

COMMITTENTE:



RETE FERROVIARIA ITALIANA S.P.A.
DIREZIONE INVESTIMENTI

SOGGETTO TECNICO:

RFI - DIREZIONE TERRITORIALE PRODUZIONE DI FIRENZE
S.O. INGEGNERIA

PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO DEFINITIVO

LINEA PISTOIA - LUCCA - VIAREGGIO/PISA
RADDOPPIO DELLA LINEA PISTOIA - LUCCA - PISA S.R.
TRATTA PESCIA - LUCCA

5 - IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione smaltimento acque di piattaforma

SCALA -

Foglio di

PROGETTO/ANNO	SOTTOPR.	LIVELLO	NOME DOC.	PROGR.OP.	FASE FUNZ.	NUMERAZ.
1 3 4 6 P O	S 1 1	P D	T G I D	0 0	0 1	E 0 0 4

Revis.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Prima emissione	G.Tanzi	18/09/2018						

POSIZIONE ARCHIVIO	LINEA	SEDE TECN.	NOME DOC.	NUMERAZ.		
	L 5 4 2	L O 1 1 1 6	T B 0 0	1 0 / 0 1		
	Verificato e trasmesso	Data	Convalidato	Data	Archiviato	Data

INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
2.1	PRESCRIZIONI NORMATIVE DEL MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI	2
3	SINTESI TECNICO DESCRITTIVA.....	3
4	INQUADRAMENTO IDROLOGICO	5
5	OPERE DI SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE	5
5.1	METODOLOGIE DI CALCOLO.....	5
5.2	MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI	7
6	DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO.....	8
6.1	LINEA FERROVIARIA IN RILEVATO	8
6.2	LINEA FERROVIARIA IN TRINCEA	8
6.3	LINEA FERROVIARIA IN VIADOTTO	9
7	DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE IDRAULICHE.....	9
7.1	LINEA FERROVIARIA IN RILEVATO - EMBRICI	9
7.2	LINEA FERROVIARIA IN TRINCEA – CANALETTE RETTANGOLARI	11
7.3	FOSSI DI GUARDIA	12
7.4	VIADOTTO.....	17

1 PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio idraulico eseguito nell'ambito della progettazione definitiva del raddoppio della linea Pistoia – Lucca – Pisa San Rossore, nella tratta da Pescia a Lucca dal Km 20+423 al Km 42+200 della Linea Pistoia – Lucca – Pisa S. Rossore, recependo quanto richiesto nel Decreto n. 6565 del 02/05/2018 della Regione Toscana.

Obiettivo del presente studio è la verifica delle interferenze del tracciato con il reticolo idrografico superficiale, l'analisi di compatibilità idraulica delle opere e la definizione generale del sistema di drenaggio della piattaforma ferroviaria dell'infrastruttura.

Si rimanda alla relazione idrologica (elaborato 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E001) per la classificazione delle interferenze idrografiche maggiori e minori e per la definizione delle portate di progetto.

Una volta definite le caratteristiche idrologiche e di conseguenza le portate di progetto, lo studio idraulico delle singole interferenze si è articolato nelle seguenti fasi:

- analisi in moto uniforme nelle configurazioni attuali e di progetto;
- ove necessario, analisi in moto permanente monodimensionale nelle configurazioni attuali e di progetto;
- valutazione dell'efficienza delle opere di attraversamento esistenti;
- dimensionamento delle nuove opere di attraversamento;
- valutazione della compatibilità idraulica dell'intervento.

Nei primi due capitoli verranno espone le impostazioni teoriche adottate per la schematizzazione dei fenomeni naturali, le ipotesi semplificative assunte e le metodologie di calcolo utilizzate rispettivamente per l'idraulica fluviale e per i fenomeni fisici propri dell'interferenza tra le strutture di attraversamento e i corsi d'acqua.

Successivamente, tali metodologie saranno applicate allo studio della compatibilità idraulica degli attraversamenti ferroviari dei corsi d'acqua principali e secondari.

Infine verrà affrontato il tema dell'idraulica di piattaforma, definendo i criteri di progetto e caratteristiche dimensionali e tecniche degli elementi idraulici previsti per il drenaggio della superficie ferroviaria e delle opere idrauliche necessarie al presidio idraulico dell'infrastruttura.

Negli Allegati sono riportate le Modellazioni Idrauliche di dettaglio.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Gli approfondimenti necessari allo studio idraulico e alla valutazione delle condizioni di rischio conseguenti la realizzazione dell'opera in esame sono stati effettuati facendo riferimento alle seguenti norme:

- Regio Decreto 25/07/1904 n°523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Idrografico del Fiume Arno (P.A.I. 11/11/2004);
- Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino Pilota del Fiume Serchio (P.A.I. 09/03/2005);
- "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018);
- Legge Regionale n. 21/2012 della Regione Toscana- "Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua";
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico del fiume Serchio (P.G.R.A. 03/03/2016);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto dell'Appennino Settentrionale (P.G.R.A. 06/03/2016 - UoM Arno);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato all'anno 2018.

2.1 Prescrizioni normative del Ministero dei Lavori Pubblici

In Italia i riferimenti normativi ai quali si deve attenere il progettista degli attraversamenti fluviali sono contenuti nel Decreto Ministeriale del 2 agosto 1980 e in quello del 4 maggio 1990, ai quali ha fatto seguito la Circolare n. 34233 emanata in data 25 febbraio 1991 dal Ministero dei Lavori Pubblici, recante "Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali". Recentemente il DM 14/01/08 più noto come "Norme Tecniche per le Costruzioni" e successivamente la Circolare esplicativa n. 617 del 2-2-2009 ha integrato in alcune parti, riguardanti prevalentemente le azioni da prevedere per i calcoli statici, le norme dei precedenti decreti.

