizioni climatiche del sito in cui si intende realizzare l'impianto di fitodepurazione, le caratteristiche delle acque reflue da trattare, la qualità richiesta dell'effluente. La vegetazione più adatta al sistema di fitodepurazione proposto dovrà essere selezionata in relazione all'adattabilità alle condizioni di saturazione del terreno, al potenziale di crescita dell'apparato radicale e di capacità di trasporto dell'ossigeno, all'elevata capacità di attività fotosintetica, alla resistenza ad elevate concentrazioni inquinanti, alla resistenza alle malattie, alla semplicità di gestione. La scelta delle specie vegetali dovrà essere effettuata anche tenendo conto di eventuali problemi relativi all'eccessivo sviluppo di alcune di esse, che possono risultare infestanti, compromettendo la funzionalità degli ambienti acquatici in cui si sviluppano. Le specie vegetali utilizzate appartengono prevalentemente a specie erbacee che, in relazione all'ambiente di crescita, possono essere suddivise in idrofite e macrofite emergenti o elofite. Le idrofile sono piante acquatiche perenni le cui

gemme si trovano sommerse o natanti e possono essere suddivise in due sottogruppi: pleustofite, se non ancorate al substrato e liberamente natanti in superficie, e rizofite, se ancorate al fondo mediante il loro apparato radicale. Le elofite, dette anche macrofite radicate emergenti, sono piante terrestri, che nel tempo si sono adattate alla vita su suoli parzialmente o completamente saturi d'acqua.

Per evitare fenomeni di inquinamento del sottosuolo, i bacini di fitodepurazione devono essere provvisti di adeguati sistemi di impermeabilizzazione. A tal scopo possono essere impiegate geomembrane sintetiche (PEAD, PVC, PP) o bentonitiche, di spessore variabile fra 0,5 mm e 2 mm e collegate tramite saldature o sormonti. L'impermeabilizzazione può essere effettuata anche tramite terreno argilloso, metodo limitato dalla permeabilità del terreno, o ricorrendo a manufatti in cemento, metodo limitato dai costi di realizzazione.

Il materiale di riempimento, o medium di riempimento, infine, ha un ruolo fondamentale nell'efficienza depurativa di un impianto di fitodepurazione in quanto, oltre a fornire supporto alla vegetazione, svolge la funzione di filtro meccanico e chimico per alcune sostanze contenute nel refluo; per questo la scelta del medium è strettamente correlata alle caratteristiche del liquame che si deve depurare. Il medium di riempimento dovrà essere costituito da materiale il più possibile rotondeggiante omogeneo, proveniente da rocce compatte, resistenti, non gessose né gelive, non contenente elementi di scarsa resistenza meccanica, sfaldati o sfaldabili. Il materiale dovrà, inoltre, essere scevro da materie terrose, sabbia o comunque materie eterogenee.

2.2 SCELTE PROGETTUALI

Le caratteristiche uniche del progetto in oggetto portano ad una scelta di utilizzo dei fossi di guardia come vasche per la fitodepurazione; imposto ciò, la scelta del sistema di fitodepurazione ricade esclusivamente sui sistemi SFS-h o HF a flusso sommerso orizzontale. Le dimensioni dei fossi di guardia, descritte nel capitolo seguente, sono state calcolate nel rispetto e nella verifica dell'invarianza idraulica e della laminazione per sovradimensionamento degli stessi.

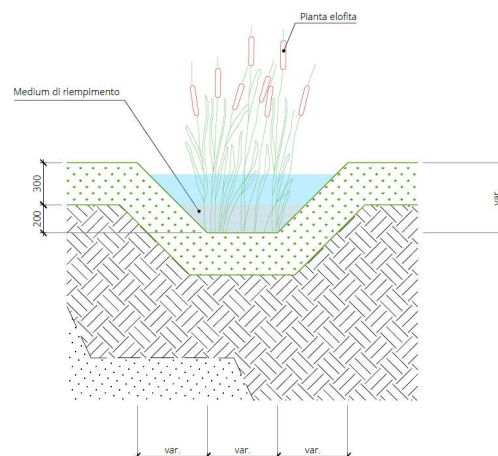


Figura 14: Sistema di fitodepurazione progettato

Le notevoli lunghezze dei fossi progettati, unito alla bassa pendenza degli stessi, verifica il decadimento degli inquinanti di dimensioni maggiori e, con l'aiuto del medium di riempimento e delle specie arboree presenti, l'eliminazione di tutti i contaminanti della cosiddetta 'prima pioggia'.

Avendo un sistema di fitodepurazione di acque meteoriche di dilavamento di piattaforma stradale, non per acque reflue derivate da attività domestiche, agricole o industriali e quindi con una minore presenza di contaminanti e una totale assenza di sostanze inquinanti pericolose, si è deciso di non prevedere una membrana di impermeabilizzazione. Questa scelta, oltre a non modificare la stratigrafia del terreno esistente, offre la possibilità alle specie arboree di avere radici più profonde e, di conseguenza, di avere una miglior prestazione per la depurazione delle acque e un miglior aspetto dal punto di vista paesaggistico. Nei sistemi a flusso sommerso orizzontale deve essere assicurata una conducibilità idraulica di almeno 100 m/g; è quindi sconsigliato l'utilizzo di terreno vegetale come medium di riempimento, mentre si utilizza comunemente ghiaia di granulometria variabile, pulita e lavata. Il medium di riempimento scelto, quindi, consiste in ghiaia aventi dimensione dei grani tra 8 mm e 16 mm, la quale, grazie a prove di laboratorio, possiede una porosità pari a 35-38% e conducibilità idraulica pari a 500-800 m/g. Il medium di riempimento dovrà essere disposto in modo uniforme per una altezza di circa 10 cm.

La scelta della specie vegetale è ricaduta nelle macrofite radicate emergenti o elofite, in quanto si tratta di piante terrestri capaci di sopravvivere in assenza di acqua. Tra le varie specie possibili, si è optato per la Cannuccia di palude, chiamata anche *Phragmites australis o communis*, specie erbacea perenne e rizomatosa che può raggiungere anche i 4 m di altezza. Le foglie, opposte, ampie e laminari, sono lunghe dai 15 cm ai 60 cm e larghe 1.6 cm, glabre, verdi o glauche. All'apice del fusto è presente una pannocchia di colore bruno o violaceo, lunga fino a 40 cm. La specie vegetale verrà piantumata con una densità pari a 4 piante/m².

