


Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0157	Foglio 1 di 28	Data 12-04-13	N° documento Cliente:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 RIMOZIONE CONDOTTA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA**

00	12-04-13	EMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA			
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00	Foglio 2	di 28
			N° Doc.

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI	4
3	STUDIO IDROLOGICO.....	5
4	STUDIO IDRAULICO DEL CANALE MUZZA	6
5	VERIFICHE DI STABILITÀ DELL’OPERA.....	11
5.1	Verifiche di stabilità ante operam	11
5.2	Verifiche di stabilità post operam	16
6	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI.....	21
7	CONCLUSIONI	22
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	23

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA			
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00	Foglio 3 di 28	
			N° Doc.

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Canale Muzza, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio ϕ_e 30” posta ad una profondità di circa 1,30 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

L'attraversamento del Canale Muzza è ubicato in una zona distinta in dettaglio ai F. 12 e 13 del NCT del Comune di Mulazzano (LO).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell'ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità delle sponde ante e post operam eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			
J01811-PPL-RE-300-0157	Foglio 4 di 28				N° Doc.

2 CARATTERISTICHE GENERALI

Il Canale Muzza è una canale artificiale che dirama le acque dal fiume Adda e le restituisce al medesimo fiume dopo un percorso di circa 60 km. Nasce a Cassano d'Adda e termina a Castiglione. È il canale italiano con maggiore portata ed il primo artificiale costruito nel nord Italia (uno dei primi in assoluto in tutto il mondo).

Nella prima parte del suo percorso sono presenti quattro scolmatori che riportano l'acqua in Adda. Lungo il suo corso riceve gli apporti di un corso d'acqua naturale, il Molgora e di alcune rogge mentre scarica parte delle acque per alimentare il Colatore Addetta alla Chiusa di Paullo. In questo punto termina il corso più antico della Muzza, tratto di probabile origine naturale, per iniziare quello artificiale realizzato già nel XIII secolo.

Lungo questo secondo tratto è presente un'altra derivazione significativa, quella del Canale Villavesco che deriva un'importante quota d'acqua in corrispondenza della centrale termoelettrica di Montanaso e le recapita sempre in Adda.

L'attraversamento in progetto ricade in questo secondo tratto del canale in una zona posta circa a metà dell'intero percorso del canale stesso.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA			
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00	Foglio 5	di 28
			N° Doc.

3 STUDIO IDROLOGICO

Come accennato in premessa il Canale Muzza è un'opera artificiale che riceve le acque da due corsi d'acqua naturali, l'Adda ed il Molgora, ed alimenta una serie di canali e derivazioni ad uso industriale ed irriguo.

Non risulta quindi possibile effettuare un'analisi idrologica tradizionale, basata sulla determinazione della portata di progetto partendo dall'analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall'analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.).

Trattandosi di un canale artificiale non sono inoltre presenti stazioni idrometriche ufficiali che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

L'unico dato disponibile è quello circa la portata media derivata mensilmente dalla quale si evince che, nel periodo di massimo utilizzo, la portata è:

$$Q_{der} = 99.26 \text{ mc/sec}$$

A favore di sicurezza si è inoltre ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall'attraversamento con un franco di sicurezza di 50 cm.

Di fatto tale valore (ancorché teorico) è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all'asse fluviale. In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene in tal modo:

$$Q_{max} = 750,0 \text{ mc/sec}$$

La modellazione verrà pertanto eseguita con i due valori di portata sopra indicati.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA			
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00	Foglio 6	di 28
			N° Doc.

4 STUDIO IDRAULICO DEL CANALE MUZZA

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 150 m.

In particolare la sezione dell'attraversamento è quella che nel seguito viene indicata con il numero 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l'altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegate sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico \cong 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico \cong 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc.
J01811-PPL-RE-300-0157		Foglio	7	di	28

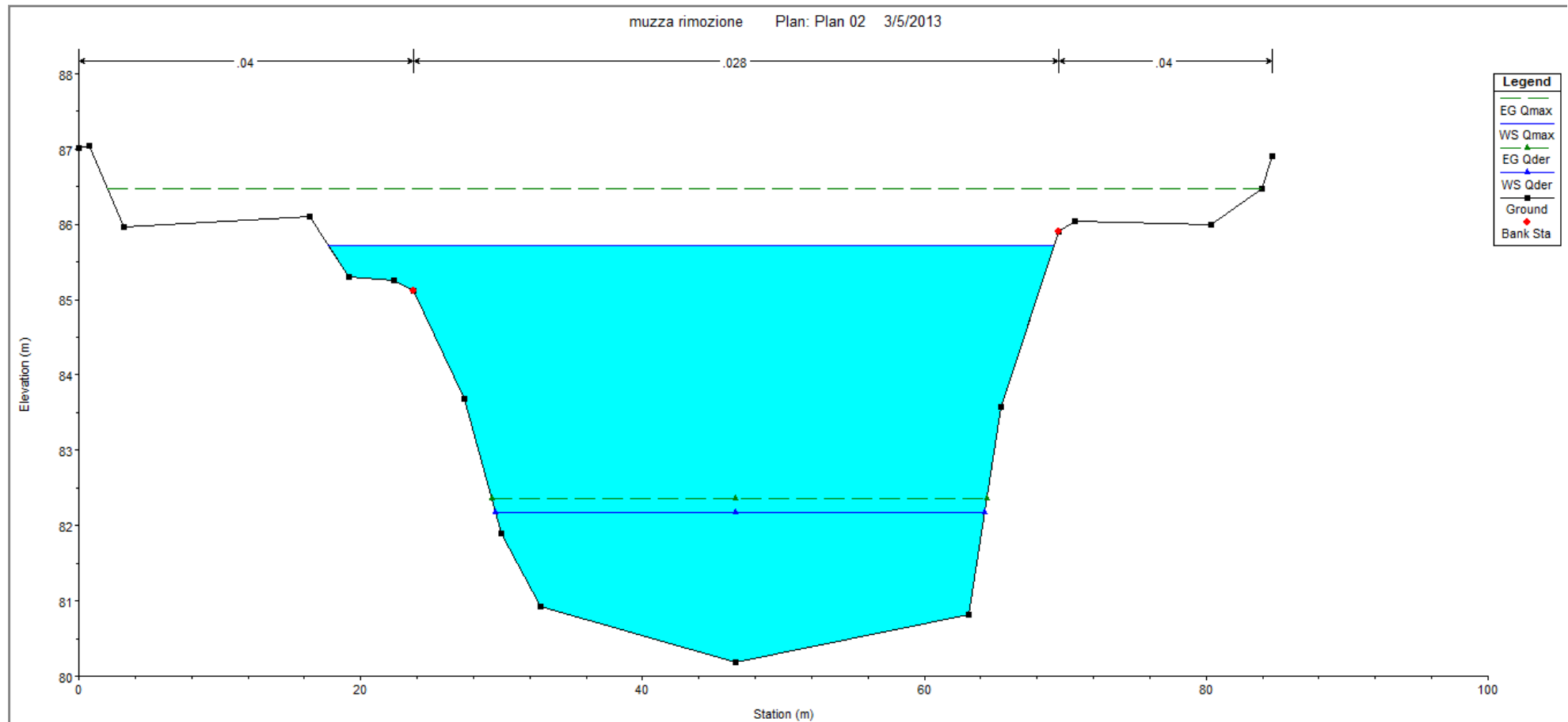


Figura 2.1: sezione trasversale all'inizio del tratto modellato

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc.
J01811-PPL-RE-300-0157		Foglio	8	di	28

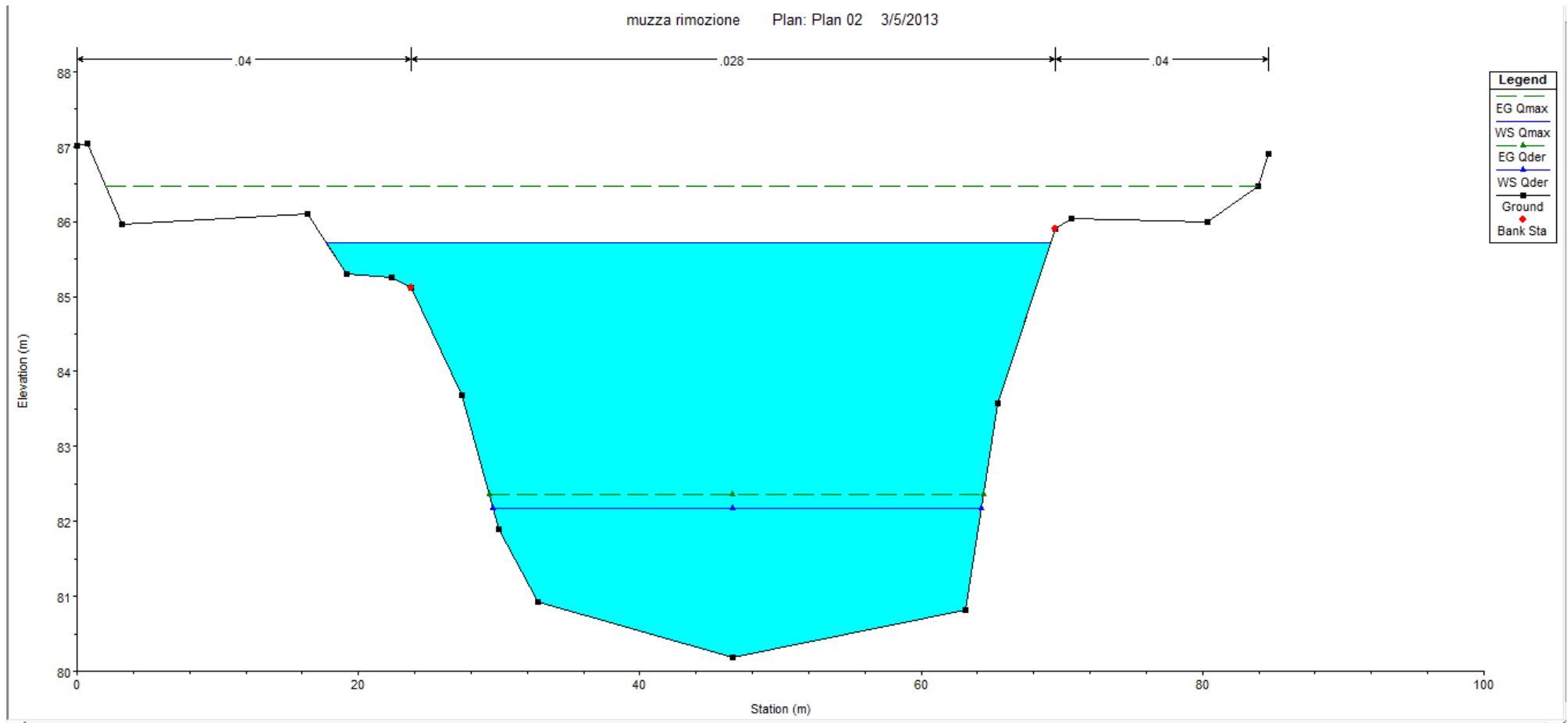


Figura 2.2: sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc.
J01811-PPL-RE-300-0157		Foglio	9	di	28

