

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO**

Sistemazione idraulica fosso 3 - Libarna

Relazione idraulica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing.P.P.Marcheselli	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 2	E	C V	R I	I N 1 U 0 X	0 0 1	A

Progettazione :								
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	ALPINA <i>Adriano Fava</i>	27/09/2013	COCIV <i>[Signature]</i>	27/09/2013	A. Palomba <i>[Signature]</i>	30/09/2013	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Alto Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R

n. Elab.:	File: IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX
-----------	--

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 3 di 36

INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	OTTEMPERNA ALLE PRESCRIZIONI CIPE	6
3.	INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI.....	6
4.	DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO.....	8
5.	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	9
6.	PORTATA DI PROGETTO	10
6.1.	Portata al colmo Fosso3	10
6.2.	Portata di smaltimento piattaforma.....	13
7.	VERIFICHE IDRAULICHE	14
7.1.	Verifiche delle inalveazioni.	15
7.1.1.	Verifiche in moto uniforme	15
7.1.2.	Verifica con approccio del tipo "a dissipatore"	17
7.2.	Verifica dei tombini	20
7.3.	Verifica protezioni dell'alveo	21
7.3.1.	Metodo di Calcolo	21
7.3.2.	Risultati	21
8.	OPERE IN ASSENZA DEL DEPOSITO DP05.....	22
9.	OPERE PROVVISORIALI	22
9.1.	Portata di progetto.....	22
9.1.1.	<i>Periodo di ritorno</i>	22
9.1.2.	<i>Metodo della portata indice.....</i>	23
9.2.	Verifica del tombino provvisorio.....	24
10.	CONCLUSIONI	25
	ALLEGATO 1	26

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX
Relazione idraulica

Foglio
4 di 36

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 5 di 36

1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifica idraulica di un canale secondario denominato nel seguito “fosso3”, appartenente al reticolo idrografico minore del torrente Scrivia e interferente con la linea AC Milano –Genova alla pk 29+050.99 in zona Libarna nel Comune di Serravalle Scrivia (AL).

Il fosso in esame subito a valle della linea ferroviaria in progetto recapita nel Rio Pradella oggetto della wbs IN11.

Lo studio è finalizzato alla verifica di compatibilità idraulica dell’attraversamento e della sistemazione d’alveo nell’ambito del progetto esecutivo della tratta A.V./A.C. Milano-Genova Terzo valico dei Giovi.

Il progetto per la realizzazione della linea ferroviaria prevede l’attraversamento mediante tombino scatolare in cls, è stata inoltre prevista la riprofilatura a gradoni di un tratto di alveo a monte e la protezione dello stesso con massi di cava.

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) approvato dall’Autorità di Bacino del Fiume Po con DPCM del 24/5/01, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Le verifiche e il dimensionamento idraulico delle opere sono state condotte mediante verifiche idrauliche a carattere puntuale con la portata 200-ennale in accordo con le norme del Piano.

Lo studio ha dimostrato la compatibilità idraulica dell’intervento.

Il progetto esecutivo oggetto della presente relazione risponde a quanto previsto nel precedente livello di progettazione definitiva; in questa ulteriore fase sono stati sviluppati gli elaborati conformemente al livello progettuale esecutivo per fornire i necessari elementi di dettaglio.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 6 di 36

2. OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE

In fase di approvazione del Progetto Definitivo del Terzo valico dei Giovi – linea AV/AC Milano-Genova – con delibera CIPE 80/2006 non sono presenti prescrizioni specifiche relative all'intervento oggetto della presente relazione.

3. INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI

La normativa idraulica di riferimento per il versante padano è costituita dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), adottato con delibera di Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001 ed approvato con DPCM del 24 maggio 2001, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Il PAI è sovraordinato a tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti e costituisce la norma a cui attenersi per l'esecuzione di opere e infrastrutture che interferiscano con il reticolo idrografico.

Esso fornisce i valori delle portate di piena da assumere alla base delle verifiche idrauliche per alcune sezioni significative del reticolo idrografico padano; fornisce altresì le indicazioni per il calcolo delle portate di piena nelle sezioni non indagate sulla base delle curve di probabilità pluviometrica per assegnato periodo di ritorno elaborate per tutto il territorio di competenza.

Il PAI contiene inoltre i criteri a cui attenersi per il dimensionamento delle opere in funzione della tipologia e dei vincoli esistenti.

I criteri adottati nel dimensionamento idraulico delle opere tengono conto delle norme di attuazione del PAI e degli indirizzi e delle indicazioni emerse nel corso dei colloqui con il competente Ufficio provinciale del Genio Civile di Alessandria della Regione Piemonte.

Da un punto di vista generale, per quanto riguarda la viabilità, si distinguono i casi di adeguamento della viabilità esistente e di realizzazione di nuova viabilità.

Nei casi in cui l'adeguamento della viabilità esistente, pur se a raso, si limita ad un semplice intervento di manutenzione senza interferenze con l'attuale assetto idraulico dell'alveo e delle aree adiacenti, non è prevista alcuna sistemazione idraulica, anche se l'intervento dovesse ricadere in area inondabile.

Nei casi in cui tale adeguamento comporti invece la realizzazione di opere interferenti con il corso d'acqua e/o con le sponde (muri di sostegno, argini, sbalzi ecc.), e nei casi di realizzazione di nuovi tratti di viabilità e/o nuovi attraversamenti, l'intervento previsto, pur nel rispetto dei vincoli imposti dalla progettazione stradale, è stato comunque orientato a garantire il deflusso della portata 200-ennale in condizioni di sicurezza lungo tutto il tronco del corso d'acqua interessato, anche attraverso una nuova sistemazione dell'alveo e delle sponde.

Da un punto di vista generale le sistemazioni idrauliche sono limitate allo stretto necessario alla funzionalità dell'opera nel rispetto dell'attuale configurazione dei corsi d'acqua interferenti; si è verificato che gli interventi non comportassero in nessun caso restringimenti di alveo e non

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 7 di 36

inducessero in generale effetti peggiorativi sul regime idraulico del corso d'acqua, con particolare riferimento agli effetti indotti sulla sponda opposta.

Al fine di preservare le opere dai possibili fenomeni erosivi della corrente, le fondazioni dei muri d'argine e delle opere in alveo in genere quali briglie, spalle e pile dei ponti, sono impostate ad una quota adeguatamente inferiore alla quota minima del fondo alveo (Talweg) e, quando necessario, protette con strutture elastiche quali scogliere di massi naturali, materassi tipo "Reno" o gabbioni, mantenendo per quanto possibile la naturalità dell'alveo e delle sponde.

Lungo i tratti di viabilità di cui è previsto l'adeguamento è stata effettuata la verifica idraulica dei manufatti di attraversamento esistenti al fine di individuare quelli ritenuti sufficienti al deflusso della portata 200-ennale, che possono pertanto essere mantenuti, e quelli di cui è opportuno prevedere il rifacimento perché insufficienti.

Il criterio adottato è quello di un franco minimo di 0.5 m rispetto all'intradosso per ponti, ponticelli e scatolari per i corsi d'acqua significativi (con superficie del bacino sotteso superiore a 0.2 Km²) e di un rapporto d'invaso inferiore a 0.75 per i manufatti di attraversamento dei corsi d'acqua minori (superficie del bacino inferiore a 0.2 Km²).

Nel caso di nuova viabilità a raso è stato adottato ovunque un franco rispetto al deflusso della portata di piena 200-ennale di 1.0 m rispetto al piano viabile anche in presenza di un'eventuale struttura a sbalzo.

Nel caso di nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua significativi si è preferito anche in questo caso, ove possibile, l'adozione di struttura a campata unica senza ingombri in alveo; il franco minimo rispetto all'intradosso è stato assunto pari a 1.0 m e comunque non inferiore alla metà del carico cinetico della corrente; in accordo a quanto indicato nel P.A.I. tale valore deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia orizzontale e comunque per almeno 40 m nel caso di luci superiori a tale valore; nel caso di ponti e ponticelli si è assunto comunque un valore minimo dell'altezza libera di 2 m; per gli scatolari si è assunta una dimensione minima di 2x2 m.

Per i corsi d'acqua secondari, in mancanza di specifiche indicazioni contenute nel P.A.I. o fornite direttamente dagli Uffici tecnici competenti, si è assunta quale dimensione minima dei manufatti di attraversamento una tubazione Ø 1500.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 8 di 36

4. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

Il fosso 3, affluente di sinistra del Rio Pradella interferisce con la linea in progetto alla pk 29+050.99; nel tratto interessato dall'intervento il fosso ha andamento est- ovest

L'area complessiva del bacino sotteso alla sezione di interferenza con la linea è di circa 0.33 km²; il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Serravalle Scrivia.

Il bacino presenta una forma arrotondata, con quote comprese tra 226 m s.l.m. e 360 m s.l.m.; il reticolo idrografico di superficie è caratterizzato dalla presenza di un asta principale di lunghezza pari a circa 1100 m, e pendenza media pari al 22%; e da un ramo secondario di lunghezza pari a circa.150 m. Il bacino non risulta urbanizzato.

L'intervento riguarda un tratto dell'asta principale e secondaria della lunghezza complessiva di circa 300 m; l'alveo naturale è caratterizzato in tale tratto da sezioni trapezie irregolari, strette e incise; la pendenza longitudinale dell'asta è molto elevata.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 9 di 36

5. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

L'intervento di progetto del "fosso 3", prevede la realizzazione di:

- Un attraversamento della linea A.C. mediante tombino scatolare
- la sistemazione idraulica dell'incisione esistente in massi di cava cementati;
- un canale di gronda in c.a. posto a monte della viabilità in progetto (wbs NV29);
- Due attraversamenti tramite tubazioni in c.a. della viabilità in progetto (wbs NV29).

Lo scatolare di attraversamento della linea A.C. alla pk 29+050.99 sarà realizzato in cemento armato di dimensioni $b \times h = 4,00 \times 4,00$ m, lungo complessivamente circa 72 m, con pendenza pari al 3%. L'asse del tombino ricalca l'andamento planimetrico del rio, indi per cui l'attraversamento della linea ferroviaria avviene in modo non perpendicolare.

Per quanto concerne la sistemazione idraulica dell'incisione, essendo la pendenza longitudinale molto elevata, è stato optato per una sistemazione del tipo a gradoni con pendenza longitudinale del 3,0% lunghezza pari a 9,25 metri, e salti di fondo di 1 metro; tale soluzione permette di dissipare la velocità e l'energia posseduta dalla corrente.

Si prevede una sezione di forma trapezia, caratterizzata da una pendenza delle sponde $h/b=2$, una base di 4,0 metri, un'altezza di 2,0 metri, con un rivestimento di pietrame in massi di cava di peso medio 1200-1500 kg avente uno spessore medio 1,0 metri.

Dal punto di vista realizzativo sarà eseguita la regolarizzazione del piano di appoggio mediante la posa di un geotessile bitumato del peso uguale o superiore a $500\text{gr}/\text{m}^2$ che garantirà l'impermeabilizzazione della sezione e la disposizione dei massi sciolti per uno spessore di circa 60 cm.

La scelta di una sistemazione di tipo flessibile è giustificata dai possibili assestamenti che subirà il piano di posa nel tempo, mentre l'impermeabilizzazione sarà garantita dal geotessile bitumato.