La scelta di utilizzare questa precisa specie è stata presa per due diversi motivi; oltre a possedere un intervallo ottimale di profondità d'acqua pari a 0-100 cm, ideale per il progetto in oggetto dove sono presenti diverse altezze dei tiranti nei fossi di guardia, con la sua altezza riesce a creare una barriera divisoria tra l'infrastruttura stradale e le zone circostanti, migliorando l'aspetto paesaggistico.

3 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI SMALTIMENTO

3.1 ASPETTI TEORICI

Nelle verifiche idrauliche che non presentano la possibilità di avere come riferimento misurazioni storiche di portata per la stima delle piene è necessario, tramite l'utilizzo di modelli idrologici, effettuare la trasformazione degli afflussi, ovvero le piogge, in deflussi, cioè le portate.

Si fa pertanto uso dell'analisi statistica e probabilistica di serie storiche di eventi reali, come ad esempio le massime piogge annuali relazionate a diverse durate di precipitazione, i massimi livelli idrometrici annuali o le massime portate annuali in una prefissata stazione di misura.

Data una serie storica di eventi è possibile associare al singolo evento un tempo di ritorno T_r , definito

come l'inverso della probabilità di superamento, ovvero indicato come il periodo nel quale l'evento considerato è mediamente uguagliato o superato.

Data una serie di altezze di pioggia massime annuali si può associare una distribuzione di probabilità che si adatti a rappresentare le misure disponibili. Tramite la distribuzione in oggetto è possibile estrapolare, dalle piogge storiche, le piogge corrispondenti ad un tempo di ritorno maggiore rispetto alla durata della serie storica disponibile, ottenendo perciò un carattere previsionale dell'analisi.

Al fine di effettuare delle considerazioni sulla gestione delle acque meteoriche e sull'invarianza idraulica è necessario effettuare un'analisi delle precipitazioni per individuare l'equazione di possibilità pluviometrica più rappresentativa dell'area oggetto di intervento. Essa è l'equazione che stabilisce l'altezza di precipitazione h dovuta ad un evento di precipitazione di durata ipotetica t , in funzione della probabilità che esso ha di verificarsi, espressa, quest'ultima, dal tempo di ritorno Tr .

Nel caso in oggetto, all'interno del portale del Consorzio di bonifica della Romagna, che riprende a sua volta quanto espresso nel PAI, sono indicati i seguenti parametri pluviometrici.

Durata > 1h	Ravenna	
Tr	a	n
10	35	0.33
30	51	0.28
50	58	0.3
200	74	0.3

Tabella 4: Parametri pluviometrici

L'equazione pluviometrica è individuata come

$$h = at^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione [mm], t rappresenta la durata dell'evento piovoso [h], a ed n sono i parametri pluviometrici corrispondenti alle caratteristiche pluviometriche locali.

Inoltre, si è proceduto a modificare i parametri a ed n come segue:

- il parametro n è stato moltiplicato per 4/3 per considerare il fatto che il coefficiente di deflusso varia con la durata della precipitazione;
- entrambi i coefficienti sono poi stati ragguagliati di volta in volta rispetto all'estensione dell'area oggetto d'intervento applicando le formule dovute a Puppini, valide per un'area $S < 1300$ ha:

$$\bar{a} = a \cdot \left[1 - 0,052 \cdot \frac{S}{100} + 0,002 \cdot \left(\frac{S}{100} \right)^2 \right]$$

$$\bar{n} = n + 0,0175 \cdot \frac{S}{100}$$

Si riporta nella tabella seguente i parametri della curva di possibilità pluviometrica, ragguagliati all'area di intervento:

a'	n'
57,99	0,40

Tabella 5: Parametri curva possibilità pluviometrica

Il valore di tempo di ritorno che sarà adottato per il caso in esame è pari a 50 anni. Le altezze e le intensità di pioggia ottenute sono le seguenti.

h (mm)		Tr
		50
t (h)	1	58,0
	3	80,6
	5	94,0
	10	115,7

i (mm/h)		Tr
		50
t (h)	1	58,0
	3	26,9
	5	18,8
	10	11,6

Tabella 6: Altezze e intensità di pioggia con Tr = 50 anni

Nel caso in esame si considereranno altezze di pioggia caratterizzate da durata oraria e, come già detto, Tr pari a 50 anni.

Per il calcolo delle portate meteoriche generate dalla piattaforma stradale si applica il modello semplificato cinematico.

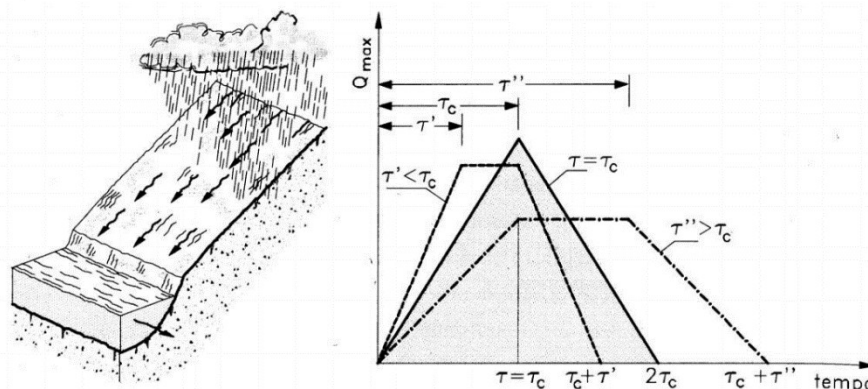


Figura 15: Rappresentazione grafica del metodo cinematico

Definito il tempo di corrivazione (T_c), identificato come il tempo necessario alla particella d'acqua ricaduta nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura di progetto, supposta una pioggia uniformemente distribuita all'interno del bacino e fissato che le piogge efficaci (piogge decurtate da quelle perse per infiltrazione ed evapotraspirazione) si calcola, mediante l'utilizzo di un coefficiente di deflusso ϕ , la portata massima (idrogramma di forma triangolare in Figura 15):

$$Q_{max} = \frac{\varphi h S}{T_c}$$

dove φ è il coefficiente di deflusso (pari ad 1 per superfici impermeabili e a 0,2 per le aree verdi), h è l'altezza di precipitazione, S è la superficie afferente e T_c , come già specificato, è il tempo di corrivazione, fissato pari a 10 minuti. Per quanto riguarda il coefficiente di deflusso delle scarpate della piattaforma stradale, è stato preso pari a 0,6, pur essendo aree verdi, in quanto la pendenza della stessa non permetterà una perfetta infiltrazione e farà confluire la maggior parte delle acque all'interno dei fossi di guardia. Nel calcolo delle portate non sono stati considerati come bacini afferenti le aree agricole confinanti con l'infrastruttura stradale. Questa scelta trova riscontro nei rilievi effettuati dell'area e nei sopralluoghi, dove si evince che le pendenze presenti di tali bacini tendono a far scorrere le acque meteoriche verso il lato opposto ai fossi di guardia.