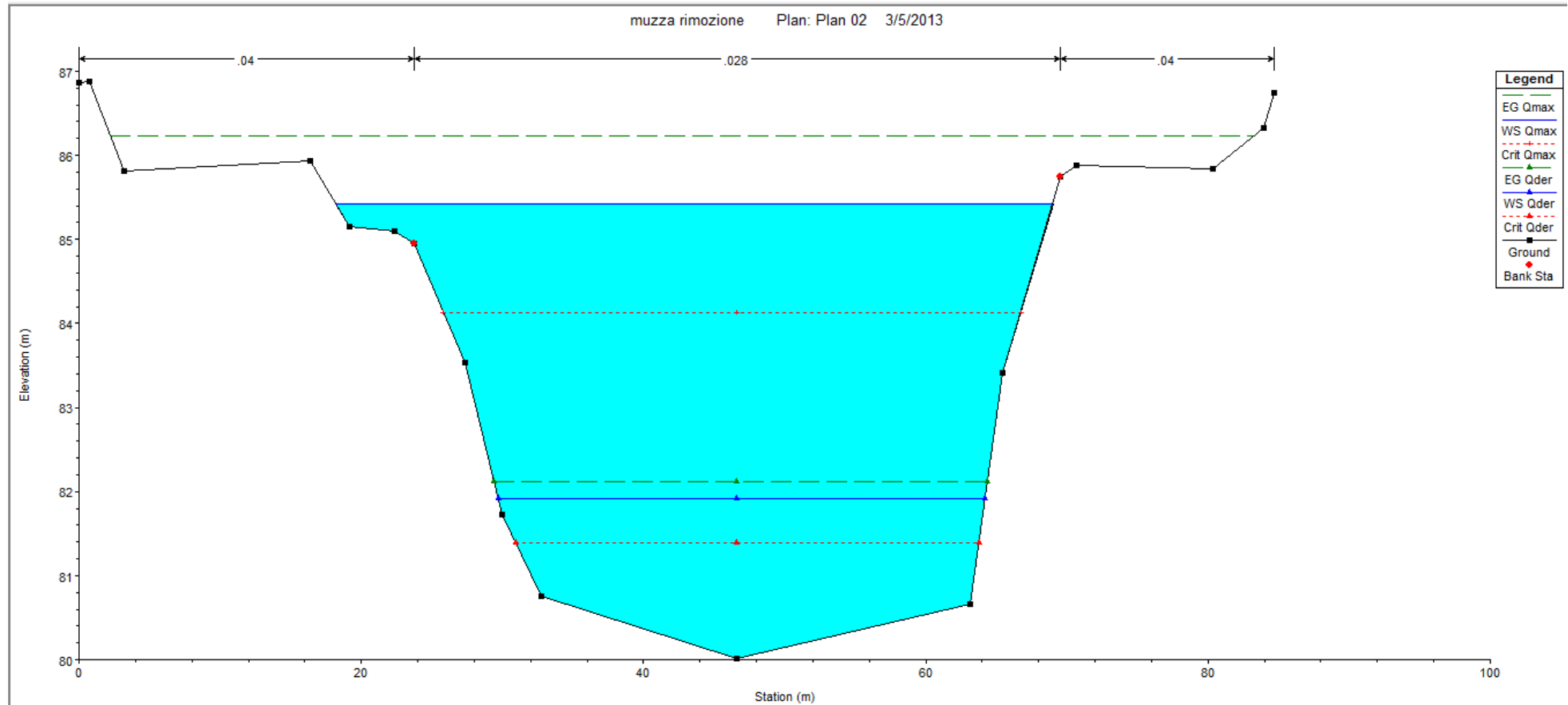


Figura 2.3: sezione trasversale a valle del tratto modellato

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE									
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA									
N° Doc. Ingegneria:		Rev.:	00						N° Doc.
J01811-PPL-RE-300-0157		Foglio 10 di 28							

Sezione	Q [mc/sec]	Quota fondo [m.s.m.]	Quota acqua [m.s.m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ alveo [N/mq]	τ tot [N/mq]
30	750	80.18	85.72		86.47	0.001808	3.84	197.24	51.54	0.59	3.62	71.37	64.19
	100	80.18	82.17		82.35	0.001642	1.89	53.02	34.72	0.49	1.49	23.95	23.95
20	750	80.1	85.56		86.34	0.001927	3.92	192.82	51.09	0.61	3.57	74.82	67.49
	100	80.1	82.03		82.23	0.001853	1.96	51.03	34.59	0.51	1.44	26.15	26.15
10	750	80.02	85.43	84.13	86.23	0.002	3.97	190.3	50.83	0.62	3.54	76.9	69.48
	100	80.02	81.92	81.39	82.12	0.002003	2.01	49.79	34.51	0.53	1.41	27.67	27.67

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio	11	di	28	

5 VERIFICHE DI STABILITÀ DELL'OPERA

5.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
by
Purdue University

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

13 Top Boundaries
21 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	15.00	10.45	13.90	1
2	10.45	13.90	12.90	13.05	1
3	12.90	13.05	19.35	9.70	2
4	19.35	9.70	21.30	9.55	2
5	21.30	9.55	29.50	8.90	1
6	29.50	8.90	35.00	8.80	1
7	35.00	8.80	40.00	8.95	1
8	40.00	8.95	51.00	9.80	1
9	51.00	9.80	52.95	10.00	2
10	52.95	10.00	59.00	13.15	2
11	59.00	13.15	62.00	14.65	1
12	62.00	14.65	65.00	14.70	1
13	65.00	14.70	67.45	14.70	1
14	12.90	13.05	13.00	12.80	1
15	13.00	12.80	19.30	9.45	1
16	19.30	9.45	21.20	9.30	1
17	21.20	9.30	21.30	9.55	1
18	51.00	9.80	51.10	9.55	1
19	51.10	9.55	52.90	9.75	1
20	52.90	9.75	58.90	12.90	1
21	58.90	12.90	59.00	13.15	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	12.90	13.05
2	59.00	13.05

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
	Foglio 12 di 28					

Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 45.00 ft.
and X = 50.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 63.00 ft.
and X = 66.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

The Factor Of Safety For The Trial Failure Surface Defined By The Coordinates Listed Below Is Misleading.

Failure Surface Defined By 21 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	47.78	9.55
2	48.78	9.52
3	49.78	9.52
4	50.78	9.56
5	51.77	9.63
6	52.77	9.74
7	53.76	9.87
8	54.74	10.05
9	55.72	10.25
10	56.69	10.49
11	57.66	10.76
12	58.61	11.07
13	59.55	11.40
14	60.48	11.77
15	61.40	12.17
16	62.30	12.60
17	63.19	13.06
18	64.06	13.55
19	64.91	14.07
20	65.75	14.62
21	65.86	14.70

PROBLEM DESCRIPTION CANALE MUZZA - JANBU
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 18 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	49.44	9.68
2	50.37	9.31
3	51.33	9.03
4	52.32	8.84
5	53.31	8.74
6	54.31	8.72
7	55.31	8.80
8	56.29	8.97
9	57.26	9.23
10	58.20	9.58
11	59.10	10.01
12	59.96	10.52

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 13 di 28						

13	60.77	11.11
14	61.52	11.76
15	62.21	12.49
16	62.83	13.27
17	63.38	14.11
18	63.68	14.68

FS01 = 1.306
 FS02 = 1.314
 FS03 = 1.315
 FS04 = 1.322
 FS05 = 1.327
 FS06 = 1.329
 FS07 = 1.332
 FS08 = 1.339
 FS09 = 1.346
 FS10 = 1.346

PROBLEM DESCRIPTION CANALE MUZZA - BISHOP
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	50.00	9.72
2	50.97	9.48
3	51.96	9.32
4	52.96	9.25
5	53.96	9.26
6	54.95	9.35
7	55.94	9.52
8	56.90	9.78
9	57.84	10.12
10	58.75	10.53
11	59.63	11.02
12	60.45	11.58
13	61.23	12.21
14	61.96	12.90
15	62.62	13.65
16	63.22	14.45
17	63.36	14.67

Circle Center At X = 53.4 ; Y = 21.2 and Radius, 11.9

FS01 = 1.435
 FS02 = 1.442
 FS03 = 1.450
 FS04 = 1.456
 FS05 = 1.460
 FS06 = 1.465
 FS07 = 1.470
 FS08 = 1.474
 FS09 = 1.476
 FS10 = 1.481

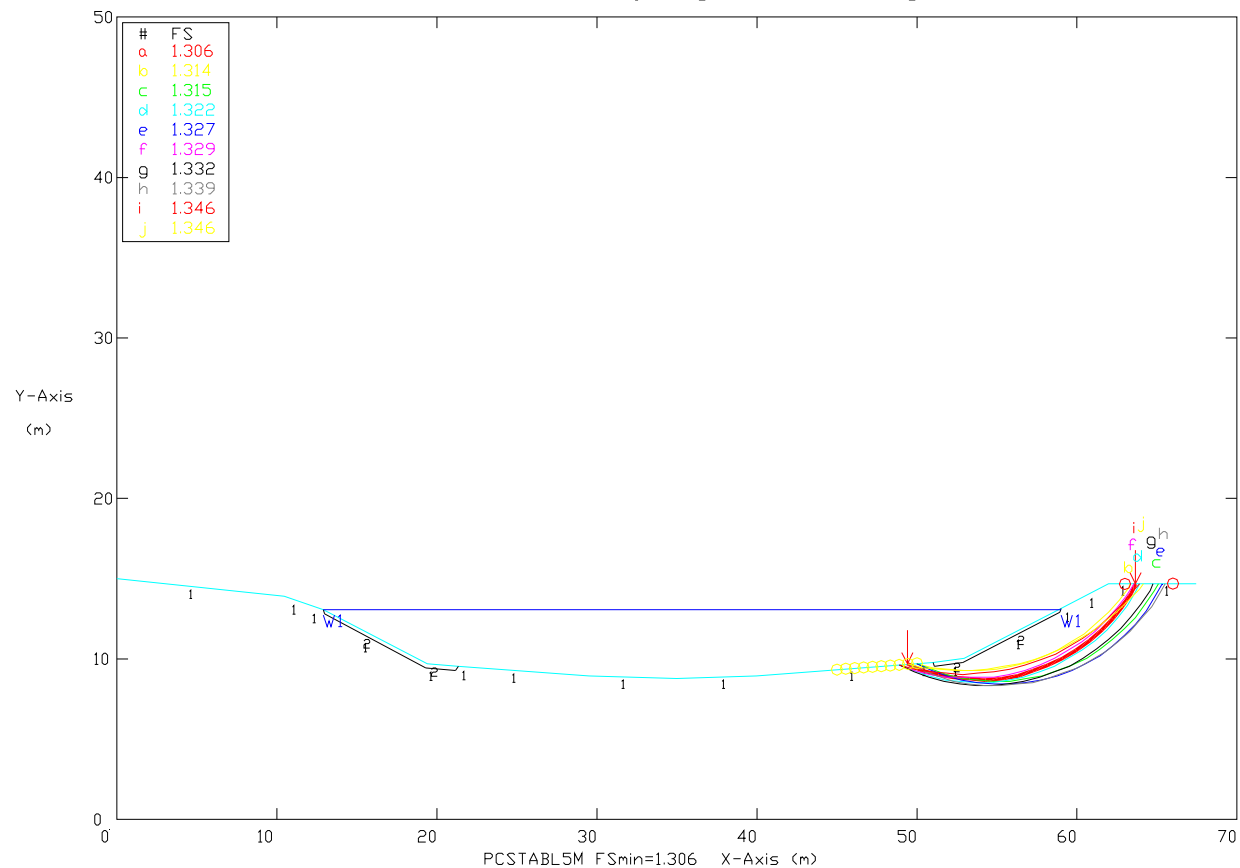
**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 14 di 28						

CANALE MUZZA - JANBU verifiche ante opera a canale pieno

Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-22-13 6:10pm



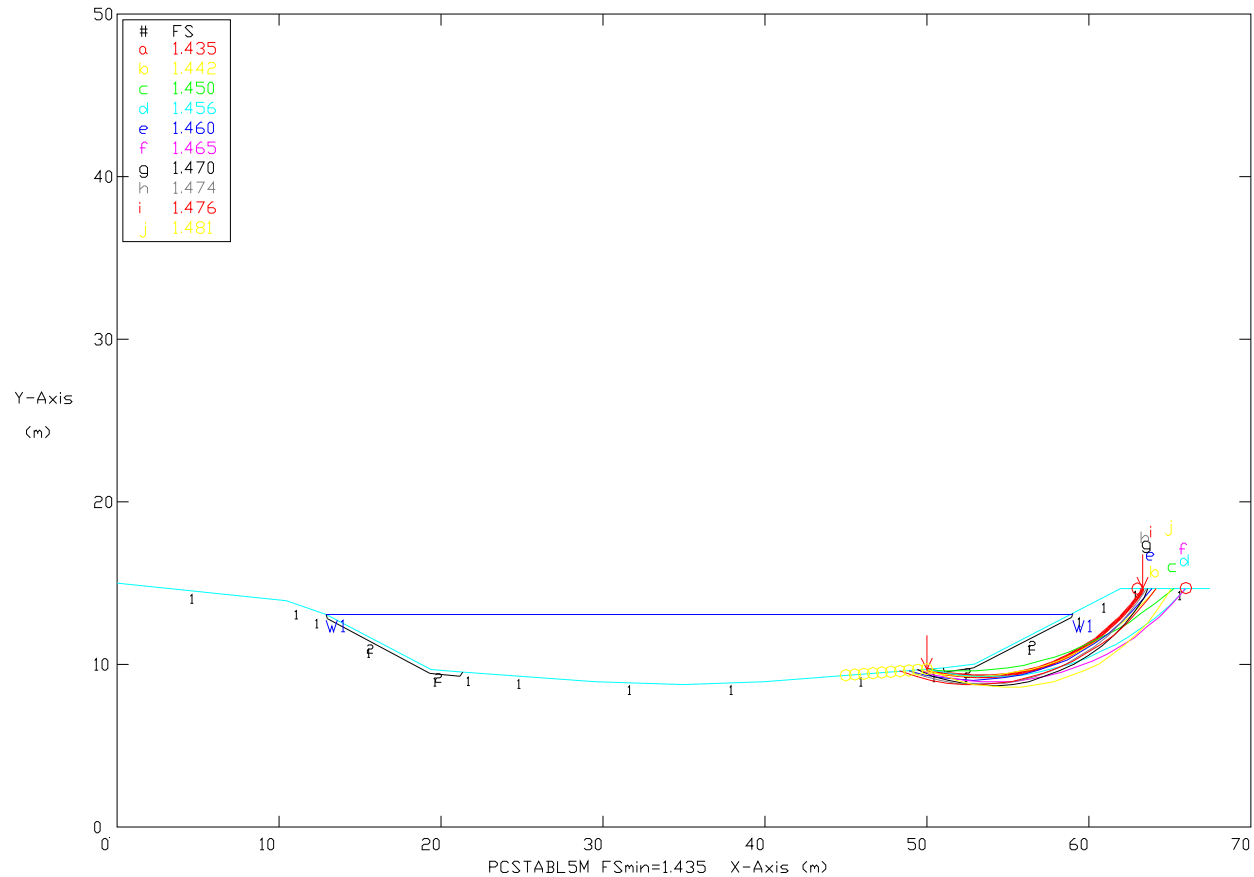
Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 15 di 28						

CANALE MUZZA – BISHOP verifiche ante opera a canale pieno
Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-22-13 6:27pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio	16	di	28	

5.2 Verifiche di stabilità post operam

Nel caso di depositi alluvionali (sabbie e ghiaie) ed in altri casi, l'ipotesi di coesione assente appare spesso troppo conservativa. Questi materiali sono infatti caratterizzati da legami di tipo pseudo-coesivo che, per quanto deboli, condizionano in modo netto il loro comportamento meccanico. Di norma l'azione "cementante" è svolta dalla frazione fine contenuta nel terreno granulare, sovraconsolidata per essiccamento, o da ridotte precipitazioni carbonatiche, legate a circolazione di fluidi. Per questi motivi nell'analisi ante operam dei versanti è stata considerato un valore della coesione pari a 4 kPa.

