IDRO.GEO.INGEGNERIA S.r.l.
Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio
Galleria Zavaroni 28 – 19125 - La Spezia – C.F. / P.IVA 01372760114
Tel/Fax 0187.514.674 – Cell. 328 6089650 - email : iinfo@idrogeo.eu

COMUNE DI BONASSOLA

PROVINCIA DI LA SPEZIA

Titolo:

STUDIO IDRAULICO di un tratto del Fosso del Colletto a corredo del "Progetto per la riapertura di un polo di marmo Rosso Levanto e sistemazione ambientale del sito" relativo alla cava denominata "Rossola II", sita in loc. Rossola del Comune di Bonassola (SP)

Elaborato:

G.R - RELAZIONE IDRAULICA
- VERIFICHE DI STABILITA' NUOVO ARGINE

Committente:

C.S.E. COSTRUZIONI S.r.l.
Via Discovolo 1
19011 BONASSOLA SP
C.F. e P.IVA 01309400115

Il Progettista:

Dott. Ing. S. PASQUALI

ORDINE DEGLI INGEGNERI PROVINCIA DELLA SPEZIA
STEFANO PASQUALI
INGEGNERE
Ambientale
Civile
Industriale
dell' Informazione
A 594

Redatto	Revisionato	Data	Approvato	Data
SP		OTTOBRE 2016		

SOMMARIO

PREMESSA 3
1) INQUADRAMENTO DEL SITO INTERESSATO 3
2) DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA 4
3) VERIFICHE IDRAULICHE DEL TRATTO D'ALVEO ESISTENTE 5
4) VALUTAZIONI SULLE VERIFICHE IDRAULICHE 8
5) CONCLUSIONI 10
ALLEGATO A) 11
VERIFICHE DI STABILITA' NUOVO ARGINE 34

PREMESSA

A seguito di conferenza di servizi interna della Regione Liguria – Dipartimento Sviluppo Economico – Settore Attività Estrattive del 3/11/2015, di cui alla lettera prot. PG/2015/198214, class./fasc. 2011/6891/13-1 del 13/11/2015, veniva evidenziato che alcuni interventi di progetto per la sistemazione idraulica del Fosso del Colletto, interferivano con terreni che non rientravano nella disponibilità del committente.

Si procedeva, quindi, a verificare con un rilievo di maggiore dettaglio le aree interessate, anche dal punto di vista delle quote altimetriche, ed a redigere un'aggiornamento dello studio idraulico di progetto.

La presente relazione è allegata all'aggiornamento dello studio idraulico a corredo del progetto per la "Riapertura di un polo di marmo Rosso Levanto e sistemazione del sito", relativo alla cava denominata "Rossola II", in località Rossola del Comune di Bonassola (SP).

Lo studio idraulico è finalizzato alla verifica della compatibilità idraulica, con Tr = 200 anni, di tratto del Fosso del Colletto che, a seguito delle passate operazioni di coltivazione della cava stessa, era stato deviato per una lunghezza di circa 170 metri rispetto all'originale tracciato d'alveo demaniale indicato sulla mappa catastale attuale.

L'incarico è stato affidato dalla C.S.E. Costruzioni S.r.l. con sede in Bonassola, Via Discovolo 1.

1) INQUADRAMENTO DEL SITO INTERESSATO

Il corso d'acqua in oggetto risulta inquadrato nel Piano di Bacino Ambito 18 – Ghiararo e si sviluppa interamente nel territorio del Comune di Bonassola.

Il bacino imbrifero di riferimento si estende su una porzione di territorio situata a monte della strada Comunale Bonassola - San Giorgio, in prossimità dell'incrocio con la Strada Statale n. 332 (tav. 1).

La morfologia del terreno presenta una acclività abbastanza accentuata tipica della costa Ligure di Levante. Il tratto oggetto del presente studio non risulta incassato e le sponde, nel tratto analizzato, presentano un andamento pressoché naturale, adattandosi alla morfologia del terreno con il fondo alveo caratterizzato da ricoprimento arboreo abbastanza omogeneo e sedimenti ghiaiosi di media pezzatura.

Come già accennato in premessa, lo studio idraulico eseguito ha riguardato solo un tratto del Fosso del Colletto, ubicato in corrispondenza della cava denominata “Rossola II”, che confluisce nel Torrente Rossola, per uno sviluppo complessivo di circa 220 metri, tra la quota 326,52 m s.l.m. e la quota 302,73 m s.l.m.

Le verifiche prendono in considerazione 31 sezioni rilevate in loco tramite rilievo planoaltimetrico diretto.

2) DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

La determinazione della portata di massima piena nel punto di confluenza tra il Fosso del Colletto ed il Torrente Rossola è stata ricavata considerando i dati della Tabella 1 di cui all’allegato 2 del Piano di Bacino Ambito 18 – Ghiararo, dalla quale risulta che la portata, con tempo di ritorno T=200 anni, è pari a 51 m^3/sec per una lunghezza totale dell’asta fluviale principale di 2,58 Km. Considerando che la lunghezza del tratto studiato è di 0,90 Km, si ottiene la seguente portata :

(51 m^3/sec : 2,58 Km) x 0,90 Km = **17,8 m^3/sec**

Tenendo conto che la superficie di corrivazione delle acque del tratto del Fosso del Colletto esaminato è pari a 0,25 Km^2, mentre quello del Torrente Rossola è 0,34 Km^2, e che la somma della due è 0,59 Km^2, al fine della verifica idraulica si sono utilizzati i seguenti valori:

Corso d'acqua	Area bacino sotteso (Km^2)	Portata Massima Q200 (m^3/sec)
Fosso del Colletto	0,25	(17,8 / 0,59) x 0,25 = **7,5**
Torrente Rossola	0,34	(17,8 / 0,59) x 0,34 = **10,3**
Confluenza Colletto/ Rossola	0,59	**17,8**

3) VERIFICHE IDRAULICHE DEL TRATTO D'ALVEO ESISTENTE

Al fine di definire il comportamento della corrente nel tratto interessato è stata sviluppata la verifica idraulica ipotizzando un deflusso in moto permanente monodimensionale.

Il torrente risulta compreso tra la sezione 1 e la sezione 30 e in considerazione della morfologia del terreno e della pendenza del fondo alveo è possibile ipotizzare una condizione di alveo torrentizio. Tale considerazione, ai fini del calcolo idraulico, porta a considerare l'acqua in condizioni di corrente veloce.

In prossimità della sezione 30 si è ipotizzato come condizione al contorno di monte l'altezza critica (presenza di salto di fondo).

Per la simulazione del comportamento idraulico del corso d'acqua, limitatamente al tratto oggetto di studio, si è utilizzato il software applicativo del US Army Corps of Engineers – Hydrologic Engeenering Center denominato HEC – RAS (River Analysis System) nella versione 4.1.0 del gennaio 2010.

I profili di pelo libero sono calcolati tra due sezioni trasversali del corso d'acqua, risolvendo la sotto riportata equazione dell'energia, con la procedura iterativa nota come standard step method.

(1) $Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2/2g = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2/2g + h_e$;

dove:

Y_1, Y_2 = tirante del pelo libero (rispetto alla quota di fondo) alle estremità del tratto [m];

Z_1, Z_2 = quote di fondo alveo alle estremità del tratto [m];

V_1, V_2 = velocità medie nelle sezioni di estremità [m/s];

α_1, α_2 = coefficienti di velocità ;

g = accelerazione di gravità [m/s^2];

h_e = perdite di carico totali nel tratto considerato [m].

Le perdite di carico h_e sono esprimibili come somma di due termini, il primo dei quali riferito alle perdite distribuite per attrito ed il secondo alle perdite per espansione o contrazione, legate anch'esse all'energia cinetica, e più precisamente.

(2) $h_e = L\, S_f + C(\alpha_2 V_2^2/2g - \alpha_1 V_1^2/2g)$;

dove:

L = distanza fra le estremità del tratto, pesata con la portata [m];

S_f = pendenza rappresentativa delle perdite per attrito;

C = coefficiente delle perdite per espansione o contrazione.

Per la determinazione delle varie grandezze, le sezioni trasversali sono partite in unità nelle quali la velocità risulti uniformemente distribuita riconoscendo un tratto corrispondente dell'alveo principale (main channel indicato con la sigla CH) e le aree golenali laterali poste idrograficamente alla sinistra ed alla destra del canale (rispettivamente left overbank indicata con la sigla LOB e right overbank indicata come ROB), suddividendo ulteriormente le aree golenali, qualora in esse vari l'imposto valore di "n" (coefficiente di Manning) della scabrezza.

Definita capacità di deflusso o conduttanza (conveyanse) della singola porzione areale e indicata con K la portata divisa per la radice quadrata della pendenza S_f (slope friction) pari quindi, in metri, a:

(3) $K = Q / S_f^{1/2} = A\, R^{2/3}/ n \rightarrow S_f = Q^2 / K^2$

dove:

Q = portata [m^3/s];

A = area bagnata [m^2];

R = raggio idraulico [m];

n = coefficiente di scabrezza secondo Manning [$m^{-1/3}s$].

Nel caso nostro, per la portata di colmo temibile, è stato adottato il succitato valore di cui al paragrafo 3. Seguendo l'indicazione di cui al Piano di Bacino Ambito 18 - Ghiararo, lo studio idraulico del tratto di Torrente interessato dal presente studio è stato condotto adottando un coefficiente di scabrezza mediato in riferimento alle condizioni d'alveo presenti in loco.

Pertanto per tale coefficiente, relativo alla formulazion di Gauckler - Strickler, è cautelativo assumere un valore pari ad circa **c = 20 $m^{1/3}$ s^{-1}**. Poiché il software, per i coefficienti di scabrezza, adotta la formulazione dovuta a Manning, si è assunto un valore del medesimo pari a **n = 1/c = 0.05 $m^{-1/3}$ s**

La capacità di deflusso per l'intera sezione, K, è definita ed ottenuta come somma delle capacità delle varie porzioni e quindi, con il significato dei simboli già illustrato:

(4) K = Klob + Kch + Krob ;

(5) L = (Llob Qlob + Lch Qch + Lrob Qrob) / (Qlob + Qch + Qrob).

Il livello del pelo libero in una sezione trasversale del corso d'acqua é determinata, per ogni valore di assegnata portata Q, da una soluzione iterativa delle precedenti equazioni (1) e (2) secondo la seguente procedura:

- noto il livello idrico in una sezione, si assume un livello idrico di primo tentativo nella sezione di monte (o in quella di valle se trattasi di corrente veloce, cioè profilo supercritico);
- sulla base del valore assunto precedentemente espresso, si calcolano, per detta sezione, i corrispettivi valori della capacità di deflusso totale e del carico cinetico;
- con i valori calcolati al precedente punto 2, viene calcolato il valore di S_f e si ottiene il valore di h_e risolvendo l'equazione (2);

- con i valori ricavati ai precedenti punti (2) e (3), si ottiene il livello nella sezione di calcolo, risolvendo l'equazione (1);

Si confronta il livello idrico calcolato con quello assunto nel passo iniziale e si ripete iterativamente la procedura descritta finché lo scarto tra i valori non risulti inferiore alla tolleranza imposta (normalmente 3 mm).

Il software HEC RAS consente di computare profili in corrente lenta (a partire da assegnate condizioni di valle), in corrente veloce (con condizioni assegnate a monte) e per condizioni "miste", in cui siano presenti passaggi dall'uno all'altro tipo di corrente (mixed flow regime).

Quali condizioni al contorno si è utilizzata l'altezza critica sia in ingresso che in uscita.

I risultati della modellazione inerenti lo studio effettuato sono riportati nell'allegato A.

4) VALUTAZIONI SULLE VERIFICHE IDRAULICHE

STATO ATTUALE:

Dalle risultanze della modellazione idraulica di stato attuale, si nota che nel tratto iniziale tra le sezioni 27 ÷ 25, dove la sponda destra risulta quasi del tutto crollata a seguito degli eventi alluvionali del 2011, la portata di piena non riesce ad essere contenuta, mentre tra le sezioni 24 ÷ 4, la stessa portata rimane contenuta nell'alveo.

Si nota, inoltre, che nella zona di confluenza con il Torrente Rossola, a causa della possibile completa ostruzione della struttura di attraversamento della strada Comunale Bonassola-San Giorgio, formata da 2 tubi in cls di diametro cm. 100, il livello della massima piena si innalza fino a laminare nelle aree circostanti ed a scavalcare trasversalmente la strada Comunale.

STATO DI PROGETTO:

Si è effettuata, quindi, la modellazione di progetto prevedendo di realizzare un nuovo attraversamento sottostradale impiegando una

struttura scatolare in cls delle dimensioni cm. 300x300. Tale struttura risultata di sezione adeguata per smaltire la portata di piena duecentennale, con adeguati franchi di sicurezza compresi tra 176 e 235 cm.

Si è inoltre ipotizzato la ricostruzione della sponda destra crollata tra le sezioni 27 ÷ 25, con massi debolmente cementati (fino all'altezza del livello di massima piena) e terra inerbita, nonché l'innalzamento della stessa, sempre con terra inerbita, tra le sezioni 25 ÷ 22, laddove la quota del livello d'energia EG_{200} risultava superiore alla quota di sponda/argine attuale. Tali interventi consentono l' adeguamento dei franchi di sicurezza.

VERIFICA TRATTO TOMBINATO DELLA RETE ARTIFICIALE

Si è provveduto, inoltre, a verificare l'efficienza della tubatura in cls Ø 40 cm posta all'uscita della vasca di decantazione principale a quota 311 m.

Dalla relazione geologica risulta che il bacino che sottende la vasca è di Km^2 0,00884, per cui la portata da smaltire dalla tubazione, in accordo con quanto previsto dall'allegato 2 del Piano di Bacino Ambito 18 – Ghiararo, è pari a

$Q_{200} = S_{sottesa} \times Q_{Kmq} = 0{,}00844 \times 40{,}00\ m^3/sec =$ **$0{,}354\ m^3/s$**

Cosiderando la pendenza della tubatura del 40% ed il coefficiente di scabrezza di Gauckler – Strikler pari a 40, si è verificata la massima portata smaltibile con la formula $Q = A * K_s * R^{2/3} * i^{1/2}$, dove

- A = area netta interna della tubazione, pari a 0,1256 m^2
- K_s = coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strikler, apri a 40
- R = raggio idraulico della tubazione, pari a 0,1
- i = pendenza della tubazione, pari a 0,40

per cui avremo

$Q = 0{,}1256\ m^2 * 40 * 0{,}1^{2/3} * 0{,}40^{½} =$ **$0{,}68\ m^3/s > 0{,}354\ m^3/s$**

Pertanto la tubatura posta in uscita della vasca di decantazione a quota 311 m è in grado di smaltire la portata del bacino sotteso, riempiendosi per metà della sua sezione.

5) CONCLUSIONI

I risultati ottenuti con lo studio idraulico di progetto eseguito, ipotizzando un deflusso in moto permanente della corrente di piena con tempo di ritorno 200 anni, sono riportati sui grafici di cui alle tavole 4 e 5, e dimostrano che gli interventi previsti, nuovo attraversamento sottostradale ed innalzamento della sponda destra, garantiscono il contenimento della stessa, e che non interferisce con l'attività della cava.