Il canale di gronda sarà posto a valle della viabilità in progetto e finalizzato al drenaggio della stessa e dei versanti dai quali discendono alcuni fossi ed incisioni minori; tale canalizzazione sarà realizzata tramite una sezione in c.a. di forma rettangolare di dimensioni pari a 1.75×1.00 m.

Lo spessore delle pareti e della soletta di fondo è pari a 0,25 m.

La pendenza longitudinale del canale di gronda è pari all'1% per quasi tutto lo sviluppo, soltanto gli ultimi 26 metri presentano pendenza pari al 2.9%; lo sviluppo totale dell'intervento è pari a circa 209 m.

Sono previsti due attraversamenti della viabilità realizzati mediante tombini circolari in cls di diametro interno $\phi 1500$.

Il primo posizionato in corrispondenza della sez 10 della viabilità NV29 è collegato all'incisione principale e presenta la medesima pendenza longitudinale (3%); l'altro posizionato tra le sezioni 23 e 24 recapita nel canale di gronda ed è posato con la medesima pendenza dello stesso (1%).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 10 di 36

6. PORTATA DI PROGETTO

6.1. Portata al colmo Fosso3

Data la mancanza di osservazioni dirette dei deflussi naturali (idrometria), nella valutazione delle portate massime probabili del corso d'acqua intercettato, si è fatto necessariamente riferimento a schemi di calcolo basati su una determinazione indiretta, a partire dalle curve di possibilità climatica caratteristiche dei rispettivi bacini.

Le curva di possibilità climatica vengono espresse nella seguente forma:

$$h = a \cdot t^n$$

Dove:

h = altezza di pioggia

t = tempo

a, n = costanti

Le costanti delle CPP, per i diversi tempi di ritorno, provenienti dalla media delle celle regionalizzate su griglia 4 km², utilizzati per il bacino del fosso 2 sono i seguenti:

a 50	n 50	a 200	n 200	a 500	n 500
68.54	0.389	85.01	0.386	95.87	0.384

Tabella 1 – Valori di a,n delle CPP per il bacino

Il calcolo della portata al colmo è stato eseguito secondo il “metodo razionale”.

La caratterizzazione idrologica di piena per un bacino idrografico viene eseguita ragguagliando il valore di pioggia intensa per prefissato tempo di ritorno assegnato allo stesso bacino e successivamente attraverso un metodo di correlazione afflussi - deflussi si calcola il valore della portata. In tali casi vengono attribuiti alle piene gli stessi tempi di ritorno delle precipitazioni che le hanno generate.

Tale metodo di correlazione afflussi-deflussi è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni di intensità costante nel tempo, si ha per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino stesso e si verifica dopo il tempo t_c dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3.6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

S = superficie del bacino (km²);

c = coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale;

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 11 di 36

h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);

t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

Si è precedentemente osservata la necessità di valutare il tempo di corrivazione del bacino in esame allo scopo di definire la durata critica dell'evento di pioggia da considerare nell'applicazione del metodo razionale, considerando come tempo minimo di corrivazione 10 minuti.

La formula adottata per la stima di tale valore è quella di Tournon che necessita come dati di input di alcuni valori relativi alle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alle rispettive sezioni di chiusura.

Sono stati considerato tre differenti bacini, uno alla sezione di chiusura del tombino ferroviario denominato nel seguito "bacino 3", uno alla sezione di chiusura del tombino circolare, sito tra le sez 23 e 24 della wbs NV29, e denominato "bacino3.1", e un ulteriore sottobacino con sezione di chiusura in corrispondenza del tombino circolare posto alla sezione 10, e denominato bacino "3.2".

Per i bacini in esame i dati caratteristici sono riassunti di seguito:

Bacino 3

S (km ²)	0.23
L (km)	1.09
Pendenza media asta i (%)	21.7
Pendenza media bacino i_m (%)	21.7

Bacino 3.1

S (km ²)	0.10
L (km)	0.48
Pendenza media asta i (%)	19.1
Pendenza media bacino i_m (%)	21.7

Bacino 3.2

S (km ²)	0.07
L (km)	0.34
Pendenza media asta i (%)	25.4
Pendenza media bacino i_m (%)	25.4

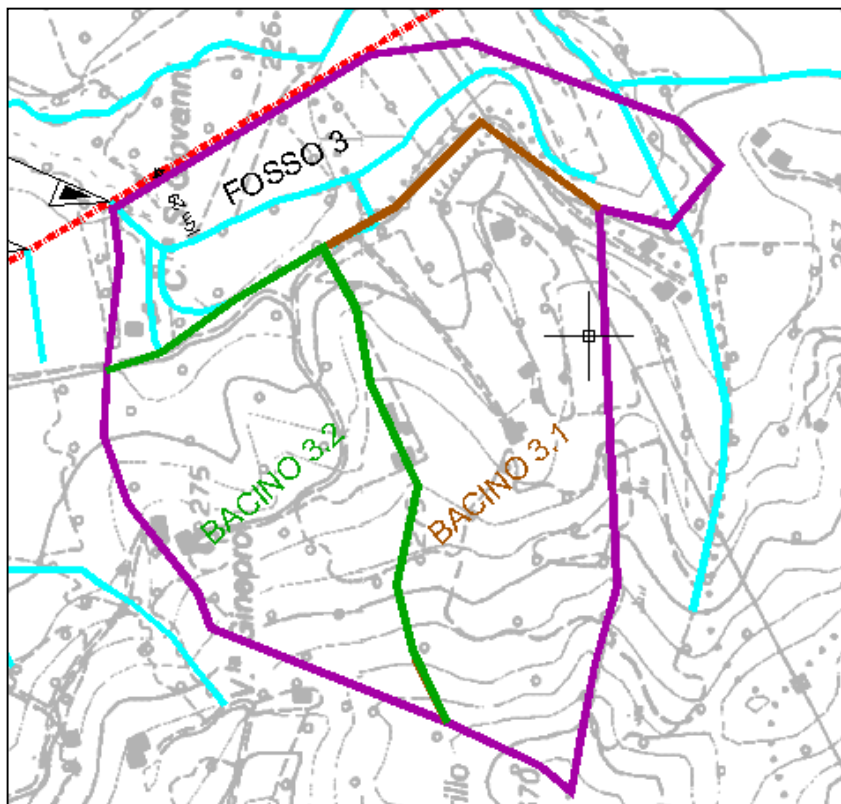


Figura 1 – Delimitazione bacino Fosso 3

La pendenza dell'asta principale è stata determinata utilizzando la relazione del Fornari che permette la determinazione di tale parametro dal valore della pendenza dei singoli tratti, utilizzando la media pesata:

$$i = (\sum_{k=1}^n l_k / i_k)^{-1} * L$$

dove l_k ed i_k sono rispettivamente la lunghezza e la pendenza dei singoli tratti omogenei in cui l'asta principale si considera divisa.

Formula di Tournon:

$$i = \frac{L}{\sum_{k=1}^n \frac{l_k}{i_k}}$$

Sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Bacino 3	Bacino 3.1	Bacino 3.2
[min]	[min]	[min]
17.2	13.6	11.4

Tabella 1 – Valori del tempo di corrivazione dei bacini

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 13 di 36

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente delicata e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Esso ha un significato “sintetico”, essendo mediato su tutto il comprensorio in esame: esprime globalmente il rapporto fra i deflussi, che attraversano la sezione di chiusura in un intervallo definito nel tempo, e gli afflussi meteorici.

Tale parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, adattandoli alle effettive caratteristiche del bacino in studio, anche in base all'esperienza.

Per il caso in esame è stato adottato un coefficiente pari a 0,8

Le portate idrologiche risultanti per i differenti bacini, sono riassunte in tabella 2:

Bacino 3	Bacino 3.1	Bacino 3.2
[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]
9.49	4.66	3.79

Tabella 2 – Valori di portata al colmo dei bacini

6.2. Portata di smaltimento piattaforma

Per il calcolo della portata al colmo derivante dallo smaltimento delle acque di piattaforma della strada vn29 si rimanda alla relazione idraulica della wbs NV29

L'apporto complessivo afferente alla sezione di chiusura ferroviaria è pari a circa 0,5 m³/s, mentre l'apporto afferente al singolo attraversamento circolare della strada NV29, è pari a circa 0,25 m³/s.

7. VERIFICHE IDRAULICHE

Le verifiche idrauliche riguardano il calcolo dei livelli idrici e delle velocità che si instaurano nel fosso prima e dopo la realizzazione dell'opera in progetto in corrispondenza della portata al colmo con tempo di ritorno 200 anni.

Si è anche provveduto alla verifica delle protezioni spondali dell'incisione principale.

La base geometrica

Per lo studio idraulico è stato condotto un rilievo celerimetrico, da cui sono state ricavate 25 sezioni trasversali.

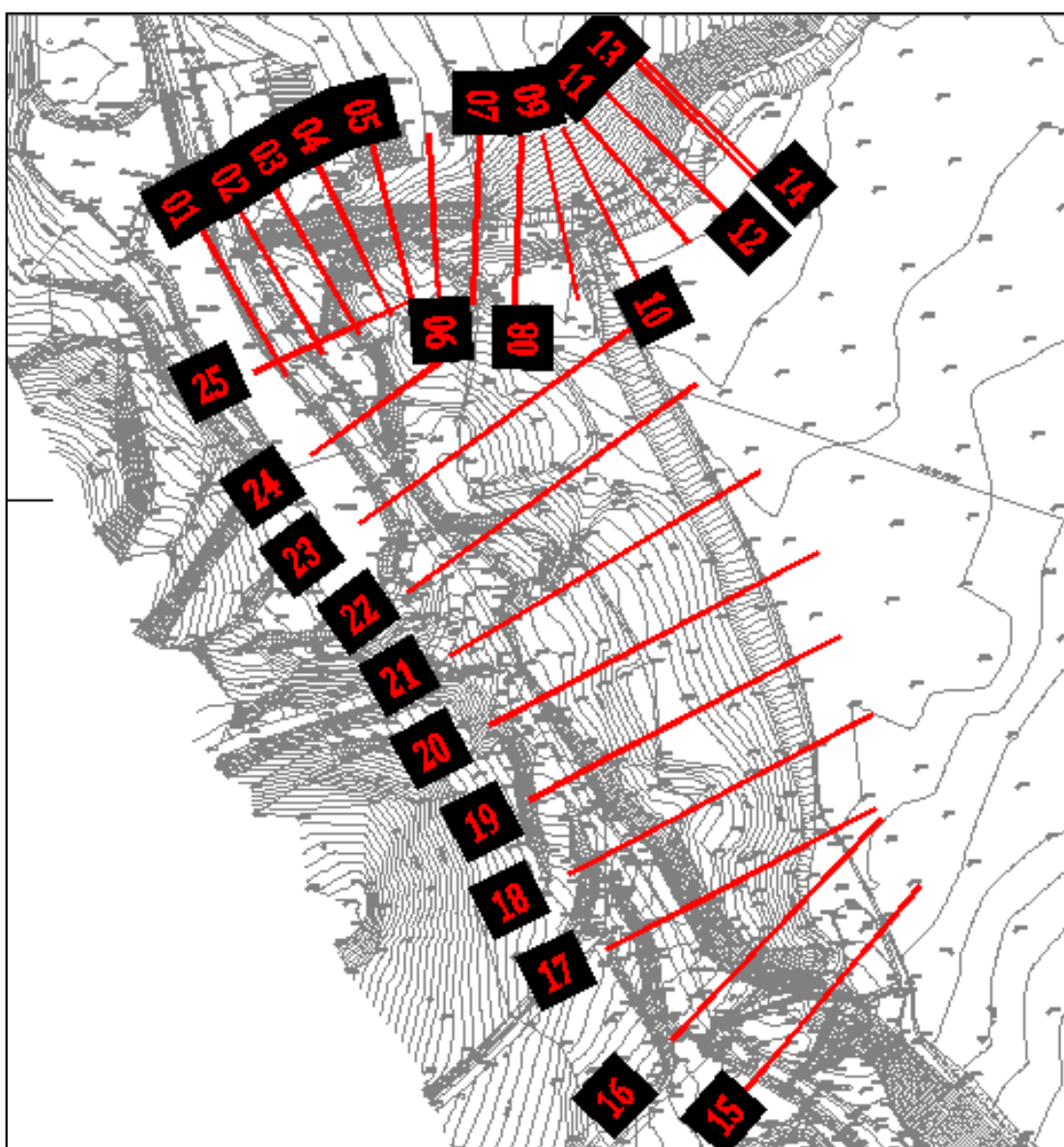


Figura 2 – Tacche delle sezioni del rilievo celerimetrico

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 15 di 36

Scabrezze

Non avendo operato uno studio specifico riguardante la granulometria e le condizioni morfologiche dell'alveo, per quanto riguarda la definizione del coefficiente di scabrezza da utilizzare nel modello, sono stati presi a riferimento gli standard Italferr.