Nello studio idraulico dell'opera, devono essere oggetto d'indagine i seguenti problemi: classificazione del corso d'acqua ai fini dell'esercizio della navigazione interna; valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni delle pile, delle spalle, delle fondazioni nonché dei rilevati; valutazione degli effetti dovuti all'eventuale presenza di correnti veloci; esame delle conseguenze della presenza di eventuali corpi natanti, flottanti e trasportati dalle acque, ove ricorra detta possibilità, nonché delle conseguenze di eventuali ostruzioni delle luci, specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte, sia in fase costruttiva, sia durante l'esercizio delle opere. In situazioni particolarmente complesse si suggerisce di sviluppare le indagini anche con l'ausilio di modelli fisici in scala ridotta.

Nel complesso, le norme emanate dal Ministero dei Lavori Pubblici fissano il quadro di riferimento per lo sviluppo della relazione sugli aspetti idrologici, idrografici ed idraulici prescritta a corredo della progettazione dell'attraversamento fluviale, delineando anche i criteri generali che devono guidare l'articolazione di tale relazione.

Mandataria

Mandanti

3 SINTESI TECNICO DESCRITTIVA

L'area interessata dal presente lavoro si colloca nella parte settentrionale della regione Toscana, tra le province di Pistoia e Lucca. I comuni interessati sono Pescia, Montecarlo, Altopascio, Porcari, Capannori e Lucca.

Quest'area comprende tutti i corsi d'acqua che confluiscono, da nord verso sud, nella conca del "Padule di Fucecchio" al confine con la provincia di Firenze. Si tratta di una zona caratterizzata da importanti opere di bonifica dei terreni palustri delle conche di Fucecchio e Bientina. Il reticolo idrografico risulta quindi sostanzialmente artificiale ad eccezione dei ridotti tratti collinari e montuosi del reticolo collocati a nord (rilievi preappenninici) e a est (Monte Montalbano). A ovest il territorio lascia spazio alla Piana di Lucca, della quale può essere considerata la continuazione orientale. A sud/sud-ovest l'area è limitata dal rilievo dei Monti Pisani e dalle Colline delle Cerbaie, elemento caratterizzante sia dal punto di vista strutturale che storico-archeologico-paesaggistico, risalente al periodo pliocenico e originatesi dal rialzamento tettonico dell'ex lago di Bientina.

L'area in esame prende origine a nord dalla Valdinievole (cd. "Vallis Nebulae", valle della nebbia o delle nuvole, a causa del terreno paludoso poi bonificato) attraverso la quale le acque del T. Nievole si fondono prima, nel Padule di Fucecchio, con quelle del Pescia di Pescia, e Pescia di Collodi; quindi con i corsi d'acqua provenienti dal Montalbano, dando origine al canale Maestro (di natura antropica, posto nel Comune di Fucecchio). Il canale Maestro, dopo il ponte di Cappiano - importantissima opera idraulica realizzata ad opera di Cosimo I de' Medici nel 1550 con lo scopo di regolare i deflussi, la navigazione e le attività di pesca nel padule -, diventa canale di Usciana e scorre parallelamente all'Arno per circa 18 km. In origine, l'Usciana confluiva in Arno presso Pontedera attraverso delle cateratte che avevano il compito di evitare il rigurgito nel canale delle acque in piena dell'Arno. Negli anni '80 è stato costruito un canale aggiuntivo di 4km che disconnette il canale Usciana dall'Arno e fa defluire le sue acque nello Scolmatore dell'Arno mediante una bocca sifone realizzata sotto l'Arno, immediatamente a valle dell'incile dello Scolmatore.

Nell'area a ovest la regimazione idraulica ha caratterizzato, fin dai secoli scorsi, tutta l'idrografia della piana lucchese. Prima con la regimazione dei canali Ozzeri-Rogio e Ozzeretto, poi con la bonifica del lago di Sesto-Bientina conclusasi nel 1930, e quindi la realizzazione del canale Fossa Nuova, conseguente al procedere delle colmate di Porcari, per regimare le acque provenienti dal monte Serra. In particolare il bacino idrografico, prima della bonifica tributario dell'Arno, raccoglie alcuni torrenti dei Monti Pisani ed altri provenienti dalle Pizzorne e dalle Cerbaie; tutte le acque confluiscono infine nel canale Emissario di Bientina (inizio area omogenea 8), poco a nord dell'abitato di Bientina. Il canale infine, passando anche lui sotto il letto dell'Arno a San Giovanni alla Vena attraverso una botte sifone realizzata con una imponente opera idraulica verso la metà del 1850, raggiunge, correndone quasi parallelamente, il canale Scolmatore d'Arno in prossimità del suo sbocco in mare.

I corsi d'acqua mostrano una molteplice varietà nelle caratteristiche fisiografiche. Sono, infatti, presenti corsi d'acqua con caratteristiche prettamente torrentizie nella parte montana e collinare per quanto attiene, ad esempio, la pendenza ed il grado di confinamento, altri con proprietà di fondovalle, con pendenze mediamente inferiori allo 0.5% e reticolo non confinato, altri ancora con aspetti specifici da reticolo di bonifica, quali pendenze molto basse, lunghi tratti rettificati ed arginati, portelle, derivazioni, etc.

