

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria

Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA

MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

IDRAULICA

Relazione idraulica opere di attraversamento minori

L'Appaltatore
Ing. Gianguido Babini

A.A.D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.
Il Direttore Tecnico
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)
Ing. Massimo Facchini

Data Ottobre 2023

firma

Data Ottobre 2023

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
LI0B	02	E	ZZ	RI	ID0002	003	C	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	C.Cofone	Dicembre 2022	O.Caruso	Dicembre 2022	V.Secreti	Dicembre 2022	
B	Revisione a seguito di RDV	C.Cofone	Giugno 2023	O.Caruso	Giugno 2023	V.Secreti	Giugno 2023	
C	Revisione a seguito di RDV	C.Cofone	Ottobre 2023	O.Caruso	Ottobre 2023	V.Secreti	Ottobre 2023	

File: LI0B02EZZRIID0001003B.DOCX

n. Elab.

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

INDICE

1. PREMESSA.....	3
1.1 ELENCO ELABORATI	4
2. ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI	5
2.1 METODOLOGIA DI CALCOLO E CRITERI DI VERIFICA.....	5
2.1.1 Manuale di progettazione ferroviario	5
2.1.2 NTC 2008 e relativa Circolare Applicativa.....	6
2.1.3 Norme di Attuazione PAI.....	8
2.1.4 Criteri di verifica.....	10
2.2 METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA IN MOTO UNIFORME	12
2.2.1 Verifiche idrauliche	13
2.2.2 Risultati delle verifiche idrauliche	15
3. VERIFICA RIVESTIMENTI.....	18
3.1 RIVESTIMENTI IN MATERASSI TIPO RENO.....	18
3.2 RIVESTIMENTO IN MASSI NATURALI	21

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

INDICE TABELLE

Tabella 1 - Elenco elaborati annessi.....	4
Tabella 2 - Criteri di verifica	11
Tabella 3 - Opere in progetto	15
Tabella 4 - Verifica idraulica a moto uniforme degli attraversamenti minori	17
Tabella 5 - Verifica rivestimenti in materassi tipo reno	20
Tabella 6 - Velocità critica e Limiti di velocità per materassi reno e gabbioni	21
Tabella 8- Verifica rivestimenti in massi naturali.....	23

INDICE FIGURE

Figura 1 - Schema profilo longitudinale tombino/ponticello	12
--	----

1. PREMESSA

Scopo del presente lavoro è lo studio idrologico - idraulico delle interferenze della linea ferroviaria Termoli - Lesina, nella tratta che si sviluppa tra Termoli e Ripalta, con la rete idrografica minore locale.

La tratta della linea ferroviaria interessata dal presente studio è compresa tra la stazione di Termoli e quella di Ripalta, per uno sviluppo complessivo di circa 25 km in gran parte in variante rispetto al tracciato ferroviario esistente. Il tratto indagato è compreso tra la progressiva km 0+000 e la km 24+931.

Per la risoluzione delle interferenze della linea ferroviaria con il reticolo idraulico minore, il progetto prevede la disposizione di tombini rettangolari e circolari provvisti di opportune sistemazioni del fondo alveo a monte e a valle dei manufatti in progetto. Sono inoltre previste deviazioni di canali esistenti in corrispondenza delle interferenze con le pile dei viadotti ferroviari in progetto.

Il dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento è stato eseguito considerando la portata idrologica di progetto per i manufatti per i quali è stato possibile individuare, nello studio idrologico allegato, un bacino idrografico a monte della linea; per i canali appartenenti ai consorzi di bonifica e per i fossi di collegamento tra il drenaggio della piattaforma autostradale (A14 Bologna – Taranto) e i relativi recapiti, il calcolo della portata di progetto utilizzata nelle successive verifiche è stato eseguito sulla base delle caratteristiche geometriche (sezione, pendenza e rivestimento) dei manufatti esistenti, desunte da rilievi celerimetrici in campo.

Lo studio idraulico riportato nei successivi paragrafi è stato redatto in accordo con il manuale di progettazione ferroviario e con gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore; in particolar modo fra gli strumenti legislativi è stato adottato il P.A.I., Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ RI	DOCUMENTO ID0002 003	REV. C

Bacini del Fiume Biferno e Minori e del Fiume Saccione. Oltre al PAI, per ogni attraversamento in corrispondenza di viadotti ferroviari o stradali è stato verificato il rispetto delle NTC 2008 e della relativa circolare applicativa del 2 febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008" (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27).