Per il tratto di alveo esaminato sono stati quindi considerati coefficienti di Strickler, pari a $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali in terra, pari a $40 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali rivestiti in massi, e pari a $67 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ per i canali in calcestruzzo.

7.1. Verifiche delle inalveazioni.

In conseguenza del fatto che la sistemazione di progetto dell'incisione principale è del tipo a gradoni, sono stati considerati due differenti approcci: quello della verifica puntuale in moto uniforme con pendenza del gradone pari al 3% e quello in cui l'inalveazione viene trattato come un vero e proprio manufatto di dissipazione a gradoni.

Quest'ultimo approccio è stato considerato anche in virtù del fatto che l'altezza di moto uniforme difficilmente si realizzerà in tale tratto di canale avendo i gradoni lunghezza limitata.

7.1.1. Verifiche in moto uniforme

Descrizione modello di calcolo

In assenza di variazioni significative della forma e delle dimensioni dell'alveo sono state determinate le caratteristiche della corrente in condizioni di moto uniforme mediante la formulazione di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i_f}$$

dove Q [m^3/s] è la portata, χ [$\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1}$] il coefficiente di attrito, A [m^2] l'area della sezione liquida, R [m] il raggio idraulico, i_f la pendenza dell'alveo.

Le pendenze medie dell'alveo sono state calcolate sulla base dei rilievi di dettaglio o sulla base cartografica disponibile alle diverse scale.

Per il calcolo di χ è stata adottata la formula di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

dove n [$\text{m}^{-1/3} \text{s}$] è il coefficiente dimensionale di scabrezza definito in funzione della natura dell'alveo.

La determinazione della profondità di moto uniforme sarebbe valida per pendenza non troppo elevate, solitamente si considera il 10% come limite di applicabilità; per quanto riguarda lo stato di fatto il metodo è stato applicato anche se tale limite viene superato.

Stato di fatto

Sono state indagate 5 sezioni trasversali.

Le pendenze medie sono state calcolate considerando tratti di alveo della lunghezza pari a 50 m con la sezione in esame posta al centro di tale tratto.

Il coefficiente di scabrezza K_s adottato è pari a 30.

In tabella 3 sono riassunti i valori delle variabili idrauliche di interesse.

Sezione	Q bacino	Pendenza	Altezza moto uniforme (h_0)	Energia di moto uniforme (E_0)	Altezza critica (K)	Tipo di corrente	Velocità
	m^3/s	%	m	m	m		m/s
03	3.79	17.56	0.517	2.005	0.877	Corrente veloce	5.41
09	9.49	12.33	0.855	2.532	1.298	Corrente veloce	5.74
13	9.49	11.67	0.593	2.234	1.03	Corrente veloce	5.68
18	4.66	2.08	0.780	0.917	0.794	Corrente veloce	1.64
23	4.66	5.98	0.774	1.518	1.016	Corrente veloce	3.82

Tabella 3 – Variabili idrauliche delle sezioni esistenti

La corrente di moto uniforme è una corrente di tipo veloce ($h < k$) con valori del battente ampiamente contenuti all'interno delle sponde e valori della velocità elevati.

Progetto

Sono state indagate le 3 differenti sezioni trasversali in progetto.

Il coefficiente di scabrezza K_s adottato è pari a 40.

In tabella 4 sono riassunti i valori delle variabili idrauliche di interesse

Sezione	Q bacino	Q piattaforma	Q totale	Pendenza	Altezza moto uniforme (h_0)	Energia di moto uniforme (E_0)	Altezza critica (K)	Tipo di corrente	Velocità
	m^3/s	m^3/s	m^3/s	%	m	m	m		m/s
Rett. 1.75x1.00	4.66	0.25	4.91	1.0	0.762	1.45	0.929	Corrente veloce	3.682
Trapezia 2.0x2.0	9.49	0.5	9.99	3.0	0.565	1.43	0.83	Corrente veloce	4.128
Trapezia 4.0x2.0	3.79	0.25	4.04	3.0	0.487	1.10	0.674	Corrente veloce	3.466

Tabella 4 – Variabili idrauliche delle sezioni di progetto

La corrente di moto uniforme è una corrente di tipo veloce ($h < k$) con valori del battente ampiamente contenuti all'interno delle sponde e valori della velocità elevati.

Confronto

In tabella 5 vengono confrontati i valori delle variabili idrauliche dello stato di fatto e di progetto.

Sezione Stato di fatto	Sezione Progetto	Q bacino	Q piattaforma	Q totale	Pendenza Stato di fatto	Pendenza Progetto	ho Stato di fatto	ho progetto	Velocità Stato di fatto	Velocità Progetto
		m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	%	%	m	m	m/s	m/s
03	Trapezia 4.0x2.0	3.79	0.25	4.04	17.56	3.0	0.517	0.565	5.41	4.13
09	Trapezia 4.0x2.0	9.49	0.25	9.74	12.33	3.0	0.855	0.565	5.74	4.13
13	Trapezia 4.0x2.1	9.49	0.50	9.99	11.67	3.0	0.593	0.565	5.68	4.13
18	Rett. 1.75x1.00	4.66	0.25	4.91	2.08	1.0	0.780	0.762	1.64	3.68
23	Rett. 1.75x1.00	4.66	0.25	4.91	5.98	1.0	0.774	0.762	3.82	3.68

Tabella 5 – Confronto tra le variabili idrauliche nello stato di fatto e di progetto

I livelli di moto uniforme di progetto sono leggermente inferiori rispetto a quelli dello stato di fatto, la velocità della corrente si mantiene elevata, tali valori sono compatibili con la sezione rettangolare in calcestruzzo, risulta invece necessario adottare una protezione dell'alveo per l'incisione principale.

7.1.2. Verifica con approccio del tipo "a dissipatore"

L'inalveazione del tipo a gradoni viene assimilata ad un opera di dissipazione del tipo a scalinata. Le formule esposte nel seguito non sarebbero a rigore applicabili al caso in esame in quanto derivano da esperimenti di laboratorio eseguiti su opere aventi gradini piani. Essendo la pendenza longitudinale contenuta entro un valore del 3%, si ritiene tuttavia che la trattazione fornisca risultati di un ordine di grandezza molto simile al reale.

In generale si possono avere due regimi di moto: "regime di vena" e "regime di corrente areata". Nel primo caso la corrente forma un risalto idraulico su ogni gradino, che si comporta quindi come una piccola vasca di dissipazione, mentre nel secondo caso, che si verifica per le portate e le pendenze più elevate, la corrente scorre lungo la gradinata.

Secondo le esperienze riportate in letteratura le condizioni perché si verifichi il regime "di vena" sono le seguenti:

– $h/l < 0.2$

Dove:

h: larghezza gradino

l: salto del gradino

– – –

Dove:

K: Altezza critica della corrente

Nel caso in esame si ottiene che:

$$h/l = 0.11$$

$$K/h = 0.83$$

—

la verifica risulta quindi soddisfatta.

Una stima delle caratteristiche della corrente si può ottenere dalle formule sperimentali ricavate da Rand (1955):

— —

— —

— —

—

Dove le grandezze hanno significato riportato in Fig.3 mentre Fr_1 è il numero di Froude della sezione 1.

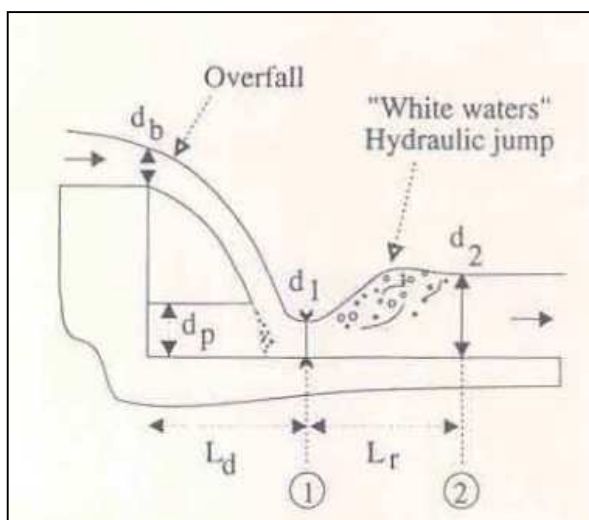


Figura 3 – Tacche delle sezioni del rilievo celerimetrico

Quando la lunghezza $L_d + L_r$ sono inferiori alla lunghezza complessiva L del gradino si verifica un risalto completo.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 19 di 36

Ne caso in esame si ha che:

$h = 1\text{ m};$
 $L = 9.25\text{ m};$
 $Q = 9.99\text{ m}^3/\text{s}$
 $K = 0.83\text{ m}$

Si ottengono quindi i seguenti risultati:

$d_1 = 0.43\text{ m}$
 $d_2 = 1.43\text{ m}$
 $L_d = 3.7\text{ m}$
 $L_r = 4.3\text{ m}$

Essendo $L_d + L_r = 8 < 9.25$, il risalto avviene in modo completo, si verifica quindi la massima dissipazione di energia.

Si ricavano infine le velocità nella sezione 1 e 2, come rapporto tra la portata e l'area bagnata.

$V_1 = 5.65\text{ m/s}$
 $V_2 = 1.45\text{ m/s}$

La velocità della corrente lenta V_2 a valle del risalto è nettamente inferiore a quella della corrente nello stato di fatto pari a circa 5 m/s.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 20 di 36

7.2. Verifica dei tombini

La verifica e' stata eseguita in moto uniforme per i dettagli del metodo si veda par. 7.1.1.