Mandataria

TECH | PROJECT
ingegneria integrata ®



Mandanti



Tale variabilità nei valori di pendenza si riflette anche sui singoli sottobacini presenti nell'area omogenea. Secondo il criterio generale sono stati suddivisi i bacini sottesi ai corpi idrici principali in bacini con caratteristiche prevalenti montane oppure vallive.

Mandataria

TECH | PROJECT
ingegneria integrata ®



Quality Engineering

Mandanti



 **ambiente**
ingegneria ambientale e laboratori

4 INQUADRAMENTO IDROLOGICO

Per lo studio idrologico dell'area di progetto si rimanda alla Relazione Idrologica (elaborato 1346-PO-S11-PD-TGID-00-01-E001). L'altezza di pioggia $h_c(T_C)$ è ottenibile dalla legge di possibilità pluviometrica a due parametri espressa come :

$$h_c(T_C) = a_{100} t^{n_{100}}$$

Nella quale viene adoperata la coppia di coefficienti (a, n) propri del settore idrologico nel quale ricade il tratto ferroviario in esame e corrispondenti, sempre secondo indicazioni del Manuale di Progettazione, ad un tempo di ritorno pari a 100 anni.

Di seguito vengono presentati i valori dei parametri adoperati nella progettazione del nuovo collegamento ferroviario:

Tratto	PK START	PK END	a (TR100)	n
1	18+320	21+500	74.05	0.30
2	21+500	35+200	73.22	0.29
3	35+200	45+000	78.24	0.31

5 OPERE DI SMALTIMENTO DELLE ACQUE METEORICHE

5.1 Metodologie di calcolo

La protezione della linea ferroviaria dalle acque meteoriche che vengono ad interessare il corpo ferroviario richiede la realizzazione di opere idrauliche (precedentemente analizzate) che bisogna dimensionare e verificare adeguatamente.

La procedura di calcolo e dimensionamento degli elementi costituenti il sistema di drenaggio e smaltimento delle acque di piattaforma, differente per ciascuna opera, si compone dei seguenti passi:

- Individuazione delle curve di possibilità pluviometrica;
- Calcolo delle portate generate dalla precipitazione meteorica;
- Dimensionamento degli elementi di raccolta delle acque.

CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

I parametri delle curve di probabilità pluviometrica da adottare per la tratta in esame, relativi alla legge monomia nella forma $h=a * t^n$ (con h in mm, a in mm/hⁿ, t in ore) sono forniti dalla Regione Toscana attraverso il sito www.sir.toscana.it con riferimento ai tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200 e 500 anni.

L'intero tracciato è stato suddiviso in 5 tratte aventi caratteristiche omogenee sia per quanto riguarda l'uso del suolo (CN) che dal punto di vista dei parametri idrologici (a, n).

Mandataria

Mandanti

Dalla relazione idrologica è possibile ricavare la tabella di seguito riportata per ciascun tratto:

Prog-IN	Prog-OUT	Tr = 2 anni		Tr = 10 anni		Tr = 20 anni		Tr = 25 anni		Tr = 30 anni		Tr = 50 anni		Tr = 100 anni	
		a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
13303	16200	26.48	0.28	43.57	0.28	51.01	0.29	54.11	0.292	55.75	0.29	62.07	0.30	71.62	0.31
16200	18320	26.58	0.28	43.73	0.28	51.21	0.28	54.11	0.285	55.97	0.29	62.31	0.29	71.90	0.30
18320	21500	27.37	0.27	45.04	0.27	52.74	0.28	55.89	0.281	57.64	0.28	64.17	0.29	74.05	0.30
21500	35200	27.06	0.26	44.54	0.26	52.14	0.27	55.19	0.270	56.99	0.27	63.45	0.28	73.22	0.29
35200	45000	28.87	0.28	47.91	0.29	56.17	0.29	59.66	0.295	61.35	0.30	68.16	0.31	78.24	0.31

Si precisa che i tempi di ritorno (Tr) prescritti dal Manuale di Progettazione ferroviaria variano a seconda del tipo di manufatto idraulico:

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

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

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

- Inalveamenti:

Tratti a monte e a valle della ferrovia	Tr [anni]
S ≥ 10 Km ²	300
S < 10 Km ²	200

- Impianti di sollevamento:

Tr = 25 anni

Nei calcoli che seguono è stato considerato dunque un tempo di ritorno di 100 anni per il drenaggio della piattaforma ferroviaria e di 25 anni per quello di piazzali, fabbricati e pensiline di stazione. I valori per Tr=25 anni derivano da interpolazione dei parametri idrologici (a, n) di tutti i tempi di ritorno forniti dalla Regione Toscana.

L'altezza di precipitazione h, che si può verificare nel tempo t_p [ore] di durata della precipitazione si ottiene secondo la relazione seguente:

$$h = a t_p^n$$

in cui:

- a , n sono i parametri di precipitazione, funzione del tempo di corrivazione T_c [anni] imposto dal manuale di progettazione;

t_p è la durata dell'evento critico, variabile a seconda dell'opera considerata.

Nel presente capitolo si espongono i criteri generali attuati nella progettazione in merito al dimensionamento ed alla verifica dei manufatti preposti al drenaggio delle acque meteoriche del corpo ferroviario (embrici, canalette, pozzetti, ecc.) e di quelli adibiti all'allontanamento delle acque meteoriche così raccolte in direzione del recapito finale.

Per tali manufatti sono state effettuate verifiche adeguate con l'ausilio del "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" (RFI) aggiornato all'anno 2018, adoperando i parametri idrologici corrispondenti ad un tempo di ritorno pari a 100 anni presentati nel capitolo precedente.