Al fine di modellare le verifiche di stabilità post operam, tenuto conto della natura dei terreni che costituiscono il suolo ed il substrato delle aree interessate dal corso d'acqua in esame, sarà ridotto a 1 kPa il valore della coesione efficace; il disturbo operato dalla fase di scavo sarà infatti recuperato nel tempo attraverso il consolidamento del materiale utilizzato per la chiusura degli scavi.

** PCSTABL5M **
by
Purdue University
--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

13 Top Boundaries
21 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	15.00	10.45	13.90	1
2	10.45	13.90	12.90	13.05	1
3	12.90	13.05	19.35	9.70	2
4	19.35	9.70	21.30	9.55	2
5	21.30	9.55	29.50	8.90	1
6	29.50	8.90	35.00	8.80	1
7	35.00	8.80	40.00	8.95	1
8	40.00	8.95	51.00	9.80	1
9	51.00	9.80	52.95	10.00	2
10	52.95	10.00	59.00	13.15	2
11	59.00	13.15	62.00	14.65	1
12	62.00	14.65	65.00	14.70	1
13	65.00	14.70	67.45	14.70	1
14	12.90	13.05	13.00	12.80	1
15	13.00	12.80	19.30	9.45	1
16	19.30	9.45	21.20	9.30	1
17	21.20	9.30	21.30	9.55	1
18	51.00	9.80	51.10	9.55	1
19	51.10	9.55	52.90	9.75	1
20	52.90	9.75	58.90	12.90	1
21	58.90	12.90	59.00	13.15	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 17 di 28						

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	12.90	13.05
2	59.00	13.05

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 45.00 ft.
and X = 50.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 63.00 ft.
and X = 66.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

The Factor Of Safety For The Trial Failure Surface Defined By The Coordinates Listed Below Is Misleading.

**PROBLEM DESCRIPTION CANALE MUZZA - JANBU
verifiche post opera a canale pieno**

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	50.00	9.72
2	50.97	9.48
3	51.96	9.32
4	52.96	9.25
5	53.96	9.26
6	54.95	9.35
7	55.94	9.52
8	56.90	9.78
9	57.84	10.12
10	58.75	10.53
11	59.63	11.02
12	60.45	11.58
13	61.23	12.21
14	61.96	12.90
15	62.62	13.65
16	63.22	14.45
17	63.36	14.67

FS01 = 1.294

FS02 = 1.344

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
Foglio 18 di 28						

FS03 = 1.358
FS04 = 1.359
FS05 = 1.360
FS06 = 1.364
FS07 = 1.365
FS08 = 1.370
FS09 = 1.394
FS10 = 1.403

PROBLEM DESCRIPTION CANALE MUZZA - BISHOP
verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 17 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	50.00	9.72
2	50.97	9.48
3	51.96	9.32
4	52.96	9.25
5	53.96	9.26
6	54.95	9.35
7	55.94	9.52
8	56.90	9.78
9	57.84	10.12
10	58.75	10.53
11	59.63	11.02
12	60.45	11.58
13	61.23	12.21
14	61.96	12.90
15	62.62	13.65
16	63.22	14.45
17	63.36	14.67

Circle Center At X = 53.4 ; Y = 21.2 and Radius, 11.9

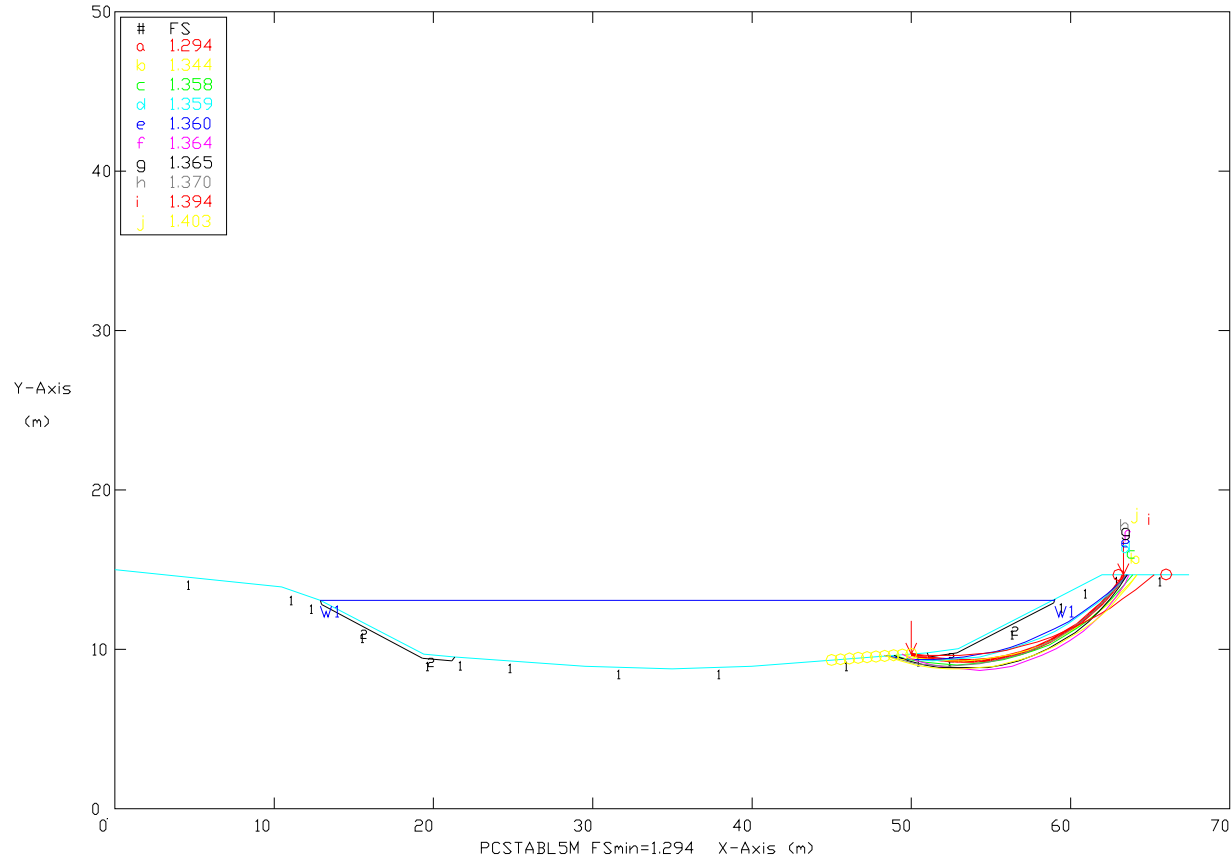
FS01 = 1.413
FS02 = 1.430
FS03 = 1.435
FS04 = 1.437
FS05 = 1.441
FS06 = 1.470
FS07 = 1.473
FS08 = 1.492
FS09 = 1.517
FS10 = 1.533

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 19 di 28						

CANALE MUZZA - JANBU verifiche post opera a canale pieno
Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-22-13 6:30pm



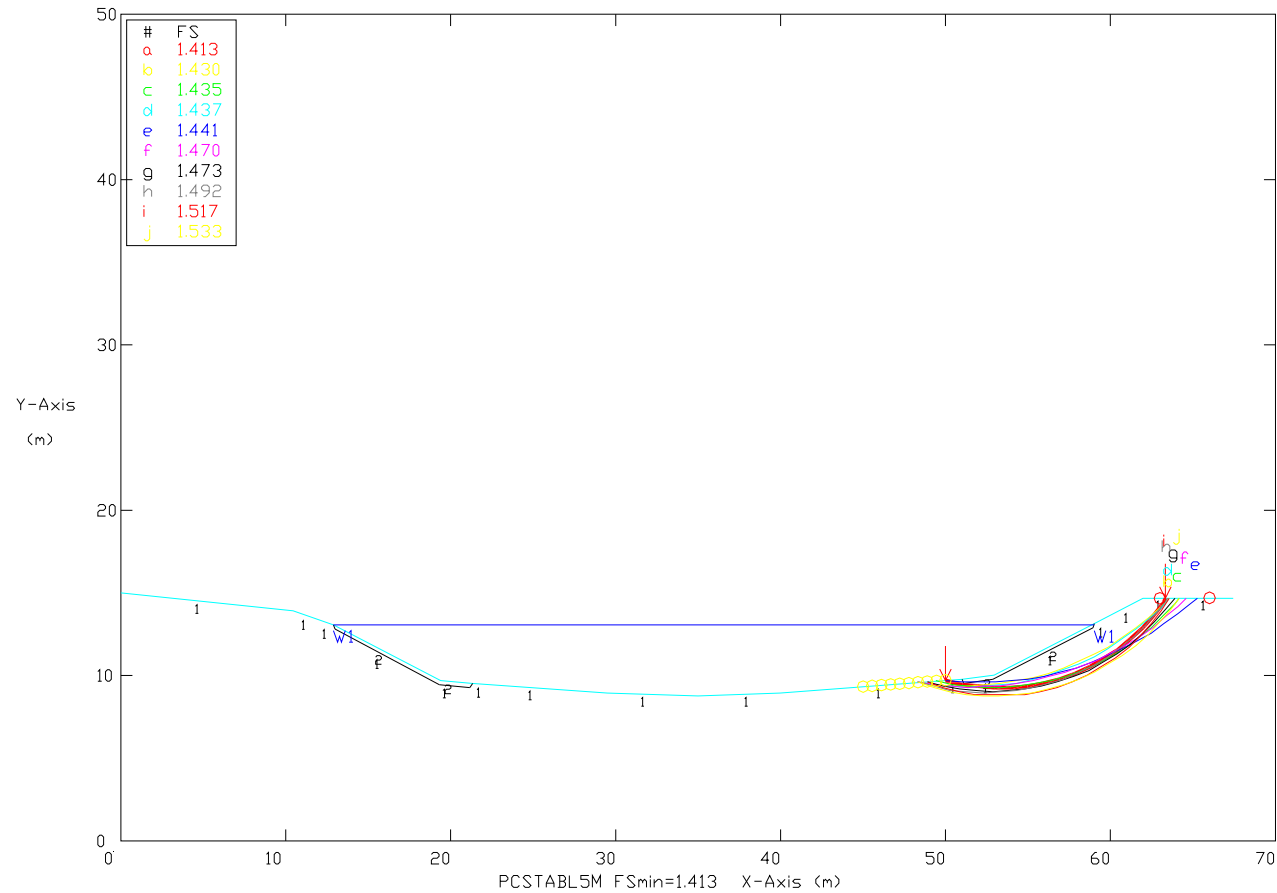
Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 20 di 28						

CANALE MUZZA – BISHOP verifiche post opera a canale pieno
Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-22-13 6:34pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA

N° Doc. Ingegneria:

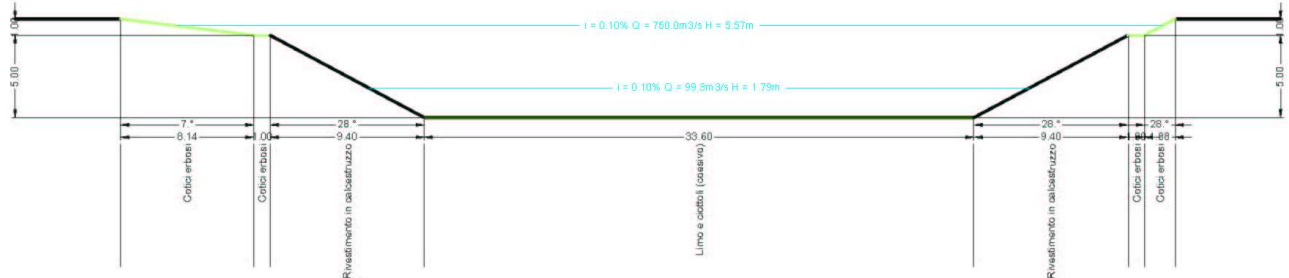
J01811-PPL-RE-300-0157

Rev.: 00

Foglio 21 di 28

N° Doc. Cliente:

6 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI



Calcolo n.1

Pendenza [%]	0.10	Numero di fronde	0.37
Portata [m³/s]	99.26	Sezione [m²]	66.13
Livello [m]	1.79	Contorno bagnato [m]	41.22
Velocità media [m/s]	1.50	Raggio idraulico [m]	1.60

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m²]	tau amm [N/m²]	GeoFil
1	8.21	0.00	1.00	-	-	N	-	-	N
1.1	8.21	-	-	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N
2	1.00	0.00	1.00	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N
2.1	1.00	-	-	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N
3	10.65	0.98	1.00	-	- Rivestimento in calcestruzzo	N	13.16	336.00	N
3.1	10.65	-	-	0.75	- Rivestimento in calcestruzzo	N	13.16	336.00	N
4	33.60	1.55	1.00	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	17.54	38.00	N
4.1	33.60	-	-	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	17.54	38.00	N
5	10.65	0.98	1.00	-	- Rivestimento in calcestruzzo	N	13.16	336.00	N
5.1	10.65	-	-	0.75	- Rivestimento in calcestruzzo	N	13.16	336.00	N
6	1.00	0.00	1.00	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N
6.1	1.00	-	-	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N
7	2.13	0.00	1.00	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N
7.1	2.13	-	-	-	- Cotici erbosi	N	-	-	N

Calcolo n.2

Pendenza [%]	0.10	Numero di fronde	0.48
Portata [m³/s]	750.00	Sezione [m²]	247.85
Livello [m]	5.57	Contorno bagnato [m]	62.82
Velocità media [m/s]	3.03	Raggio idraulico [m]	3.95

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m²]	tau amm [N/m²]	GeoFil
1	8.21	0.34	1.00	-	-	N	4.21	10.00	N
1.1	8.21	-	-	-	- Cotici erbosi	N	4.21	10.00	N
2	1.00	0.55	1.00	-	- Cotici erbosi	N	5.62	10.00	N
2.1	1.00	-	-	-	- Cotici erbosi	N	5.62	10.00	N
3	10.65	2.22	1.00	-	- Rivestimento in calcestruzzo	N	40.99	336.00	N
3.1	10.65	-	-	0.75	- Rivestimento in calcestruzzo	N	40.99	336.00	N
4	33.60	3.31	1.00	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	54.65	38.00	N
4.1	33.60	-	-	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	54.65	38.00	N
5	10.65	2.22	1.00	-	- Rivestimento in calcestruzzo	N	40.99	336.00	N
5.1	10.65	-	-	0.75	- Rivestimento in calcestruzzo	N	40.99	336.00	N
6	1.00	0.55	1.00	-	- Cotici erbosi	N	5.62	10.00	N
6.1	1.00	-	-	-	- Cotici erbosi	N	5.62	10.00	N
7	2.13	0.32	1.00	-	- Cotici erbosi	N	4.21	10.00	N
7.1	2.13	-	-	-	- Cotici erbosi	N	4.21	10.00	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m²]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m³]	Tempo [h]	C Shields
Limo e ciottoli (coesivo)	0.0300	38.00	S					
Cotici erbosi	0.0400	10.00	S					
Rivestimento in calcestruzzo	0.0277							

La mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo si riferisce alla sola portata massima transitabile in sezione, mentre per il dato di portata media mensile non si verificano tensioni superiori ai valori ammissibili per i materiali presenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 22 di 28				

7 CONCLUSIONI

Come anticipato in premessa la presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Canale Muzza, necessarie a definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio ϕ_e 30” posta ad una profondità di circa 1,30 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell'azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che le tensioni tangenziali generate dalla portata media mensile sono inferiori a quelle considerate ammissibili per i materiali e le finiture presenti; la mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo nel caso della portata massima transitabile deve ritenersi limitata al periodo di deflusso di una portata eccezionale, e pertanto i relativi effetti sono ricompresi nei coefficienti di sicurezza utilizzati per le verifiche di cui ai punti precedenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificato in corso d'opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito;
- sarà ripristinato il rivestimento delle sponde nel tratto interessato dagli scavi per la rimozione della tubazione.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
	Foglio 23 di 28					

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dell'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

- Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:
- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
	Foglio 24 di 28					

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00					N° Doc. Cliente:
	Foglio 25 di 28					

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

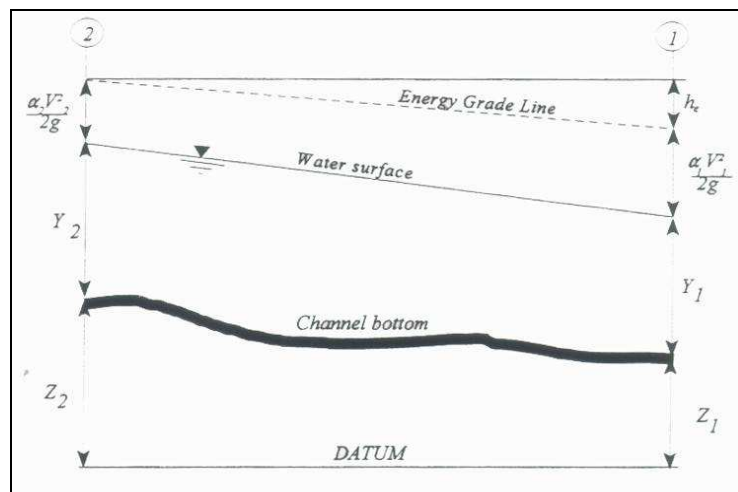


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00					N° Doc. Cliente:
		Foglio	26	di	28	

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la gola di sinistra, il canale di magra e la gola di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00					N° Doc. Cliente:
	Foglio 27 di 28					

x (distanze progressive dall'ascissa x = 0) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

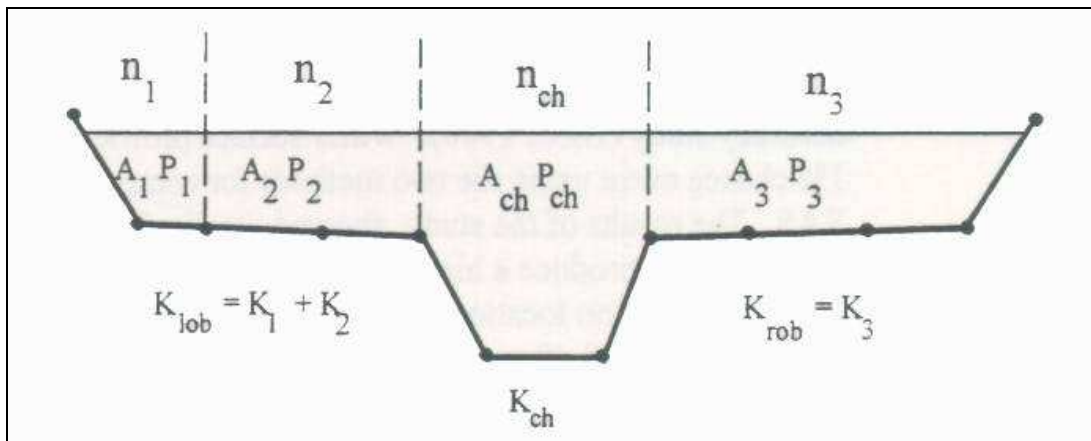


Fig. 2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO CANALE MUZZA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0157	Rev.: 00					N° Doc. Cliente:
	Foglio 28 di 28					

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.

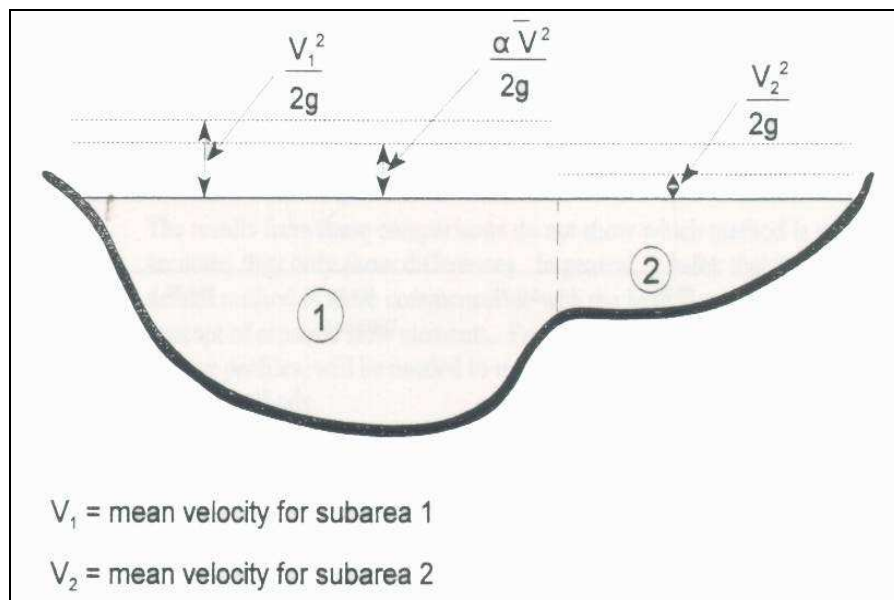


Fig. 3 - Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale



Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione.

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 1 di 28	Data 12-04-13	N° documento Cliente:



RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
RIMOZIONE CONDOTTA
ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE



00	12-04-13	EMMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 2 di 28				

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI	4
3	STUDIO IDROLOGICO.....	5
4	STUDIO IDRAULICO DEL FIUME LAMBRO MERIDIONALE	5
5	VERIFICHE DI STABILITÀ DELL’OPERA.....	11
5.1	Verifiche di stabilità ante operam	11
5.2	Verifiche di stabilità post operam	16
6	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI.....	21
7	CONCLUSIONI	22
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	23

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 3 di 28				

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Fiume Lambro Meridionale, per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio ϕ 30” posta ad una profondità di circa 2,50 m misurata dal punto più depresso del fondo dell’alveo.

L’attraversamento del corso d’acqua è ubicato in una zona distinta in dettaglio ai F. 1 e 6 del NCT del Comune di Landriano (PV).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell’ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc. I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 4 di 28					

2 CARATTERISTICHE GENERALI

Come accennato al paragrafo precedente il Fiume Lambro Meridionale è un corso d'acqua artificiale che si origina nel centro di Milano da uno scaricatore del Naviglio Grande. Nel suo primissimo tratto riceve le acque del Deviatore Olona, e la portata in eccesso del naviglio Pavese, poi, proseguendo nel suo percorso riceve le acque della Roggia Ticinello, emissario della Darsena di Porta Ticinese, e parte delle acque depurate dell'impianto Milano-San Rocco. Scorre poi nelle campagne tra il Pavese ed il Lodigiano, dove riceve la Roggia Taverna e dà origine, in sponda sinistra, alla roggia Bolognina. Riceve il ritorno della roggia Pizzabrasa e la roggia Carlesca entrambe arricchite a Rozzano da acque depurate a San Rocco. Confluisce nel Lambro a Sant'Angelo Lodigiano.



Figura 1: Foto area con localizzazione della zona ove è ubicato l'attraversamento in rimozione

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 5 di 28					

3 STUDIO IDROLOGICO

Come accennato in premessa il Fiume Lambro Meridionale nasce come uno scaricatore di acque reflue e meteoriche e, successivamente, riceve le acque da alcuni canali anch’essi artificiali.

Non risulta quindi possibile effettuare un’analisi idrologica tradizionale, basata quindi sulla determinazione della portata di progetto partendo dall’analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall’analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.).

Trattandosi di un canale artificiale non sono inoltre presenti stazioni idrometriche ufficiali che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transitanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

Alla luce delle considerazioni sopra espresse, si è proceduto alla determinazione del valore di portata da utilizzare per la definizione delle grandezze di interesse con un metodo di tipo speditivo ma sicuramente a favore di sicurezza.

In dettaglio si è ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall’attraversamento.

Di fatto tale valore è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all’asse fluviale. In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene in tal modo:

$$Q_{\max} = 650,0 \text{ mc/sec}$$

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 6 di 28				

4 STUDIO IDRAULICO DEL FIUME LAMBRO MERIDIONALE

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 70 m.