ALLEGATO A)

TABULATI

VERIFICHE IDRAULICHE

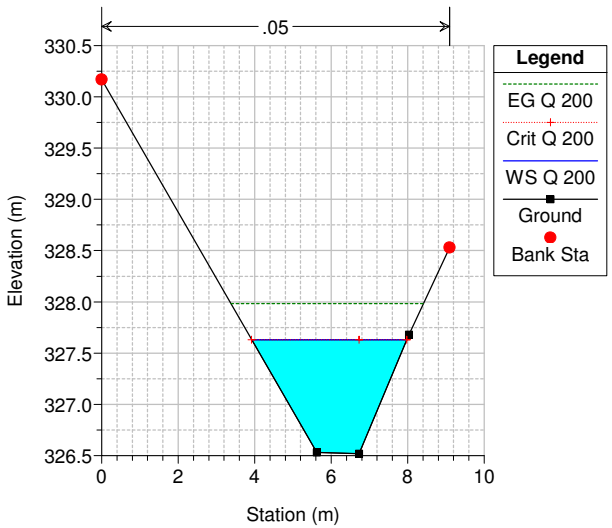
FOSSO DEL COLLETTO / TORRENTE ROSSOLA

HEC-RAS Plan: Attuale Profile: Q 200

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rossola	Rossola a Monte	3.2	Q 200	10.30	304.11	307.76	304.98	307.76	0.000094	0.31	33.20	13.88	0.06
Rossola	Rossola a Monte	3.1	Q 200	10.30	303.82	307.76		307.76	0.000085	0.30	34.12	13.31	0.06
Rossola	Rossola a Valle	3	Q 200	17.80	303.43	307.76		307.76	0.000083	0.34	52.20	16.84	0.06
Rossola	Rossola a Valle	2	Q 200	17.80	303.15	307.74	304.66	307.76	0.000422	0.66	27.01	8.79	0.10
Rossola	Rossola a Valle	1.5		Culvert									
Rossola	Rossola a Valle	1	Q 200	17.80	302.73	303.38	303.38	303.70	0.010272	2.51	7.09	11.00	1.00
Fosso Colletto	Fosso Colletto	30	Q 200	7.50	326.52	327.63	327.63	327.98	0.034605	2.63	2.85	4.05	1.00
Fosso Colletto	Fosso Colletto	29	Q 200	7.50	325.05	325.91	326.43	327.78	0.294098	6.06	1.24	2.14	2.54
Fosso Colletto	Fosso Colletto	28	Q 200	7.50	324.68	325.52	325.87	326.61	0.150517	4.64	1.62	2.74	1.93
Fosso Colletto	Fosso Colletto	27	Q 200	7.50	324.56	325.00	325.29	326.02	0.208162	4.46	1.68	4.59	2.36
Fosso Colletto	Fosso Colletto	26.5	Q 200	7.50	323.62	324.86	324.10	324.91	0.002518	0.60	8.55	9.45	0.28
Fosso Colletto	Fosso Colletto	26	Q 200	7.50	323.39	324.58		324.87	0.024379	2.37	3.16	3.69	0.82
Fosso Colletto	Fosso Colletto	25	Q 200	7.50	323.13	324.21	324.21	324.60	0.036893	2.75	2.72	3.56	1.01
Fosso Colletto	Fosso Colletto	24	Q 200	7.50	322.88	323.76	323.86	324.25	0.053790	3.11	2.41	3.66	1.22
Fosso Colletto	Fosso Colletto	23	Q 200	7.50	321.58	322.05	322.38	323.27	0.261326	4.90	1.53	4.24	2.60
Fosso Colletto	Fosso Colletto	22	Q 200	7.50	320.94	321.55	321.72	322.12	0.091308	3.35	2.24	5.05	1.60
Fosso Colletto	Fosso Colletto	21	Q 200	7.50	320.15	320.78	320.93	321.32	0.074660	3.26	2.30	4.53	1.46
Fosso Colletto	Fosso Colletto	20	Q 200	7.50	319.45	319.98	320.19	320.66	0.114184	3.67	2.04	4.78	1.79
Fosso Colletto	Fosso Colletto	19	Q 200	7.50	318.92	319.70	319.82	320.16	0.067727	3.00	2.50	5.30	1.39
Fosso Colletto	Fosso Colletto	18	Q 200	7.50	318.24	318.72	318.91	319.34	0.121598	3.49	2.15	5.84	1.84
Fosso Colletto	Fosso Colletto	17	Q 200	7.50	317.11	317.59	317.74	318.10	0.087432	3.14	2.39	5.87	1.57
Fosso Colletto	Fosso Colletto	16	Q 200	7.50	316.04	316.63	316.74	317.06	0.065522	2.90	2.59	5.50	1.35
Fosso Colletto	Fosso Colletto	15	Q 200	7.50	315.06	315.59	315.81	316.33	0.144651	3.82	1.97	5.09	1.96
Fosso Colletto	Fosso Colletto	14	Q 200	7.50	314.22	314.95	315.04	315.34	0.065602	2.79	2.68	6.09	1.34
Fosso Colletto	Fosso Colletto	12	Q 200	7.50	310.59	311.06	311.46	312.93	0.463930	6.06	1.24	3.87	3.42
Fosso Colletto	Fosso Colletto	11	Q 200	7.50	309.46	309.93	310.43	312.23	0.480458	6.71	1.12	2.90	3.45
Fosso Colletto	Fosso Colletto	10	Q 200	7.50	308.86	309.29	309.48	309.95	0.186207	3.59	2.09	7.61	2.18
Fosso Colletto	Fosso Colletto	9	Q 200	7.50	308.15	308.61	308.70	308.95	0.075646	2.60	2.88	8.61	1.44
Fosso Colletto	Fosso Colletto	8	Q 200	7.50	307.70	307.94	308.08	308.43	0.179366	3.10	2.42	10.80	2.09
Fosso Colletto	Fosso Colletto	7	Q 200	7.50	306.75	307.74	307.36	307.78	0.003480	0.89	8.40	12.30	0.34
Fosso Colletto	Fosso Colletto	6	Q 200	7.50	305.33	307.76		307.76	0.000064	0.19	39.23	27.93	0.05
Fosso Colletto	Fosso Colletto	5	Q 200	7.50	305.06	307.76		307.76	0.000025	0.15	50.61	26.07	0.03
Fosso Colletto	Fosso Colletto	4	Q 200	7.50	303.88	307.76		307.76	0.000008	0.11	70.68	24.59	0.02

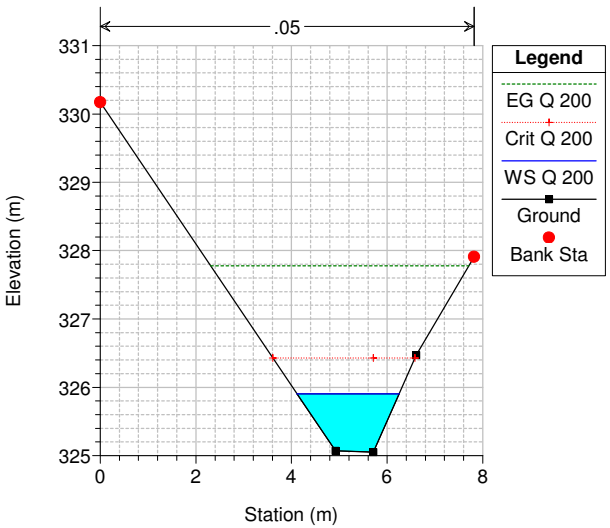
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 30



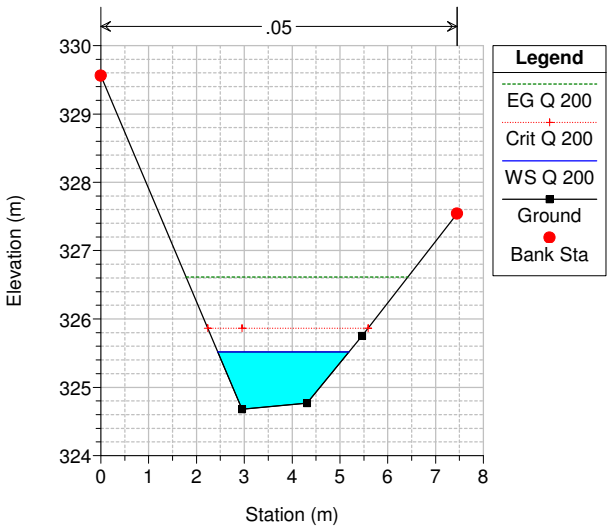
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 29



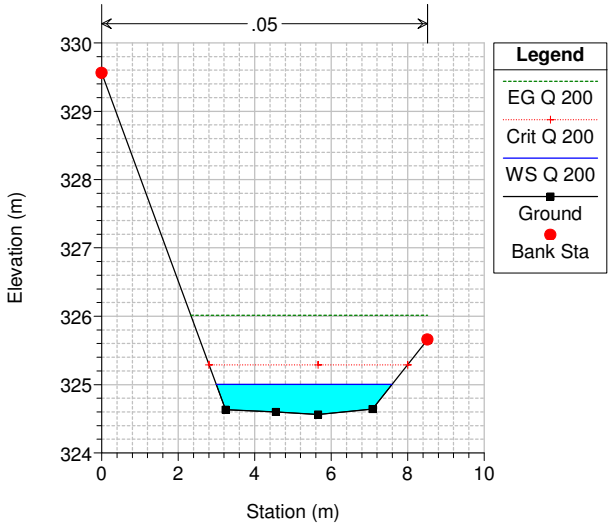
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 28



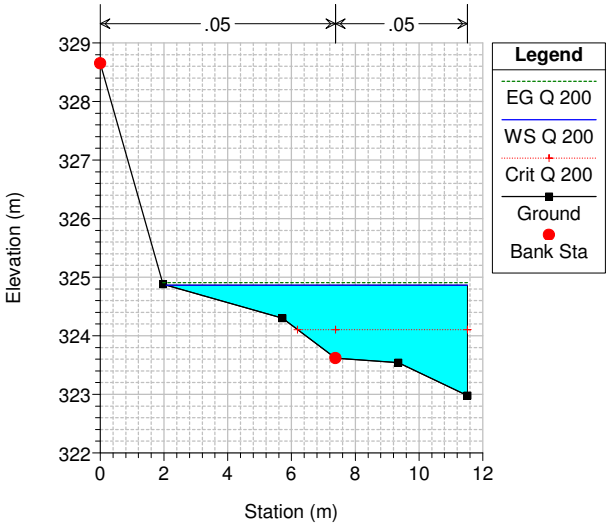
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 27



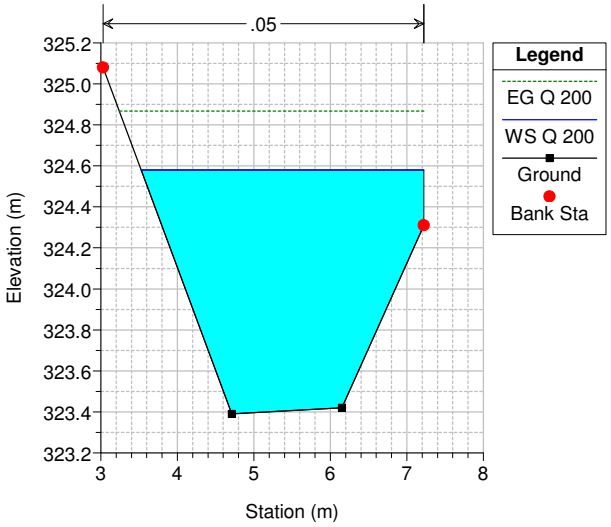
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sezione 26.5



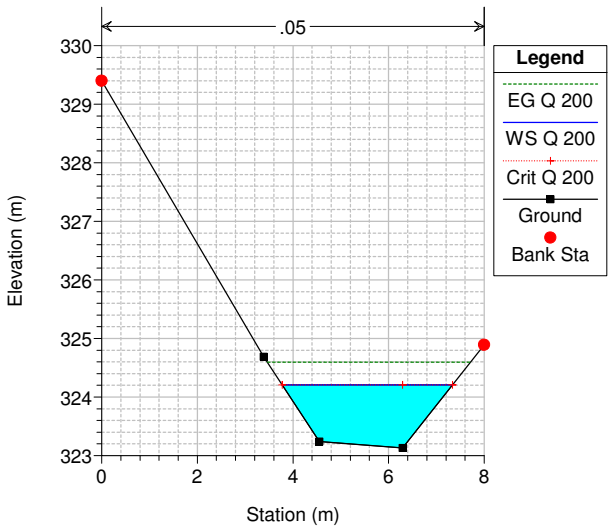
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 26



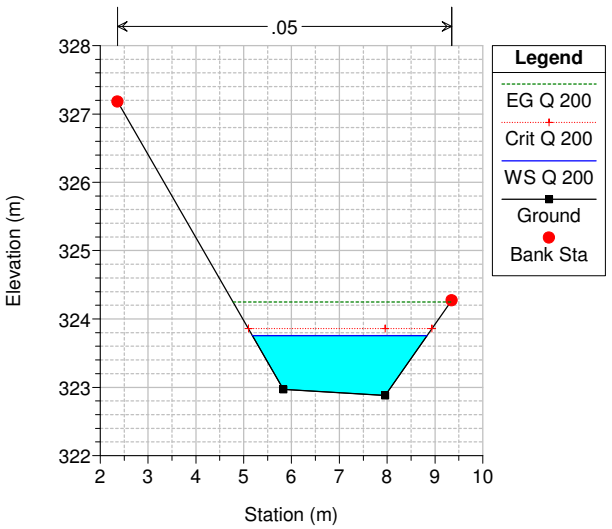
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 25



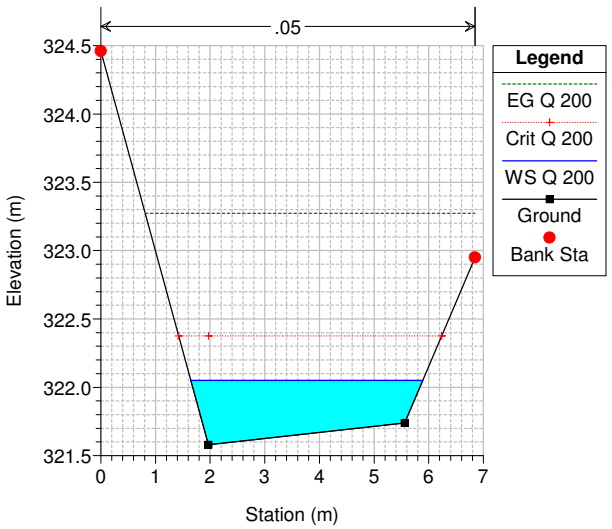
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 24



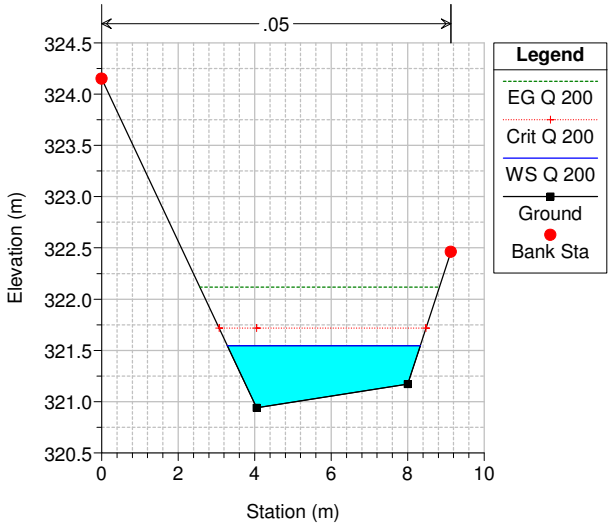
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 23



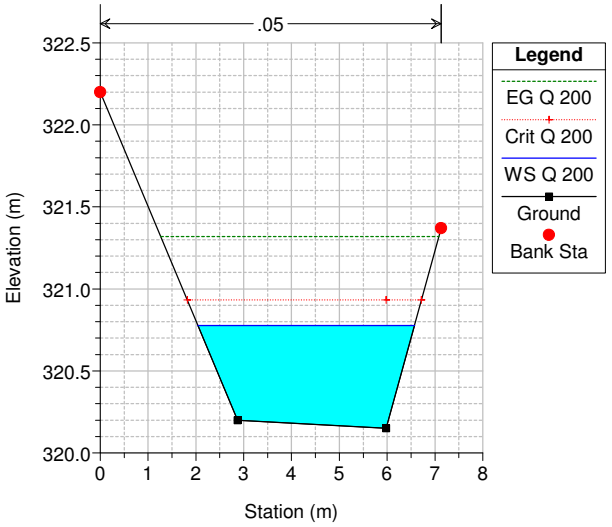
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 22



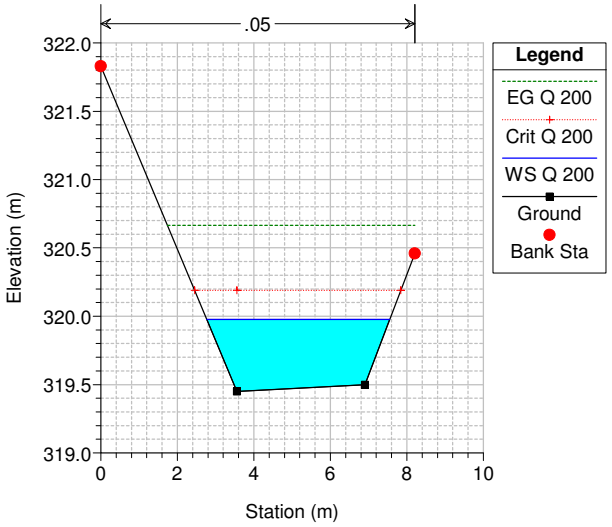
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 21