Sezione	Q bacino	Q piattaforma	Q totale	Pendenza	Altezza moto uniforme (ho)	Altezza critica (K)	Tipo di corrente	Velocità	Rapporto di riempimento (h/H)	Franco intradosso
	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	%	m	m		m/s	%	m
Circolare 1500 (Sez10)	3.79	0.25	4.04	3.0	0.64	1.048	Corrente veloce	5.618	42.7	0.86
Circolare 1500 (Sez 23/24)	4.66	0.25	4.91	1.0	1.013	1.155	Corrente veloce	3.869	67.5	0.49
Scatolare 4.0x4.0	9.49	0.5	9.99	3.0	0.43	0.86	Corrente veloce	5.807	10.8	3.57

Tabella 6 - Verifica dei tombini

I rapporti di riempimento risultano inferiori al 70% e il franco rispetto al piano viabile è superiore a 1,0 m come prescritto dal PAI.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 21 di 36

7.3. Verifica protezioni dell'alveo

7.3.1. Metodo di Calcolo

Nei casi in cui sia necessario realizzare delle opere di protezione delle sponde o del fondo di un corso d'acqua con strutture permeabili, deformabili e isolate, quali le scogliere in pietrame sciolto, gabbioni, o materassi Reno, occorre determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che tendono a metterlo in movimento.

Si tratta cioè di determinare le dimensioni minime del singolo masso, e conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media v .

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica v_{cr} che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente d della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione

$$v_{cr} = k d^{0.5}$$

con v_{cr} espresso in m/s e d in metri.

Il coefficiente k assume valori variabili fra 4 e 8; nella comune pratica progettuale si assume per $k=5^1$.

Quando k supera il valore di 8 si determinano le condizioni di movimento del singolo masso: pertanto, per il dimensionamento di massi cementati sul fondo dell'alveo, cautelativamente si assume un valore di k pari a 8.

Assumendo come velocità critica la velocità della corrente e risolvendo l'espressione secondo d , si ottiene la dimensione minima del masso da utilizzare nel caso esaminato.

La velocità che interessa è quella al fondo: nel caso in cui il battente idrico sia molto maggiore della dimensione del materiale la velocità al fondo può essere assunta pari al 75% della velocità media; nel caso in cui invece la dimensione del materiale sia confrontabile con la profondità della corrente è bene assumere come velocità al fondo la velocità media.

Analogamente alle soluzioni con massi naturali, sarà possibile fare ricorso a sistemi di gabbioni di dimensioni tali da garantire i pesi corrispondenti ai dimensionamenti precedentemente indicati, privilegiando la dimensione standard 1.0x1.0x2.0 m o materassi Reno di spessore pari a 0.5 m.

7.3.2. Risultati

Al fine del calcolo del diametro minimo viene assunta la massima velocità di progetto che si instaura nella sezione trapezia, pari a 4.13 m/s.

A favore di sicurezza è stato considerato che la velocità locale possa innalzarsi fino a un valore massimo di 5 m/s

Il diametro minimo dei massi per garantire la stabilità (considerando un coefficiente $k=8$) risulta pari a $d=0,39m$.

Essendo i massi in progetto di volume medio pari a $0.4 m^3$ la protezione spondale risulta verificata.

¹ L. Da Deppo-C. Datei-P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina edizioni, Padova 1997.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 22 di 36

8. OPERE IN ASSENZA DEL DEPOSITO DP05

In assenza del deposito DP05 l'intervento in progetto prevede:

- l'intera realizzazione del canale 3.2 con canaletta a sezione rettangolare in ca 1.75x1 m
- il tratto iniziale del canale 3 con rivestimento in massi cementati, per uno sviluppo di circa 56 m, fino al raccordo con l'inalveazione esistente.

9. OPERE PROVVISORIALI

Per garantire le continuità del reticolo idrografico durante la realizzazione del manufatto di attraversamento ferroviario, si prevede la seguente fasistica realizzativa:

- 1 il posizionamento di un tubo provvisorio DN1000 in prossimità del tombino da realizzare, in modo da ridurre al minimo gli scavi
- 2 la realizzazione del tombino privo dei muri di imbocco
- 3 la realizzazione dei muri di imbocco previo posizionamento di un ulteriore tubo provvisorio all'interno del tombino precedentemente realizzato; in tal modo si può procedere alla realizzazione dei muri di imbocco all'asciutto.

9.1. Portata di progetto

9.1.1. Periodo di ritorno

Per il dimensionamento delle opere provvisionali è stata utilizzata una portata di progetto con tempo di ritorno pari a 5 anni.

Secondo quanto riportato nella Direttiva Tecnica n.4 "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" assunta dell'Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazione di Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999 e aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006, "il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni idrauliche delle opere provvisionali è quello in cui la probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera".

Il rischio di insufficienza di opera, ovvero la probabilità che un evento con periodo di ritorno T venga raggiunto e superato negli N anni di vita prevista dell'opera, viene definito come:

—

Considerando una durata di realizzazione del tombino non superiore a 6 mesi e una durata di vita dell'opera pari a 100 anni, si ottiene che la probabilità di superamento della piena di progetto con periodo di ritorno pari a 200 anni nel corso della vita dell'opera è superiore alla probabilità che una piena con periodo di ritorno di 5 anni venga superata nel periodo di costruzione dell'opera stessa. Si riporta di seguito il calcolo del rischio di insufficienza dell'opera in fase provvisoriale e in fase definitiva.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 23 di 36

T VITA [ANNI]	T RITORNO [ANNI]	RISCHIO
0.5	5	0.11
100	200	0.39

Tabella 7 – Rischio di insufficienza dell'opera durante in periodo di vita della stessa e in fase di realizzazione

Pertanto l'assunzione di eventi con periodo di ritorno di 5 anni per il dimensionamento delle opere provvisoriale è assolutamente cautelativa ed è in linea con la normativa vigente.

9.1.2. Metodo della portata indice

Per il calcolo della portata di progetto con periodo di ritorno di 5 anni è stato utilizzato il metodo della portata indice, proposto all'interno del Progetto VAPI.

Tale metodo assume che all'interno di una zona omogenea, la portata al colmo massima annuale relativa ad una assegnata sezione fluviale si possa definire come:

Dove:

- $Q(T)$: portata al colmo massima annuale relativa alla sezione i e con tempo di ritorno T
- Q_i : portata indice
- X_t : fattore di crescita regionale; rappresenta il quantile adimensionale valido per l'intera regione

Una regione viene definita omogenea quando tutti i siti in essa contenuta sono caratterizzati dalla stessa distribuzione di probabilità dei colmi di piena massimi annuali, a meno di un fattore di scala.

Secondo il Progetto VAPI, il bacino in esame rientra nella regione C – Appennino Nord-Occidentale e bacini Tirrenici (tale bacino abbraccia i bacini liguri con foce lungo il litorale Tirreno ed i bacini padani dallo Scrivia al Taro).

Il fattore di crescita è espresso dalla formula seguente (Modello probabilistico GEV)

—

Dove

—

Per la zona in esame i parametri ϵ , α e k assumono i seguenti valori

$\epsilon=0.643$

$\alpha=0.377$

$k=-0.276$

Il fattore di crescita X_t assume il valore di 1.34.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica <table border="1" data-bbox="1420 235 1546 295"> <tr> <td>Foglio 24 di 36</td> </tr> </table>	Foglio 24 di 36
Foglio 24 di 36		

La portata indice viene definita secondo una regressione lineare semplice:

Dove, per l'area in esame, i parametri $Q(1)$ e m assumono i seguenti valori:

- $Q(1) = 5.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \text{ Km}^{-2m}$
- $m = 0.750$
- A rappresenta la superficie del bacino in Km^2 .

Il bacino in esame ha, nella configurazione di stato di fatto, una superficie pari a 0.33 Km^2 , al quale corrisponde una portata indice $Q_i = 2.26 \text{ m}^3/\text{s}$ e una portata di progetto per un periodo di ritorno di 5 anni $Q_5 = 3.04 \text{ m}^3/\text{s}$.

9.2. Verifica del tombino provvisorio

Il dimensionamento idraulico delle opere provvisorie è stato effettuato mediante la formula di Chezy, descritta nel paragrafo **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tombino Circolare $\phi 1000$ in cls

Sono stati considerati i seguenti dati di input:

Pendenza $i = 3\%$
 Portata $Q = 3.04 \text{ m}^3/\text{s}$
 Scabrezza $K_s = 67$

L'altezza di moto uniforme che ne deriva è pari a 0.7 m , con una velocità pari a 5.08 m/s , il rapporto di riempimento è pari al 0.7% e un franco rispetto all'estradosso pari a 0.30 m .

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica
	Foglio 25 di 36

10. CONCLUSIONI

Nonostante la difficoltà nell'adottare un metodo di calcolo che descriva con la massima precisione la situazione in oggetto, i calcoli effettuati mettono in evidenza come la configurazione di progetto sia non solo "idraulicamente compatibile" ma anche migliorativa rispetto allo stato di fatto.

In particolare si può affermare che per quanto concerne il canale di gronda il modello di calcolo in moto uniforme descrive in modo corretto la dinamica del moto che si instaura, mentre per quanto concerne l'inalveazione principale il moto è descritto sicuramente in modo più appropriato dalla trattazione "a modo di dissipatore".

Il rivestimento delle sezioni trasversali mediante massi cementati e l'adozione della canaletta in cls mette al riparo da rischi di erosioni dovute all'alta velocità dell'acqua.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX Relazione idraulica</p> <p>Foglio 26 di 36</p>