Le acque che defluiscono dal corpo ferroviario vengono raccolte e recapitate ai ricettori finali, rappresentati dai tombini di attraversamento dell'infrastruttura ferroviaria e talvolta dal reticolo idrografico stesso.

5.2 Modellazione afflussi-deflussi

La portata del deflusso superficiale che si innesca a seguito della precipitazione meteorica sulle superfici di progetto è valutata tramite il Metodo Razionale, alla base del quale sussistono le seguenti ipotesi:

- Altezza di pioggia dell'evento di progetto costante e uniformemente distribuita su tutta la superficie scolante;
- Durata dell'evento di progetto pari al Tempo di corrivazione della superficie scolante, inteso come il tempo necessario affinché la particella d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura raggiunga il recapito finale.

Il Tempo di corrivazione è stimato con la seguente formulazione :

$$T_C = T_A + T_R = T_A + \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{v_i}$$

Nella quale T_R rappresenta il tempo di percorrenza all'interno dell'elemento di convogliamento, L_i rappresenta la lunghezza del tronco dell'elemento i -esimo espresso in [m], v_i corrisponde al valore della velocità di deflusso all'interno del tronco i -esimo espressa in [m/s], N è il numero di tronchi della rete a monte della generica sezione, facenti parte dell'asta principale e infine T_A rappresenta il tempo di afflusso (o di ruscellamento), ovvero il massimo tempo che impiegano le particelle di pioggia a raggiungere l'elemento partendo dal punto di caduta;

- Deflusso superficiale efficace calcolato tramite l'utilizzo di un coefficiente di deflusso ϕ che esprime l'attitudine della superficie a trasmettere interamente o parzialmente

Mandataria

Mandanti

il deflusso a valle ed è indipendente dall'intensità di precipitazione. Questo coefficiente tiene conto in maniera globale delle perdite idrologiche del bacino;

- Idrogramma di forma triangolare in ingresso al manufatto, con portata nulla all'istante iniziale.

E' possibile dunque valutare la portata di deflusso superficiale tramite la formulazione :

$$Q_C = 0.278 \frac{\varphi h_C(T_C)A}{T_C} = 0.278 \varphi i_C(T_C)A$$

Nella quale l'altezza di pioggia $h_C(T_C)$ è misurata in [mm] (si adopera alternativamente l'intensità di pioggia $i_C(T_C)$ misurata in [mm/h]), la superficie scolante A è indicata in [km²], il coefficiente di deflusso φ (posto uguale al valore di 0.9, in accordo al Manuale di Progettazione delle Opere Civili RFI – 2018), è adimensionale e la portata Q_C ottenuta è in [m³/s].

6 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO

6.1 Linea ferroviaria in rilevato

Nei tratti in rilevato, la raccolta delle acque di piattaforma avviene in corrispondenza dell'elemento marginale della sezione ferroviaria dotata di una pendenza trasversale pari a 3.0%, costituito da un cordolo in conglomerato bituminoso interrotto con un interasse di 15 m, per consentire, attraverso canalizzazioni in embrici disposte lungo le scarpate, il recapito delle acque di piattaforma in fossi di guardia realizzati in terra e rivestiti in calcestruzzo in corrispondenza dello sbocco del manufatto, al fine di evitare fenomeni di erosione dei fossi ad opera dell'energia cinetica della corrente.

La verifica idraulica delle opere di smaltimento delle sezioni in rilevato viene effettuata, in funzione delle caratteristiche geometriche trasversali e longitudinali dei singoli tratti, scegliendo un interasse di progetto tra due singoli manufatti di raccolta e confrontando il valore della portata di deflusso scolante tra le due singole canalizzazioni in embrici con il valore di portata smaltibile dal singolo elemento.

Il recapito finale del sistema di drenaggio avviene o direttamente nell'idrografia superficiale con i fossi di guardia, o recapitando all'interno dei tombini di attraversamento e quindi con canali di riprofilatura e riammagliamento al reticolo esistente.

6.2 Linea ferroviaria in trincea

Per quanto riguarda la raccolta delle acque di piattaforma nei tratti in trincea, questa avviene tramite l'utilizzo di canalette rettangolari realizzate in calcestruzzo e aventi dimensioni variabili, in grado di intercettare le acque che ruscellano sulla piattaforma per effetto della sua pendenza trasversale e recapitarle successivamente al ricettore finale.

Infine, il recapito delle canalette di piattaforma è costituito dallo scarico diretto nei fossi di guardia trapezoidali rivestiti in calcestruzzo, in grado di intercettare le acque di

Mandataria

Mandanti

ruscellamento del territorio circostante; in alternativa, dove il recapito finale è rappresentato dai tombini idraulici, la canaletta rettangolare si innesta in un pozzetto prefabbricato da cui le acque raccolte raggiungono il tombino mediante una tubazione DN630 in PVC SN8.

Nel caso in cui vi è la presenza di muri è prevista una canaletta rettangolare per la raccolta delle acque di scolo. In caso di presenza di muri di sostegno sono previsti dei tubi Ø100 in PVC disposti a quinconce lungo il muro.

6.3 Linea ferroviaria in viadotto

Il sistema di drenaggio del viadotto è costituito da bocche di lupo realizzate sul cordolo laterale del diametro classico di 200 mm ad interasse fisso. Le stesso convogliano, attraverso dei discendenti, le acque di drenaggio nella tubazione di raccolta in acciaio ancorata all'impalcato mediante staffaggi. Tale tubazione, di diametro minimo Φ 300 mm, consentirà di addurre i drenaggi in corrispondenza delle pile e/o delle spalle dove saranno disposte le tubazioni discendenti per il recapito al colatore più prossimo.