La verifica idraulica delle tubazioni, invece, per lo smaltimento delle acque meteoriche si effettua utilizzando la formula di Chézy con coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler:

$$v = K_S R_H^{2/3} \sqrt{i}$$

Dove v è la velocità media di efflusso nella condotta, K_S è il coefficiente di scabrezza, R_H è il raggio idraulico, calcolato come rapporto fra l'area bagnata e il contorno bagnato, e i la pendenza del fondo.

Si impone una velocità compresa tra 0,5 – 2 m/s e si calcola un diametro in grado di smaltire la portata di progetto. Assumendo quindi un diametro si calcola il raggio idraulico della condotta considerando un grado di riempimento della stessa pari a 0,7.

Si cerca di diminuire la velocità del fluido nella condotta così da ridurre anche la pendenza verificando che lo sforzo tangenziale nella condotta sia sempre maggiore di 2 Pa per non avere sedimentazione all'interno della condotta. Nel caso in oggetto si è presa la pendenza necessaria per il raggiungimento del fosso di guardia dove verrà convogliata l'acqua meteorica.

Si considera un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a 90 m^{1/3}/s, valore tabellato per le condotte in PVC, e di 75 m^{1/3}/s per le condotte in calcestruzzo.

Le verifiche risultano soddisfatte quando la portata smaltibile dalla sezione in progetto $Q_{smaltita}$ risulta maggiore della portata Q_{max} relativa al tempo di ritorno selezionato e in questo caso pari a 50 anni.

3.2 BACINI AFFERENTI

L'area di interesse è stata suddivisa in sottobacini di diversa estensione e nelle tabelle seguenti sono riportate le superfici afferenti di ciascun sottobacino, i coefficienti di deflusso, il tempo di corrivazione e le portate di massima attesa per il tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione. Per l'individuazione grafica dei tratti si rimanda alla 'Planimetria generale di smaltimento delle acque meteoriche'.

TRATTO	Bacino	S [ha]	S [km ²]	S [m ²]	φ	Tc [h]	h [mm]	Q [m ³ /s]	Q [l/s]	Canale di scarico
1-3	Strada	0,0570	0,0006	570,01	1,00	0,17	33,88	0,0322	32,189	Scolo Drittolo
	Scarpata	0,0454	0,0005	453,92	0,60	0,17	33,88	0,0154	15,380	
	TOT	0,1024	0,0010	1023,93				0,0476	47,570	
2-4	Strada	0,0942	0,0009	941,69	1,00	0,17	33,88	0,0532	53,179	Scolo Drittolo
	Scarpata	0,0557	0,0006	556,61	0,60	0,17	33,88	0,0189	18,860	
	TOT	0,1498	0,0015	1498,3				0,0720	72,039	
4-5	Strada	0,9308	0,0093	9308,14	1,00	0,17	33,88	0,5256	525,647	Scolo Drittolo
	Scarpata	0,1849	0,0018	1848,61	0,60	0,17	33,88	0,0626	62,637	
	TOT	1,1157	0,0112	11156,75				0,5883	588,284	
3-6	Strada	1,2022	0,0120	12021,98	1,00	0,17	33,88	0,6789	678,902	Scolo Drittolo
	Scarpata	0,6580	0,0066	6580,44	0,60	0,17	33,88	0,2230	222,965	
	TOT	1,8602	0,0186	18602,42				0,9019	901,868	
5-8	Strada	0,8793	0,0088	8793,2	1,00	0,17	33,88	0,4966	496,568	Fiume abbandonato
	Scarpata	0,3968	0,0040	3968,43	0,60	0,17	33,88	0,1345	134,463	
	TOT	1,2762	0,0128	12761,63				0,6310	631,030	
6-7	Strada	0,7442	0,0074	7442,23	1,00	0,17	33,88	0,4203	420,276	Fiume abbandonato
	Scarpata	0,4031	0,0040	4030,97	0,60	0,17	33,88	0,1366	136,582	
	TOT	1,1473	0,0115	11473,2				0,5569	556,857	
8-9	Strada	0,5423	0,0054	5422,51	1,00	0,17	33,88	0,3062	306,219	Fiume abbandonato
	Scarpata	0,1718	0,0017	1718,09	0,60	0,17	33,88	0,0582	58,214	
	TOT	0,7141	0,0071	7140,6				0,3644	364,433	
7-11	Strada	1,3734	0,0137	13733,79	1,00	0,17	33,88	0,7756	775,571	Canale Lama
	Scarpata	0,4218	0,0042	4217,65	0,60	0,17	33,88	0,1429	142,907	
	TOT	1,7951	0,0180	17951,44				0,9185	918,478	
10-12	Strada	0,5216	0,0052	5215,79	1,00	0,17	33,88	0,2945	294,545	Canale Lama
	Scarpata	0,0869	0,0009	868,74	0,60	0,17	33,88	0,0294	29,436	
	TOT	0,6085	0,0061	6084,53				0,3240	323,980	
13-11	Strada	0,6803	0,0068	6803,06	1,00	0,17	33,88	0,3842	384,181	Canale Lama
	Scarpata	0,2412	0,0024	2412,34	0,60	0,17	33,88	0,0817	81,737	
	TOT	0,9215	0,0092	9215,4				0,4659	465,918	
13-15	Strada	0,7161	0,0072	7161,09	1,00	0,17	33,88	0,4044	404,399	Canale Lama Vecchia
	Scarpata	0,4059	0,0041	4059,09	0,60	0,17	33,88	0,1375	137,534	
	TOT	1,1220	0,0113	11220,18				0,5419	541,934	
14-16	Strada	0,7271	0,0073	7271,22	1,00	0,17	33,88	0,4106	410,619	Canale Lama Vecchia
	Scarpata	0,1993	0,0020	1993,43	0,60	0,17	33,88	0,0675	67,544	
	TOT	0,9265	0,0093	9264,65				0,4782	478,162	
15-17	Strada	0,2385	0,0024	2385,37	1,00	0,17	33,88	0,1347	134,706	Canale Prevosture
	Scarpata	0,0761	0,0008	761,06	0,60	0,17	33,88	0,0258	25,787	
	TOT	0,3146	0,0031	3146,43				0,1605	160,493	
16-18	Strada	0,0530	0,0005	529,9	1,00	0,17	33,88	0,0299	29,924	Canale Prevosture
	Scarpata	0,0484	0,0005	483,65	0,60	0,17	33,88	0,0164	16,388	
	TOT	0,1014	0,0010	1013,55				0,0463	46,312	
17-19	Strada	0,5267	0,0053	5267,15	1,00	0,17	33,88	0,2974	297,445	Canale Prevosture
	Scarpata	0,1729	0,0017	1729,14	0,60	0,17	33,88	0,0586	58,589	
	TOT	0,6996	0,0070	6996,29				0,3560	356,034	
18-20	Strada	0,3550	0,0036	3550,48	1,00	0,17	33,88	0,2005	200,502	Canale Prevosture
	Scarpata	0,0992	0,0010	991,97	0,60	0,17	33,88	0,0336	33,611	
	TOT	0,4542	0,0045	4542,45				0,2341	234,113	
24-23	Strada	0,2130	0,0021	2130	1,00	0,17	33,88	0,1203	120,285	Canale Arcabologna Chiavichetta
	Scarpata	0,2566	0,0026	2565,79	0,60	0,17	33,88	0,0869	86,937	
	TOT	0,4696	0,0047	4695,79				0,2072	207,222	
25-23	Strada	0,4498	0,0045	4497,91	1,00	0,17	33,88	0,2540	254,005	Canale Arcabologna Chiavichetta
	Scarpata	0,0288	0,0003	288,49	0,60	0,17	33,88	0,0098	9,775	
	TOT	0,4786	0,0048	4786,4				0,2638	263,780	
23-21	Strada	2,8528	0,0285	28528,27	1,00	0,17	33,88	1,6110	1611,042	Canale Arcabologna Chiavichetta
	Scarpata	0,5461	0,0055	5460,82	0,60	0,17	33,88	0,1850	185,029	
	TOT	3,3989	0,0340	33989,09				1,7961	1796,071	