In particolare la sezione dell’attraversamento in rimozione è quella che nel seguito viene indicata con il numero 10, mentre quella dell’attraversamento in progetto è indicata con il n. 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l’altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegate sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d’acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D’ACQUA MINORI (Raggio idraulico \cong 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d’acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D’ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico \cong 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 7 di 28			

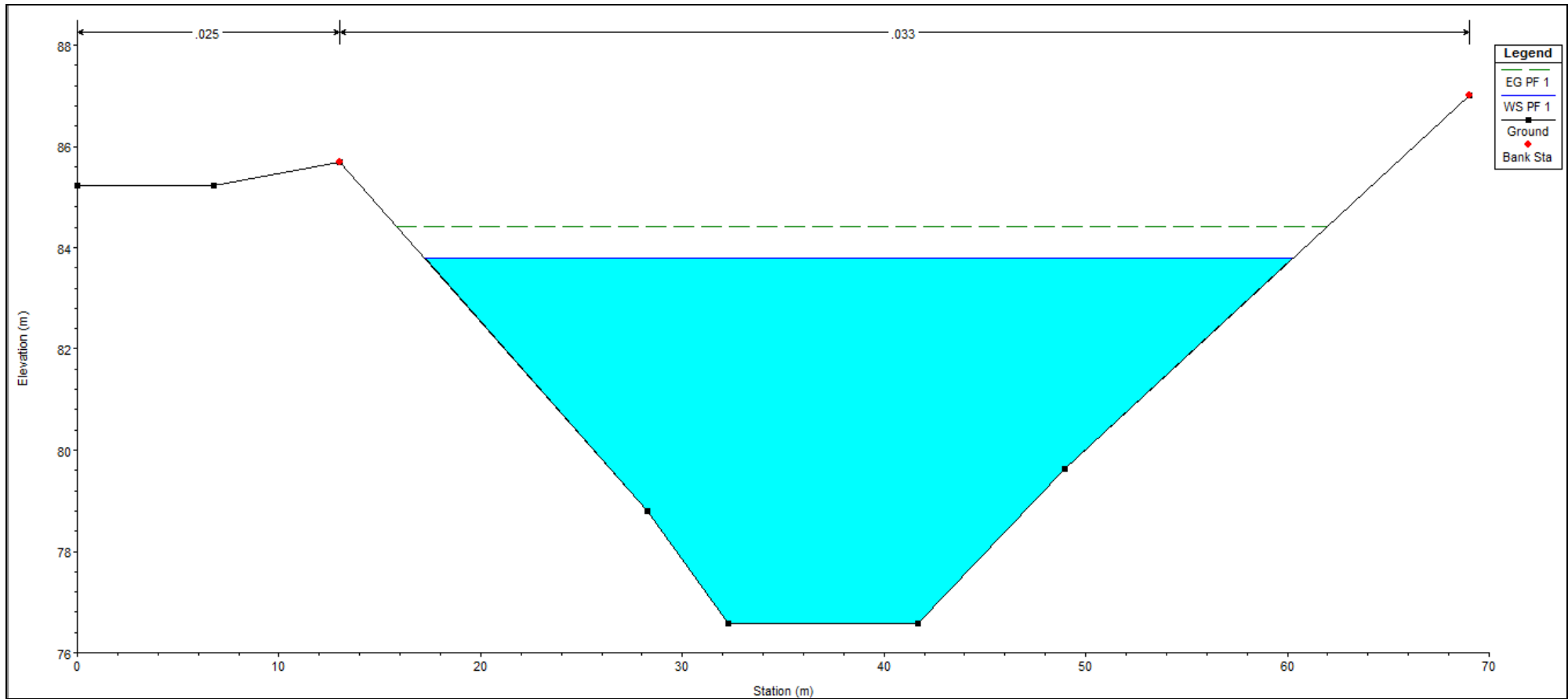


Figura 2.1: sezione all'inizio del tratto modellato

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 8 di 28			

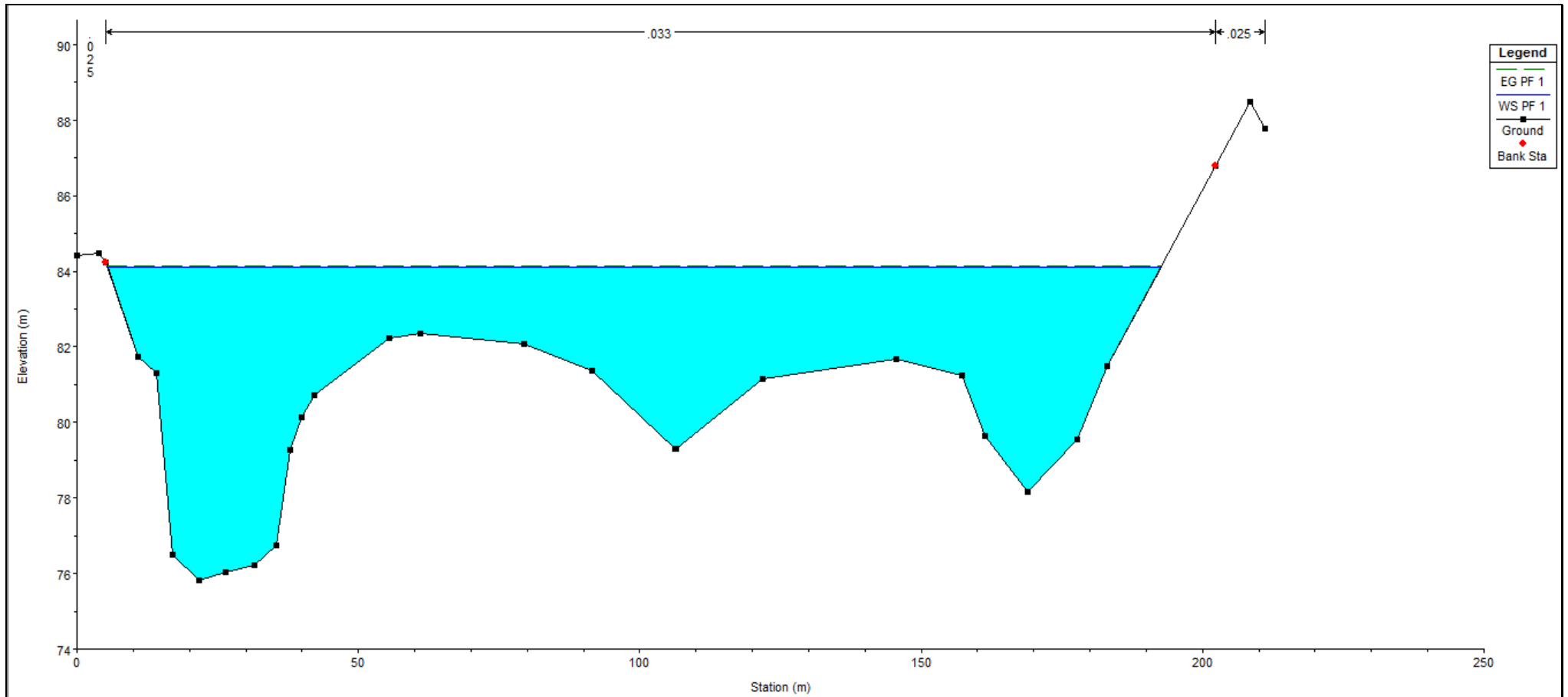


Figura 2.2: sezione trasversale in corrispondenza del nuovo attraversamento in progetto

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 9 di 28			

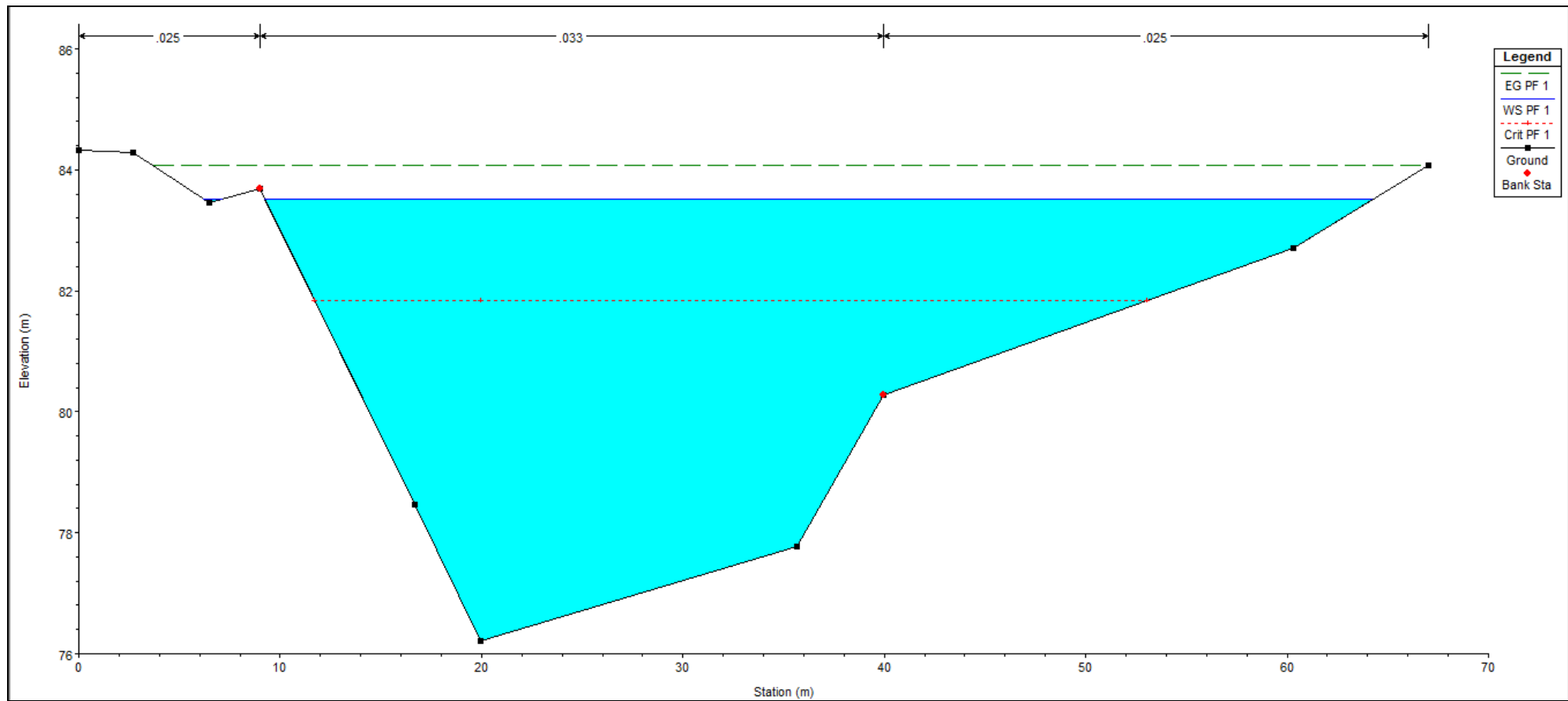


Figura 2.3: sezione trasversale a valle del tratto modellato in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo da rimuovere

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA												
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE												
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMBRO MERIDIONALE												
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00								N° Doc. Cliente:		
J01811-PPL-RE-300-0251				Foglio 10		di 28						

Sezione	Q [mc/sec]	Quota fondo [m.s.m.]	Quota acqua [m.s.m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ alveo [N/mq]	τ tot [N/mq]
30	650	76.57	83.78	75.05	84.41	0.002112	3.52	184.79	43.03	0.54	4.01	83.13	83.13
20	650	75.83	84.1		84.15	0.000206	0.99	659.7	187.06	0.17	3.41	6.89	6.89
10	650	76.22	83.52	74.91	84.07	0.001602	3.43	203.27	56	0.48	3.43	74.79	53.91

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	11	di	28

5 VERIFICHE DI STABILITÀ DELL'OPERA

5.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

10 Top Boundaries
 16 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	10.00	13.15	7.90	1
2	13.15	7.90	23.10	3.05	2
3	23.10	3.05	39.20	2.80	1
4	39.20	2.80	42.30	3.75	1
5	42.30	3.75	50.75	8.35	2
6	50.75	8.35	56.75	8.60	1
7	56.75	8.60	58.00	6.00	1
8	58.00	6.00	59.00	6.00	1
9	59.00	6.00	61.40	7.65	1
10	61.40	7.65	69.60	8.70	1
11	13.15	7.90	13.20	7.65	1
12	13.20	7.65	23.05	2.80	1
13	23.05	2.80	23.10	3.05	1
14	42.30	3.75	42.35	3.50	1
15	42.35	3.50	50.70	8.10	1
16	50.70	8.10	50.75	8.35	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	13.15	7.90
2	50.75	7.90

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
 Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
 Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
 Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251		Foglio 12 di 28				

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced
 Along The Ground Surface Between X = 36.00 ft.
 and X = 39.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 51.00 ft.
 and X = 62.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
 At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

PROBLEM DESCRIPTION FIUME LAMBRO MERIDIONALE - JANBU
verifiche ante opera fiume in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 22 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	36.00	2.85
2	36.73	2.17
3	37.53	1.57
4	38.40	1.06
5	39.31	.65
6	40.26	.35
7	41.24	.14
8	42.23	.05
9	43.23	.06
10	44.23	.18
11	45.20	.41
12	46.14	.75
13	47.04	1.18
14	47.89	1.71
15	48.68	2.33
16	49.39	3.03
17	50.02	3.81
18	50.57	4.65
19	51.02	5.54
20	51.37	6.48
21	51.61	7.45
22	51.75	8.39