1.1 ELENCO ELABORATI

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Relazione idrologica corsi d'acqua maggiori e minori	-	LI0B02EZZRIID0001002B
Relazione idraulica opere di attraversamento maggiori	-	LI0B02EZZRIID0002002C
Corografia dei bacini minori 1/2	1:15000	LI0B02EZZCZID0001001C
Corografia dei bacini minori 2/2	1:15000	LI0B02EZZCZID0001002C
Pianta, profilo, sezioni e particolari deviazione "Canale di Bonifica n 5" pk 3+875	varie	LI0B02EZZPZID0002029C
Pianta, profilo, sezioni e particolari deviazione "Canale di Bonifica n 5" pk 4+695	varie	LI0B02EZZPZID0002030C
Dettaglio deviazione fosso alla pk 12+100 e alla pk 15+350	varie	LI0B02EZZBZID0002002C
Pianta, profilo, sezioni e particolari deviazione fosso pk 15+725	varie	LI0B02EZZPZID0002038C
Pianta, profilo e sezioni tombino pk 18+836	varie	LI0B02EZZPZID0002046C
Pianta, profilo e sezioni tombino pk 19+592,16	varie	LI0B02EZZPZID0002048C
Tipologico Tombini e Rivestimento Canali	varie	LI0B02EZZBZID0002005C

Tabella 1 - Elenco elaborati annessi

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

2. ANALISI IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI

2.1 METODOLOGIA DI CALCOLO E CRITERI DI VERIFICA

2.1.1 Manuale di progettazione ferroviario

Come previsto dal Manuale di Progettazione ferroviario ogni tipo di manufatto idraulico verrà verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno T_r :

...omissis...

Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria $T_r = 300$ anni per $S > 10 \text{ km}^2$
- linea ferroviaria $T_r = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$
- deviazioni stradali $T_r = 200$ anni

...omissis...

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento principali il manuale prevede quanto segue:

“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico.
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena.
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.
- Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.”

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento secondarie il manuale prevede quanto segue:

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

“Le tipologie ammesse sono:

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2 m;*

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

La pendenza longitudinale del fondo dell’opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.”

2.1.2 NTC 2008 e relativa Circolare Applicativa

Le Norme Tecniche per la Costruzione “NTC 2008” e la relativa Circolare Ministero delle Infrastrutture e Trasporti del 2 febbraio 2009, n. 617 *“Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008”* (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27) contengono le istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari interessanti corsi d’acqua naturali o artificiali, con particolare riferimento ai tempi di ritorno e ai franchi idraulici da adottare per le verifiche di compatibilità idraulica.

In particolare, al § 5.2.1.2 delle NTC 2008 *“Compatibilità idraulica”* si prescrive che:

Quando il ponte interessa un corso d’acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l’esercizio del ponte.

L’ampiezza e l’approfondimento della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all’importanza del problema.

Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d’acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall’Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell’alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

La quota idrometrica ed il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto riferita ad un periodo di ritorno non inferiore a 200 anni.

Il franco di sottotrave e la distanza tra il fondo alveo e la quota di sottotrave dovranno essere assunte tenendo conto del trasporto solido di fondo e del trasporto di materiale galleggiante.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Al § C5.1.2.4 della Circolare applicativa si prescrive inoltre:

Le questioni idrauliche, da trattare con ampiezza e grado di approfondimento commisurati alla natura dei problemi ed al grado di elaborazione del progetto, devono essere oggetto di apposita relazione idraulica, che farà parte integrante del progetto stesso. ... omissis.....

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

*In tal senso può ritenersi normalmente che il valore della portata massima e del relativo franco siano riferiti ad un tempo di ritorno non inferiore a **200 anni**; è di interesse stimare i valori della frequenza probabile di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave deve essere comunque non inferiore alla quota della sommità arginale.*

.....

A titolo di indicazione, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50÷2,00 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d’alberi d’alto fusto, con l’avvertenza di prevedere valori maggiori per ponti con luci inferiori a 40 m o per ponti posti su torrenti esposti a sovralti d’alveo per deposito di materiali lapidei provenienti da monte o dai versanti....

Quando l’intradosso delle strutture non sia costituito da un’unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco previsto deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

40 m.

....