Tabella 7: Bacini afferenti

3.3 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA EMBRICI

Il dimensionamento degli embrici, elementi prefabbricati in conglomerato cementizio di dimensioni 50x40x12 cm, consiste nello stabilire l'interasse massimo in modo che l'acqua presente nella piattaforma stradale transiti in un tratto limitato di banchina e che, quindi, vengano evitati allagamenti eccessivi della carreggiata. Il funzionamento idraulico di un embrice può essere paragonato a quello di una soglia sfiorante e, pertanto, la portata captata dagli embrici viene calcolata tramite la formula

$$Q = C_q L \pi h \sqrt{2gh}$$

dove C_q è il coefficiente di deflusso, L la larghezza dell'embrice e h l'altezza del velo liquido all'imbocco dell'embrice. In particolare è stato verificato il passo degli embrici in una sezione tipo in corrispondenza della zona marginale dove si realizza un canale di bordo triangolare, la cui larghezza massima di impegno viene assunta cautelativamente pari a 1,00 m e con un tirante d'acqua dipendente dalla pendenza trasversale della carreggiata (2,5-7,0%).

La determinazione dell'interasse degli embrici viene effettuata confrontando la portata massima che può essere smaltita dal suddetto canale di sezione triangolare con la portata affluente sulla piattaforma stradale di larghezza B e lunghezza L , calcolata con la formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = K A R^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}} > \frac{\Phi_l I L B}{3600}$$

con A area bagnata, R raggio idraulico e K coefficiente di scabrezza.

Il valore limite dell'interasse è posto a 10,00 m, non ritenendo prudente superare tale misura.

In corrispondenza delle barriere fonoassorbenti viene utilizzato un accorgimento per il posizionamento degli embrici: nella fondazione della barriera verrà ricavato lo spazio necessario per gli embrici che scaricheranno nel fosso di guardia al piede del rilevato.

3.4 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DEI FOSSI DI GUARDIA

I fossi di guardia sono stati progettati principalmente per verificare l'invarianza idraulica e la laminazione delle acque meteoriche tramite il loro sovradimensionamento e l'utilizzo di pendenze contenute.

Calcolata la portata possibile scaricata, come indicato dal Consorzio posta pari a 10 l/s*ha, e il volume da invasare lungo il fosso di guardia, impostando un valore per la base inferiore di quest'ultimo, si calcola il tirante minimo da garantire.

Per un maggior approfondimento rispetto al dimensionamento dei fossi di guardia si rimanda al capitolo seguente riguardante l'invarianza idraulica.

Di seguito si riporta la tabella dove vengono indicate le dimensioni dei fossi di guardia.