FT01 = 1.576
 FT02 = 1.611
 FT03 = 2.045
 FT04 = 2.000
 FT05 = 1.441
 FT06 = 1.766
 FT07 = 1.569
 FT08 = 1.625
 FT09 = 1.430
 FT10 = 1.647

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 13 di 28					

PROBLEM DESCRIPTION FIUME LAMBRO MERIDIONALE - BISHOP
verifiche ante opera fiume in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 22 Coordinate Points

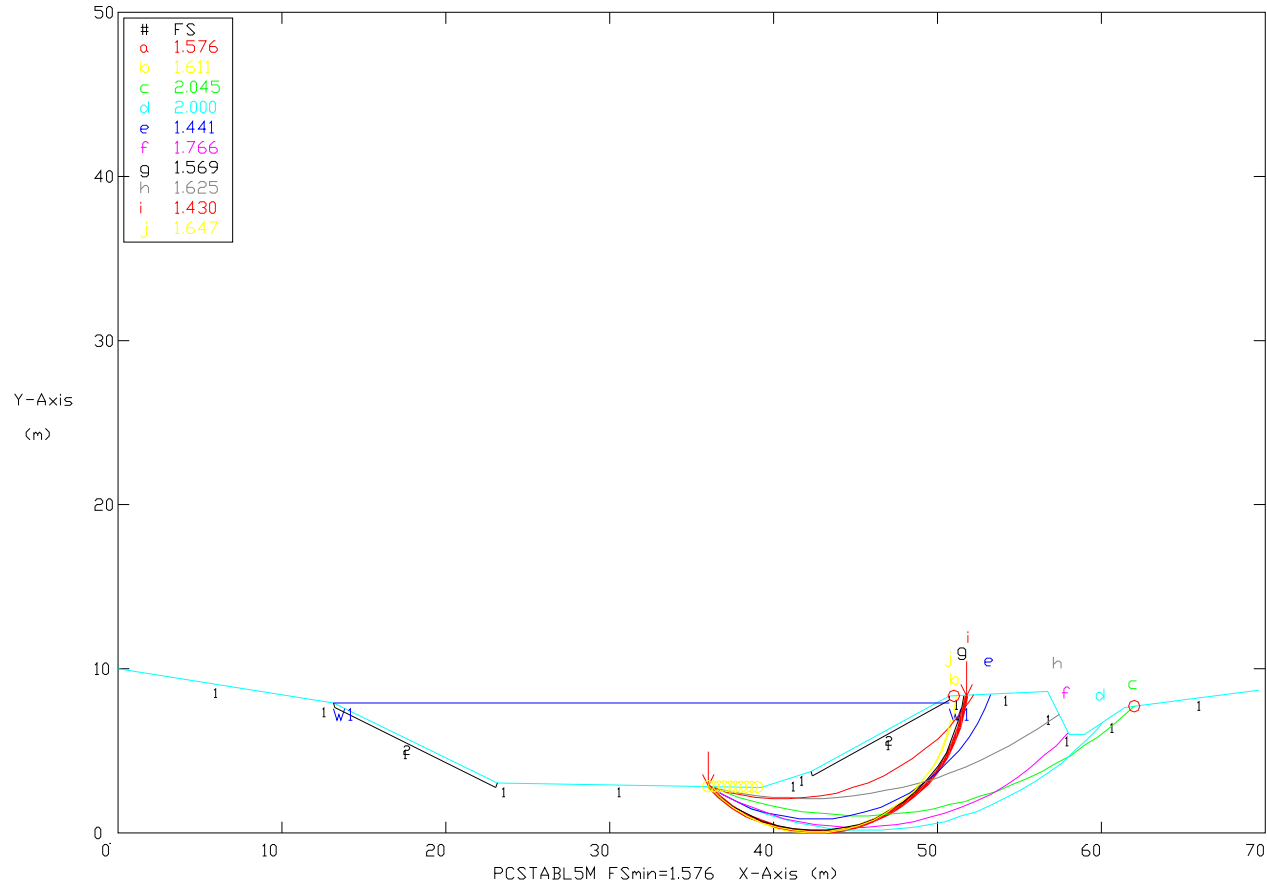
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	36.00	2.85
2	36.73	2.17
3	37.53	1.57
4	38.40	1.06
5	39.31	.65
6	40.26	.35
7	41.24	.14
8	42.23	.05
9	43.23	.06
10	44.23	.18
11	45.20	.41
12	46.14	.75
13	47.04	1.18
14	47.89	1.71
15	48.68	2.33
16	49.39	3.03
17	50.02	3.81
18	50.57	4.65
19	51.02	5.54
20	51.37	6.48
21	51.61	7.45
22	51.75	8.39

Circle Center At X = 42.6 ; Y = 9.2 and Radius, 9.2

- FS01 = 1.974
- FS02 = 2.027
- FS03 = 2.174
- FS04 = 2.203
- FS05 = 1.685
- FS06 = 1.965
- FS07 = 1.961
- FS08 = 1.702
- FS09 = 1.562
- FS10 = 2.071

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 14 di 28					

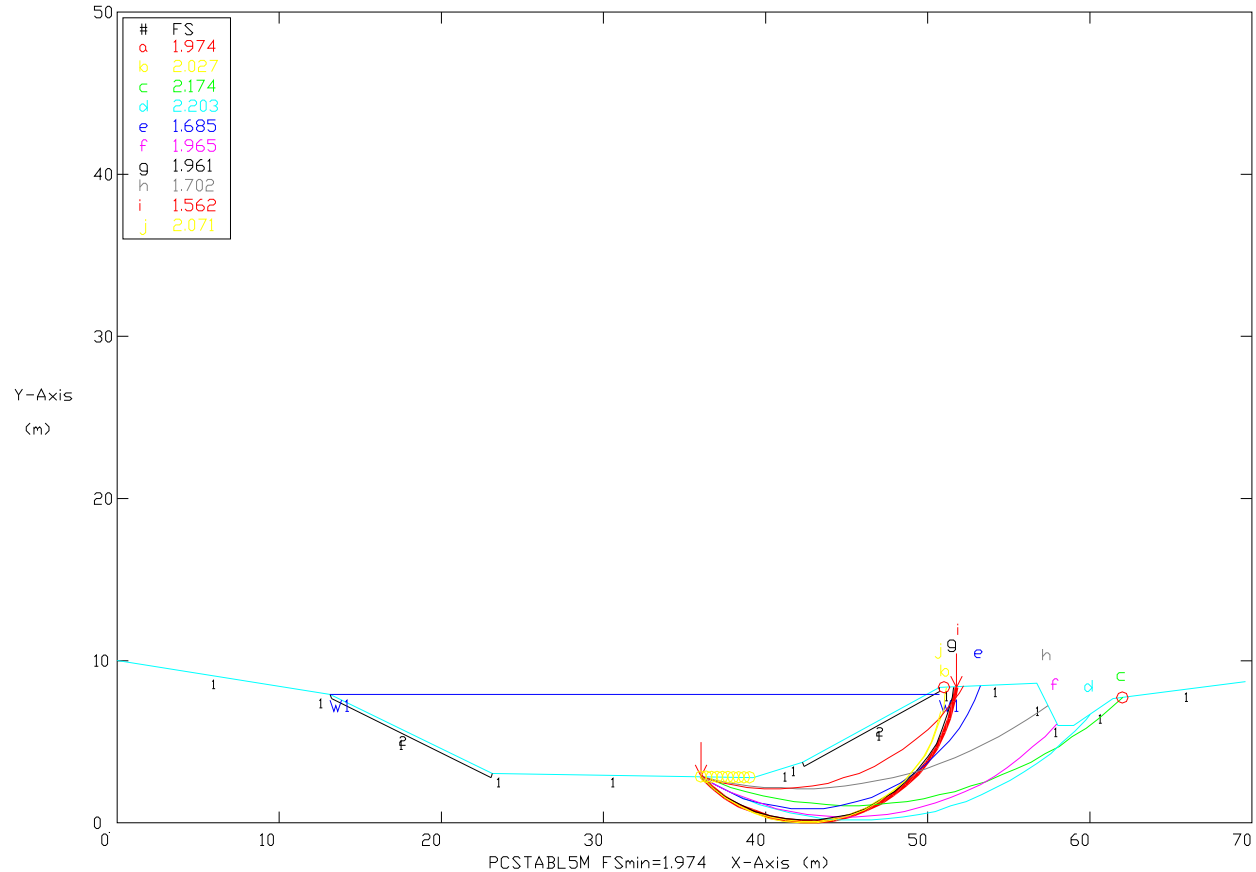
FIUME LAMBRO MERIDIONALE - JANBU verifiche ante opera fiume in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-24-13 7:26pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	w1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	w1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 15 di 28					

FIUME LAMBRO MERIDIONALE - BISHOP verifiche ante opera fiume in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-24-13 7:28pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 16 di 28					

5.2 Verifiche di stabilità post operam

Nel caso di depositi alluvionali (sabbie e ghiaie) ed in altri casi, l'ipotesi di coesione assente appare spesso troppo conservativa. Questi materiali sono infatti caratterizzati da legami di tipo pseudo-coesivo che, per quanto deboli, condizionano in modo netto il loro comportamento meccanico. Di norma l'azione "cementante" è svolta dalla frazione fine contenuta nel terreno granulare, sovraconsolidata per essiccamento, o da ridotte precipitazioni carbonatiche, legate a circolazione di fluidi. Per questi motivi nell'analisi ante operam dei versanti è stata considerato un valore della coesione pari a 4 kPa.

Al fine di modellare le verifiche di stabilità post operam, tenuto conto della natura dei terreni che costituiscono il suolo ed il substrato delle aree interessate dal corso d'acqua in esame, sarà ridotto a 1 kPa il valore della coesione efficace; il disturbo operato dalla fase di scavo sarà infatti recuperato nel tempo attraverso il consolidamento del materiale utilizzato per la chiusura degli scavi.

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

10 Top Boundaries
 16 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	10.00	13.15	7.90	1
2	13.15	7.90	23.10	3.05	2
3	23.10	3.05	39.20	2.80	1
4	39.20	2.80	42.30	3.75	1
5	42.30	3.75	50.75	8.35	2
6	50.75	8.35	56.75	8.60	1
7	56.75	8.60	58.00	6.00	1
8	58.00	6.00	59.00	6.00	1
9	59.00	6.00	61.40	7.65	1
10	61.40	7.65	69.60	8.70	1
11	13.15	7.90	13.20	7.65	1
12	13.20	7.65	23.05	2.80	1
13	23.05	2.80	23.10	3.05	1
14	42.30	3.75	42.35	3.50	1
15	42.35	3.50	50.70	8.10	1
16	50.70	8.10	50.75	8.35	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
---------------	----------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------	----------------------------	-------------------------	-------------------

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE							
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251		Foglio 17 di 28					

1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	13.15	7.90
2	50.75	7.90

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 36.00 ft. and X = 39.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 51.00 ft. and X = 62.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

PROBLEM DESCRIPTION FIUME LAMBRO MERIDIONALE - JANBU verifiche post opera fiume in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 22 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	36.00	2.85
2	36.73	2.17
3	37.53	1.57
4	38.40	1.06
5	39.31	.65
6	40.26	.35
7	41.24	.14
8	42.23	.05
9	43.23	.06
10	44.23	.18
11	45.20	.41
12	46.14	.75
13	47.04	1.18
14	47.89	1.71
15	48.68	2.33
16	49.39	3.03
17	50.02	3.81
18	50.57	4.65
19	51.02	5.54
20	51.37	6.48
21	51.61	7.45
22	51.75	8.39

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 18 di 28					

FS01 = 1.341
 FS02 = 1.359
 FS03 = 1.797
 FS04 = 1.794
 FS05 = 1.214
 FS06 = 1.582
 FS07 = 1.329
 FS08 = 1.376
 FS09 = 1.091
 FS10 = 1.415

PROBLEM DESCRIPTION FIUME LAMBRO MERIDIONALE - BISHOP
verifiche post opera fiume in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 22 Coordinate Points