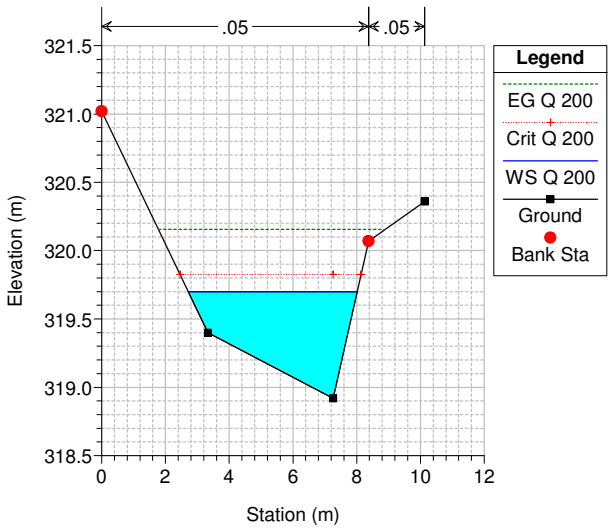
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 20



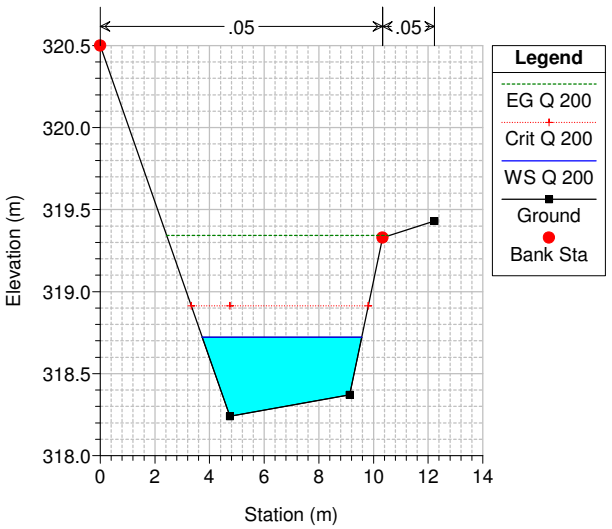
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 19



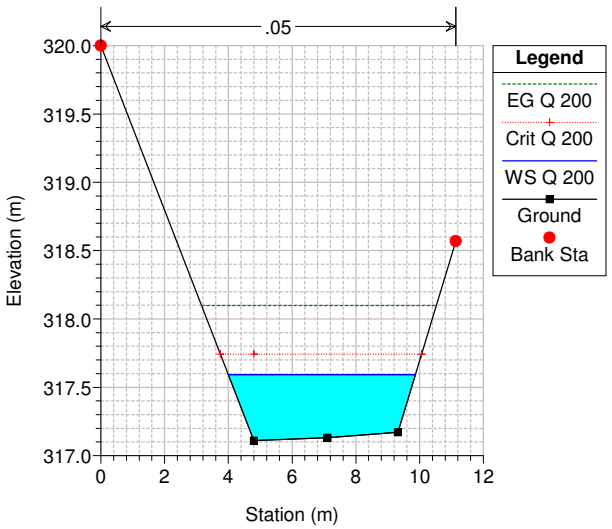
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 18



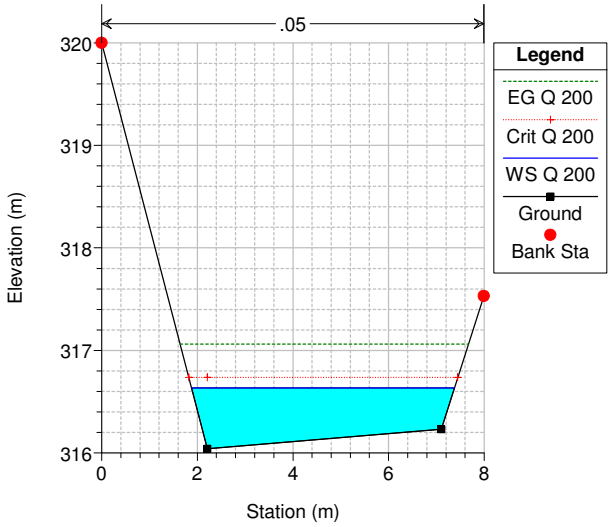
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 17



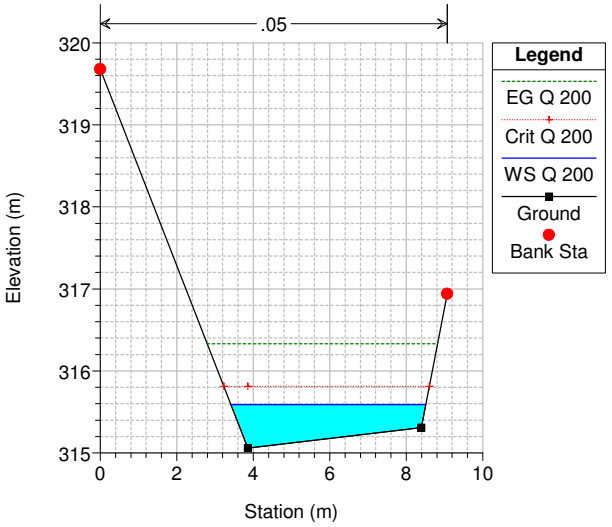
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 16



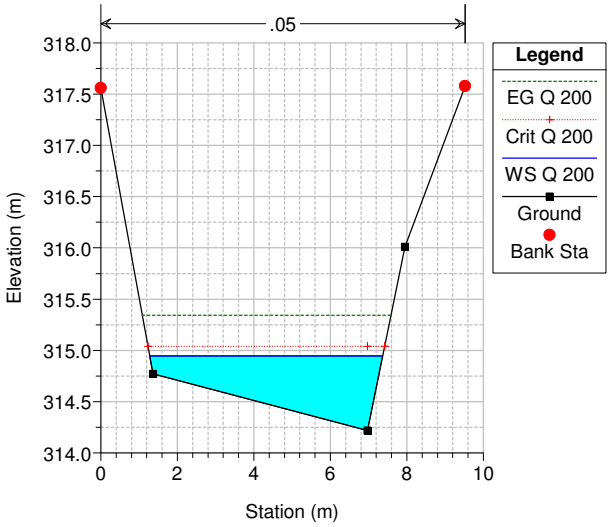
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 15



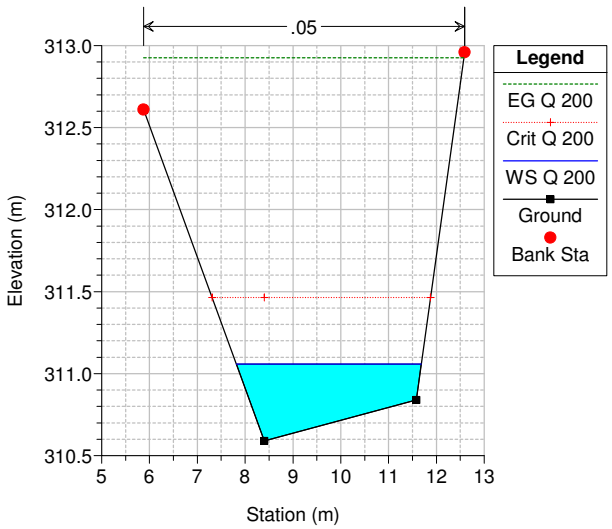
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 14



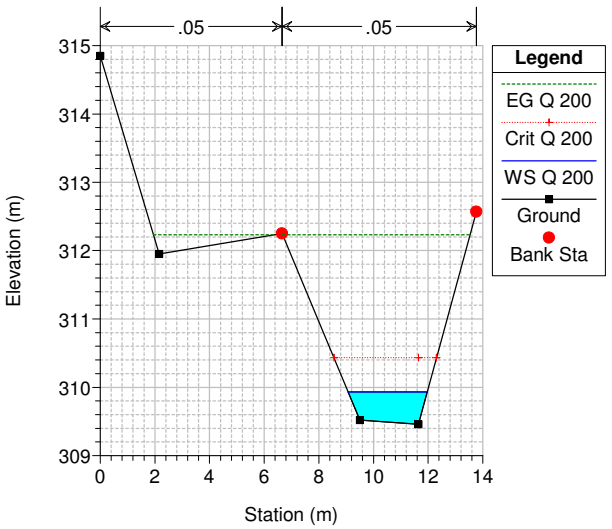
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 12



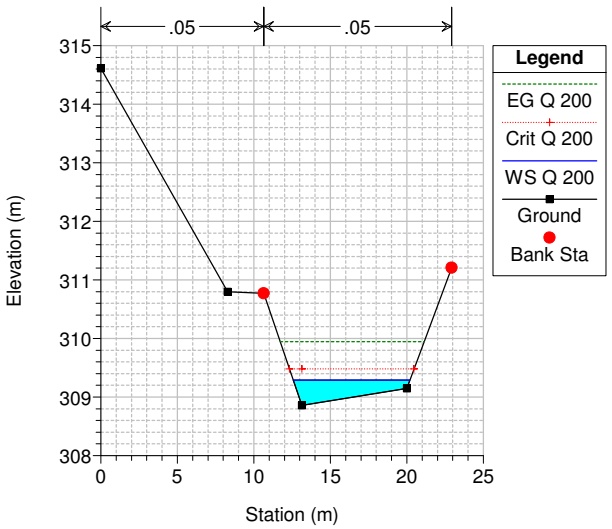
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 11



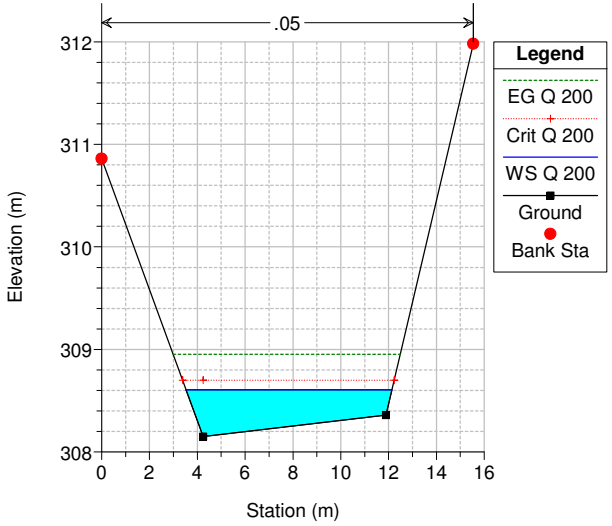
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 10



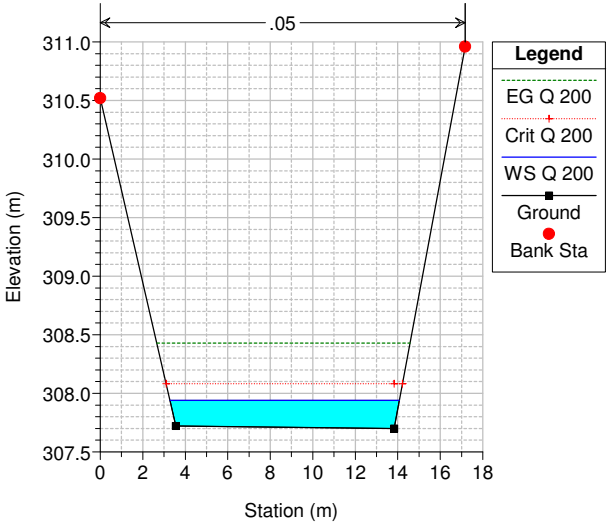
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 9



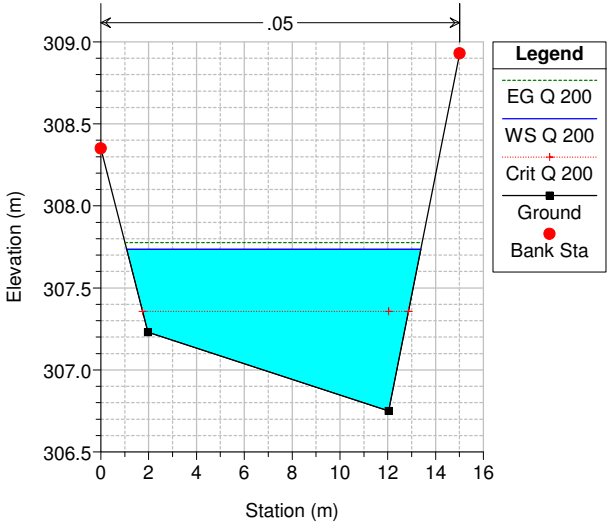
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 8



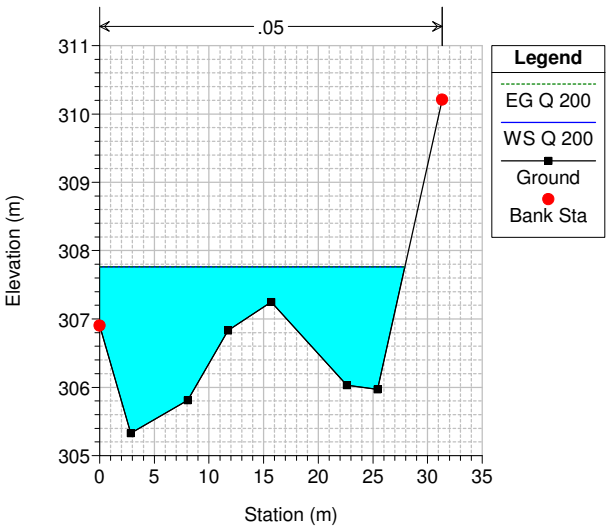
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 7



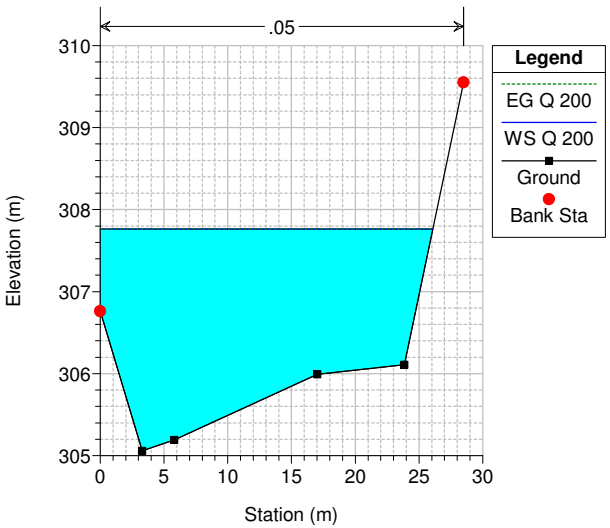
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 6



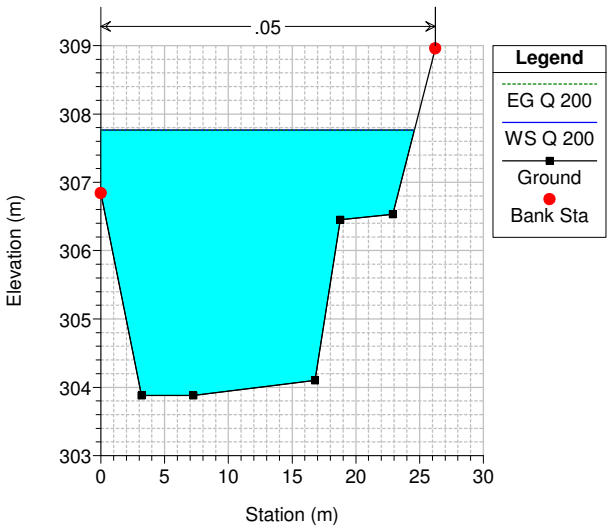
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 5