TRATTO	b [m]	Tirante [m]	H [m]	Scarpa	Lato [m]	B [m]	Pendenza
1-3	0,5	0,956	1,00	1:1	1,38	2,50	0,005
2-4	0,8	0,804	1,00	1:1	1,28	2,80	0,005
5-4	1	1,030	1,05	1:1	1,47	3,10	0,005
6-3	0,8	1,036	1,05	1:1	1,48	2,90	0,005
5-8	0,8	0,925	1,00	1:1	1,36	2,80	0,005
6-7	0,8	1,048	1,05	1:1	1,48	2,90	0,005
9-8	0,8	0,998	1,00	1:1	1,41	2,80	0,005
7-11	0,8	1,048	1,05	1:1	1,48	2,90	0,005
10-12	1	1,238	1,25	1:1	1,76	3,50	0,005
13-11	1	1,528	1,55	1:1	2,18	4,10	0,005
13-15	1	1,081	1,10	1:1	1,54	3,20	0,005
14-16	0,8	0,923	1,00	1:1	1,36	2,80	0,005
15-17	0,8	1,196	1,20	1:1	1,69	3,20	0,005
16-18	0,5	0,588	0,60	1:1	0,84	1,70	0,005
19-17	1	1,443	1,45	1:1	2,05	3,90	0,005
20-18	0,8	0,960	1,00	1:1	1,39	2,80	0,005
24-23	0,5	0,878	0,90	1:1	1,26	2,30	0,005
25-23	1	1,373	1,40	1:1	1,96	3,80	0,005
23-21	1	1,290	1,30	1:1	1,83	3,60	0,005
	6,5	1,170	1,30	1:1	1,75	9,10	0,005

Tabella 8: Dimensioni fossi di guardia

La capacità di portata delle singole sezioni dei fossi viene determinata in condizioni di moto uniforme, applicando la formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = A K_s R_H^{\frac{2}{3}} i^{\frac{1}{2}}$$

dove A è l'area liquida, K_s il coefficiente di scabrezza, che per fossi di guardia naturali risulta pari a 30, R_H è il raggio idraulico, calcolato come rapporto fra l'area bagnata e il contorno bagnato, e i la pendenza del fondo.

Si confrontano ora, per verifica, le portate in arrivo dai diversi bacini afferenti e le portate scaricabili con le capacità idrauliche caratteristiche dei fossi di guardia.

TRATTO	Ks	A bagnata [m ²]	P bagnato [m]	Rh [m]	Q [m ³ /s]	Q sostenibile [m ³ /s]	L [m]	Q scaricabile [m ³ /s]	Verifica
1-3	30	1,434	3,267	0,439	0,05	1,76	64	3,686148	ok
2-4	30	1,448	3,367	0,430	0,07	1,75	107	5,39388	ok
5-4	30	2,111	3,941	0,536	0,59	2,95	574	40,1643	ok
6-3	30	1,917	3,750	0,511	0,90	2,60	914	66,968712	ok
5-8	30	1,666	3,525	0,473	0,63	2,14	772	45,941868	ok
6-7	30	1,938	3,766	0,515	0,56	2,64	555	41,30352	ok
9-8	30	1,797	3,626	0,496	0,36	2,39	405	25,70616	ok
7-11	30	1,940	3,768	0,515	0,92	2,64	947	64,625184	ok
10-12	30	2,785	4,518	0,616	0,32	4,28	240	21,904308	ok
13-11	30	3,897	5,354	0,728	0,47	6,69	239	33,17544	ok
13-15	30	2,271	4,085	0,556	0,54	3,26	463	40,392648	ok
14-16	30	1,662	3,522	0,472	0,48	2,14	604	33,35274	ok
15-17	30	2,393	4,189	0,571	0,16	3,49	134	11,327148	ok
16-18	30	0,647	2,181	0,297	0,05	0,61	134	3,64878	ok
19-17	30	3,536	5,092	0,694	0,36	5,88	201	25,186644	ok
20-18	30	1,729	3,573	0,484	0,23	2,26	278	16,35282	ok
24-23	30	1,229	3,015	0,408	0,21	1,43	310	16,904844	ok
25-23	30	3,295	4,922	0,669	0,26	5,35	170	17,23104	ok
23-21	30	2,967	4,663	0,636	1,80	4,66	329	122,360724	ok
	30	9,122	9,997	0,912			300		

Tabella 9: Verifica fossi di guardia

E' possibile notare che le verifiche risultano soddisfatte; la portata sostenibile, ovvero la capacità dei fossi calcolata con la formula di Gauckler-Strickler, risulta maggiore della portata in arrivo dai bacini afferenti (Q) e minore di quella possibile scaricabile nei corpi idrici.

Per garantire la continuità idraulica nelle varie intersezioni con altre infrastrutture stradali, in alcuni casi, si prevede di inserire una tubazione, attraverso tecnologia spingi-tubo, al di sotto del rilevato delle rampe di ingresso e di uscita. Per garantire una continuità del deflusso, la dimensione e la pendenza della tubazione dovrà essere simile alla dimensione dei fossi di guardia. Si rimanda agli elaborati grafici idraulici per conoscere l'ubicazione, la dimensione, le caratteristiche e i particolari costruttivi di tali tubazioni.

3.5 CANALETTE GRIGLIATE

Nei punti del tracciato dove non è possibile utilizzare il sistema di embrici per l'allontanamento delle acque meteoriche, si è previsto l'utilizzo di canalette grigliate. Quest'ultime sono state predisposte dove vi è la presenza di sopraelevazioni di strutture aventi pile, ai lati della carreggiata di progetto, di sostegno, dove sono stati progettati di muri di sostegno e dove vi è la presenza di case, viabilità secondaria o ostacoli in generale.



Figura 16: Canaletta grigliata

Nei tratti dove la piattaforma stradale viene realizzata al di sopra degli impalcati di strutture maggiori, come ad esempio ponti, sottovia, ecc., dove non vi è lo spazio minimo per utilizzare le canalette di Figura 16, sono state previste canalette grigliate ribassate.

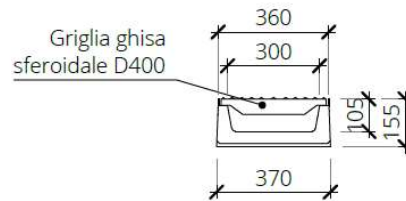


Figura 17: Canaletta grigliata ribassata

Le canalette verranno chiuse con griglie in ghisa sferoidale D400 per carreggiata stradale in modo che, in caso eccezionale di passaggio di veicoli al di sopra del manufatto, avendo un carico di rottura pari a 40 tonnellate, non avvenga nessun danneggiamento.

Utilizzando come strato superficiale della pavimentazione stradale uno strato di usura drenante e fonoassorbente, le canalette saranno predisposte a livello con lo strato di binder, in modo da raccogliere le acque che, trovando uno strato impermeabile, scorrono tra i due strati citati.