7 DIMENSIONAMENTO E VERIFICHE IDRAULICHE

7.1 Linea ferroviaria in rilevato - embrici

Sulle scarpate delle sezioni ferroviarie in rilevato sono previste delle canalizzazioni di scarico costituite da embrici, in grado di allontanare le acque meteoriche in direzione dell'elemento di raccolta costituito dal fosso di guardia posto alla base del rilevato.

Il convogliamento delle acque all'imbocco di ogni singolo embrice è garantito dall'elemento marginale della sezione ferroviaria, costituito dalla medesima pendenza trasversale della sezione e da un cordolo in conglomerato bituminoso, su cui vengono praticate delle aperture con un interasse pari a 15 m.

La verifica idraulica in questa sede consiste inizialmente nel calcolare il valore di portata scolante tra due embrici adiacenti, in funzione del settore idrologico in esame e delle caratteristiche geometriche trasversali e longitudinali delle sezioni ferroviarie, tramite la formulazione di Gauckler-Strickler (Q in [m³/s]) :

$$Q_{GS} = K_S A R^{2/3} i^{1/2}$$

Nella quale K_S è il coefficiente di scabrezza del materiale che costituisce l'embrice, posto uguale al valore di 70 m^{1/3}/s per il calcestruzzo, A è la sezione triangolare a bordo verticale che convoglia le acque piovane all'interno dei singoli embrici, R è il corrispondente raggio idraulico e i rappresenta la pendenza longitudinale del tratto ferroviario.

La seconda fase consiste nel calcolare, con la formula Razionale, il valore di portata dovuto alla precipitazione sulla superficie di interasse tra due embrici adiacenti e confrontare tale valore con la capacità di smaltimento del singolo embrice, che ha un

Mandataria

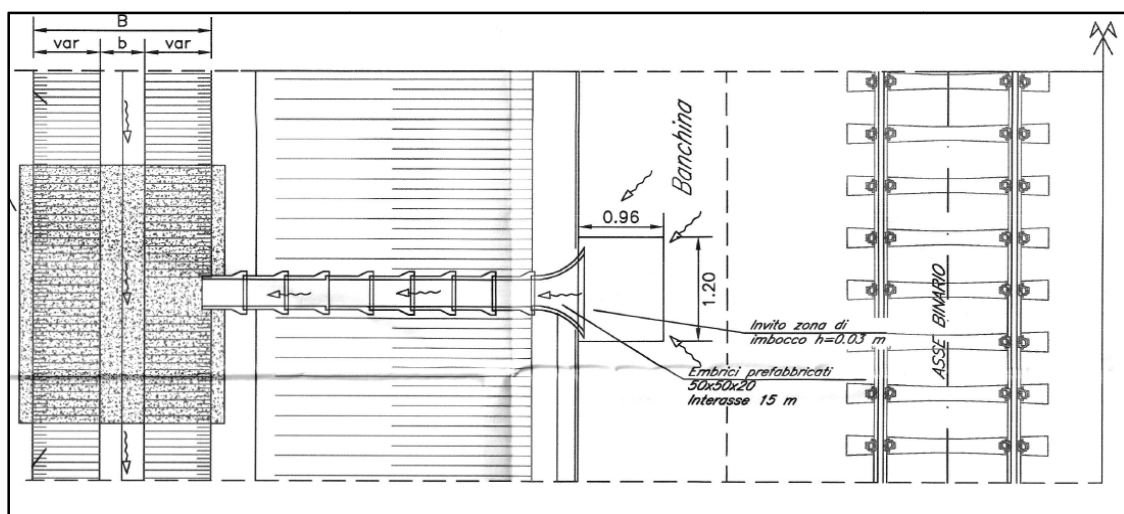
Mandanti

comportamento idraulico assimilabile a quello di una luce a battente. E' possibile adoperare la formulazione seguente :

$$Q = C_c A \sqrt{2gh} = C_c L h_{TOT} \sqrt{2gh_{TOT}}$$

Nella formula C_c corrisponde ad un coefficiente di contrazione, in questa sede posto uguale al valore di 0.385, L rappresenta la larghezza di apertura dell'embrice e h_{TOT} il carico idraulico totale (comprensivo, cioè, del carico cinetico della corrente).

La verifica idraulica di tale manufatto è da considerarsi soddisfatta se la portata smaltibile dal singolo embrice risulta superiore a quella defluita a seguito della precipitazione.

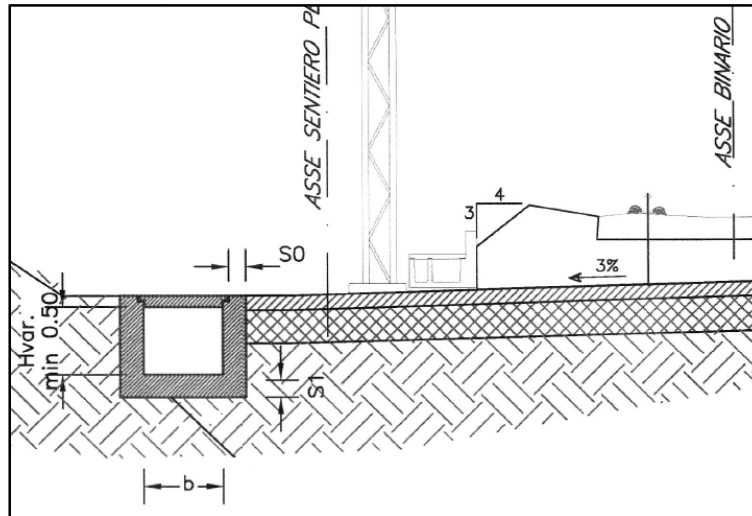


Di seguito si riporta il risultato ottenuto considerando la pioggia con tempo di ritorno centennale e durata 10 minuti.