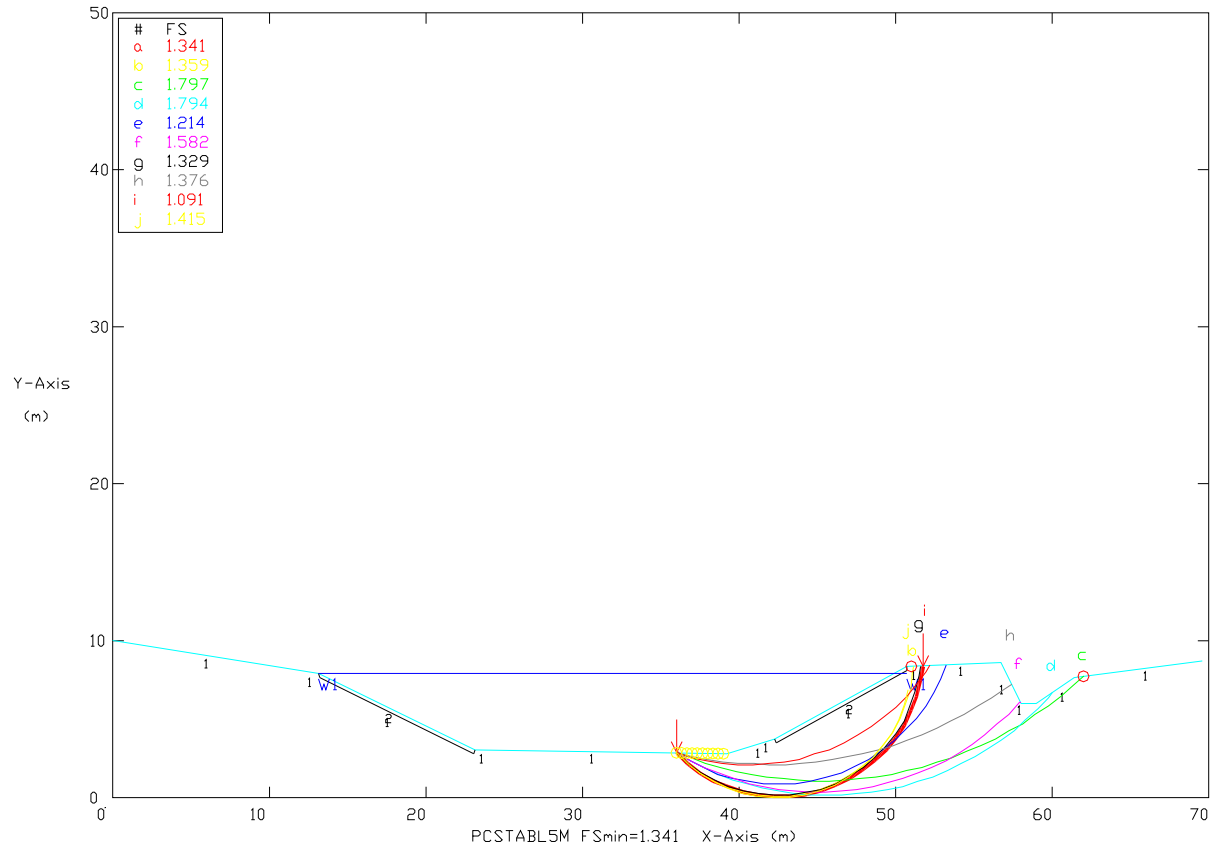
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	36.00	2.85
2	36.73	2.17
3	37.53	1.57
4	38.40	1.06
5	39.31	.65
6	40.26	.35
7	41.24	.14
8	42.23	.05
9	43.23	.06
10	44.23	.18
11	45.20	.41
12	46.14	.75
13	47.04	1.18
14	47.89	1.71
15	48.68	2.33
16	49.39	3.03
17	50.02	3.81
18	50.57	4.65
19	51.02	5.54
20	51.37	6.48
21	51.61	7.45
22	51.75	8.39

Circle Center At X = 42.6 ; Y = 9.2 and Radius, 9.2

FS01 = 1.720
 FS02 = 1.758
 FS03 = 1.918
 FS04 = 1.984
 FS05 = 1.437
 FS06 = 1.766
 FS07 = 1.701
 FS08 = 1.442
 FS09 = 1.199
 FS10 = 1.805

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 19 di 28					

FIUME LAMBRO MERIDIONALE - JANBU verifiche post opera fiume in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-24-13 7:32pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

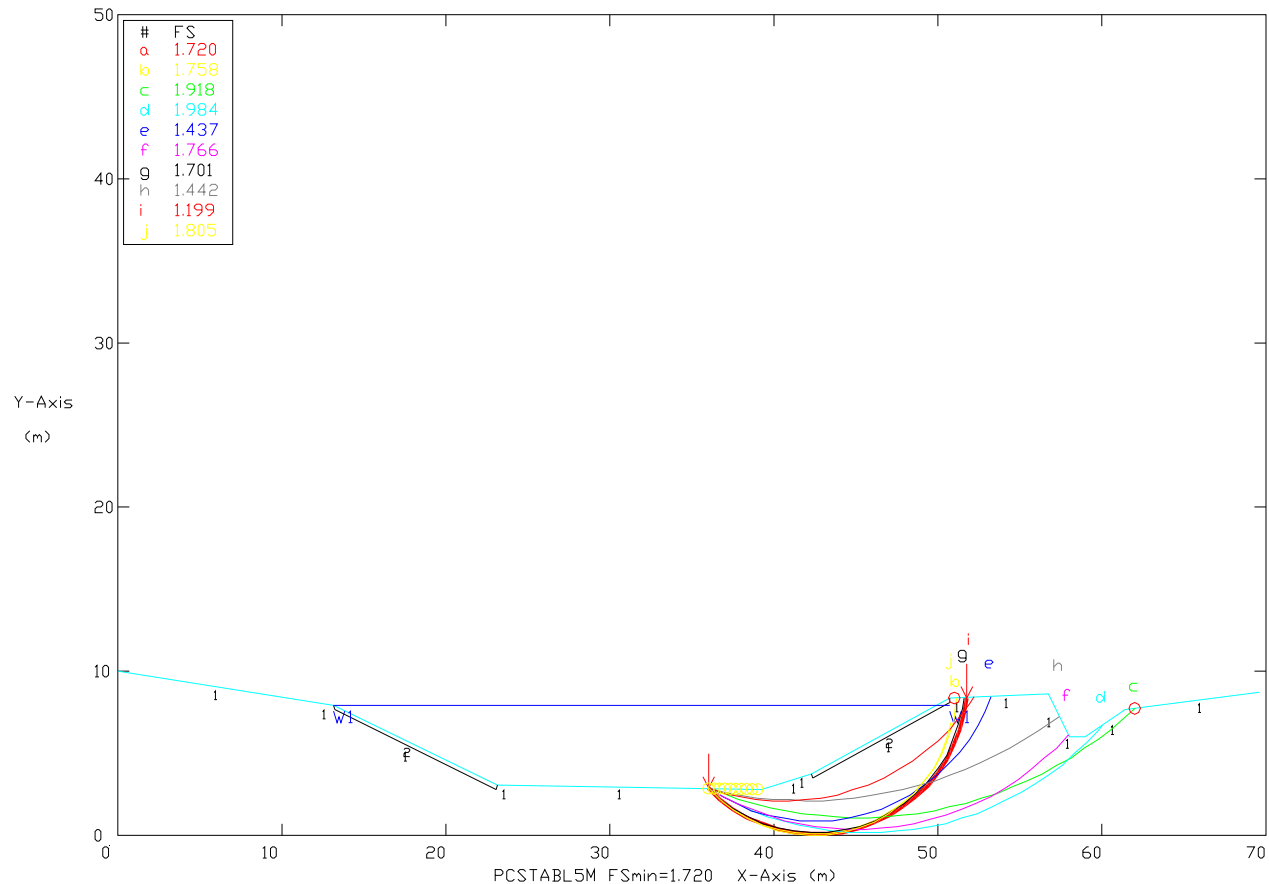
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE

N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
	Foglio 20 di 28					

FIUME LAMBRO MERIDIONALE – BISHOP verifiche post opera fiume in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-24-13 7:35pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0251	Foglio 21 di 28					

6 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI

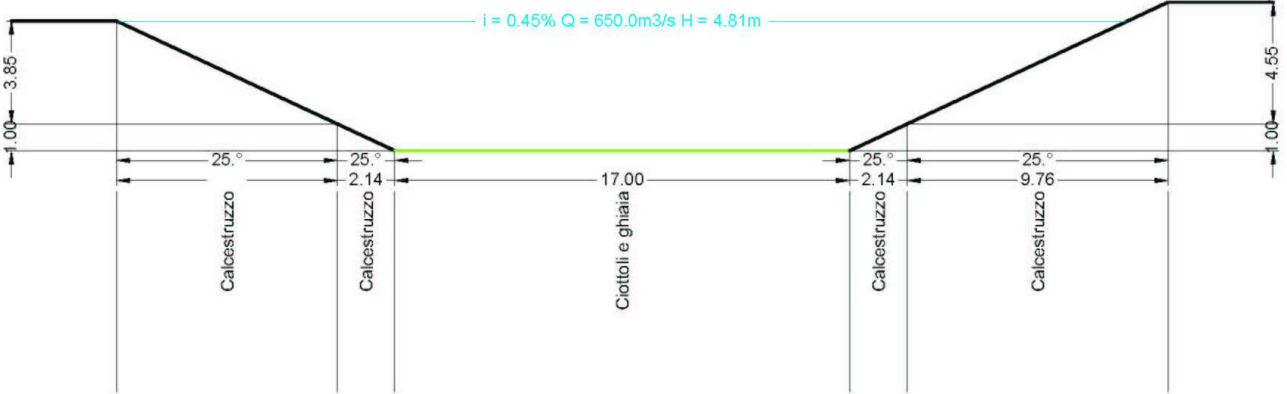
Calcolo n.1

Pendenza [%]		0.45		Numero di fronde		0.84	
Portata [m3/s]		650.00		Sezione [m2]		131.49	
Livello [m]		4.81		Contorno bagnato [m]		39.78	
Velocità media [m/s]		4.94		Raggio idraulico [m]		3.31	

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	9.11	3.22	1.00						
1.1	9.11			0.75	- Calcestruzzo	N	126.18	250.00	N
3	2.37	5.55	1.00						
3.1	2.37			0.75	- Calcestruzzo	N	159.28	250.00	N
4	17.00	5.46	1.00						
4.1	17.00			-	- Ciottoli e ghiaia	N	212.37	52.60	N
5	2.37	5.55	1.00						
5.1	2.37			0.75	- Calcestruzzo	N	159.28	250.00	N
7	10.77	3.22	1.00						
7.1	10.77			0.75	- Calcestruzzo	N	126.18	250.00	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m2]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m3]	Tempo [h]	C Shields
Ciottoli e ghiaia	0.0350	52.60	S					
Calcestruzzo	0.0300							



METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 22 di 28				

7 CONCLUSIONI

Il presente studio è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Fiume Lambro Meridionale, per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio ϕ 30” posta ad una profondità di circa 2,50 m misurata dal punto più depresso del fondo dell’alveo.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell’azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che la mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo nel caso della portata massima transitabile deve ritenersi limitata al periodo di deflusso di una portata eccezionale, e pertanto i relativi effetti sono ricompresi nei coefficienti di sicurezza utilizzati per le verifiche di cui ai punti precedenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificato in corso d’opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito;
- sarà ripristinato il rivestimento delle sponde nel tratto interessato dagli scavi per la rimozione della tubazione.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 23 di 28				

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dell'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:

- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 24 di 28				

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	25	di	28

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

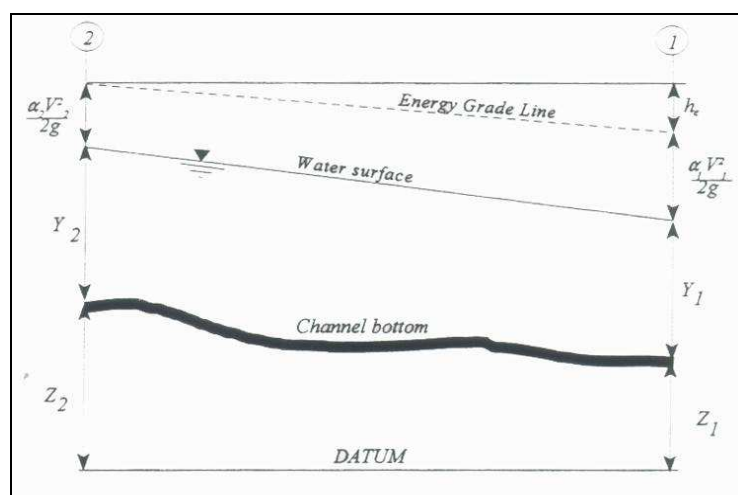


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	26	di	28

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il canale di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE					
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
			Foglio	27	di 28

x (distanze progressive dall'ascissa x = 0) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

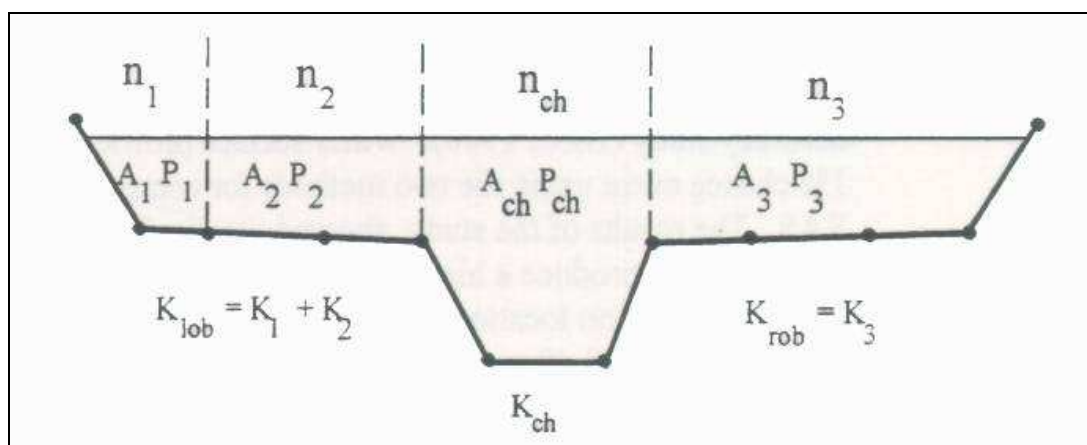


Fig.2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0251	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 28 di 28				

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.