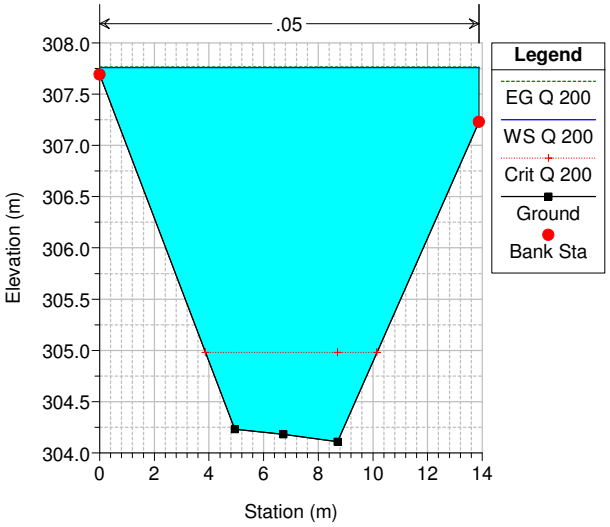
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 4 - Innesto confluenza con Torrente Rossola



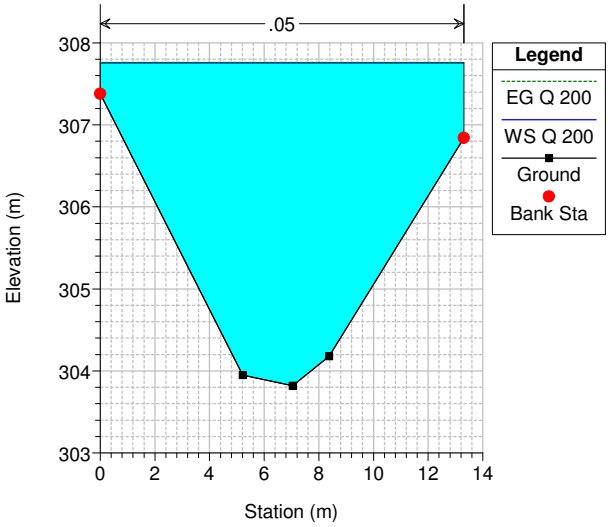
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 3.2



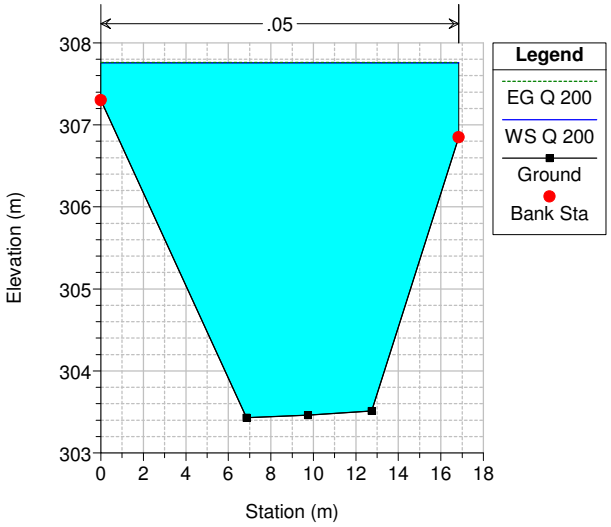
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 3.1



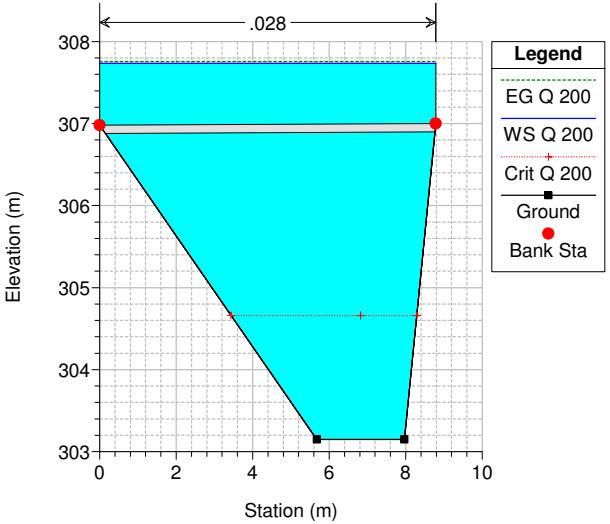
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 3



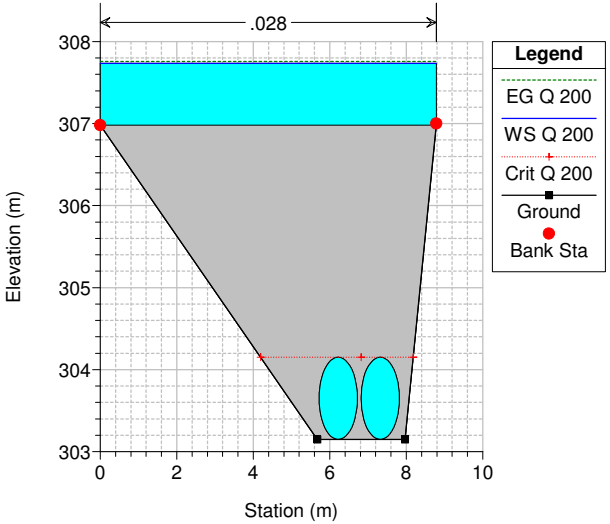
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 2 - Inizio tombatura stradale



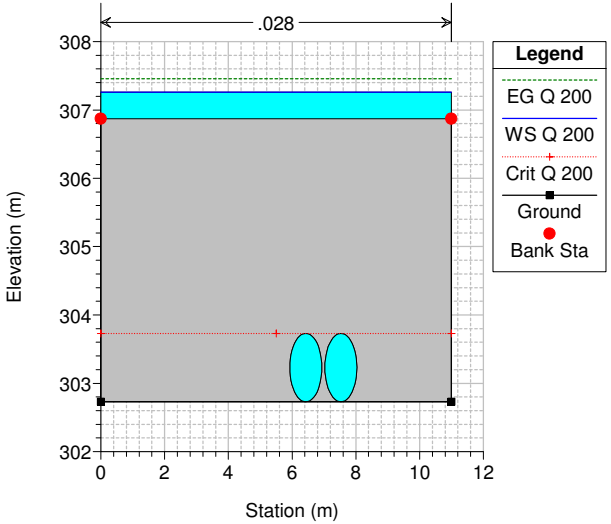
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 1.5 - Tombatura stadale - 2 tubi diam 100 cm



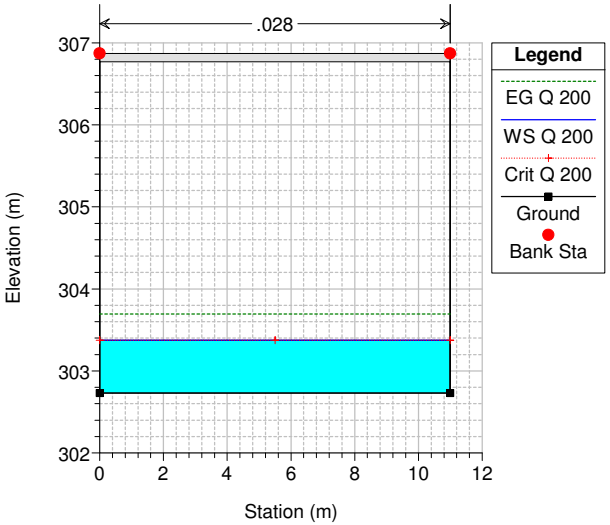
Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 1.5 - Tombatura stadale - 2 tubi diam 100 cm

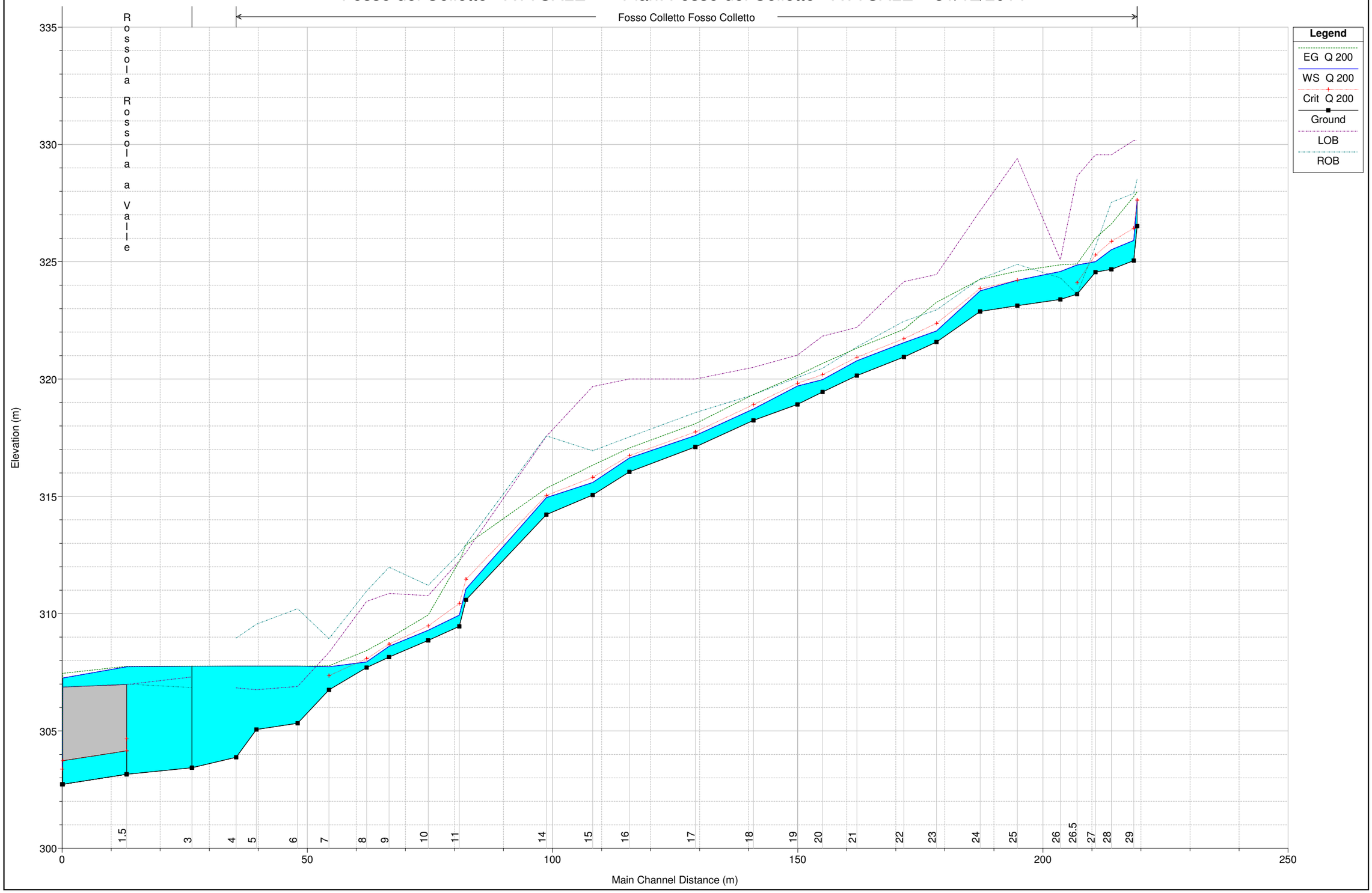


Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

Sez. 1 - Fine tombatura stradale



Fosso del Colletto - ATTUALE Plan: Fosso del Colletto - ATTUALE 31/12/2014

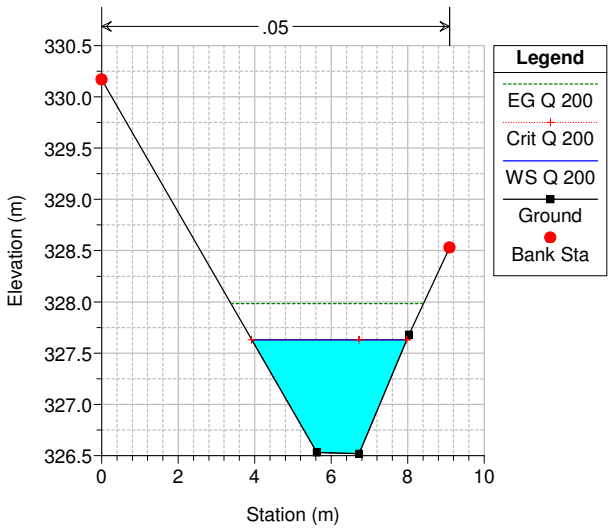


HEC-RAS Plan: Progetto Profile: Q 200

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
				(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Rossola	Rossola a Monte	3.2	Q 200	10.30	304.11	305.89	304.98	305.93	0.001936	0.93	11.03	9.08	0.27
Rossola	Rossola a Monte	3.1	Q 200	10.30	303.82	305.87		305.91	0.001668	0.89	11.62	9.23	0.25
Rossola	Rossola a Valle	3	Q 200	17.80	303.43	305.87		305.90	0.000842	0.78	22.77	13.09	0.19
Rossola	Rossola a Valle	2.4	Q 200	17.80	303.37	305.86		305.89	0.001033	0.86	20.76	11.63	0.20
Rossola	Rossola a Valle	2.3	Q 200	17.80	303.31	305.85		305.89	0.001128	0.89	19.89	10.79	0.21
Rossola	Rossola a Valle	2.2	Q 200	17.80	303.25	305.84		305.89	0.001334	0.96	18.54	9.87	0.22
Rossola	Rossola a Valle	2.1	Q 200	17.80	303.20	305.83		305.88	0.001455	1.00	17.85	9.05	0.23
Rossola	Rossola a Valle	2.05	Q 200	17.80	303.18	305.81		305.88	0.002017	1.14	15.65	7.74	0.26
Rossola	Rossola a Valle	2	Q 200	17.80	303.15	305.80	304.39	305.88	0.000746	1.19	14.90	7.63	0.27
Rossola	Rossola a Valle	1.5		Culvert									
Rossola	Rossola a Valle	1	Q 200	17.80	302.73	303.37	303.37	303.70	0.010457	2.52	7.05	11.00	1.01
Fosso Colletto	Fosso Colletto	30	Q 200	7.50	326.52	327.63	327.63	327.98	0.034605	2.63	2.85	4.05	1.00
Fosso Colletto	Fosso Colletto	29	Q 200	7.50	325.05	325.91	326.43	327.78	0.294098	6.06	1.24	2.14	2.54
Fosso Colletto	Fosso Colletto	28	Q 200	7.50	324.68	325.52	325.87	326.61	0.150517	4.64	1.62	2.74	1.93
Fosso Colletto	Fosso Colletto	27	Q 200	7.50	324.56	325.01	325.30	326.03	0.197898	4.46	1.68	4.30	2.28
Fosso Colletto	Fosso Colletto	26.5	Q 200	7.50	324.30	325.29	325.29	325.62	0.036239	2.55	2.95	4.51	1.01
Fosso Colletto	Fosso Colletto	26	Q 200	7.50	323.39	324.04	324.41	325.29	0.186930	4.96	1.51	2.84	2.17
Fosso Colletto	Fosso Colletto	25	Q 200	7.50	323.13	324.21	324.21	324.60	0.036912	2.75	2.72	3.56	1.01
Fosso Colletto	Fosso Colletto	24	Q 200	7.50	322.88	323.76	323.86	324.25	0.053875	3.11	2.41	3.65	1.22
Fosso Colletto	Fosso Colletto	23	Q 200	7.50	321.58	322.05	322.38	323.27	0.261162	4.90	1.53	4.24	2.60
Fosso Colletto	Fosso Colletto	22	Q 200	7.50	320.94	321.55	321.72	322.12	0.091308	3.35	2.24	5.05	1.60
Fosso Colletto	Fosso Colletto	21	Q 200	7.50	320.15	320.78	320.93	321.32	0.074660	3.26	2.30	4.53	1.46
Fosso Colletto	Fosso Colletto	20	Q 200	7.50	319.45	319.98	320.20	320.67	0.111730	3.67	2.04	4.67	1.77
Fosso Colletto	Fosso Colletto	19	Q 200	7.50	318.92	319.69	319.82	320.16	0.069895	3.03	2.48	5.28	1.41
Fosso Colletto	Fosso Colletto	18	Q 200	7.50	318.24	318.72	318.91	319.34	0.120199	3.48	2.16	5.84	1.83
Fosso Colletto	Fosso Colletto	17	Q 200	7.50	317.11	317.59	317.74	318.10	0.087893	3.15	2.38	5.87	1.58
Fosso Colletto	Fosso Colletto	16	Q 200	7.50	316.04	316.63	316.74	317.06	0.065314	2.90	2.59	5.50	1.35
Fosso Colletto	Fosso Colletto	15	Q 200	7.50	315.06	315.59	315.81	316.33	0.144825	3.82	1.96	5.09	1.96
Fosso Colletto	Fosso Colletto	14	Q 200	7.50	314.22	314.95	315.04	315.34	0.065584	2.79	2.68	6.09	1.34
Fosso Colletto	Fosso Colletto	12	Q 200	7.50	310.59	311.06	311.46	312.93	0.464095	6.06	1.24	3.87	3.42
Fosso Colletto	Fosso Colletto	11	Q 200	7.50	309.46	309.93	310.43	312.23	0.480526	6.71	1.12	2.90	3.45
Fosso Colletto	Fosso Colletto	10	Q 200	7.50	308.86	309.29	309.48	309.95	0.186207	3.59	2.09	7.61	2.18
Fosso Colletto	Fosso Colletto	9	Q 200	7.50	308.15	308.61	308.70	308.95	0.075646	2.60	2.88	8.61	1.44
Fosso Colletto	Fosso Colletto	8	Q 200	7.50	307.70	307.94	308.08	308.43	0.179366	3.10	2.42	10.80	2.09
Fosso Colletto	Fosso Colletto	7	Q 200	7.50	306.75	307.29	307.36	307.56	0.067840	2.30	3.26	10.92	1.34
Fosso Colletto	Fosso Colletto	6	Q 200	7.50	305.33	305.83	306.07	306.73	0.271829	4.19	1.79	6.88	2.62
Fosso Colletto	Fosso Colletto	5	Q 200	7.50	305.06	305.79	305.77	305.95	0.029871	1.74	4.30	11.71	0.92
Fosso Colletto	Fosso Colletto	4	Q 200	7.50	303.88	305.90		305.90	0.000085	0.25	30.00	17.31	0.06