D	$a_{Tr=10ans}$	$b_{Tr=10ans}$	t_c	C	L.	Espac.	S	Q_c
[m]	[-]	[-]	[min]	[-]	[m]	[m]	[m ²]	[l/s]
0.400	78.24	0.31	10.00	1	8.00	25.00	200.00	7.58

Considerando una larghezza dell'invito di 0.4 m con un carico idraulico di 0.05 m ogni embrice scarica 7.6 l/s con un interasse minimo teorico di circa 21 m che è stato ridotto a 15 m in favore di sicurezza. Infatti se il carico idraulico dovesse essere maggiore la capacità di smaltimento aumenterebbe assieme all'interasse stesso confermando la validità della scelta fatta.

7.2 Linea ferroviaria in trincea – canalette rettangolari



Per verificare idraulicamente le canalette è necessario dapprima calcolare, tramite la formula Razionale, il valore di portata derivante dall'afflusso meteorico precipitato sulla piattaforma in trincea: il valore della superficie da considerare nei calcoli non è più quella compresa tra due elementi contigui di raccolta, bensì quello cumulato in direzione del recapito finale della canalizzazione.

Al contributo areale della piattaforma viene aggiunto quello derivante dalle scarpate confluenti a bordo sezione, valutato tramite il prodotto della lunghezza del tratto in esame e la larghezza della scarpata. Essendo considerata un'area esterna, ad essa è stato assegnato un coefficiente di deflusso $\phi = 0.4$.

Successivamente viene effettuato il calcolo della portata all'interno del manufatto attraverso la formula di Chezy, descritta di seguito:

$$Q_{CHEZY} = X A \sqrt{R i}$$

Nella quale A rappresenta l'area bagnata della sezione espressa in $[m^2]$, calcolata come prodotto tra la base B della canaletta e il tirante idrico di primo tentativo, R il raggio idraulico espresso in $[m]$, i è la pendenza longitudinale del tratto in esame e X rappresenta il coefficiente di scabrezza, espresso in $[m^{1/2}/s]$ e calcolato adoperando il coefficiente di Gauckler-Strickler :

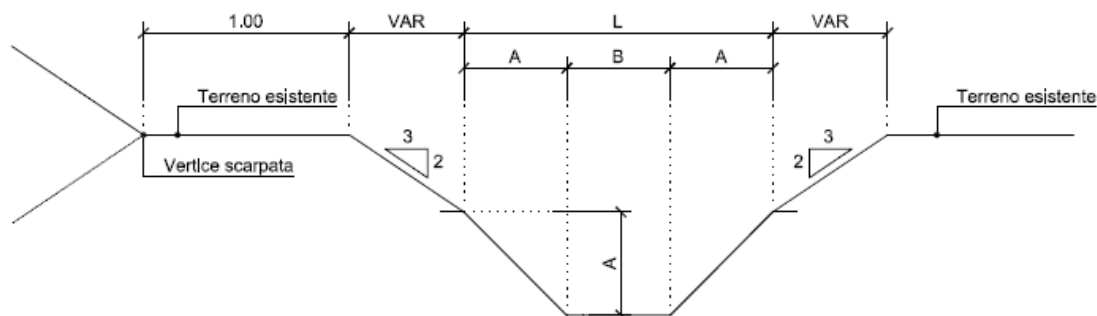
$$X = K_S R^{1/6}$$

Infine è possibile eguagliare analiticamente le portate calcolate precedentemente permettendo al tirante idrico di variare, valutando così l'effettiva sufficienza idraulica delle canalette e verificando il grado di riempimento al loro interno, accettando valori di tirante idrico compresi tra il 70 e 80% dell'altezza della sezione della canaletta.

	Base B	Altezza H
	cm	cm
1	50	50
2	50	70
3	70	70

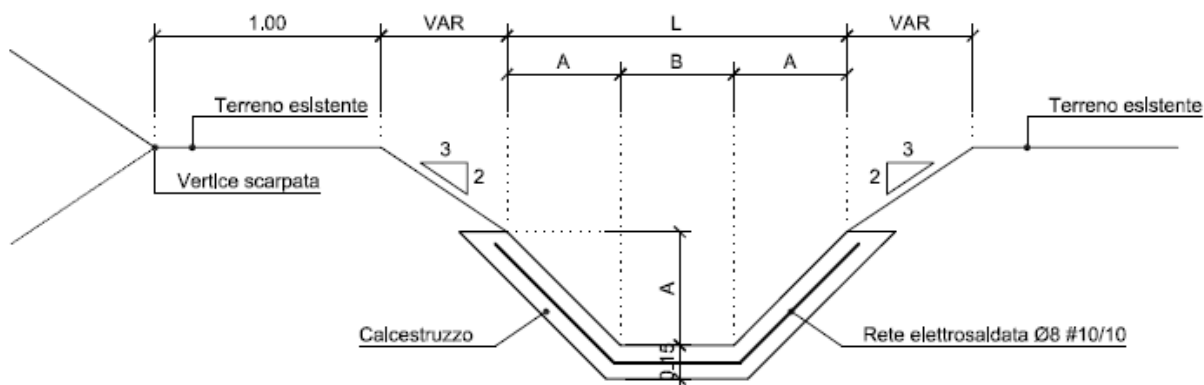
7.3 Fossi di guardia

Sono utilizzate canalizzazioni a sezione trapezia in terra, con inclinazione delle sponde pari a 1/1, caratterizzate da dimensioni minime pari ad una larghezza alla base ed una altezza pari al minimo a 0.50 m.