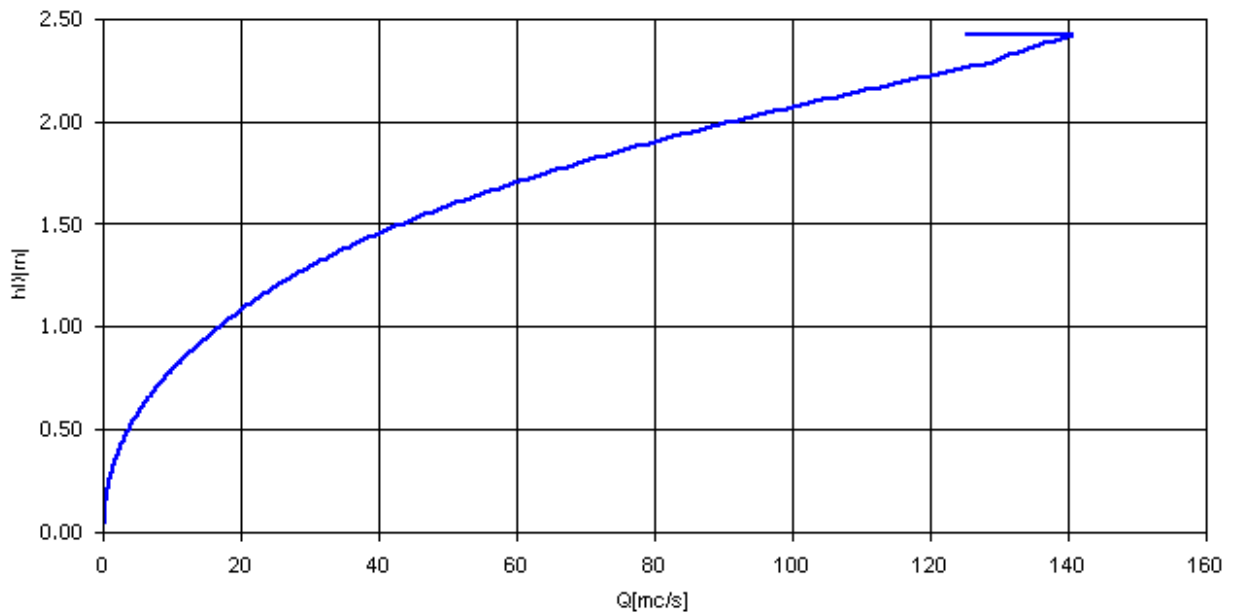
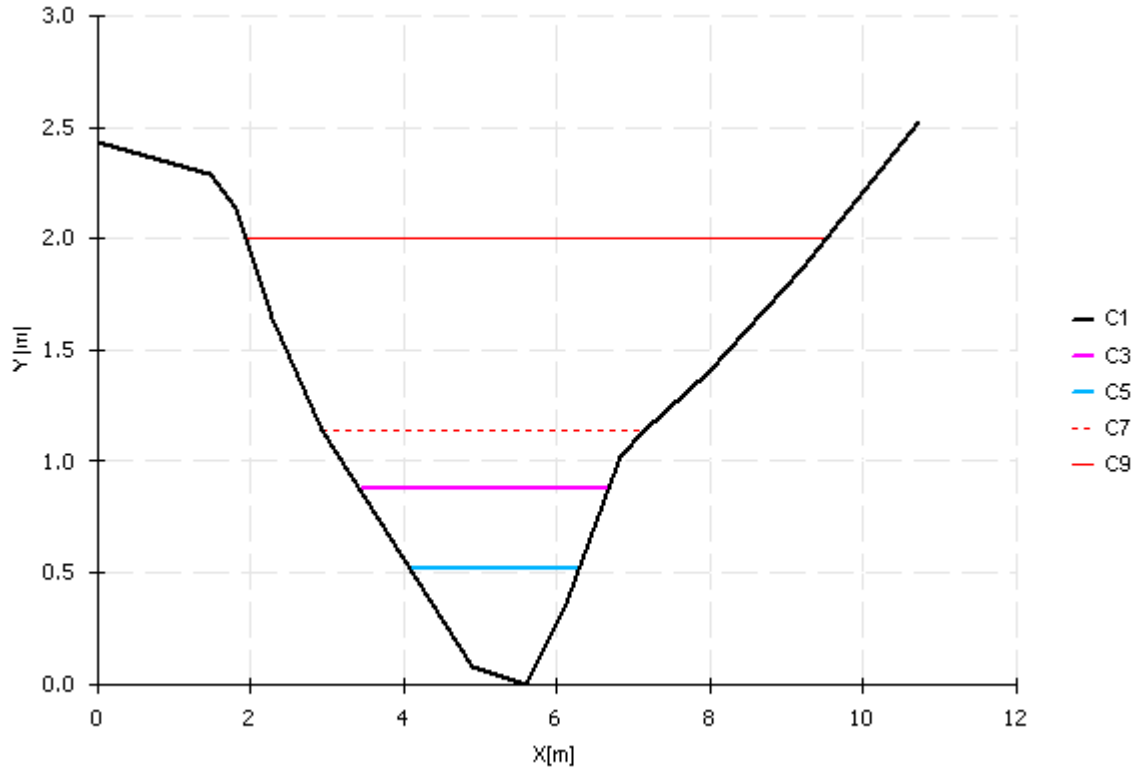
ALLEGATO 1

SCALE DI DEFLUSSO

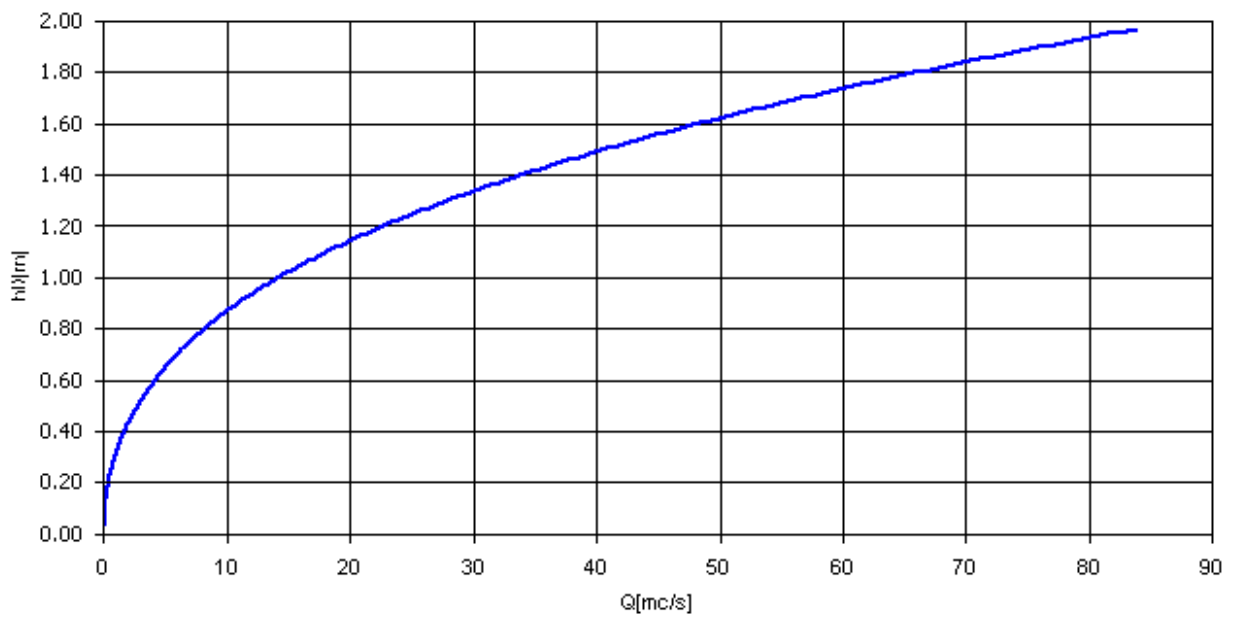
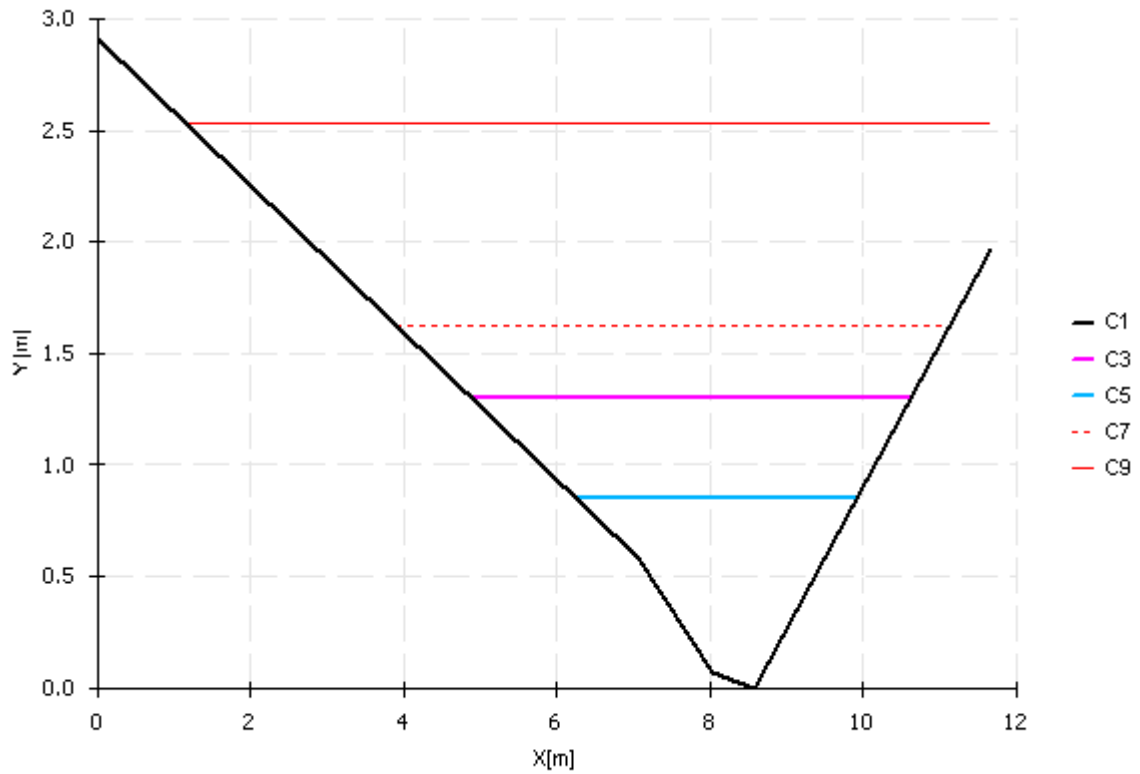
Legenda.

- C1 Alveo
- C3: Altezza critica (k)
- C5: Altezza di moto uniforme (ho)
- C7 Energia di moto uniforme
- C9 Energia critica