2.1.3 Norme di Attuazione PAI

Le Norme di Attuazione del “Progetto di Piano stralcio per l’assetto Idrogeologico del bacino regionale del Fiume Biferno e interregionale del Fiume Saccione” all’Allegato 1 “Indirizzi tecnici per la redazione di studi e verifiche idrauliche” precisano quanto segue:

Gli studi idraulici devono essere basati sul rilievo dell’alveo nel tratto di interesse con un numero adeguato di sezioni con densità longitudinale non inferiore a cinque volte la larghezza dell’alveo ed estese fino alle aree golenali.

Le verifiche idrauliche saranno condotte a seconda dei casi con modelli di moto permanente, vario monodimensionale, vario bidimensionale.

Lo schema di moto permanente può essere utilizzato qualora sia sufficiente determinare i livelli idrometrici senza compiere valutazioni circa la capacità di laminazione del corso d’acqua.

La modellazione in moto vario sarà utilizzata qualora il fenomeno di laminazione sia significativo o siano presenti significative esondazioni del corso d’acqua.

La relazione idraulica dovrà evidenziare le condizioni al contorno che si sono assunte e le scabrezze. Si dovrà determinare la massima portata smaltibile in alveo e le aree inondabili con tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni.

Negli studi connessi alla realizzazione di opere idrauliche vanno condotti calcoli per definire le condizioni di deflusso allo stato attuale, allo stato di progetto e nelle eventuali fasi intermedie. I progetti che non garantiscono la messa in sicurezza per tempo di ritorno 200 anni devono stimare il rischio residuo.

Nelle seguenti tabelle sono riportate le curve di inviluppo per il calcolo delle portate di piena con tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 500 anni, ove Q è la portata in mc/s e A è l’area del bacino sotteso in kmq.

Tempo di ritorno	Curva di inviluppo
30	$Q=8 A^{0.72}$
100	$Q=10 A^{0.72}$
200	$Q=13 A^{0.72}$
500	$Q=17 A^{0.72}$

Portate massime Saccione

Tempo di ritorno	Curva di inviluppo
30	$Q=10 A^{0.72}$
100	$Q=14 A^{0.72}$
200	$Q=17 A^{0.72}$
500	$Q=22 A^{0.72}$

Portate massime Biferno

Le scabrezze idrauliche dovranno fare riferimento alla effettiva condizione del corso d'acqua in funzione della vegetazione presente in alveo, dell'entità del trasporto solido e alle particolari condizioni di deflusso. Si riporta di seguito una tabella con i valori di scabrezza (espressi in termini del coefficiente di Gauckler-Strickler) di riferimento da assumersi nelle verifiche idrauliche.

Descrizione del corso d'acqua	$K_s [m^{1/3}s^{-1}]$
Alvei naturali con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con materiale di grossa pezzatura, alvei in roccia con sporgenze e grossi massi	20-25
Alvei naturali tortuosi con presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con sedimenti di media pezzatura	25-30
Alvei naturali rettilinei con scarsa presenza di vegetazione arbustiva e arborea, fondo mobile con sedimenti di piccola pezzatura	30-35
Alvei artificiali inerbiti in assenza di vegetazione arbustiva e arborea	35-40
Alvei artificiali rivestiti in calcestruzzo in assenza di manufatti interferenti con le acqua	40-45

Per le perdite concentrate si adotteranno di norma i seguenti coefficienti ζ moltiplicativi della variazione del carico cinetico:

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

- per contrazione;
- 0.2 per espansione;
- 0.3 per contrazione in presenza di ponti;
- 0.5 per espansione in presenza di ponti.

Le opere che interessano i corsi d'acqua devono essere progettate e realizzate tenendo conto della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Dovranno essere inoltre adottati i franchi riportati nella seguente tabella rispetto al livello di piena sopraccitato.

Stato del bacino sotteso	Tipo di opere	
	Argini e difese spondali	Attraversamenti
Sufficientemente sistemato	cm 50	cm 75
Poco sistemato ma non dissestato	cm 75	cm 100
Dissestato	cm 100	cm 150

Il franco non potrà comunque essere inferiore al carico cinetico della corrente.