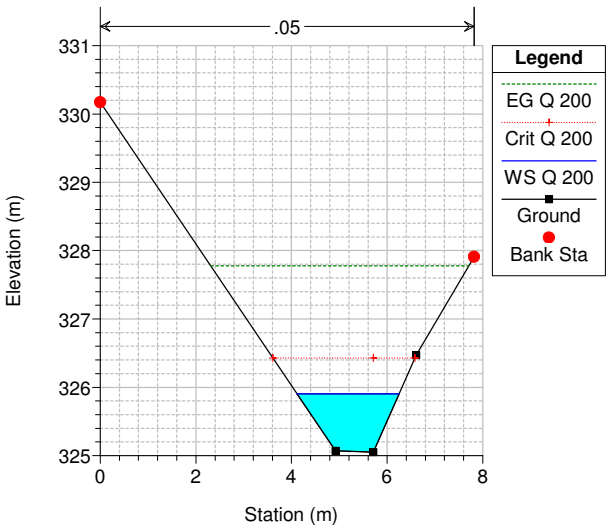
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 30



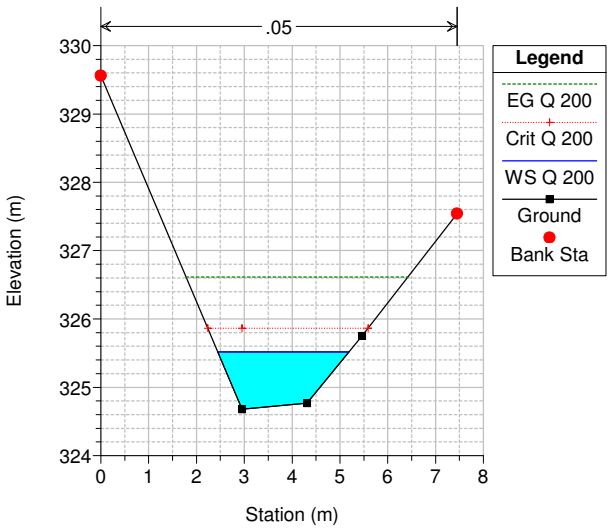
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 29



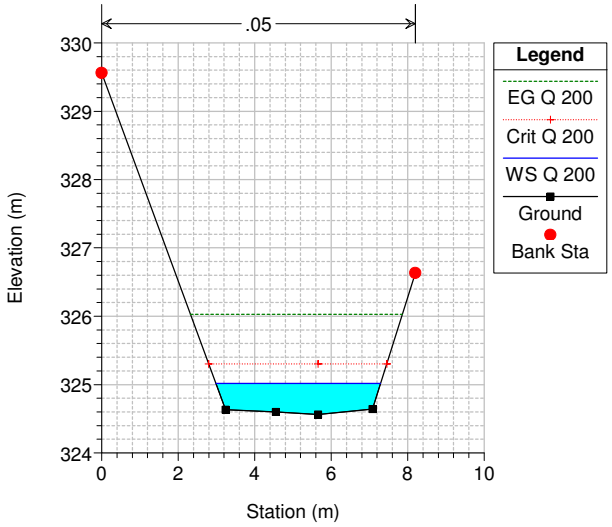
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 28



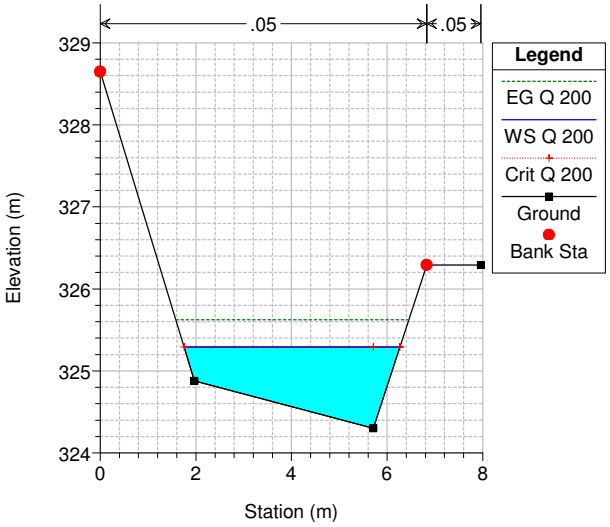
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 27



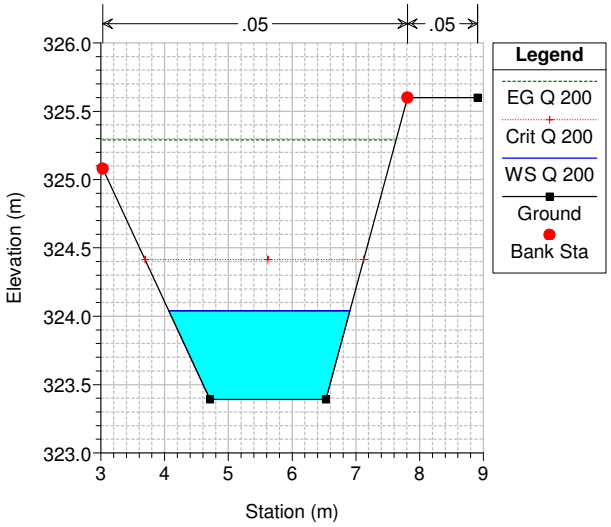
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sezione 26.5



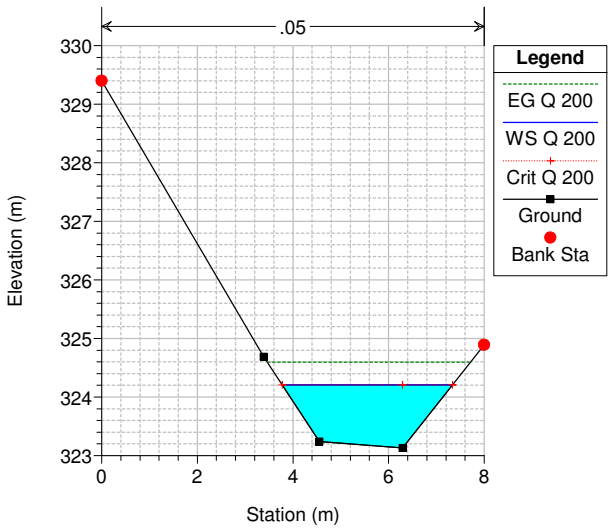
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 26



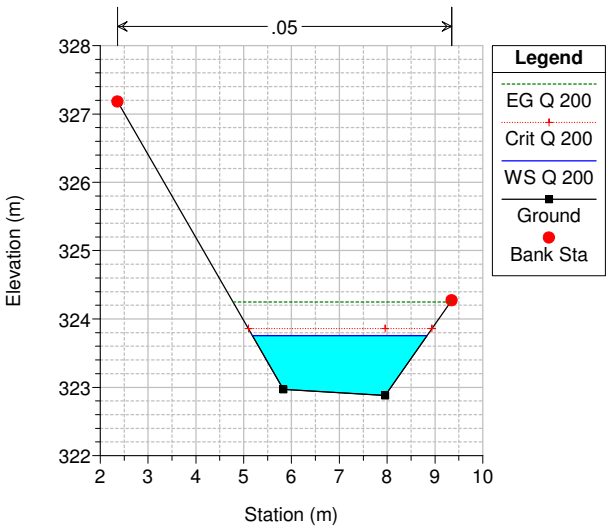
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 25



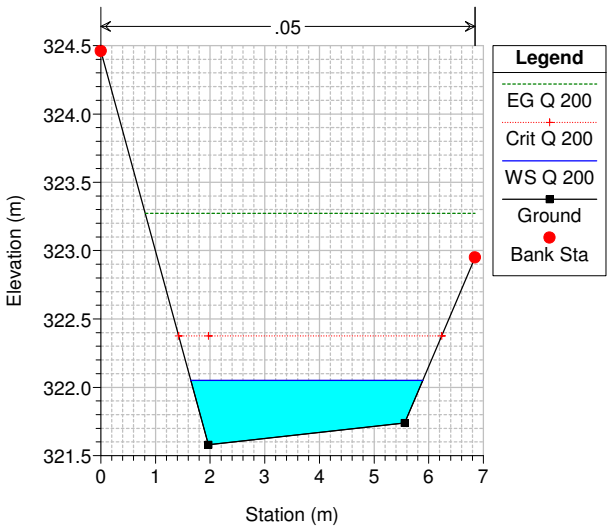
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 24



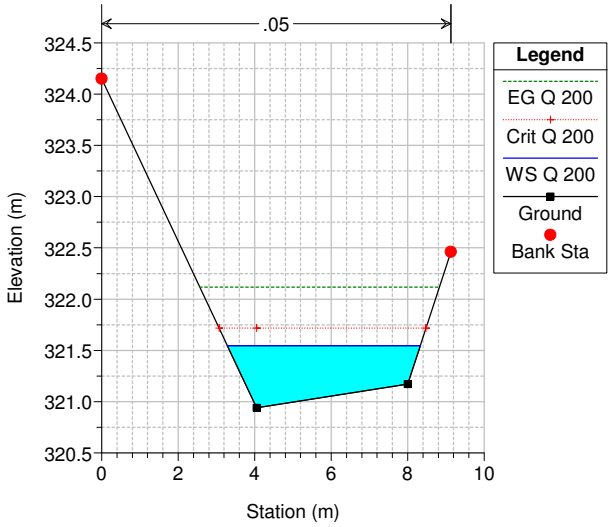
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 23



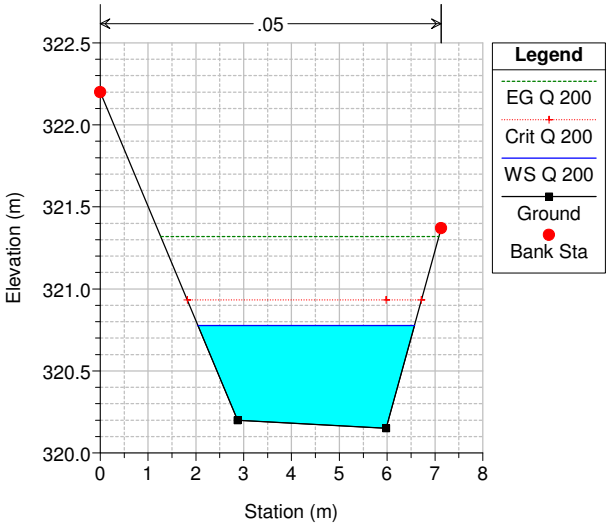
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 22



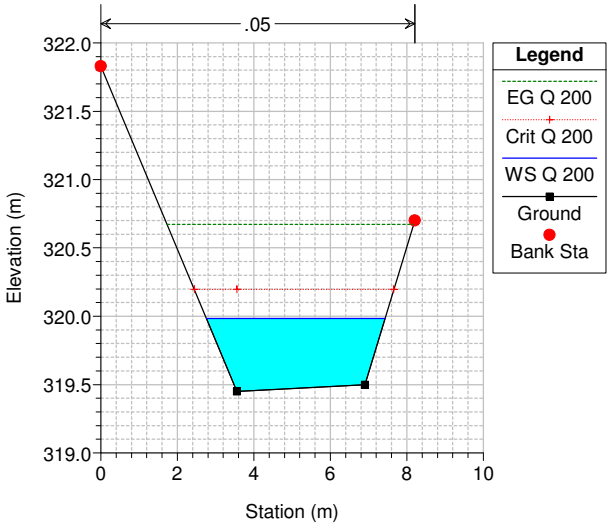
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 21



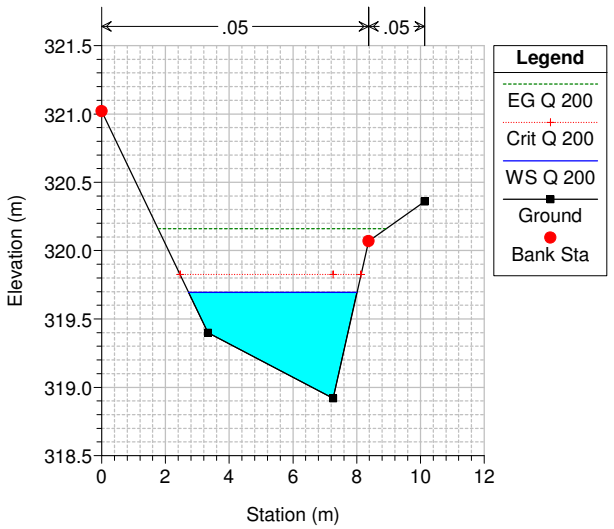
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 20



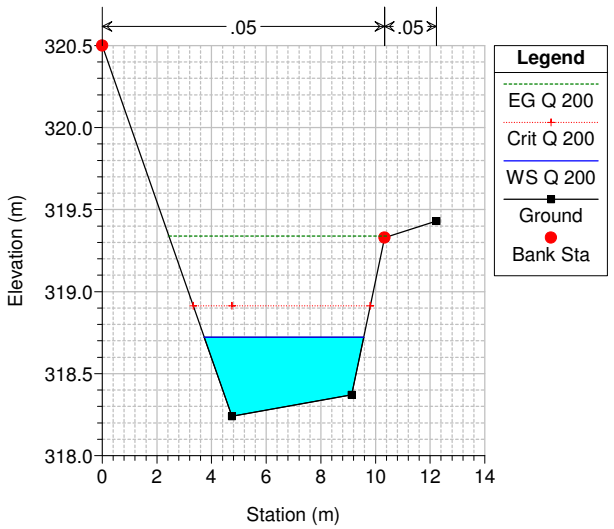
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 19



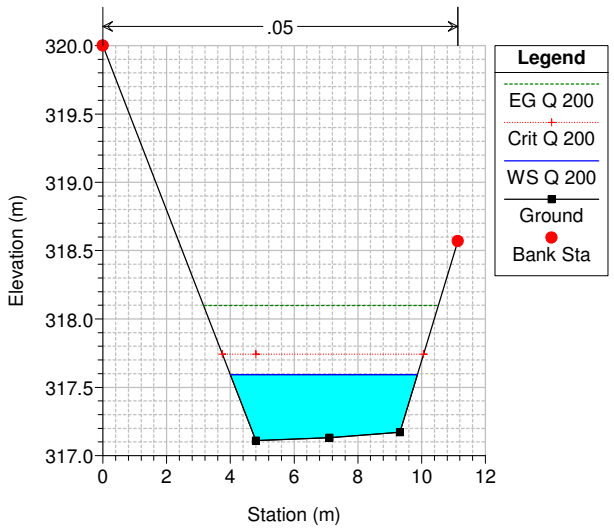
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 18