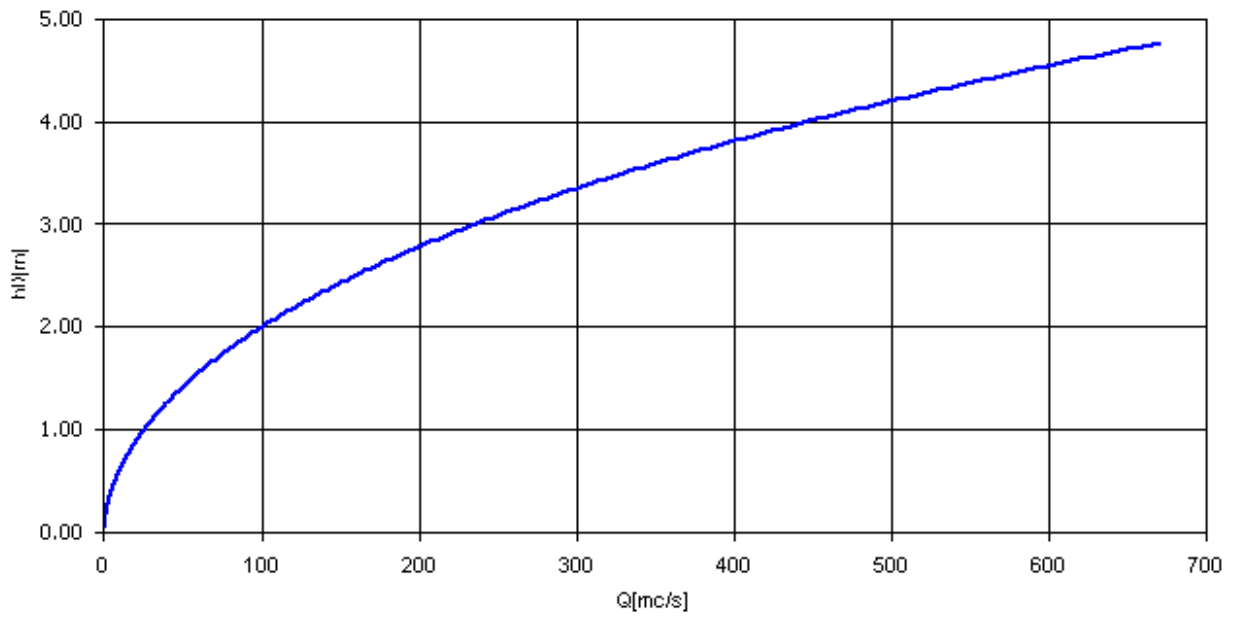
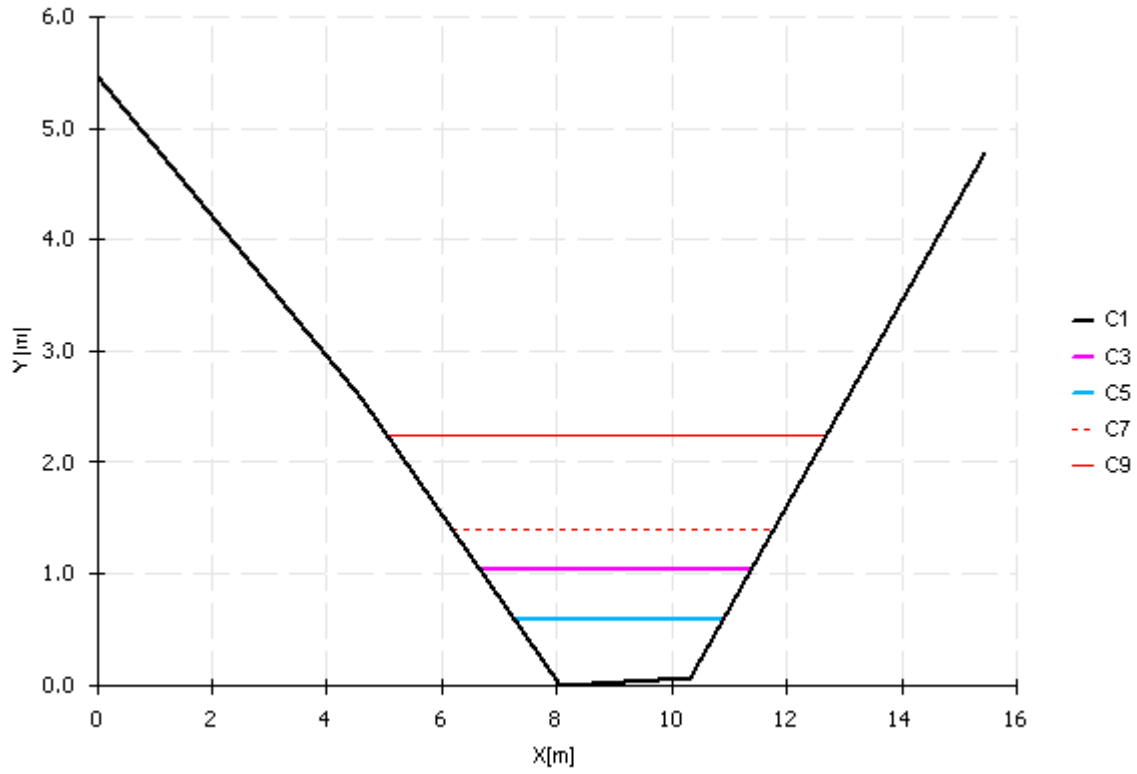
Sezione 03



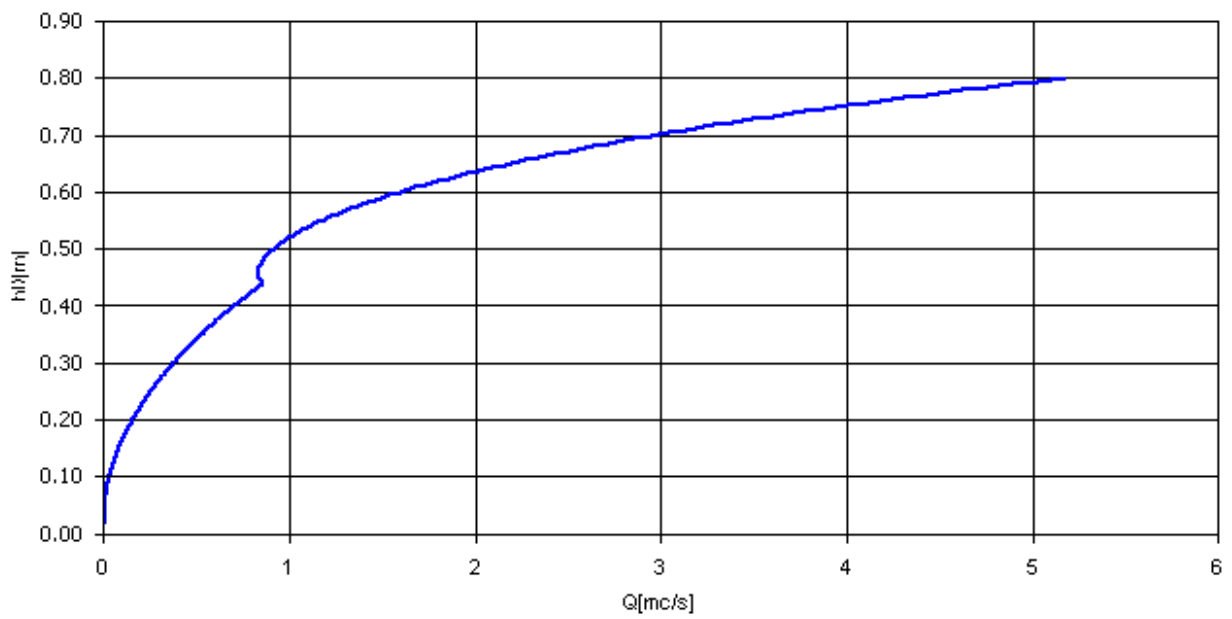
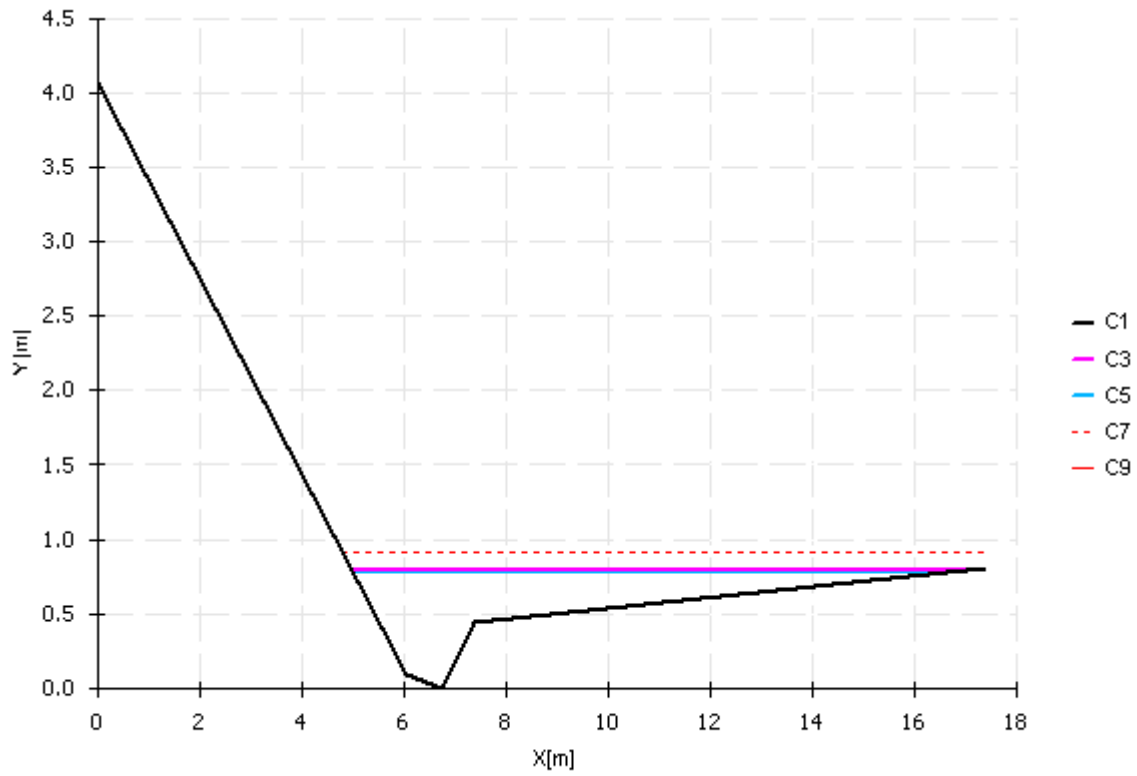
Sezione 09



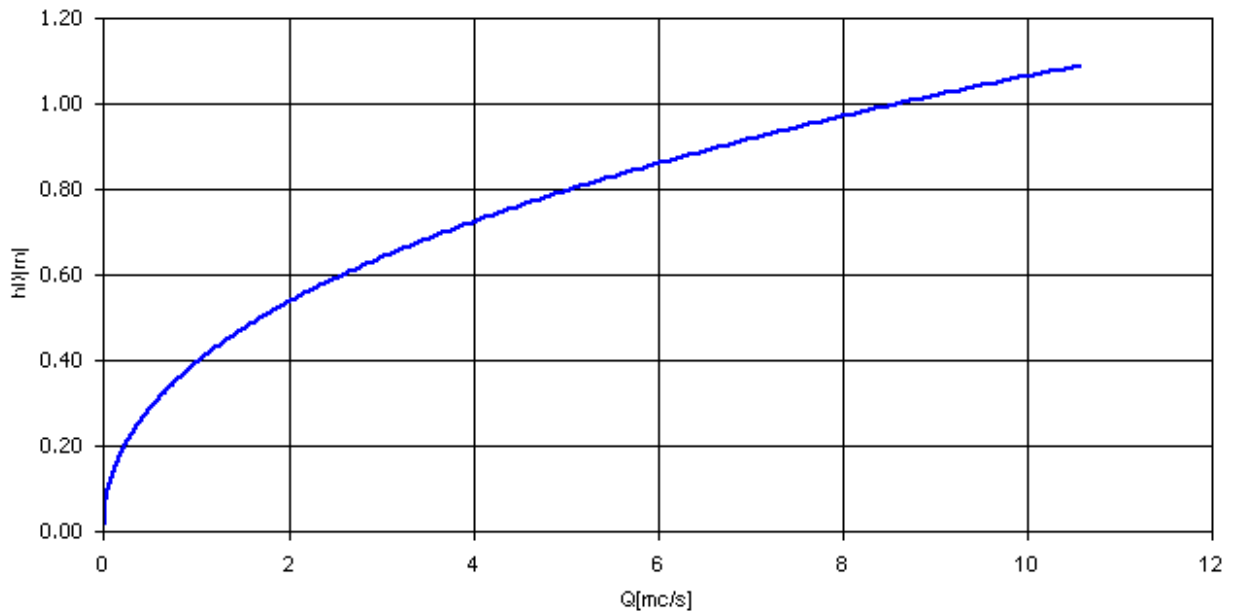
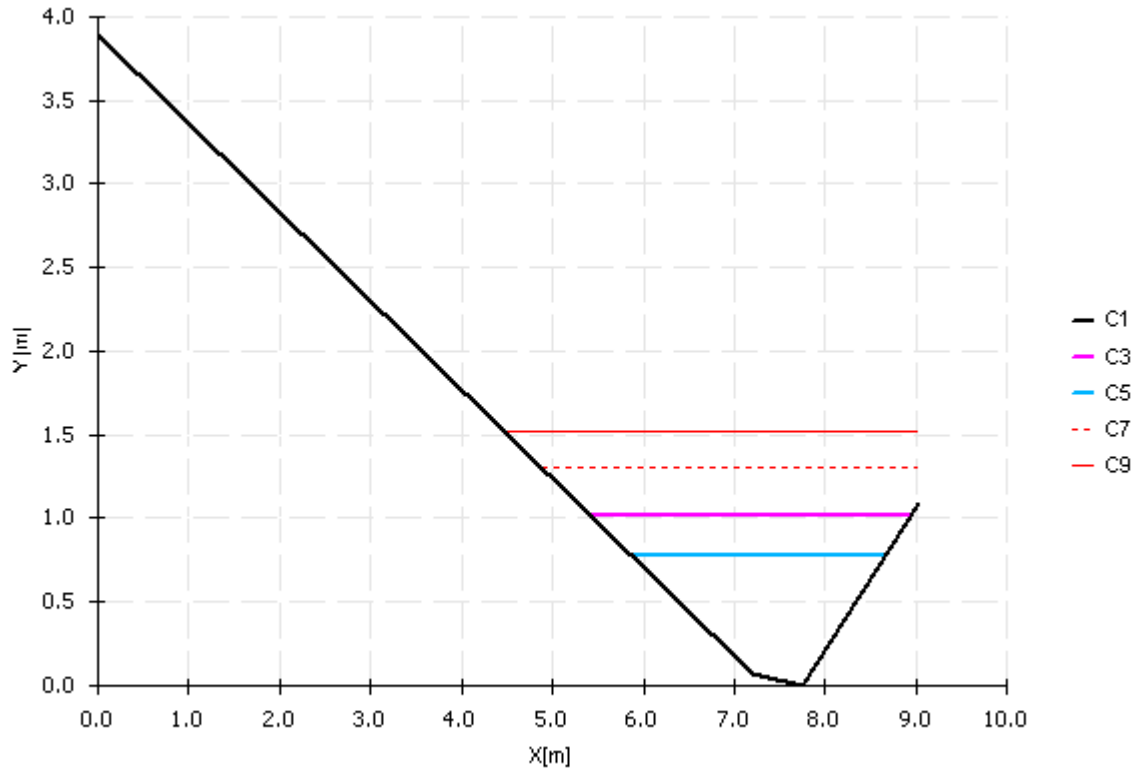
Sezione 13