Deroghe ai franchi sopra definiti potranno essere ammesse dall'Autorità competente al rilascio dell'autorizzazione, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

2.1.4 Criteri di verifica

Sulla base di quanto riportato nei tre precedenti paragrafi, le nuove opere di attraversamento sono state progettate secondo i seguenti i criteri:

Elementi di verifica	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e relativa circolare applicativa	NTA PAI
Manufatti di attraversamento principali (ponti e viadotti)	<i>linea ferroviaria Tr= 300 anni per S > 10 km²</i> <i>linea ferroviaria Tr= 200 anni per S < 10 km²</i> <i>deviazioni stradali Tr=200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>
Verifica Franco	<i>Franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente</i>	<i>Franco minimo tra intradosso opera e L.I. pari a 1,50÷2,00</i>	<u>Argini e difese spondali</u>



LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI –
LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - RipaltaRELAZIONE IDRAULICA OPERE DI
ATTRAVERSAMENTO MINORIPROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI02 02 E ZZ RI ID0002 003 C 11 DI 23

Elementi di verifica	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2008 e relativa circolare applicativa	NTA PAI
	<i>al livello idrico di massima piena, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico (L.I.).</i>	<i>m</i>	<i>L.I. + 0.50 m se bacino SS</i> <i>L.I. + 0.70 m se bacino PS</i> <i>L.I. + 1.00 m se bacino D</i> <i><u>Attraversamenti</u></i> <i>L.I. + 0.75 m se bacino SS</i> <i>L.I. + 1.00 m se bacino PS</i> <i>L.I. + 1.50 m se bacino D</i>
Dislivello tra fondo e sottotrave	-	<i>Non inferiore a 6÷7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto</i>	-
Posizione spalle	<i>Posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;</i>	<i>Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali.</i>	-

L.I.: livello idrico corrispondente alla portata di progetto

bacino SS: bacino sufficientemente sistemato; *bacino PS:* bacino poco sistemato ma non dissestato; *bacino D:* bacino dissestato

Tabella 2 - Criteri di verifica

Nel dimensionamento idraulico dei tombini si è cercato di non determinare restringimenti delle sezioni del corso d'acqua, verificando che i massimi livelli per l'evento di progetto non determinino gradi di riempimento superiori al 70% dell'altezza dell'opera durante il normale funzionamento (manuale di progettazione ferroviario) e una velocità massima di 5.0 m/s.

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

2.2 METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA IN MOTO UNIFORME

Il dimensionamento idraulico degli attraversamenti minori viene eseguito utilizzando le usuali formule dell'idraulica. Per la verifica dei manufatti in progetto si fa riferimento alla formula di Gauckler-Strickler:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

- Q : portata in m^3/s ;
- n : coefficiente di scabrezza secondo Manning; $c = 1/n$ coefficiente di scabrezza secondo Gauckler-Strickler;
- R_H : raggio idraulico;
- i : pendenza del corso d'acqua;
- Ω : sezione bagnata.

Il valore del coefficiente di scabrezza per le strutture in calcestruzzo viene assunto pari a $0,015 m^{-1/3}/s^{-1}$ ($c = 67 m^{1/3}/s^1$) mentre per i rivestimenti in materassi tipo Reno viene assunto un valore pari a $0,02857 m^{-1/3}/s^{-1}$ ($c = 35 m^{1/3}/s^1$).

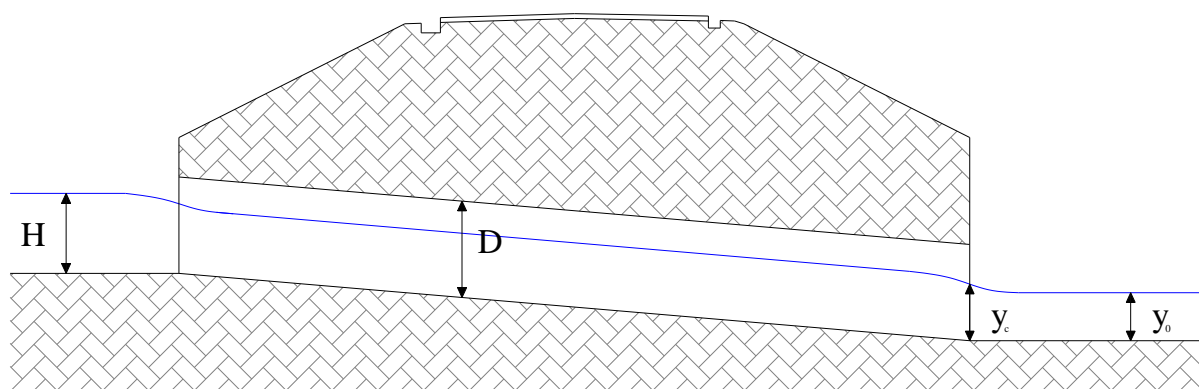


Figura 1 - Schema profilo longitudinale tombino/ponticello

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

2.2.1 Verifiche idrauliche

Nella tabella 3 seguente sono riportate le interferenze individuate, le rispettive progressive chilometriche da profilo di progetto, la tipologia di manufatto prevista in progetto (tombino o deviazione canale) con relative dimensioni, la portata idrologica calcolata e la portata massima transitabile.