Fosso di guardia in terra

Nel caso in cui le condizioni di pendenza e portate di progetto lo richiedano i fossi di guardia saranno rivestiti in cls. I fossi inoltre si prevedono rivestiti in calcestruzzo nel caso di velocità elevate o difficoltà di manutenzione dell'opera stessa.



Fosso di guardia rivestiti in calcestruzzo

La tipologia di fosso di guardia adottata per l'asse principale ha le dimensioni di seguito riportate:

Mandataria

Mandanti

TIPOLOGICI			
TIPO	A [m]	B [m]	s [m]
1A	0.50	0.50	0.15
2B	0.50	1.00	0.15
3C	1.00	1.50	0.15

Tabella dimensioni fossi

La portata pluviale della rete è calcolata con il metodo empirico dell'invaso che tiene conto della diminuzione di portata per il velo (sottilissimo) che rimane sul terreno e per il volume immagazzinato in rete.

Indicando con p la portata, con I l'intensità di pioggia, ovvero l'altezza d'acqua che cade nell'unità di tempo, con φ , coefficiente di afflusso, l'aliquota che defluisce sul terreno che tiene conto della natura dello stesso, dalla durata dell'evento di pioggia, dal grado di umidità dell'atmosfera e dalla stagione, ed infine con A l'area del bacino; si ottiene:

$$p = \varphi * I * A$$

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

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

Pertanto l'equazione di continuità in forma differenziale sarà:

$$p * dt = q * dt + dw$$

Il metodo dell'invaso utilizzato per lo studio idraulico e la verifica dei collettori di smaltimento delle acque delle aree esterne che si basa proprio sull'equazione di continuità.

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

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

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

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

$$w/\omega = W/\omega = \text{cost}$$

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

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

$$q/\omega = Q/\Omega = \text{cost}$$

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

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

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

L'equazione di continuità diviene quindi:

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

Ovvero:

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

L'integrazione dell'equazione di continuità consente di ottenere una relazione tra la portata e il tempo di riempimento di un canale, ovvero consente la stima dell'intervallo temporale tra un valore nullo di portata ed un valore massimo. Definendo τ il tempo necessario per passare da $q=0$ a $q=q_{\max}$, e t_r il tempo di riempimento, un canale risulterà adeguato se $\tau \leq t_r$, viceversa se $\tau > t_r$ il canale sarà insufficiente.

Il corretto dimensionamento del canale di drenaggio delle acque piovane si ottiene ponendo $\tau = t_r$, ovvero nel caso in cui la durata dell'evento piovoso eguagli il tempo di riempimento del canale. In quest'ottica nasce il metodo dell'invaso non come metodo di verifica, ma come strumento progettazione, imponendo la relazione $\tau = t_r$ si ottiene l'espressione analitica del coefficiente udometrico:

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

Mandataria

Mandanti

Il coefficiente udometrico rappresenta la portata per unità di superficie del bacino, ed è espresso in l/s*ha, φ è il coefficiente di afflusso, w è il volume di acqua invasata riferito all'area del bacino in m^3/m^2 , a ed n sono i coefficienti della curva di probabilità pluviometrica per durate inferiori all'ora vista l'estensione dei bacini e per tempo di ritorno pari a 100 anni, k un coefficiente che assume il valore di "2168·n" [Sistemi di Fognatura, Manuale di Progettazione, CSU Editore, Hoepli; Appunti di Costruzioni idrauliche, Girolamo Ippolito, Liguori Editore].

I parametri della curva di possibilità climatica, con riferimento alla relazione idrologica, variano a seconda delle progressive.

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

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

I coefficienti di afflusso adottati sono:

- $\varphi=0.90$ per la piattaforma ferroviaria comprese le scarpate [Manuale di Progettazione];
- $\varphi=0.50$ per il bacino esterno.

Il volume w rappresenta il volume specifico di invaso totale pari al rapporto tra il volume di invaso totale W_{tot} e la superficie drenata. W_{tot} è dato dalla somma del volume proprio di invaso, $W1$; del volume di invaso dei tratti confluenti depurato del termine dei piccoli invasi, $W2$; del volume dei piccoli invasi considerando l'intera superficie del bacino drenata, $W3$.

In particolare il volume dei piccoli invasi è stato calcolato considerando un apporto unitario di $30 m^3/ha$ per le superfici ferroviarie [Manuale di Progettazione Italferr] e 50 per il bacino esterno.

La verifica idraulica degli specchi in progetto, è stata effettuata valutando le altezze idriche e le velocità relative alle portate di progetto tramite l'espressione di Chezy:

$$V = K \sqrt{Ri}$$

e l'equazione di continuità

$$Q = \sigma V$$

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

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

ottenendo:

$$Q = K_s \times R^{2/3} \times i^{1/2} \times \sigma$$

dove:

Q , la portata in m^3/s

Mandataria

Mandanti

R, il raggio idraulico in metri;

σ , la sezione idraulica [m²];