3.6 DIMENSIONAMENTO E VERIFICA TUBAZIONI

Le acque meteoriche raccolte nelle canalette verranno convogliate verso i fossi di guardia attraverso tubazioni in PVC. Tubazioni in cemento invece sono state predisposte per l'allacciamento dei fossi di guardia ai canali sotterranei, i quali partiranno da dei pozzetti predisposti nel tratto finale dei fossi di guardia. Questi pozzetti saranno dotati di un griglia superiore in modo da catturare le acque meteoriche provenienti dai bacini afferenti.

Di seguito si riporta la tabella di dimensionamento e verifica delle tubazioni presente (i nomi identificativi dei singoli tratti sono individuati nella 'Planimetria generale di smaltimento delle acque meteoriche').

Tratto	L [m]	Ks	i	Tc [s]	ϕ	S [m ²]	a	n	h [m]	Qmax [m ³ /s]	Dint [m]	Rh [m]	v [m/s]	Tau [Pa]	Qsmalt [m ³ /s]	FS	
5-4	A	18	75	0,055	104,92	0,9	689,72	57,99	0,40	0,0141	0,083	0,2354	0,0697	2,980	37,59	0,097	1,16
	B	15	75	0,025	100,69	0,9	438,81	57,99	0,40	0,0139	0,054	0,2354	0,0697	2,009	17,08	0,065	1,20
	C	4,5	75	0,045	148,68	0,9	1613,3	57,99	0,40	0,0162	0,158	0,2966	0,0879	3,144	38,75	0,162	1,03
6-3	A	17,5	75	0,055	113,88	0,9	820,71	57,99	0,40	0,0146	0,095	0,2354	0,0697	2,980	37,59	0,097	1,03
	B	16,5	75	0,03	102,83	0,9	469,08	57,99	0,40	0,0140	0,057	0,2354	0,0697	2,201	20,50	0,072	1,25
	C	4,5	75	0,045	155,51	0,9	1371,94	57,99	0,40	0,0165	0,131	0,2966	0,0879	3,144	38,75	0,162	1,24
5-8	A	6,5	75	0,1	81,58	0,9	690,64	57,99	0,40	0,0127	0,097	0,2354	0,0697	4,018	68,34	0,131	1,35
	B	17,5	75	0,08	103,28	0,9	921	57,99	0,40	0,0140	0,112	0,2354	0,0697	3,594	54,67	0,117	1,04
	Allaccio	32	90	0,5	212,38	0,9	12761,6	57,99	0,40	0,0187	1,011	0,4000	0,1185	15,353	580,62	1,443	1,43
6-7	A	18	75	0,055	115,84	0,9	1031,47	57,99	0,40	0,0147	0,118	0,2966	0,0879	3,476	47,36	0,180	1,53
	Allaccio	65,5	90	0,4	184,76	0,9	11473,2	57,99	0,40	0,0177	0,989	0,4000	0,1185	13,732	464,50	1,290	1,31
9-8	A	18	75	0,02	112,46	0,9	495,15	57,99	0,40	0,0145	0,057	0,2354	0,0697	1,797	13,67	0,058	1,02
	Allaccio	69	90	0,05	312,76	0,9	7140,6	57,99	0,40	0,0218	0,449	0,4000	0,1185	4,855	58,06	0,456	1,02
7-11	A	3,5	75	0,04	151,41	0,9	1308,9	57,99	0,40	0,0163	0,127	0,2966	0,0879	2,965	34,44	0,153	1,21
	B	15,5	75	0,045	85,58	0,9	422,835	57,99	0,40	0,0130	0,058	0,2354	0,0697	2,695	30,75	0,088	1,52
	C	15	75	0,02	334,81	0,9	1755,26	57,99	0,40	0,0224	0,106	0,2966	0,0879	2,096	17,22	0,108	1,02
10-12	A	5,5	75	0,03	103,80	0,9	584,6	57,99	0,40	0,0140	0,071	0,2354	0,0697	2,201	20,50	0,072	1,01
	B	18	75	0,03	157,72	0,9	1011,96	57,99	0,40	0,0166	0,096	0,2966	0,0879	2,567	25,83	0,133	1,38
	C	5	75	0,045	103,66	0,9	715,43	57,99	0,40	0,0140	0,087	0,2354	0,0697	2,695	30,75	0,088	1,01
13-11	A	35	75	0,3	103,30	0,9	1814,33	57,99	0,40	0,0140	0,222	0,2354	0,0697	6,960	205,02	0,226	1,02
	B	35	75	0,2	130,94	0,9	2284,27	57,99	0,40	0,0154	0,242	0,2966	0,0879	6,629	172,21	0,342	1,42
13-15	A	12,5	75	0,4	101,97	0,9	2080,67	57,99	0,40	0,0139	0,256	0,2354	0,0697	8,036	273,36	0,262	1,02
14-16	A	6,5	75	0,4	67,14	0,9	935,47	57,99	0,40	0,0118	0,148	0,2354	0,0697	8,036	273,36	0,262	1,77
15-17	A	19	75	0,15	82,48	0,9	860,19	57,99	0,40	0,0128	0,120	0,2354	0,0697	4,921	102,51	0,160	1,33
19-17	A	19	75	0,15	82,48	0,9	860,19	57,99	0,40	0,0128	0,120	0,2354	0,0697	4,921	102,51	0,160	1,33
	B	13	75	0,45	72,58	0,9	1169,58	57,99	0,40	0,0122	0,177	0,2354	0,0697	8,524	307,53	0,277	1,57
20-18	A	5	75	0,03	184,27	0,9	2315,6	57,99	0,40	0,0177	0,200	0,3766	0,1116	3,010	32,80	0,251	1,25
24-23	A	19,5	75	0,3	67,82	0,9	445,33	57,99	0,40	0,0118	0,070	0,1882	0,0558	5,995	163,91	0,125	1,78
25-23	A	28	75	0,05	254,65	0,9	2343,48	57,99	0,40	0,0201	0,167	0,2966	0,0879	3,314	43,05	0,171	1,03
	A	28	75	0,035	205,91	0,9	1744,05	57,99	0,40	0,0185	0,141	0,2966	0,0879	2,773	30,14	0,143	1,02
	B	26,5	75	0,04	195,75	0,9	1819,28	57,99	0,40	0,0181	0,151	0,2966	0,0879	2,965	34,44	0,153	1,01
	C	26,5	75	0,04	151,87	0,9	1114,57	57,99	0,40	0,0163	0,108	0,2966	0,0879	2,965	34,44	0,153	1,42
	D	27,5	75	0,045	98,01	0,9	450,03	57,99	0,40	0,0137	0,057	0,2354	0,0697	2,695	30,75	0,088	1,55
	E	31,5	75	0,1	360,35	0,9	7840,44	57,99	0,40	0,0231	0,453	0,3766	0,1116	5,496	109,33	0,458	1,01
	Allaccio	5	90	0,5	381,30	0,9	43471,3	57,99	0,40	0,0236	2,425	0,5000	0,1481	17,816	725,77	2,615	1,08

Tabella 11: Dimensionamento e verifica tubazioni

Di seguito si riporta, invece, una tabella con indicati i diametri utilizzati per le tubazioni, suddivisi in base al materiale.