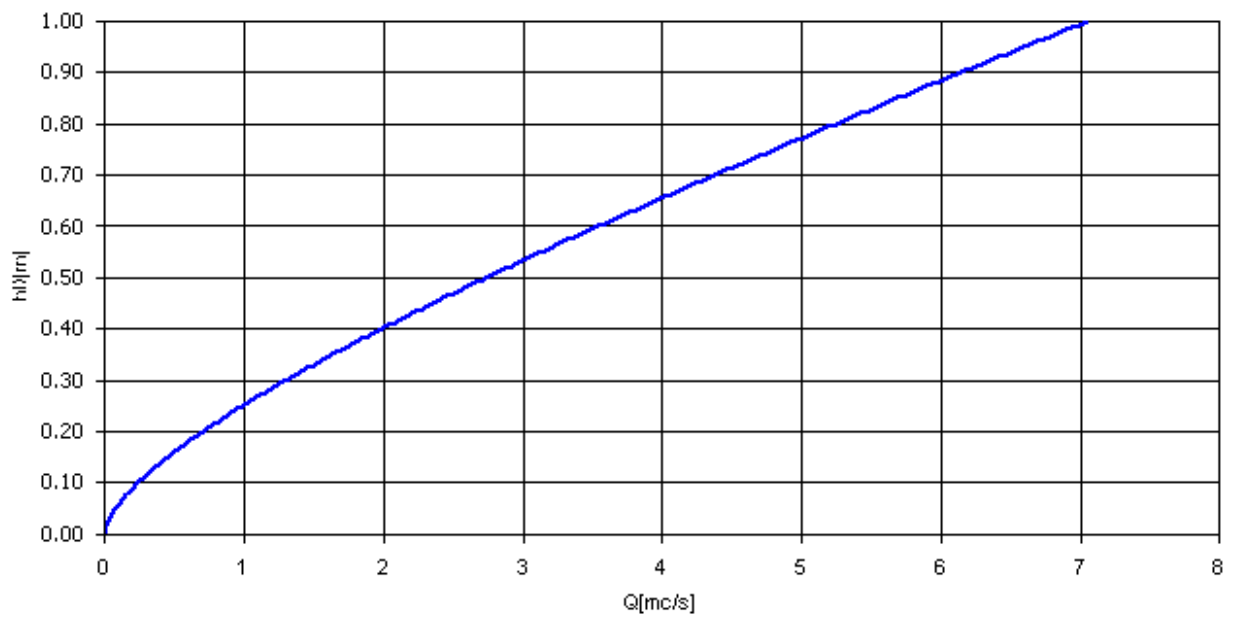
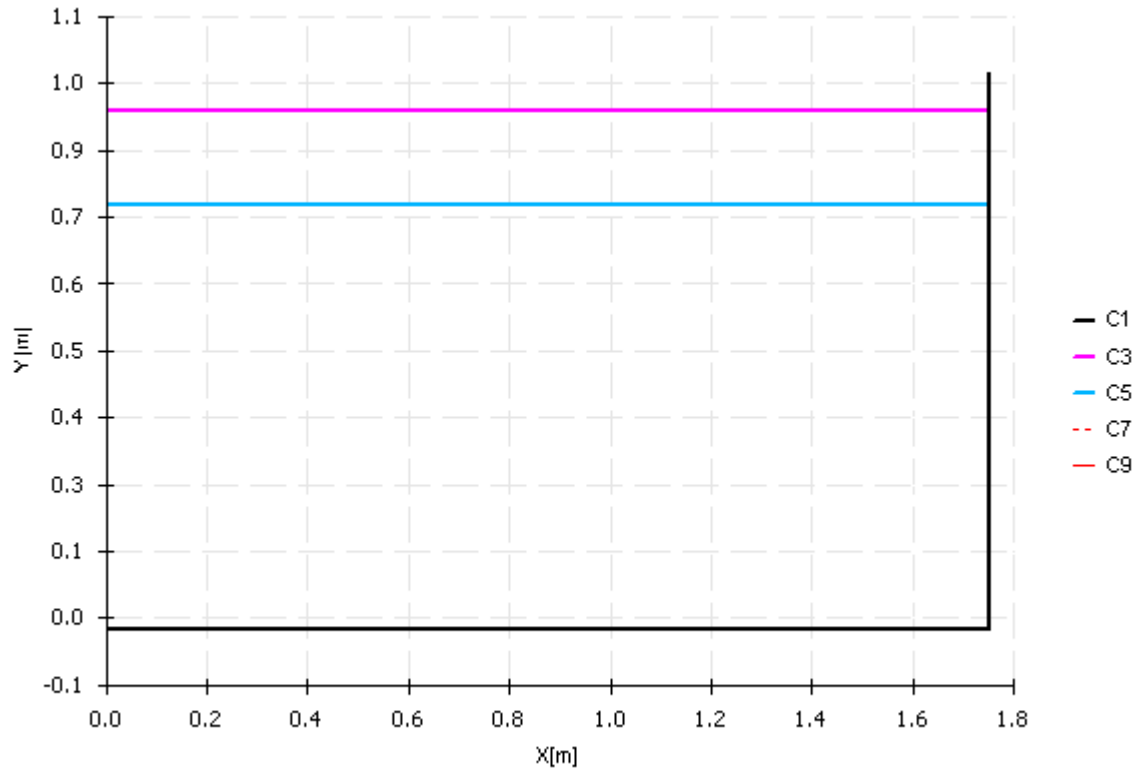
Sezione 18



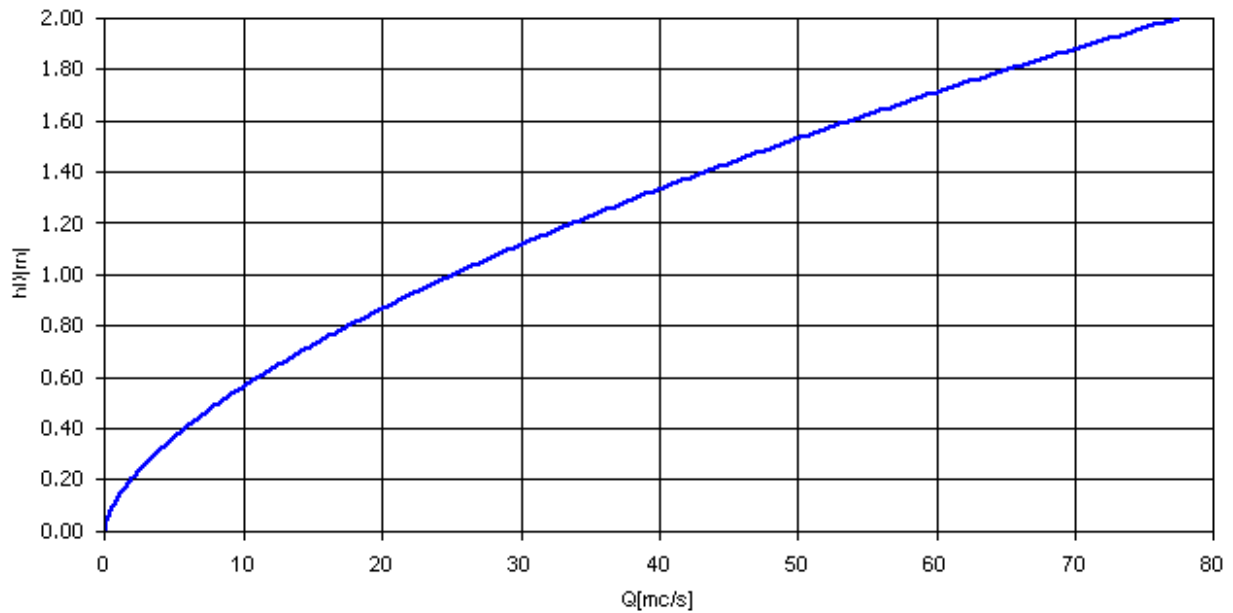
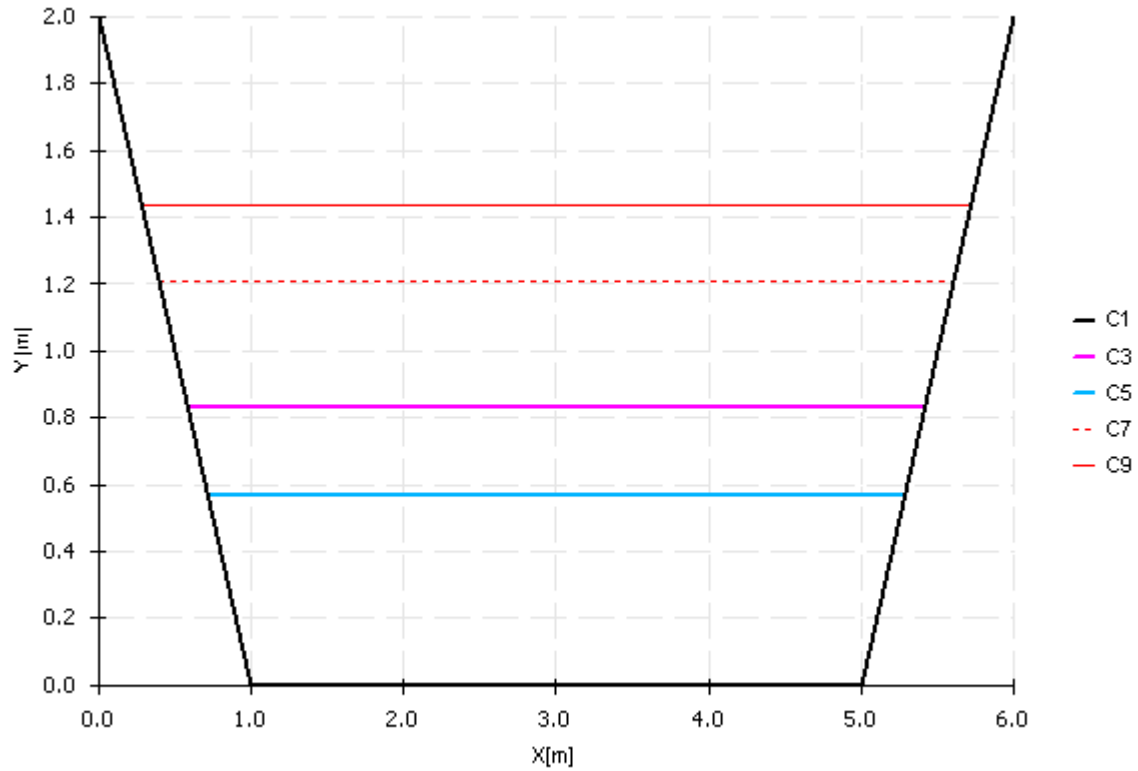
Sezione 23