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto			Portata Idrologica	Max Portata Convogliabile
		Descrizione	Dimensioni Interne			
			Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)	Q [m ³ /s]	Q _{max} [m ³ /s]
1	3+875 (IN06) (Sez. 1)	Deviazione canale rivestito in cls	vedi <i>LI0B02EZZPZID0002029A</i>	12.00x2.80	-	25.08
	3+875 (IN06) (Sez. 5 e 8)				-	21.22
2	4+695 (IN08)	Deviazione canale trapezio rivestito in cls	6.80x3.20x1.80	-	-	12.19
3	12+716 (IN16)	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio	4.00x1.00x1.00	4.50x1.50	-	3.22
4	13+271,23 (IN17)	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio	2.00x1.00x0.50	3.00x2.00	-	0.35
5	13+593 (IN18) (Lato Termoli)	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio	2.40x0.60x0.60	3.00x2.00	-	0.79
	13+593 (IN18) (Lato Lesina)		2.40x1.20x0.40	3.00x2.00	-	0.47



LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI –
LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - RipaltaRELAZIONE IDRAULICA OPERE DI
ATTRAVERSAMENTO MINORIPROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI02 02 E ZZ RI ID0002 003 C 14 DI 23

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto		Portata Idrologica	Max Portata Convogliabile	
		Descrizione	Dimensioni Interne			
			Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)	Q [m ³ /s]	Q _{max} [m ³ /s]
6	13+972,69 (IN19)	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio	2.00x1.00x0.50	3.00x2.00	-	1.37
7	14+805,09 (IN20)	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio	4.10x2.50x0.80	5.00x3.00	-	2.65
8	14+993,60 (IN21)	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio	2.40x1.40x0.50	3.00x2.00	-	0.23
9	15+350 (IN23)	Deviazione canale trapezio rivestito in materassi tipo Reno	3.50x2.00x0.50	-	-	0.47
10	15+725 (IN25)	Deviazione canale trapezio rivestito in massi naturali	11.00x5.00x2.00	-	-	23.58
11	18+836 (IN32)	Tombino scatolare in c.a.	-	2.00x2.00	5.38	5.38
12	19+592,16 (IN34)	Tombino scatolare in c.a.	-	2.00x2.00	2.93	2.93
13	24+330,85 (IN42)	Tombino circolare in c.a.	-	1.50	2.93	2.93

*B=base maggiore, b=base minore, h=altezza (canale trapezio)**B_T=base H_T=altezza (tombino scatolare)*

	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI – LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - Ripalta					
	RELAZIONE IDRAULICA OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MINORI	PROGETTO LI02	LOTTO 02	CODIFICA E ZZ	DOCUMENTO RI ID0002 003	REV. C

Tabella 3 - Opere in progetto

L'intervento n. 1 rappresenta la deviazione di un canale consortile esistente in cls, con l'attraversamento del viadotto ferroviario di progetto VI02 tra le pile n. 19 e 20.

L'intervento n. 2 rappresenta la deviazione del canale consortile esistente rivestito in cls con l'attraversamento del viadotto ferroviario di progetto VI02 tra le pile n. 50 e 51.

I manufatti n. 3, 4, 5, 6, 7 e 8 rappresentano la risoluzione dell'interferenza tra la linea in progetto e i fossi di recapito del sistema di drenaggio della piattaforma autostradale; il progetto prevede la realizzazione di tombini scatolari in cls con canale interno trapezoidale rivestito in materassi tipo Reno esteso a monte e a valle dell'opera in progetto.

Gli interventi n. 9 e 10 rappresentano la deviazione di due incisioni esistenti rispettivamente fra le pile n. 10-11 e 21-22 del viadotto VI06 della linea ferroviaria in progetto; il rivestimento della sezione trapezoidale di deflusso è previsto in materassi tipo Reno, per l'intervento n. 9, e in massi naturali per la deviazione n. 10.

Gli interventi n. 11, 12 e 13 rappresentano la risoluzione delle interferenze tra il reticolo idrico superficiale e la linea ferroviaria in progetto e le relative viabilità; di norma saranno posizionati dei tombini scatolari o circolari con un opportuno rivestimento in materassi tipo Reno o cls a monte e a valle dell'opera di attraversamento.