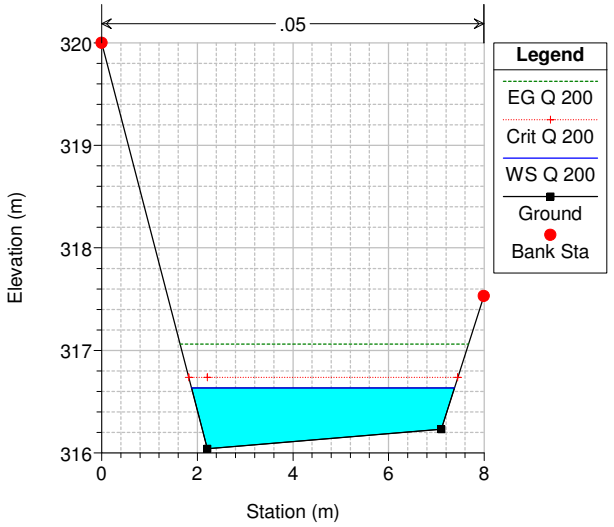
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 17



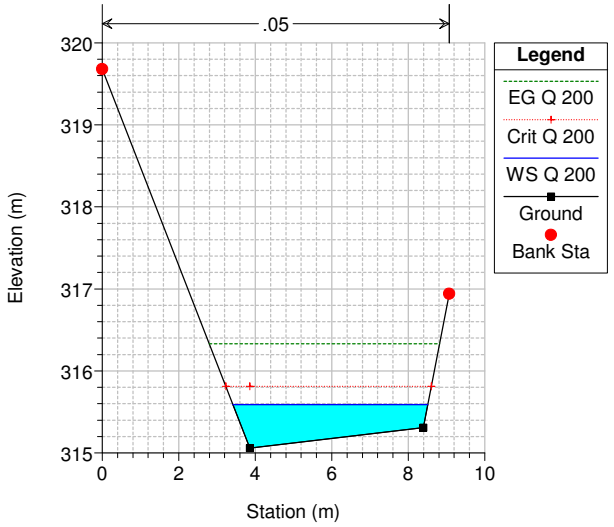
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 16



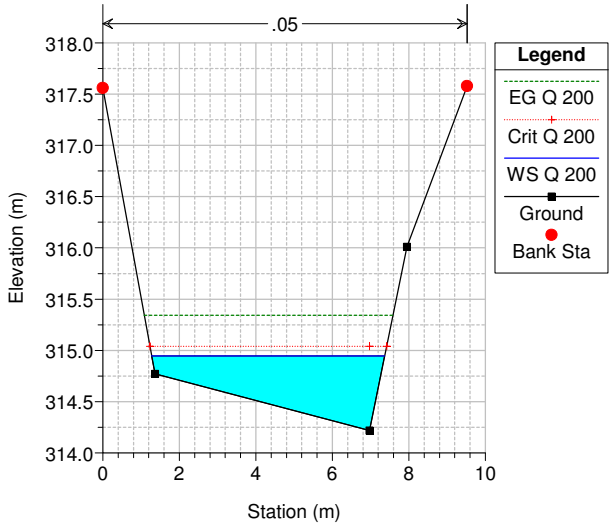
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 15



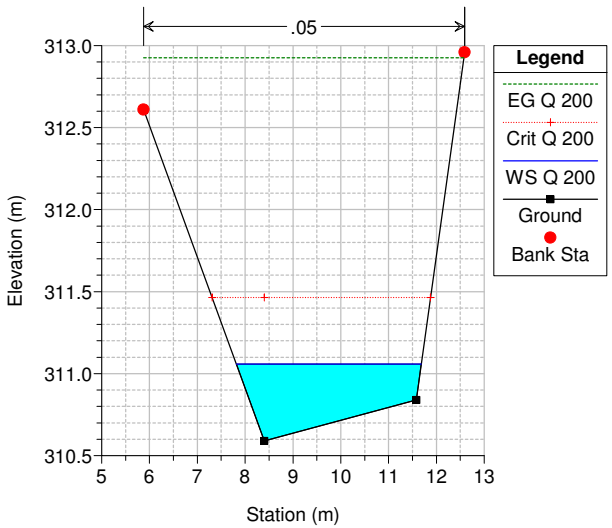
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 14



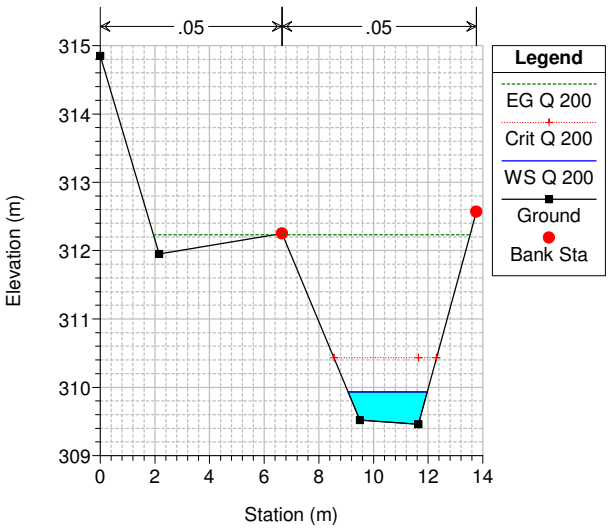
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 12



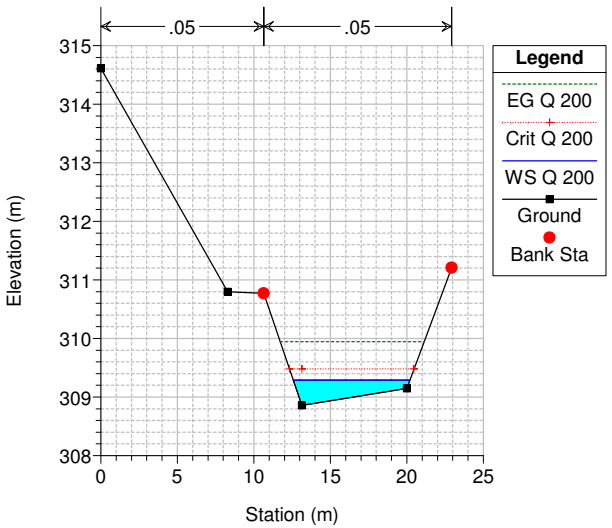
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 11



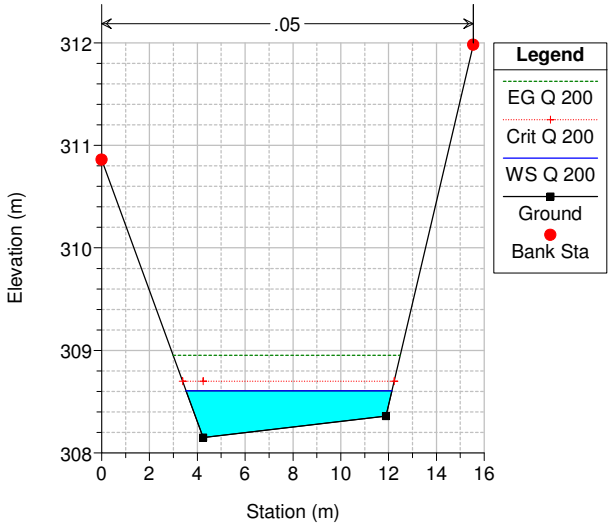
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 10



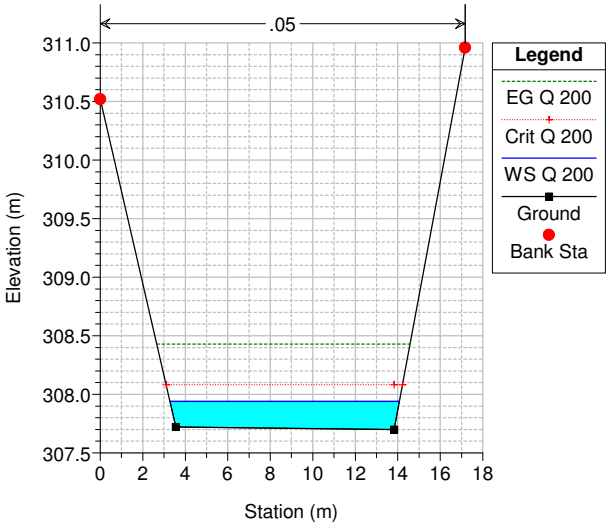
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 9



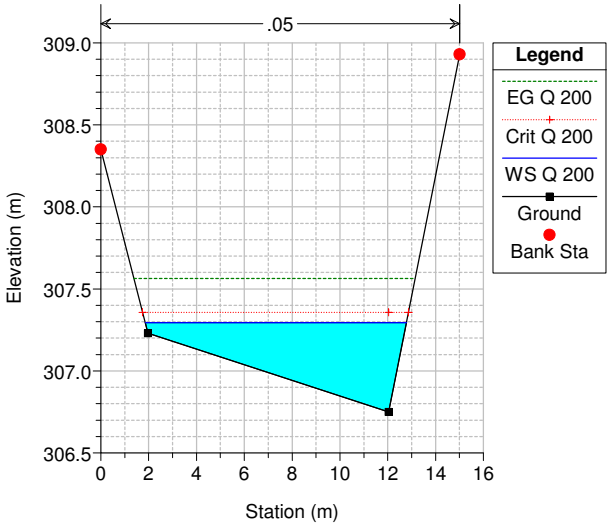
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 8



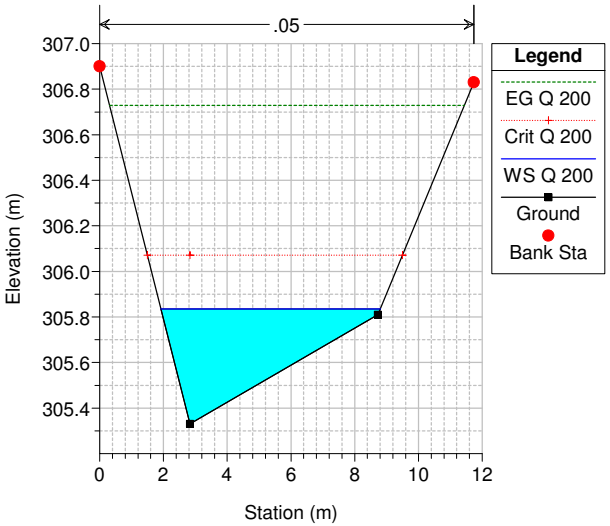
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 7



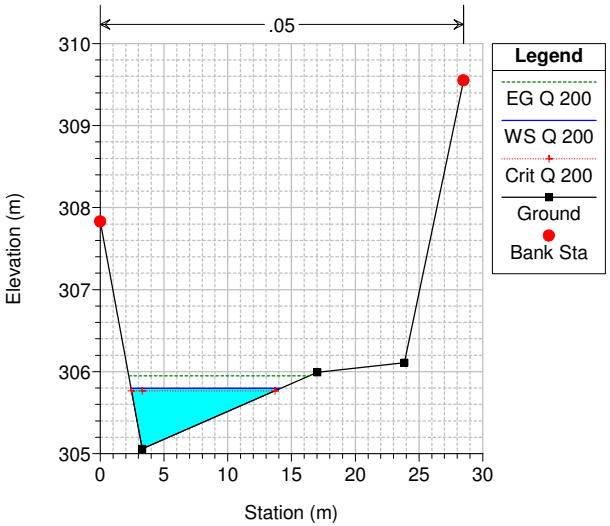
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 6



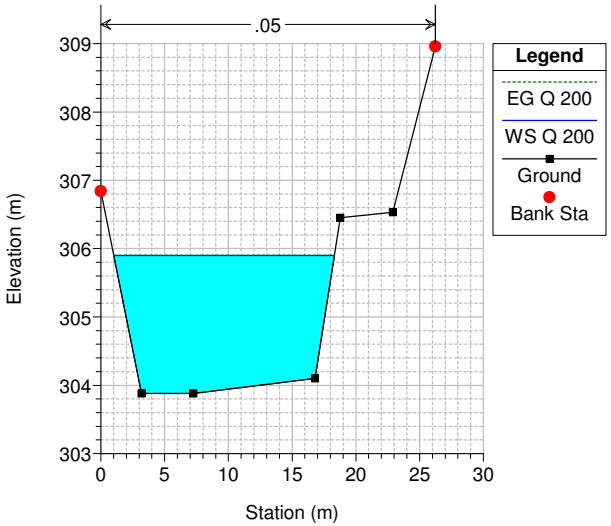
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 5



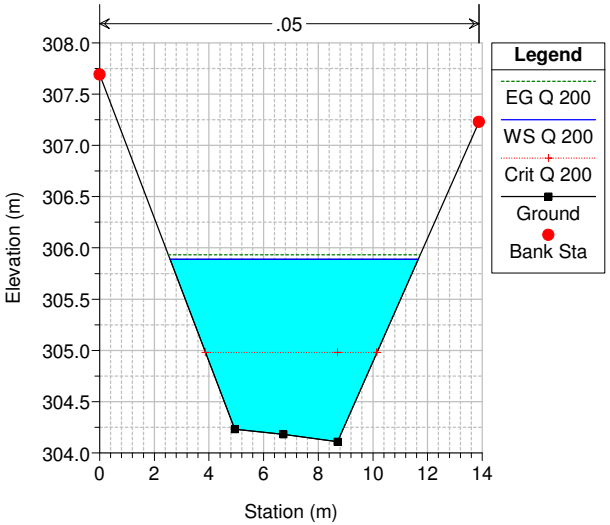
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 4 - Innesto confluenza con Torrente Rossola



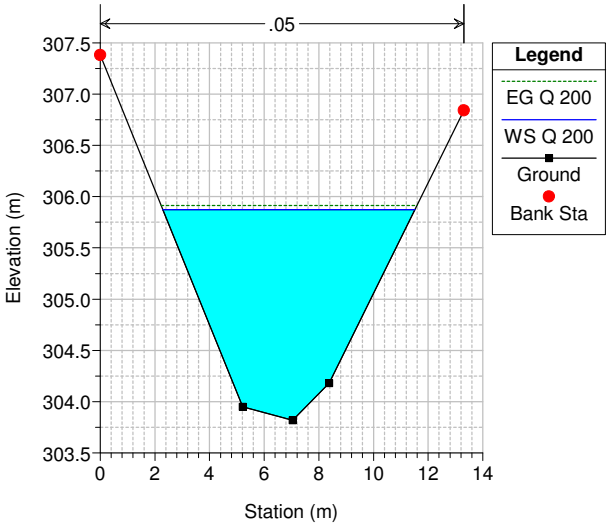
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 3.2



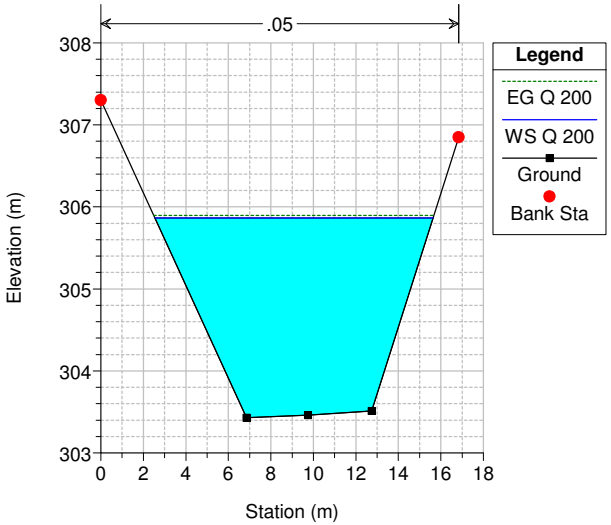
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 3.1