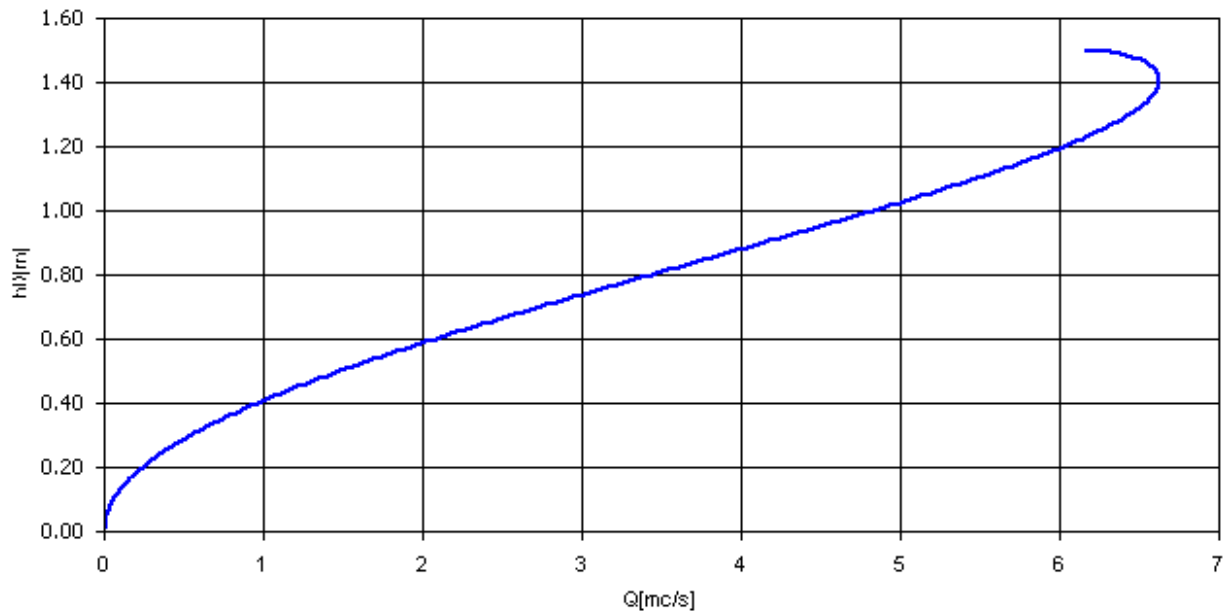
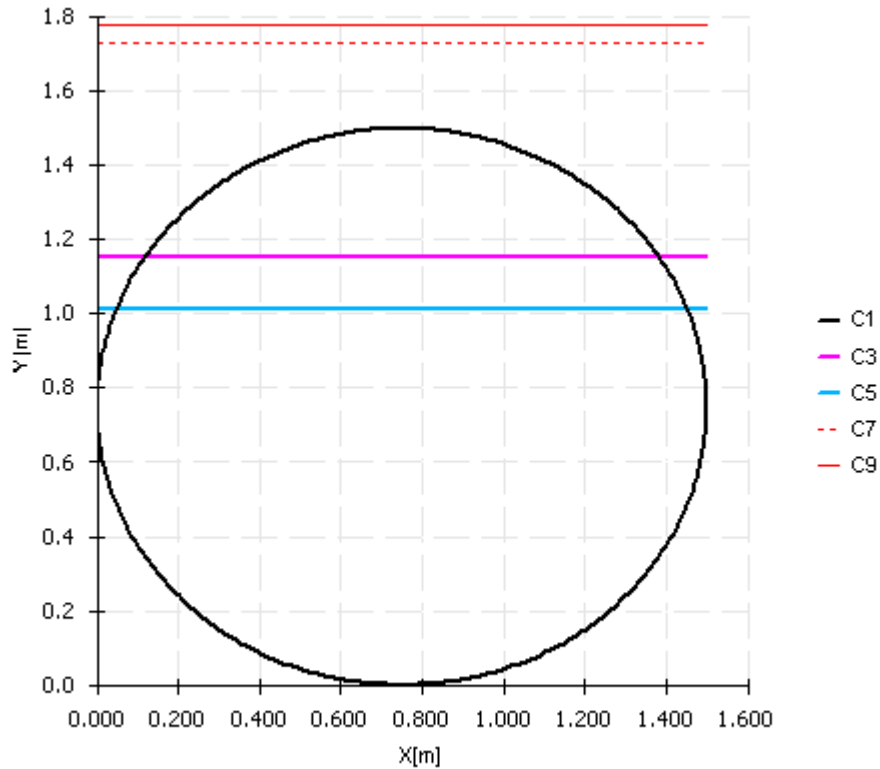
Sezione Rettangolare 1,75x1,00 m



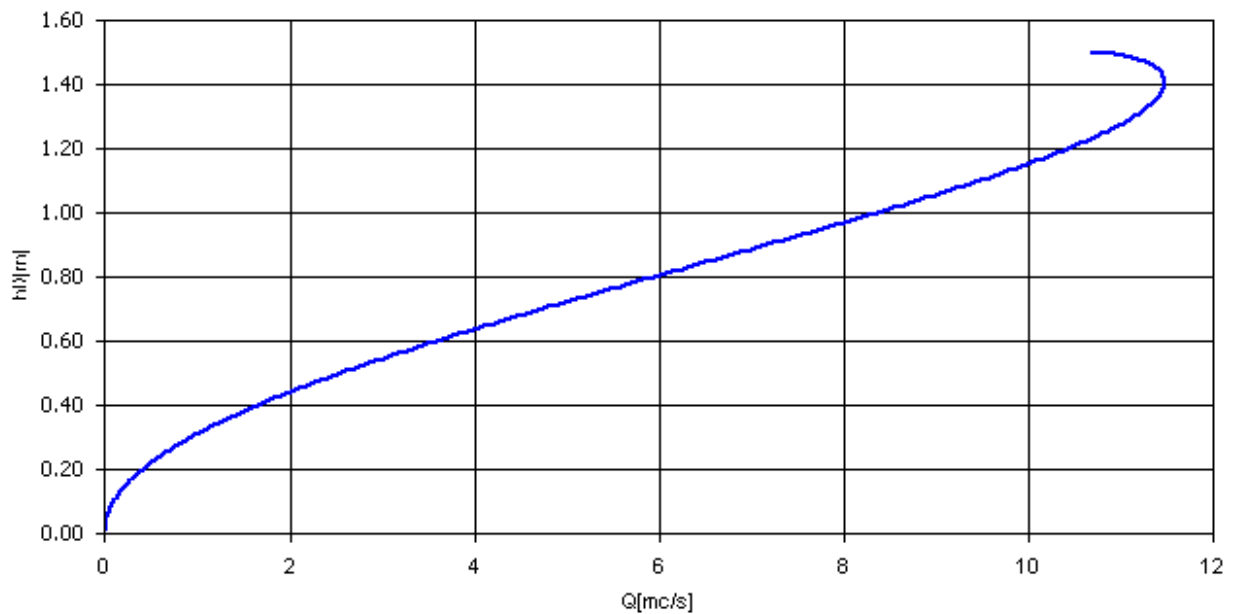
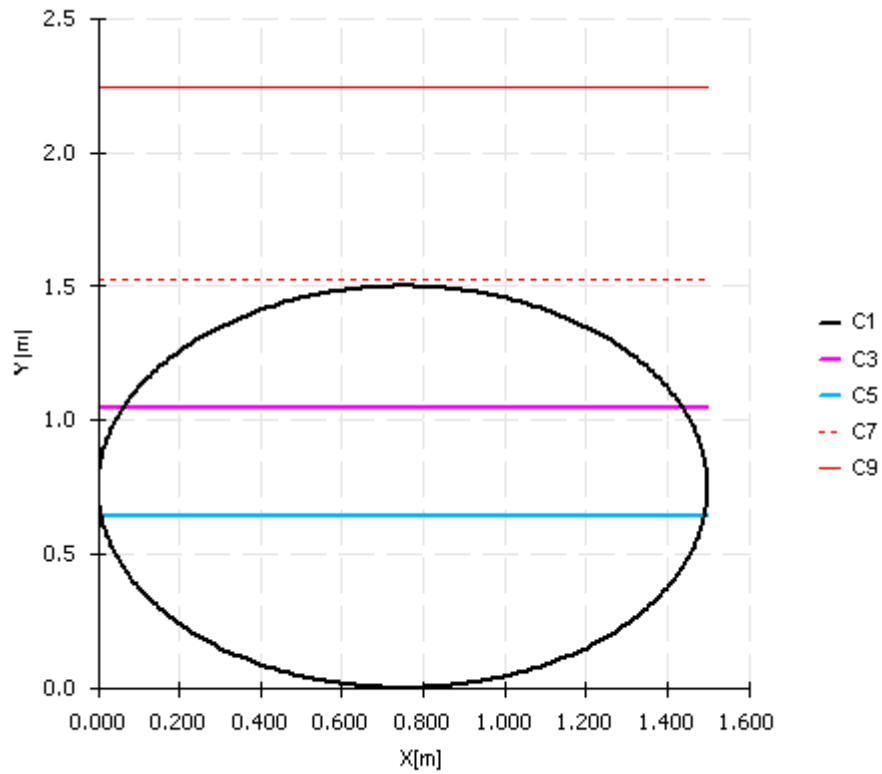
Sezione trapezia 4x2 m



Sezione Circolare D=1,5 m pendenza 1%



Sezione Circolare D=1,5 m pendenza 1%



GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



IG51-02-E-CV-RI-IN1U-0X-001-A00.DOCX
Relazione idraulica

Foglio
36 di 36

Sezione scatolare 4x4 m