Materiale	Dint. [m]	Dest. [m]
PVC	0,1506	0,16
	0,1882	0,2
	0,2354	0,25
	0,2966	0,315
	0,3766	0,4
	0,4708	0,5
	0,5932	0,6
CLS	0,3000	0,38
	0,4000	0,49
	0,5000	0,59
	0,6000	0,7
	0,8000	0,92
1,0000	1,14	

Tabella 10: Diametri tubazioni

PARTE 5 VERIFICA DELL'INVARIANZA IDRAULICA

Con invarianza idraulica si intende il mantenimento, da parte delle nuove aree urbanizzate, delle portate massime scaricate nei corpi idrici ricettori rispetto a quelle pre-esistenti all'urbanizzazione. In linea generale, la verifica d'invarianza idraulica prevede che la nuova portata generata dalla modifica urbanistica sia minore, o al massimo uguale, a quella precedente o, al più, inferiore ai valori massimi ammessi da norma o accettati, come per il progetto in oggetto, dall'ente gestore del corpo idrico ricettore. L'invarianza idraulica è la condizione necessaria per mantenere inalterata la risposta idrologica del bacino a seguito dell'aumento delle superfici impermeabili presenti causate dalle attività di progetto. Al fine di mantenere tale condizione, gli interventi possibili sono i seguenti:

- realizzazione di opere di stoccaggio delle acque meteoriche per eccessivo riuso;
- realizzazione di opere o aree di infiltrazioni che vadano a compensare l'impermeabilizzazione realizzata con gli interventi urbanistici;
- realizzazione di invasi naturali o artificiali che vadano a laminare la portata e che siano dotati di sistemi di controllo della portata scaricata;
- realizzazione di pavimentazioni permeabili;
- altre opere meno frequenti, come ad esempio tetti verdi, ecc..

Nel progetto in oggetto, la soluzione progettuale ricade nel terzo punto dell'elenco sopra riportato sovradimensionando i fossi di guardia, aventi pendenza minima, per garantire la laminazione dei volumi di acqua e garantire uno scarico nel corpo idrico minore rispetto a quello imposto dall'ente gestore.

1 PROCEDURA PER IL CALCOLO DEI VOLUMI DI INVASO

Per calcolare il volume efficace di laminazione si è adottato un modello di calcolo analitico, che simula la variabilità dei volumi di invaso al variare del tempo di pioggia, imponendo un valore limite di portata allo scarico.

Il volume di pioggia in ingresso nel sistema di invaso in conseguenza ad un evento pluviometrico di durata t si può esprimere nel seguente modo:

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

dove S è la superficie del bacino drenato e φ il coefficiente di deflusso medio dell'area.

Il volume in uscita dal sistema nello stesso intervallo t di tempo può invece essere espresso come:

$$V_{OUT} = Q_{IMP} \cdot t$$

dove Q_{IMP} è la portata imposta allo scarico dall'ente gestore del corpo idrico in cui vengono convogliate le acque meteoriche.

Il volume di pioggia da invasare al tempo t è dato dalla differenza tra il volume in ingresso e quello in uscita dal sistema:

$$V = V_{IN} - V_{OUT} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot t^n - Q_{IMP} \cdot t$$

Derivando l'espressione precedente rispetto al tempo, si riesce a trovare la durata di pioggia t_{cr} che massimizza il volume invasato. Essa risulta essere:

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

Quindi il volume da assegnare al sistema di invaso sarà:

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

2 COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso φ è il parametro che determina la trasformazione degli afflussi in deflussi.

Sulla base delle indicazioni riportate nella DGR 1322/06, si sono assunti i seguenti valori dei coefficienti di deflusso:

Tipo di area	Coefficiente di deflusso
Area agricola	0,1
Superfici permeabili (aree verdi)	0,2
Superfici semi-permeabili (grigliati drenanti, strade in terra battuta...)	0,6
Superfici impermeabili (tetti, terrazze, strade, piazzali...)	0,9

Tabella 12: Valori dei coefficienti di deflusso contenuti nell'Allegato A del Dgr. 2948

Per calcolare le portate defluenti dall'area e quindi i volumi come sopra esposto, si fa riferimento ad un coefficiente di deflusso medio, pesato a seconda dell'estensione (S_i) e della tipologia di superfici (φ_i) che costituiscono il bacino scolante oggetto di studio.

$$\varphi_{medio} = \frac{\sum S_i \cdot \varphi_i}{S}$$

Di seguito si riporta la tabella dove viene calcolato il coefficienti di deflusso medio dei vari bacini; a favore di sicurezza, è stato preso un coefficiente pari ad 1,0 per le superfici impermeabili, quindi per la piattaforma stradale.

Tratto	Matrice somma prodotto	ϕ
1-3	842,36	0,82
2-4	1275,66	0,85
4-5	10417,31	0,93
3-6	15970,24	0,86
5-8	11174,26	0,88
6-7	9860,81	0,86
8-9	6453,36	0,90
7-11	16264,38	0,91
10-12	5737,03	0,94
13-11	8250,46	0,90
13-15	9596,54	0,86
14-16	8467,28	0,91
15-17	2842,01	0,90
16-18	820,09	0,81
17-19	6304,63	0,90
18-20	4145,66	0,91
24-23	3669,47	0,78
25-23	4671,00	0,98
23-21	31804,76	0,94

Tabella 13: Coefficienti di deflusso medi per i vari bacini

3 PORTATA IMPOSTA ALLO SCARICO

L'invarianza idraulica deve essere rispettata imponendo che nella situazione futura si scarichi nella rete idrica attualmente utilizzata una portata di piena non superiore a quella attuale. Le portate superiori, generate a causa dell'aumento della superficie impermeabile, devono essere laminate attraverso appositi bacini e vasche.