Per tutti i dettagli sui manufatti di attraversamento e i rivestimenti previsti, si rimanda agli elaborati grafici di dettaglio.

2.2.2 Risultati delle verifiche idrauliche

Nella tabella seguente sono riportate le verifiche idrauliche a moto uniforme di tutti i manufatti minori di attraversamento della linea ferroviaria. Detta tabella contiene:

- L'identificativo del manufatto;
- La progressiva chilometrica da profilo di progetto;
- La tipologia di opera e relative dimensioni interne;
- La pendenza della livelletta di progetto;

- La portata liquida massima che può defluire nella sezione del canale/del canale interno al tombino/del tombino di trasparenza idraulica;
- La velocità di deflusso;
- Il grado di riempimento del tombino/il franco idraulico dei canali rispetto al ciglio spondale;
- Il franco sull'intradosso del tombino (ove previsto), computato come differenza fra la quota di quest'ultimo e quella del ciglio spondale del canale interno ad esso.

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto		Max Portata Convogliabile	Pendenza media	V	G.R. [%]	Franco su intradosso Tombino [m]
		Dimensioni Interne						
		Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)	Q _{max} [m ³ /s]	i [m/m]	[m/s]	Franco su argine [m]	
1	3+875 (IN06) (Sez. 1)	Da rilievo (cfr. LI0B02EZZPZID0002029A)	12x2.80	25.08	0.001	2.02	55%	1.00
	3+875 (IN06) (Sez. 5 e 8)			21.22	0.001	1.92		
2	4+695 (IN08)	6.80x3.20x1.80	-	12.19	0.0012	2.08	8.91	-
3	12+716 (IN16)	4.00x1.00x1.00	4.50x1.50	3.22	0.0031	1.29	63%	0.10
4	13+271,23 (IN17)	2.00x1.00x0.50	3.00x2.00	0.35	0.0009	0.47	32%	1.10
5	13+593 (IN18) (Lato Termoli)	2.40x0.60x0.60	3.00x2.00	0.79	0.0028	0.88	19%	1.00
	13+593 (IN18) (Lato Lesina)	2.40x1.20x0.40	3.00x2.00	0.47	0.0020	0.66	13%	1.20



LINEA PESCARA – BARI

RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI –
LESINA: Lotti 2 e 3 – Raddoppio Termoli - RipaltaRELAZIONE IDRAULICA OPERE DI
ATTRAVERSAMENTO MINORIPROGETTO LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
LI02 02 E ZZ RI ID0002 003 C 17 DI 23

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto		Max Portata Convogliabile	Pendenza media	V	G.R. [%]	Franco su intradosso Tombino [m]
		Dimensioni Interne						
		Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)	Q _{max} [m ³ /s]	i [m/m]	[m/s]	Franco su argine [m]	
6	13+972,69 (IN19)	2.00x1.00x0.50	3.00x2.00	1.37	0.0013	1.82	32%	1.10
7	14+805,09 (IN20)	4.10x2.50x0.80	5.00x3.00	2.65	0.0018	1.00	41%	0.80
8	14+993,60 (IN21)	2.40x1.40x0.50	3.00x2.00	0.23	0.0002	0.24	32%	1.10
9	15+350 (IN23)	3.50x2.00x0.50	-	0.47	0.0023	0.65	4.72	-
10	15+725 (IN25)	11.00x5.00x2.00	-	23.58	0.0033	1.97	1.24	-
11	18+836 (IN32)	-	2.00x2.00	5.38	0.0195	4.75	28%	-
12	19+592,16 (IN34)	-	2.00x2.00	2.93	0.0176	3.79	19%	-
13	24+330,85 (IN42)	-	1.50	2.93	0.0046	2.55	63%	-

B=base maggiore, b=base minore, h=altezza (canale trapezio)

B_T=base H_T=altezza (tombino scatolare)

Tabella 4 - Verifica idraulica a moto uniforme degli attraversamenti minori

I coefficienti di Manning utilizzati nelle verifiche sono:

- 0.015 s/m^{1/3} per rivestimento in cls;
- 0.028 s/m^{1/3} per rivestimento con materassi tipo Reno o gabbioni metallici;
- 0.035 s/m^{1/3} per rivestimento in massi naturali.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
		Relazione Idraulica	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		LI0B	02	E	ZZ	RI	ID	00	01	001	C	18

3. VERIFICA RIVESTIMENTI

3.1 RIVESTIMENTI IN MATERASSI TIPO RENO

Nella tabella seguente sono riportati i valori di velocità delle inalveazioni di progetto rivestite con materassi tipo “Reno”.