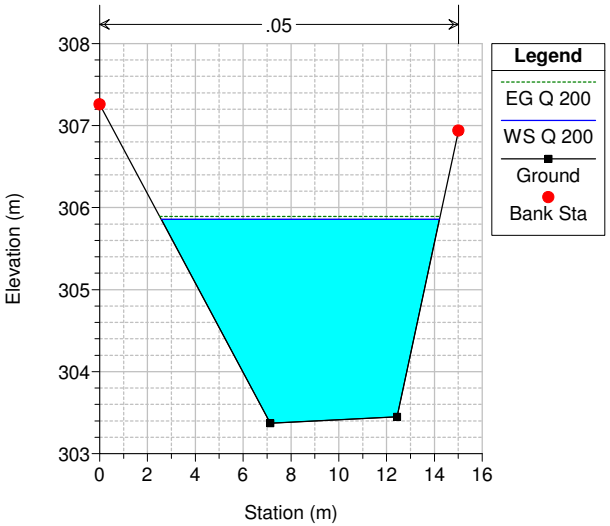
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 3



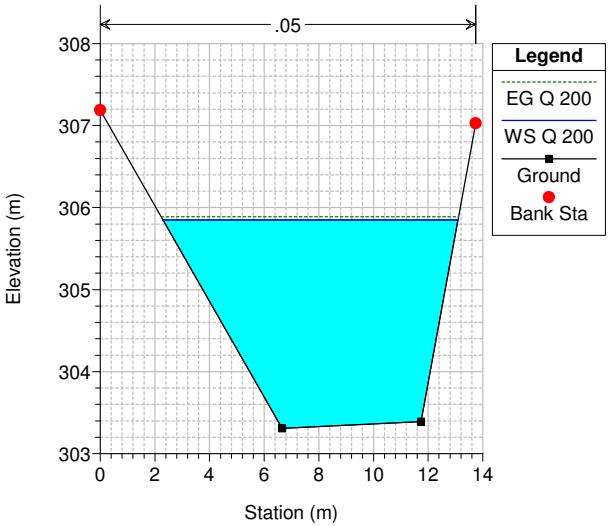
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sezione 2.4



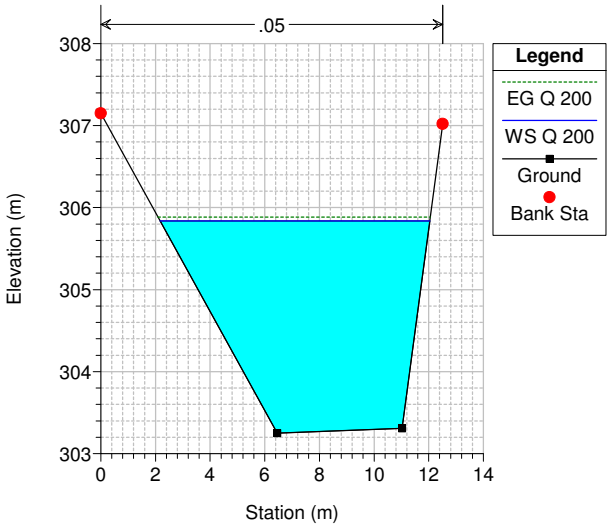
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sezione 2.3



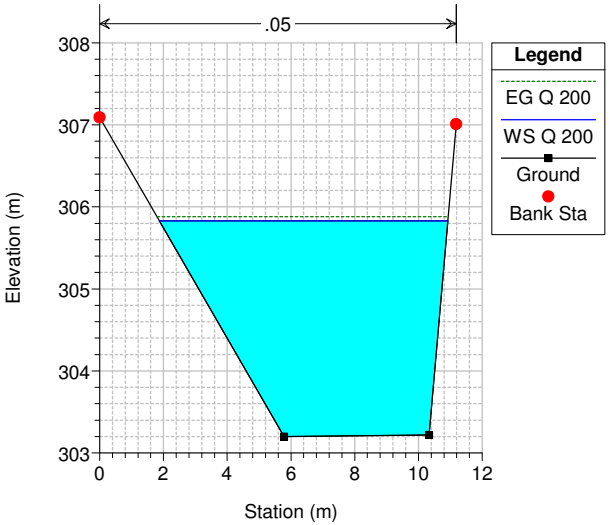
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sezione 2.2



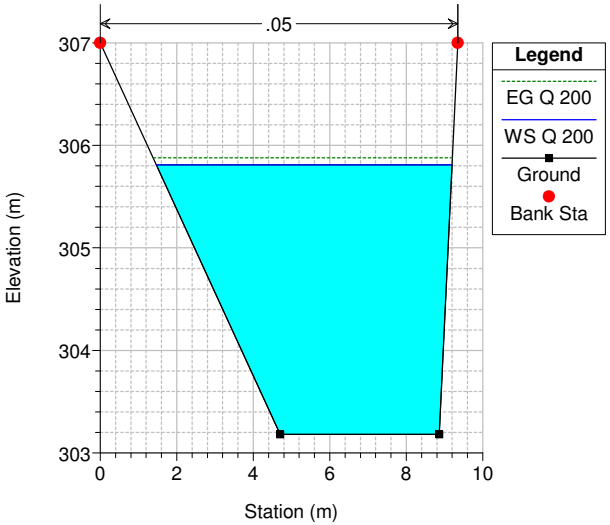
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sezione 2.1



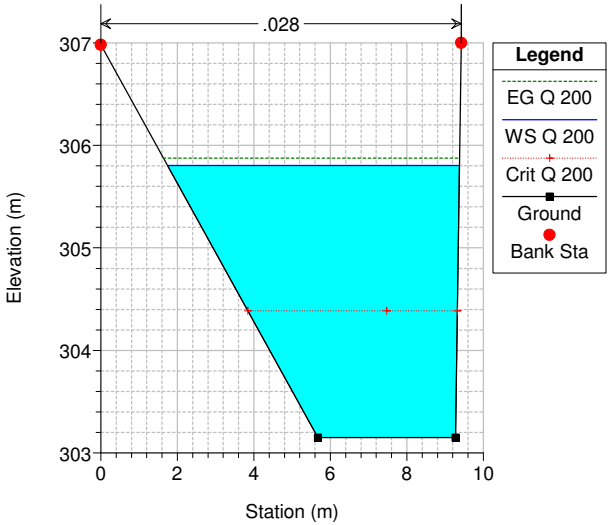
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sezione 2.05



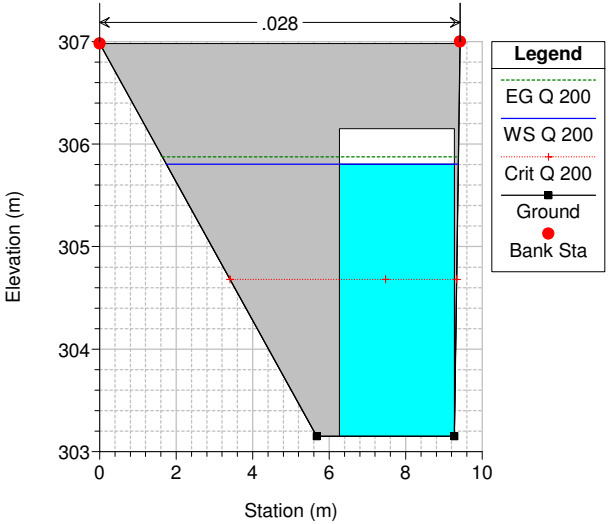
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 2 - Inizio tombatura stradale



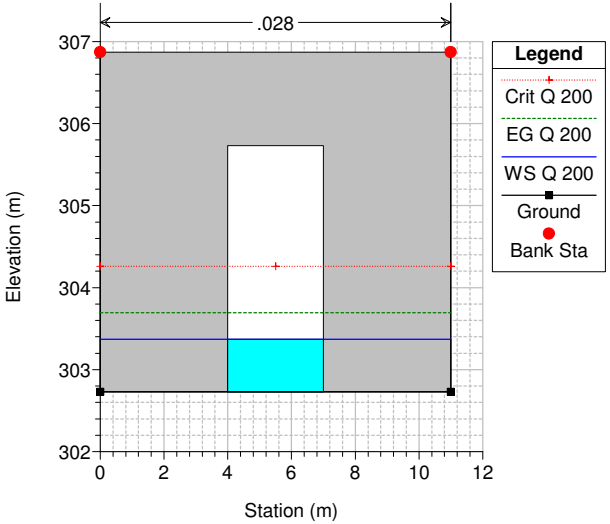
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 1.5 - Tombatura stadale - Scatolare 300x300



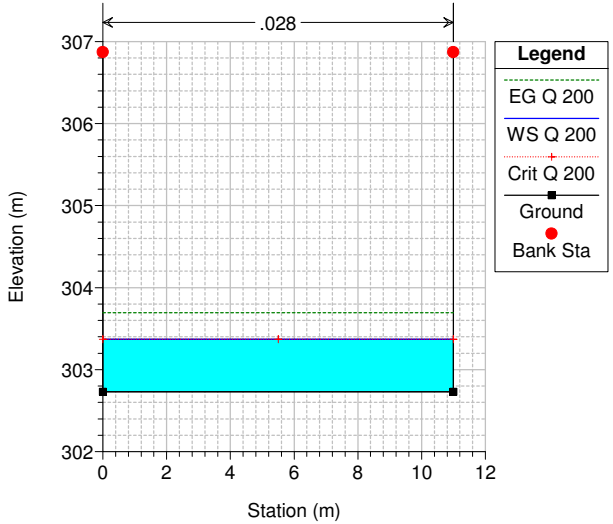
Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 1.5 - Tombatura stadale - Scatolare 300x300

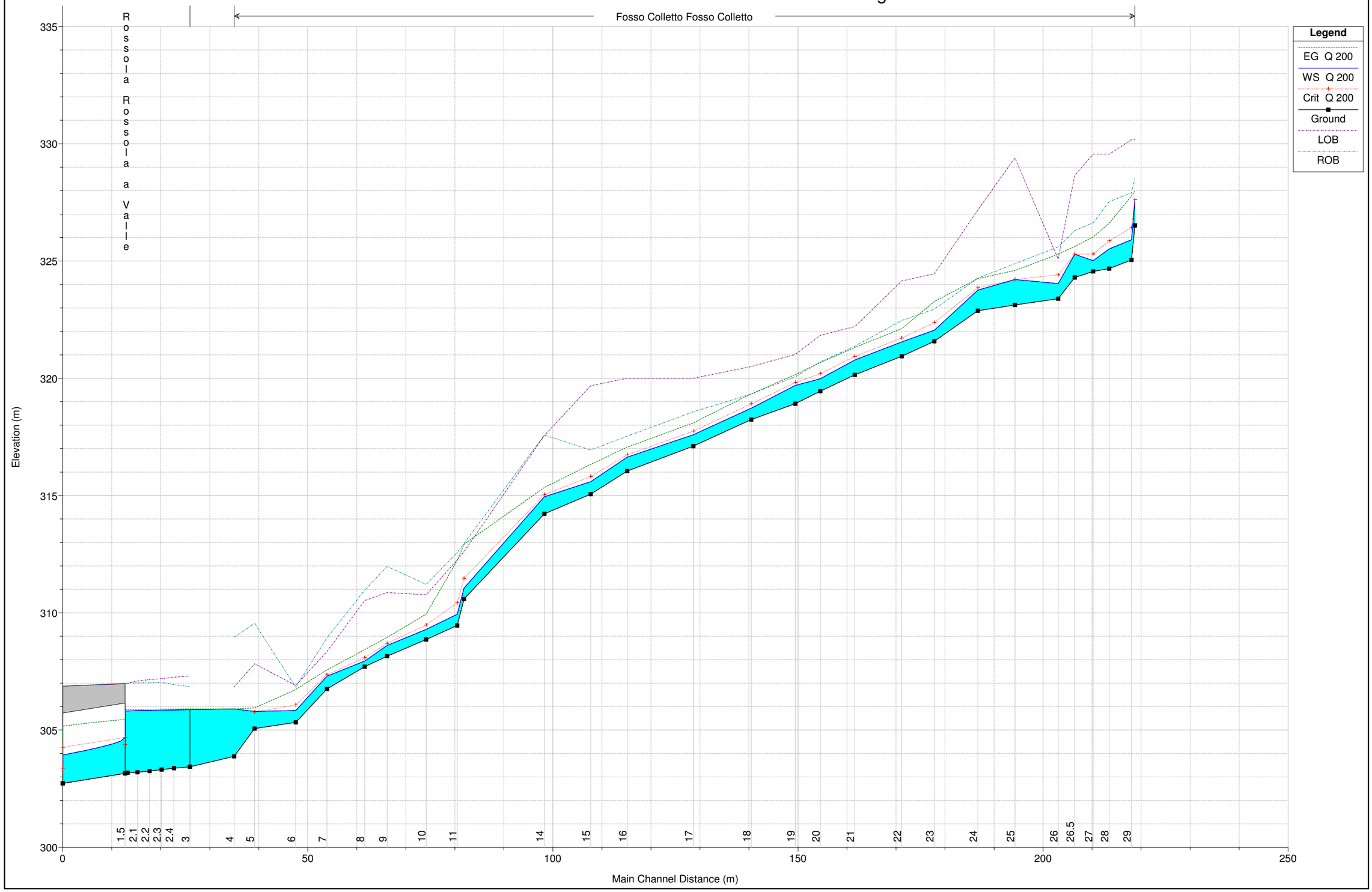


Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016

Sez. 1 - Fine tombatura stradale



Fosso del Colletto - PROGETTO Plan: Fosso del Colletto - Progetto 22/04/2016



VERIFICHE DI STABILITÀ PER IL NUOVO ARGINE DEL FOSSO DEL COLLETTO

La Conferenza dei Servizi tenutasi in data 03 novembre 2015, ha evidenziato come non siano state allegate all'istanza, di cui all'oggetto, le verifiche di stabilità del tratto di argine di nuova costruzione e la descrizione sulle modalità di realizzazione dello stesso.

In risposta ai quesiti posti, si è proceduto ad effettuare le seguenti verifiche dell'argine, che saranno meglio dettagliate all'interno della presente relazione:

- Verifica a scorrimento;
- Verifica a ribaltamento;
- Verifica di portanza;
- Verifica di stabilità opera;
- Verifica al sifonamento e calcolo della velocità apparente di filtrazione;

Il nuovo argine, sarà realizzato con massi ciclopici di seconda categoria debolmente cementati, al fine di creare un'opera compatta ed omogenea. I massi saranno posizionati fino ad una quota pari alla portata duecentennale, calcolata per il Fosso del Colletto dallo studio idraulico eseguito. La sommità dell'argine, che non verrà a contatto con l'acqua che scorrerà nell'alveo, sarà completata con materiale più fine che successivamente sarà inerbito.

Lo stato di materiale di riporto presente nell'area dove sarà realizzato il nuovo argine, verrà rimosso, in modo tale che i massi ciclopici, che andranno a costituire la componente principale del manufatto, saranno appoggiati direttamente sullo strato di roccia con caratteristiche meccaniche migliori.

Dalla relazione geologica a firma del Dott. Geol. Luca Piaggi, si evince che la stratigrafia dell'area dove sarà realizzato il tratto di nuovo argine appena descritto, è così composta:

1) Materiale di riporto:

- Angolo di attrito Ø = 29,26°;
- Peso Specifico γ = 1800 kg/mc;
- Coesione C = 0,14 kg/cmq

2) Rosso Levanto alterato:

- Angolo di attrito Ø = 40,13°;
- Peso Specifico γ = 2500 – 2600 kg/mc;
- Coesione C = 2,14 kg/cmq;
- Angolo di attrito lungo i giunti Ø' = 31,30°
- Coesione lungo i giunti C' = 0,3874 kg/cmq.

3) Rosso Levanto sano:

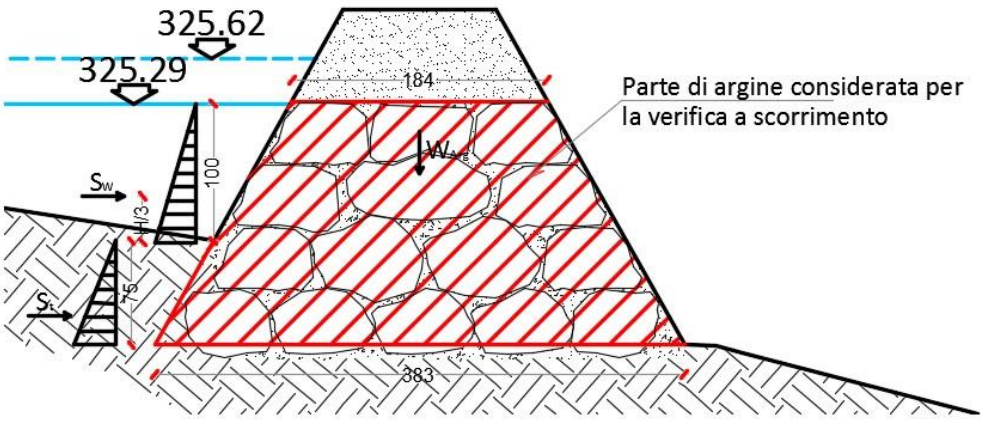
- Angolo di attrito Ø = 50,18°;
- Peso Specifico γ = 2650 – 2700 kg/mc;
- Coesione C = 5,60 kg/cmq;
- Angolo di attrito lungo i giunti Ø' = 32,95°
- Coesione lungo i giunti C' = 0,59 kg/cmq.