Per calcolare tale portata, che costituirà la Q_{IMP} , portata imposta allo scarico, è stato utilizzato quanto indicato dai tecnici del Consorzio di Bonifica della Romagna; la portata di scarico imposta risulta essere pari a 10 l/s*ha per tutti i corpi idrici presenti lungo il tracciato di progetto.

Con tale portata, moltiplicata per il t_{cr} , è stato calcolato il volume di acqua scaricata nel corpo idrico V_{OUT} e da quest'ultimo, sottratto al volume in ingresso nei fossi di guardia, si è trovato il volume da invasare.

La portata imposta allo scarico, inoltre, dovrà risultare maggiore rispetto alla portata scaricata dai fossi di guardia; questa verifica, come dimostrato nel capitolo 3.3 della Parte 4 della relazione, risulta soddisfatta.

4 VERIFICA DEI VOLUMI DI INVASO

L'invarianza idraulica deve essere rispettata imponendo che nella situazione futura si provveda a scaricare nella rete idrica attualmente utilizzata una portata di piena non superiore a quella attuale. Le portate superiori, generate a causa del maggiore grado di impermeabilizzazione del terreno, devono essere laminate attraverso appositi bacini e vasche.

Nel caso in esame è stato predisposto un sovradimensionamento dei fossi di guardia, le cui dimensioni sono state scelte in modo da riuscire a laminare il volume da invasare precedentemente calcolato.

Conoscendo il volume da invasare e, di conseguenza, l'area liquida minima da garantire, impostando una base minore della sezione trapezoidale del fosso di guardia, si è calcolata tramite formule inverse il tirante minimo necessario per laminare il volume specifico. Impostando un tirante leggermente superiore rispetto a quello appena calcolato, si è, infine, trovato il volume invasabile nel fosso di guardia, verificando risultasse maggiore rispetto a quello minimo da invasare.

Di seguito si riporta la tabella di progettazione e verifica dei fossi di guardia e dei volumi da invasare.

TRATTO	b [m]	Tirante [m]	H [m]	Scarpa	Lato [m]	B [m]	Pendenza	Ks	Abagnata [m ³]	p bagnato [m]	Rh [m]	Q [m ³ /s]	Q sostenibile [m ³ /s]	v [m/s]	Froude	L [m]	V invasibile [m ³]	V da invadere [m ³]
1-3	0,5	0,956	1,00	1:1	1,38	2,50	0,005	30	1,434	3,267	0,439	0,05	1,76	1,23	0,52	64	91,80	89,13
2-4	0,8	0,804	1,00	1:1	1,28	2,80	0,005	30	1,448	3,367	0,430	0,07	1,75	1,21	0,54	107	154,99	138,10
5-4	1	1,030	1,05	1:1	1,47	3,10	0,005	30	2,111	3,941	0,536	0,59	2,95	1,40	0,54	574	1211,43	1199,33
6-3	0,8	1,036	1,05	1:1	1,48	2,90	0,005	30	1,917	3,750	0,511	0,90	2,60	1,36	0,53	914	1751,75	1738,48
5-8	0,8	0,925	1,00	1:1	1,36	2,80	0,005	30	1,666	3,525	0,473	0,63	2,14	1,29	0,53	772	1285,85	1232,51
6-7	0,8	1,048	1,05	1:1	1,48	2,90	0,005	30	1,938	3,766	0,515	0,56	2,64	1,36	0,53	555	1075,62	1074,22
9-8	0,8	0,998	1,00	1:1	1,41	2,80	0,005	30	1,797	3,626	0,496	0,36	2,39	1,33	0,53	405	727,70	726,98
7-11	0,8	1,048	1,05	1:1	1,48	2,90	0,005	30	1,940	3,768	0,515	0,92	2,64	1,36	0,53	947	1886,81	1885,26
10-12	1	1,238	1,25	1:1	1,76	3,50	0,005	30	2,785	4,518	0,616	0,32	4,28	1,54	0,55	240	668,43	664,81
13-11	1	1,528	1,55	1:1	2,18	4,10	0,005	30	3,897	5,354	0,728	0,47	6,69	1,72	0,56	239	931,49	923,61
13-15	1	1,081	1,10	1:1	1,54	3,20	0,005	30	2,271	4,085	0,556	0,54	3,26	1,43	0,54	463	1051,99	1042,05
14-16	0,8	0,923	1,00	1:1	1,36	2,80	0,005	30	1,662	3,522	0,472	0,48	2,14	1,29	0,53	604	1003,78	961,00
15-17	0,8	1,196	1,20	1:1	1,69	3,20	0,005	30	2,393	4,189	0,571	0,16	3,49	1,46	0,54	134	320,62	320,03
16-18	0,5	0,588	0,60	1:1	0,84	1,20	0,005	30	0,647	2,181	0,297	0,05	0,61	0,94	0,49	134	86,73	85,82
19-17	1	1,443	1,45	1:1	2,05	3,90	0,005	30	3,536	5,092	0,694	0,36	5,88	1,66	0,56	201	710,78	708,85
20-18	0,8	0,960	1,00	1:1	1,39	2,80	0,005	30	1,729	3,573	0,484	0,23	2,26	1,31	0,53	278	480,62	470,07
24-23	0,5	0,878	0,90	1:1	1,26	2,30	0,005	30	1,229	3,015	0,408	0,21	1,43	1,17	0,51	310	381,11	375,16
25-23	1	1,373	1,40	1:1	1,96	3,80	0,005	30	3,295	4,922	0,669	0,26	5,35	1,62	0,56	170	560,16	553,84
23-21	1	1,290	1,30	1:1	1,83	3,60	0,005	30	2,967	4,663	0,636	1,80	4,66	1,57	0,55	329	3712,81	3666,89
23-21	6,5	1,170	1,30	1:1	1,75	9,10	0,005	30	9,122	9,997	0,912	1,80	4,66	1,57	0,55	300	3712,81	3666,89

Tabella 14: Verifica dei volumi di invaso