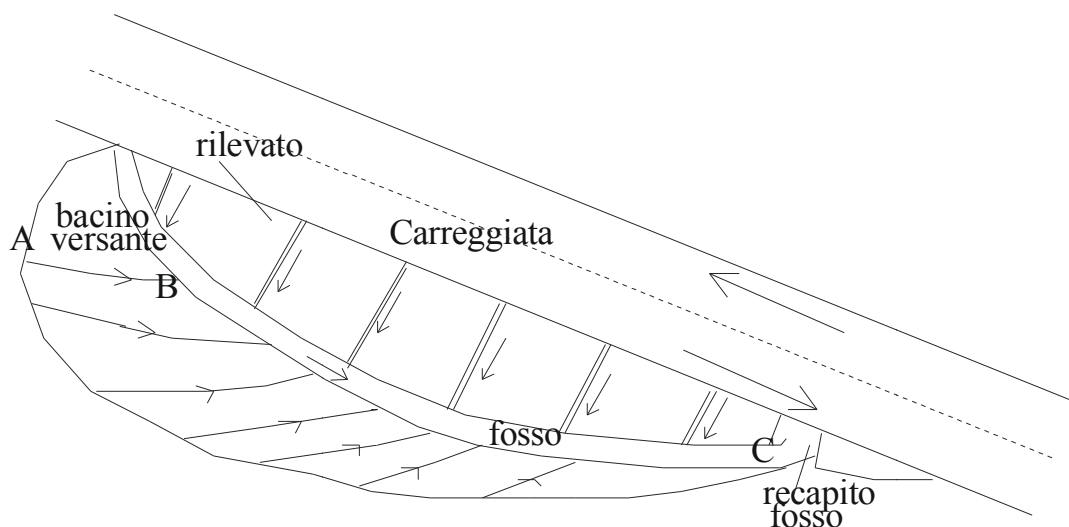
i, la pendenza [m/m];

K_s , il coefficiente di scabrezza in m^{1/3}s⁻¹, assunto per i fossi non rivestiti pari a 33 m^{1/3}/s (m di Manning 0.03 s/ m^{1/3}) e 66 m^{1/3}/s per le canalette.

I fossi di guardia sono stati dimensionati assumendo un grado di riempimento non superiore a 80%.

La verifica del fosso di guardia può essere condotta determinando dalla curva di probabilità pluviometrica riferita ad un tempo di ritorno di 100 anni, l'intensità di pioggia relativa ad una durata di 10 min.

Inoltre, nel computo del bacino scolante va considerato, oltre alla larghezza della carreggiata, l'estensione della scarpa del rilevato. Ancora, per mettere in conto eventuali acque provenienti dal bacino esterno dominante occorrerà considerare una fascia di competenza pari ad almeno 50 m.



La portata Q per diversi tipi di fossi, al variare delle pendenze longitudinali i del terreno, è riportata nella tabella e nel grafico seguente:

TIPO	A [m]	B [m]	h [m]	i [%]	n	Q [m ³ /s]
1A	0.50	0.50	0.40	0.50	0.030	0.307
				1.00	0.030	0.434
1B	0.50	1.00	0.40	0.50	0.030	0.536
				1.00	0.030	0.758
1C	1.00	1.50	0.90	0.50	0.030	3.317
				1.00	0.030	4.691

Fosso di guardia in terra

TIPO	A [m]	B [m]	h [m]	i [%]	n	Q [m ³ /s]
1A	0.50	0.50	0.40	0.50	0.015	0.623
				1.00	0.015	0.881
1B	0.50	1.00	0.40	0.50	0.015	1.088
				1.00	0.015	1.539
1C	1.00	1.50	0.90	0.50	0.015	6.735
				1.00	0.015	9.525

Fosso di guardia rivestiti in calcestruzzo

La verifica risulta soddisfatta se la portata captata dal singolo fosso, in corrispondenza della sezione di chiusura risulta inferiore o uguale alla portata massima smaltibile sopra determinata.

7.4 Viadotto

La verifica idraulica in questa sede consiste inizialmente nel calcolare il valore di portata scolante tra due elementi di raccolta adiacenti, in funzione del settore idrologico in esame e delle caratteristiche geometriche trasversali e longitudinali delle sezioni ferroviarie, tramite la formulazione di Gauckler-Strickler (Q in [m³/s]) :

$$Q_{GS} = K_S A R^{2/3} i^{1/2}$$

Nella quale K_s è il coefficiente di scabrezza del materiale che costituisce l'area allagabile, posto uguale al valore di 70 m^{1/3}/s per il calcestruzzo, A è la sezione rettangolare che convoglia le acque piovane all'interno delle singole griglie parafoglie, R è il corrispondente raggio idraulico e i rappresenta la pendenza longitudinale del tratto in esame.

Successivamente è possibile calcolare, con la formula Razionale, il valore di portata dovuto alla precipitazione sulla superficie di interesse tra due bocchettoni adiacenti e confrontare tale valore con la capacità di smaltimento del singolo imbocco, che ha un comportamento idraulico assimilabile a quello di una luce a battente. E' possibile adoperare la formulazione seguente :

$$Q = C_c A \sqrt{2gh_{TOT}}$$

Nella formula C_c corrisponde ad un coefficiente di contrazione, in questa sede posto uguale al valore di 0.6, A rappresenta la sezione di imbocco della tubazione e h_{TOT} il carico idraulico totale (comprensivo, cioè, del carico cinetico della corrente). La verifica idraulica di tale manufatto è da considerarsi soddisfatta se la portata smaltibile dal singolo imbocco risulta superiore a quella defluita a seguito della precipitazione.

I bocchettoni di progetto hanno un carico all'imbocco pari a circa 5.0 cm e un discendente Φ 200 mm. La formula fornisce un valore di portata massima smaltibile pari a 10.9 l/s. Tale valore risulta essere sempre superiore ai valori di portata drenata dalla piattaforma con interassi degli scarichi fissati pari a 20 m.