I valori geotecnici del terreno precedentemente elencati, sono già stati divisi per i Coefficienti parziali M2 in base alla tabella 6.2.II delle NTC 2008, e saranno utilizzati nelle successive verifiche di stabilità, eseguite utilizzando l'approccio 1 combinazione 2 (A2+M2+R2).

1) VERIFICA ALLO SCORRIMENTO

La stabilità globale dell'argine richiede che esso sia stabile nei confronti dello scorrimento:

$$R_d/E_d \geq 1$$



Spinta Attiva S_A data dalla presenza del terreno e dell'acqua in alveo:

$S_A = (1/2\ \gamma\ H^2\ K_A) + (1/2\ \gamma_w\ H^2) = [1/2\ (\gamma_{sat} - \gamma_w)\ H^2\ K_A] + (1/2\ \gamma_w\ H^2) =$

$= 0{,}5x(2500)x0{,}75^2x\ 0{,}31 + 0{,}5x1000x1^2 =$ **718 kg/ml**

dove:

- Ø è l'angolo di attrito lungo i giunti dello strato Rosso Levanto alterato pari a 31,30°;
- γ è peso specifico dello strato Rosso Levanto alterato pari a 2500 kg/mc.

Forza sollecitante E_d :

$E_d = \gamma_{Q1}\ S_A = 1{,}3x718 =$ **933 kg/ml**

Area argine:

$A_{Arg} = [(B+b)H]/2 = [(3{,}83+1.84)x1{,}75]/2 =$ **4,96 m²**

Peso argine:

$W_{Arg} = \gamma_{massi}\ x\ A_{Arg} = 2100x4{,}96 =$ **10416 kg/ml**

dove γ_{massi} è il peso specifico dei massi ciclopici considerato pari a 2100 kg/mc.

Forza resistente R_d :

R_d = W_{Arg}tan(Ø) = 10416xtan(31,3) = **6333 kg/ml**

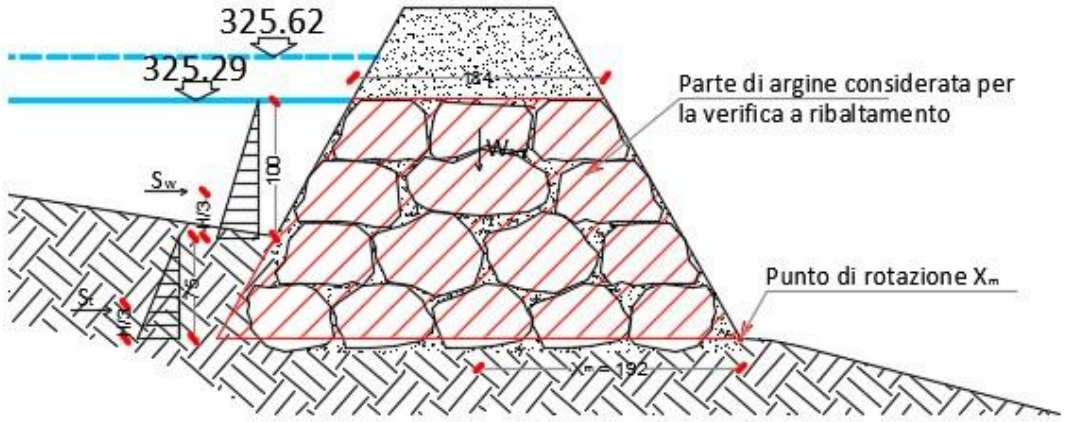
In conclusione:

$R_d/E_d \geq 1$ = 6333/933 = **6,78** > 1 → **<u>VERIFICATO</u>**

2) <u>VERIFICA AL RIBALTAMENTO</u>

La verifica al ribaltamento richiede il calcolo della somma dei momenti attorno allo spigolo esterno alla base dell'argine, indicato nella figura sottostante.

$$\mathbf{M_{Rd}/M_{Ed} \geq 1}$$



Momento sollecitante M_{Ed}:

M_{Ed} = $M_{Edterr.}$ + $M_{Edacqua}$ = ($E_{dterr.}$ H_{terr}/3) + [E_{dacqua} (H_{acqua}/3 + 0,75)] =

= (283x0.25) + [650x(0,33+0,75)] = **773 kgm**

Momento resistente M_{Rd} :

M_{Rd} = $W_{Arg.}$ X_M = 10416x1,92 = **19998 kgm**

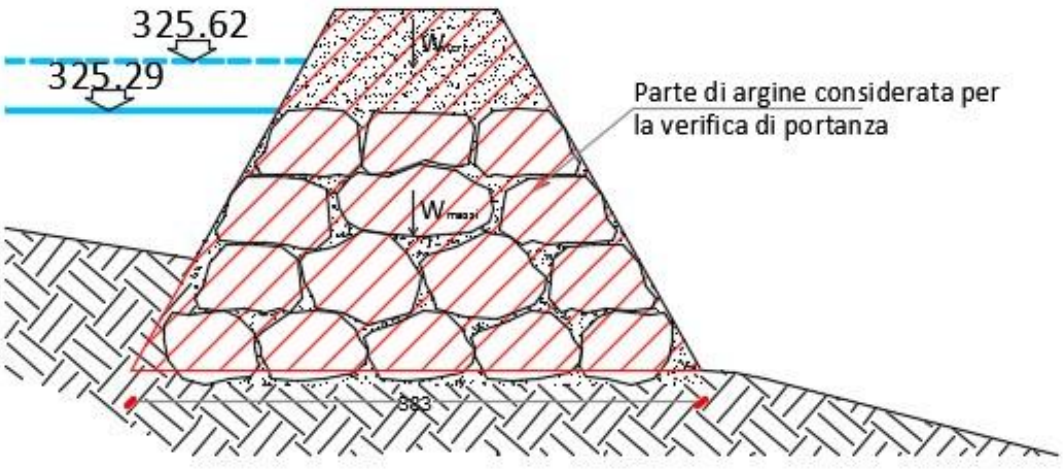
In conclusione:

$M_{Rd}/M_{Ed} \geq 1$ = 19998/773 = **27,28** > 1 → **<u>VERIFICATO</u>**

3) VERIFICA DI PORTANZA

La verifica di portanza prevede che:

$$q_{lim}/E_d \geq 1$$



Per il calcolo del peso complessivo dell'argine si è considerato il peso del terreno di riporto, utilizzando i parametri dati dal geol. Luca Piaggi, sommato al peso dei massi ciclopici utilizzati per la realizzazione dell'argine stesso.

Peso del terreno di riporto W_{terr} :

W_{terr} = $A_{terr.}$ γ_{terr} = 0,97 x 1800 = **1746 kg**

dove γ_{terr} è il peso specifico del materiale di riporto dalla relazione geologica del dott. geol. Piaggi e pari a 1800 kg/mc.

Peso dei massi ciclopici W_{massi} :

W_{massi} = A_{massi} γ_{massi} = 4,96 x 2100 = **10416 kg**

Peso totale dell'argine W_{Arg} :

W_{Arg} = W_{terr} + W_{massi} = 1746 + 10416 = **12162 kg**

Forza sollecitante E_d :

$\mathbf{E_d}$ = W_{Arg} / (BxL) = 12162/(3,83x1) = **3175 kg/mq**

dove:

- Base dell'argine B = 3,83 m;
- Sviluppo dell'argine considerato L = 1,00 m.

Per il calcolo della q_{lim} per il terreno di fondazione, identificato nel Rosso Levanto alterato,si è utilizzata la formula di Terzaghi e, a favore di sicurezza, non è stato considerato il contributo dato dalla coesione, nonché presente nei dati forniti dal dott. geol. Luca Piaggi nella sua relazione geologica.

Riassumendo, i dati del terreno di fondazione Rosso Levanto alterato, utilizzati nel calcolo della q_{lim}, sono i seguenti:

- Peso Specifico γ = 2500 – 2600 kg/mc;
- Angolo di attrito lungo i giunti Ø' = 31,30°
- Coesione lungo i giunti C' = 0,3874 kg/cmq.

Considerando nullo il contributo della coesione, come già, anticipatamente, detto.

Dalle precedenti considerazioni, la formula di Terzaghi per il calcolo della q_{lim} risulta essere:

$$\mathbf{q_{lim} = N_q \gamma_t D + N_\gamma \gamma_t B/2}$$

dove:

- D è la profondità di infissione della fondazione considerata pari a 0,75 m;
- N_q valore tabulato dipendente dall'angolo di attrito (Ø = 31,3°) pari a 20,63;
- N_γ valore tabulato dipendente dall'angolo di attrito (Ø = 31,3°) pari a 25,99.

Da ciò, la q_{lim} risulta:

$\mathbf{q_{lim}}$ = (20,63x2500x0,75) + (25,99x2500x3,83/2) = 37118 + 124427 = **161542 kg/mq**

In conclusione:

$q_{lim}/E_d \geq 1$ = 161542/3175 = **50,88** >1 → **<u>VERIFICATO</u>**

4) VERIFICA DI STABILITÀ DELL'OPERA

L'argine di nuova realizzazione, come accennato in precedenza, sarà costituito prevalentemente da massi ciclopici debolmente cementati, i quali saranno posizionati direttamente a contatto con lo strato roccioso identificato dalla relazione geologica a firma del dott. geol. Luca Piaggi in Rosso Levanto.

Viste le ottime caratteristiche meccaniche sia dello strato Rosso Levanto alterato, sia dello strato Rosso Levanto sano, si può ritenere di poca rilevanza la verifica a stabilità globale. Si ritiene, inoltre, che la malta di cemento iniettata nei vuoti dei massi ciclopici , possa cementare i massi stessi anche al terreno di fondazione Rosso Levanto alterato, rendendo, sostanzialmente, priva di significato la presente verifica.

5) VERIFICA A SIFONAMENTO E CALCOLO DELLA VELOCITÀ APPARENTE DI FILTRAZIONE

In generale, i meccanismi di rottura di un argine in terra possono essere classificati in idraulico, di filtrazione e strutturale.

I meccanismi idraulici risultano dal flusso dell'acqua contro l'argine con conseguente azione erosiva sul materiale che costituisce l'opera e sul terreno di fondazione.

I meccanismi di filtrazione sono legati al flusso dell'acqua attraverso il terreno di fondazione o attraverso l'argine stesso e, conseguentemente, le rotture sono causate da erosione interna progressiva e sifonamento e sono legate a fessurazioni nell'argine per cedimenti, essicazione e ritiro e a filtrazione concentrata lungo superfici di discontinuità sia nell'argine che nel terreno di fondazione.

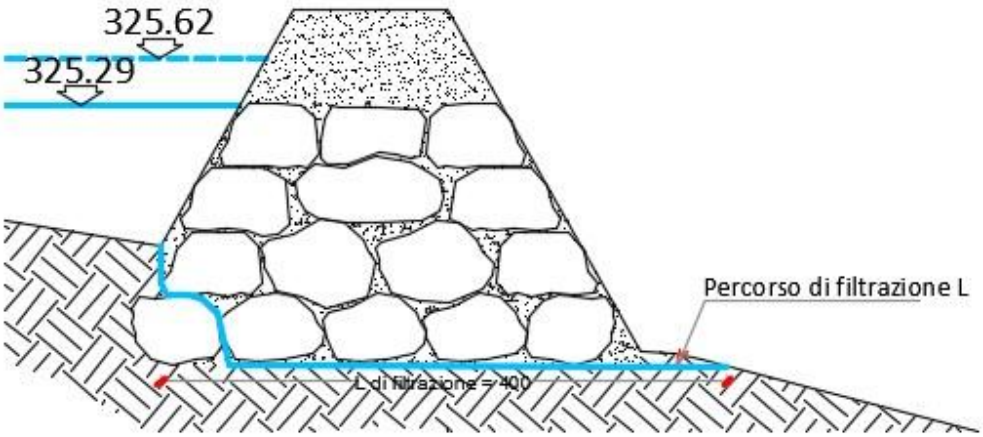
I meccanismi strutturali, infine, che coinvolgono la rottura meccanica dell'argine e/o del terreno di fondazione, sono dati prevalentemente da fenomeni di scivolamento, che comprendono anche il terreno di fondazione, e possono interessare sia il paramento interno all'alveo che quello esterno. Questi meccanismi, possono derivare dalle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione e da eccessi di pressioni neutrali in strati di terreno limoso e sabbioso di fondazione e in strati argillosi a fine costruzione.

A seguito di quanto appena illustrato, nel caso del Fosso del Colletto, l'alveo scorre quasi interamente su una superficie rocciosa, per cui la permeabilità del terreno è molto bassa se non del tutto nulla. Dalla bibliografia, infatti, il **coefficiente di permeabilità k** per roccia non fessurata varia da un minimo di 10^{-12} ad un massimo di 10^{-10} m/s, ne consegue che la filtrazione risulta essere minima.

Come già descritto in precedenza, il nuovo argine sarà realizzato con massi di seconda categoria, che saranno posizionati su un terreno di fondazione identificato con roccia e si estenderanno fino ad un'altezza pari alla linea dell'acqua relativa alla portata con tempo di ritorno 200 anni. Per evitare fenomeni di filtrazione e sifonamento all'interno dell'argine stesso, i vuoti tra i massi saranno riempiti con malta di cemento, in modo tale da realizzare un ammasso completamente impermeabile. Queste tecniche costruttive e le caratteristiche dei materiali utilizzati permettono, ragionevolmente, di escludere i meccanismi di rottura descritti inizialmente.

A supporto di quanto appena descritto, si è eseguita la **verifica a sifonamento** dell'argine e calcolato la **velocità apparente di filtrazione**.

VERIFICA A SIFONAMENTO



Si sono considerati i seguenti dati di calcolo:

- peso specifico terreno di fondazione Rosso Levanto alterato considerato, a favore di sicurezza, saturo $\gamma_{sat} = 2500$ kg/m^3;
- altezza massima del pelo libero dell'acqua h = 1,00 m;
- percorso di filtrazione L = 4,00 m;
- peso specifico acqua $\gamma_w = 1000$ kg/m^3;
- peso specifico efficace $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1500$ kg/m^3.

Si è calcolato il **gradiente idraulico efficace i_E** :

$$i_E = h/L = 1{,}00/4{,}00 = \mathbf{0{,}25}$$

si è calcolato il **gradiente idraulico critico i_c** :

$$i_c = \gamma'/\gamma_w = 1500/1000 = \mathbf{1,50}$$

Il fattore di sicurezza per la verifica a sifonamento generalmente si impone maggiore di quattro, essendo il sifonamento, appunto, un fenomeno improvviso, senza segni premonitori, ed essendo difficile tenere conto di fattori quali l'eterogeneità e l'anisotropia del terreno. Nel nostro caso:

$$\mathbf{FS} = i_c/i_E = 1,50/0,25 = \mathbf{6,00 > 4}$$

VELOCITÀ APPARENTE DI FILTRAZIONE

Dalla **legge di Darcy** v = k*i dove:

- i = gradiente idraulico — $i = i_E = 0,25$
- k = coefficiente di permeabilità — per roccia $k = 10^{-10}$ m/s

da cui:

$$\mathbf{v} = k*i = 0,25x10^{-10} = \mathbf{2,5 \times 10^{-11}\ m/s}$$

In conclusione, visti il valore del fattore di sicurezza calcolato per la verifica a sifonamento ed il modesto valore della velocità apparente di filtrazione, si può ragionevolmente affermare che l'argine di nuova costruzione lungo l'alveo del Fosso del Colletto è esente da meccanismi di rottura dovuti al sifonamento ed alla filtrazione.