I materassi in progetto hanno uno spessore pari a 0.30 m con pezzatura media del riempimento pari a 150mm.

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto		Descrizione Intervento	V [m/s]
		Dimensioni Interne			
		Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)		
3	12+716 (IN16)	4.00x1.00x1.00	4.50x1.50	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio in materassi Tipo Reno	1.29
4	13+271,23 (IN17)	2.00x1.00x0.50	3.00x2.00	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio in materassi Tipo Reno	0.47
5	13+593 (IN18) (Lato Termoli)	2.40x0.60x0.60	3.00x2.00	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio in materassi Tipo Reno	0.88
	13+593 (IN18) (Lato Lesina)	2.40x1.20x0.40	3.00x2.00		0.66
6	13+972,69 (IN19)	2.00x1.00x0.50	3.00x2.00	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio in materassi Tipo Reno	1.82

Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RI	ID	00	01	001	C	19

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto		Descrizione Intervento	V [m/s]
		Dimensioni Interne			
		Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)		
7	14+805,09 (IN20)	4.10x2.50x0.80	5.00x3.00	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio in materassi Tipo Reno	1.00
8	14+993,60 (IN21)	2.40x1.40x0.50	3.00x2.00	Tombino scatolare in c.a. con canale interno trapezio in materassi Tipo Reno	0.24
9	15+350 (IN23)	3.50x2.00x0.50	-	Deviazione canale trapezio rivestito in materassi tipo Reno	0.65
10	15+725 (IN25)	Deviazione canale trapezio rivestito in massi naturali	11.00x5.00x2.00	Deviazione canale trapezio rivestito in massi naturali	1.97
11	18+836 (IN32)	-	2.00x2.00	Tombino scatolare in c.a. con rivestimento a monte/valle con materassi Tipo Reno	4.75
12	19+592,16 (IN34)	-	2.00x2.00	Tombino scatolare in c.a. con rivestimento a monte/valle con materassi Tipo Reno	3.79
13	24+330,85 (IN42)	-	1.50	Tombino circolare in c.a. con rivestimento a monte/valle con	2.55

Relazione Idraulica	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RI	ID	00	01	001	C	20

ID	Pk (WBS)	Opera in Progetto		Descrizione Intervento	V [m/s]
		Dimensioni Interne			
		Canale [m] (Bxbxh)	Tombino [m] (B _T xH _T)		
				materassi Tipo Reno	

Tabella 5 - Verifica rivestimenti in materassi tipo reno

I valori di velocità riportati per gli interventi n. 11, 12 e 13 sono stati calcolati con riferimento alla sezione di deflusso del tombino in progetto; tali velocità risultano sicuramente maggiori di quelle determinate nelle sezioni a monte e valle dell'attraversamento, rivestite con materassi di Tipo Reno. Tale assunzione risulta, quindi, cautelativa ai fini della verifica a trascinamento del rivestimento.

Come si evince dalla su riportata tabella il valore massimo della velocità di deflusso della corrente risulta sempre inferiore a 5.0 m/s.

Prove di laboratorio mostrano che i rivestimenti in materassi tipo "Reno" dello spessore di 30 cm e riempimento con pezzatura variabile tra i 70-120 mm presentano una velocità critica (primo movimento) di 4.2 m/s e una velocità limite (massima deformazione) pari a 5.5 m/s; se invece si adotta una pezzatura variabile tra 100-150 mm si possono raggiungere velocità critiche (primo movimento) di 5,0 m/s e velocità limite (massima deformazione) di 6,4 m/s.

I gabbioni, invece, dello spessore di 50 cm e riempimento con pezzatura variabile tra i 100-200 mm presentano una velocità critica (primo movimento) di 5.8 m/s e una velocità limite (massima deformazione) pari a 7.6 m/s; se invece si adotta una pezzatura variabile tra 120-250 mm si possono raggiungere velocità critiche (primo movimento) di 6,4 m/s e velocità limite (massima deformazione) di 8,0 m/s.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
		Relazione Idraulica	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RI	OPERA 7 DISCIPLINA ID 00 01		PROGR 001

Type	Thickness (m)	Filling stones		Critical velocity (*)	Limit velocity (*)
		stone size	d ₅₀		
Reno mattress	0,15-0,17	70-100	0.085	3.5	4.2
		70-150	0.110	4.2	4.5
	0,23-0,25	70-100	0.085	3.6	5.5
		70-150	0.120	4.5	6.1
	0,30	70-120	0.100	4.2	5.5
		100-150	0.125	5.0	6.4
Gabions	0,50	100-200	0.150	5.8	7.6
		120-250	0.190	6.4	8.0

Tabella 6 - Velocità critica e Limiti di velocità per materassi reno e gabbioni

3.2 RIVESTIMENTO IN MASSI NATURALI

Per l'intervento n.10, che prevede un rivestimento in massi naturali della sezione di deflusso, è stata condotta una verifica delle condizioni di incipiente erosione in corrispondenza delle sezioni critiche (ovvero maggiormente sollecitate), mediante la metodologia basata sulla teoria di Shields, secondo cui il moto del materiale di diametro minore o uguale a d e peso specifico ρ_s ha origine quando la tensione tangenziale τ_0 dovuta alla corrente supera il valore critico τ_{cr} , funzione della dimensione del materiale e delle caratteristiche geometriche dell'alveo.

La tensione tangenziale massima esercitata dalla corrente è espressa dalla relazione:

$$\tau_0 = \xi \cdot \gamma_w \cdot R_H \cdot i \quad [\text{N/m}^2]$$

con:

ξ coefficiente che tiene conto della distribuzione delle tensioni tangenziali; è assunto pari a 1 per il fondo alveo e 0.75 in corrispondenza delle sponde;

γ_w è il peso specifico del fluido (9'810 N/m³);

R_H è il raggio idraulico (m);

i è la pendenza locale della linea dell'energia (m/m).

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HY pro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Relazione Idraulica	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RI	OPERA 7 DISCIPLINA ID 00 01			PROGR 001

I valori della τ_0 devono essere confrontati con le tensioni tangenziali critiche che mobilitano il materiale sul fondo e sulle sponde. Il valore critico τ_{cr} che mobilita un masso di diametro d con peso specifico γ_s in assenza di coesione ed in regime turbolento ha la seguente espressione, tratta dall'articolo "Criteri di dimensionamento e di verifica delle stabilizzazioni di alveo e di sponda con massi sciolti e massi legati" di Armanini e Scotton, Università degli Studi di Trento - Atti del Corso di Aggiornamento "Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali" a cura del Politecnico di Milano:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_{cr, fondo} = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d \cdot \left[0.06 \cdot \left(1 + 0.67 \cdot \sqrt{\frac{d}{y_0}} \right) \right] \cdot \left(\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\tan \varphi} \right) \\ \tau_{cr, sponde} = \tau_{cr, fondo} \cdot \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \mathcal{G}}{\sin^2 \varphi}} \end{array} \right. \quad [\text{N/m}^2]$$

con:

γ_s peso specifico dei massi, pari a 26'000 N/m³;

γ_w peso specifico del fluido, pari a 9'810 N/m³;

d diametro del masso (m);

y_0 tirante idrico (m);

α angolo di inclinazione del fondo alveo rispetto all'orizzontale;

\mathcal{G} angolo di inclinazione delle sponde del corso d'acqua rispetto all'orizzontale;

φ angolo di attrito dei massi, pari a 45°, in base a dati di letteratura.

Tale relazione, a differenza di quella formulata da Shields (la quale è da ritenersi valida nel caso di particelle omogenee, non coesive, su fondo orizzontale, con scabrezza relativa sufficientemente piccola), tiene conto degli effetti legati alla pendenza del fondo alveo, alla pendenza delle sponde e alla sommergenza d/y_0 relativamente bassa.

MANDATARIA HUB ENGINEERING CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A.R.L.	MANDANTI HYpro S.P.A.	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
		Relazione Idraulica		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR
		LI0B	02	E	ZZ	RI	ID	00	01	001	C	23

Tipo di rivestimento	h [m]	i [m/m]	σ_{fondo} [N/m ²]	$\sigma_{\text{cr,fondo}}$ [N/m ²]	σ_{sponde} [N/m ²]	$\sigma_{\text{cr,sponde}}$ [N/m ²]
Massi naturali di 1a categoria	1.66	0.0033	36.50	814.61	27.38	416.31

Tabella 7- Verifica rivestimenti in massi naturali

Dalla tabella su riportata si evidenzia che il passaggio dell'onda di piena non è in grado di mobilitare massi del diametro medio previsto per il rivestimento in progetto (0.60 m).