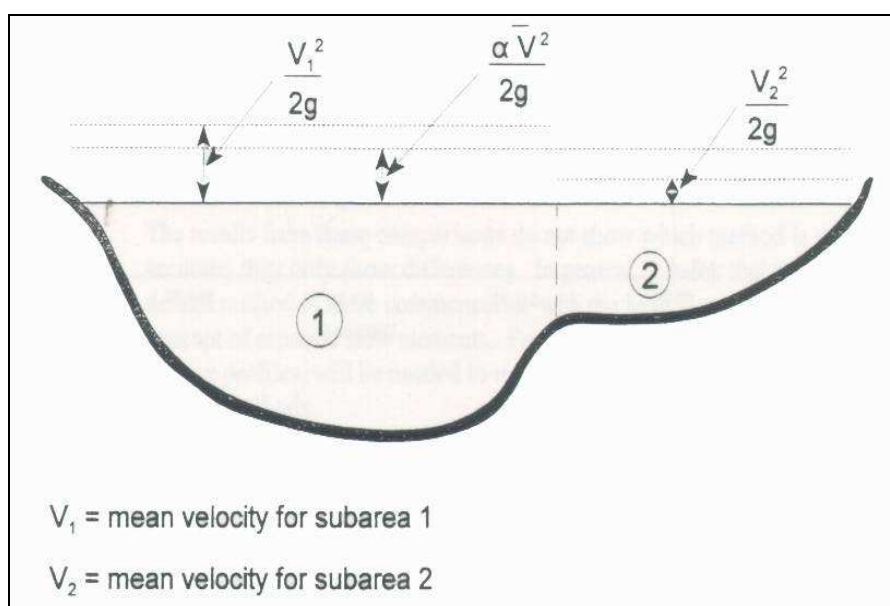


Fig.3 - Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale



Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 1 di 28	Data 12-04-13	N° documento Cliente:



**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 RIMOZIONE CONDOTTA
 ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO**



00	12-04-13	EMMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneri a: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 2 di 28				

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI	4
3	STUDIO IDROLOGICO.....	5
4	STUDIO IDRAULICO DEL NAVIGLIO BEREGUARDO.....	5
5	VERIFICHE DI STABILITÀ DELL’OPERA.....	11
5.1	Verifiche di stabilità ante operam	11
5.2	Verifiche di stabilità post operam	15
6	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI.....	20
7	CONCLUSIONI	22
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	23

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneri a:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 3 di 28					

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Naviglio Bereguardo, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” posta ad una profondità di circa 1,00 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

L’attraversamento del Naviglio Bereguardo è ubicato in una zona distinta in dettaglio al F. 07 del NCT del Comune di Casorate Primo (PV).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell’ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità delle sponde ante e post operam eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneri a:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 4 di 28					

2 CARATTERISTICHE GENERALI

Il Naviglio Bereguardo è una canale artificiale costruito verso la metà del 1400 per garantire il trasporto di merci fino al centro di Milano. Terminato l'utilizzo per i trasporti è divenuto un importante canale di irrigazione per questa parte di pianura lombarda.

Deriva le sue acque dal Naviglio Grande ad Abbiategrasso e termina nel Fiume Ticino a Bereguardo, con una lunghezza di complessivi 19 km, con un dislivello di complessivi 24 metri circa che veniva superato con 12 conche di navigazione che, ancora presenti, fungono da briglie di stabilizzazione del fondo alveo.

La portata derivata è di 11,5 mc/sec e garantisce l'irrigazione di un comprensorio di 7.000 ettari.



Figura 1: Foto area con localizzazione dell'attraversamento in rimozione (da Google Earth 2012)

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneri a: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	5	di	28

3 STUDIO IDROLOGICO

Come accennato in premessa il Naviglio Bereguardo è un opera artificiale che riceve le acque da un canale anch'esso artificiale.

Non risulta quindi possibile effettuare un'analisi idrologica tradizionale, basata sulla determinazione della portata di progetto partendo dall'analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall'analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.).

Trattandosi di un canale artificiale non sono inoltre presenti stazioni idrometriche ufficiali che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transitanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

Alla luce delle considerazioni sopra espresse, si procederà alla determinazione del valore di portata da utilizzare per la definizione delle grandezze di interesse con un metodo di tipo speditivo ma sicuramente a favore di sicurezza.

In dettaglio si è ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall'attraversamento.

Di fatto tale valore è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all'asse fluviale. In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene in tal modo:

$$Q_{\max} = 70,0 \text{ mc/sec}$$

Oltre a tale valore di portata verrà considerato anche quello corrispondente alla portata media derivata dal canale che, alla sezione di presa, risulta:

$$Q_{\text{med}} = 14 \text{ mc/sec}$$

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO							
N° Doc. Ingegneri a:		Rev.: 00				N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0159		Foglio 6		di 28			

4 STUDIO IDRAULICO DEL NAVIGLIO BEREGUARDO

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 120 m.

In particolare la sezione dell'attraversamento è quella che nel seguito viene indicata con il numero 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l'altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegare sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico $\cong 2$ m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico $\cong 4$ m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 7 di 28			

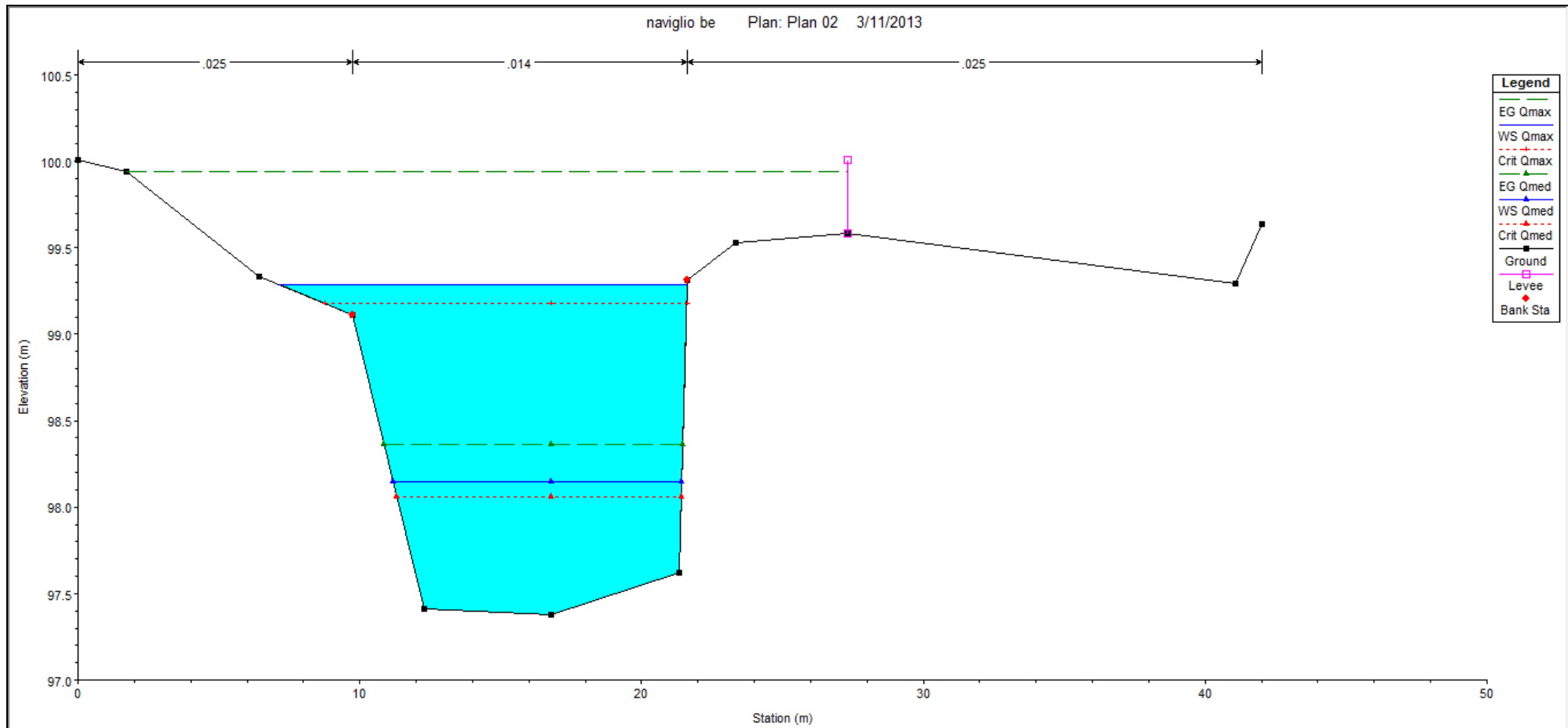


Figura 2.1: sezione trasversale all'inizio del tratto modellato

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 8 di 28			

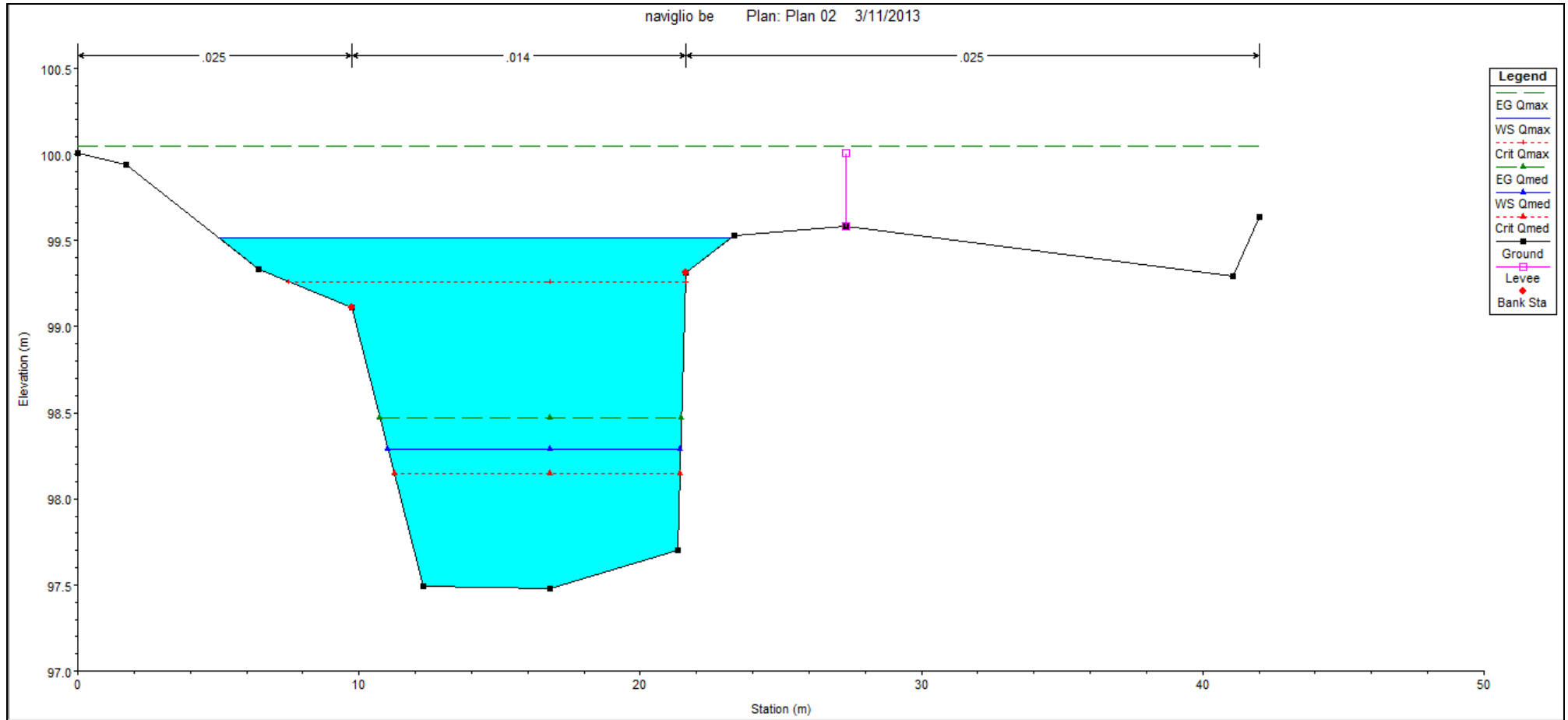


Figura 2.2: sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo da rimuovere

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 9 di 28			

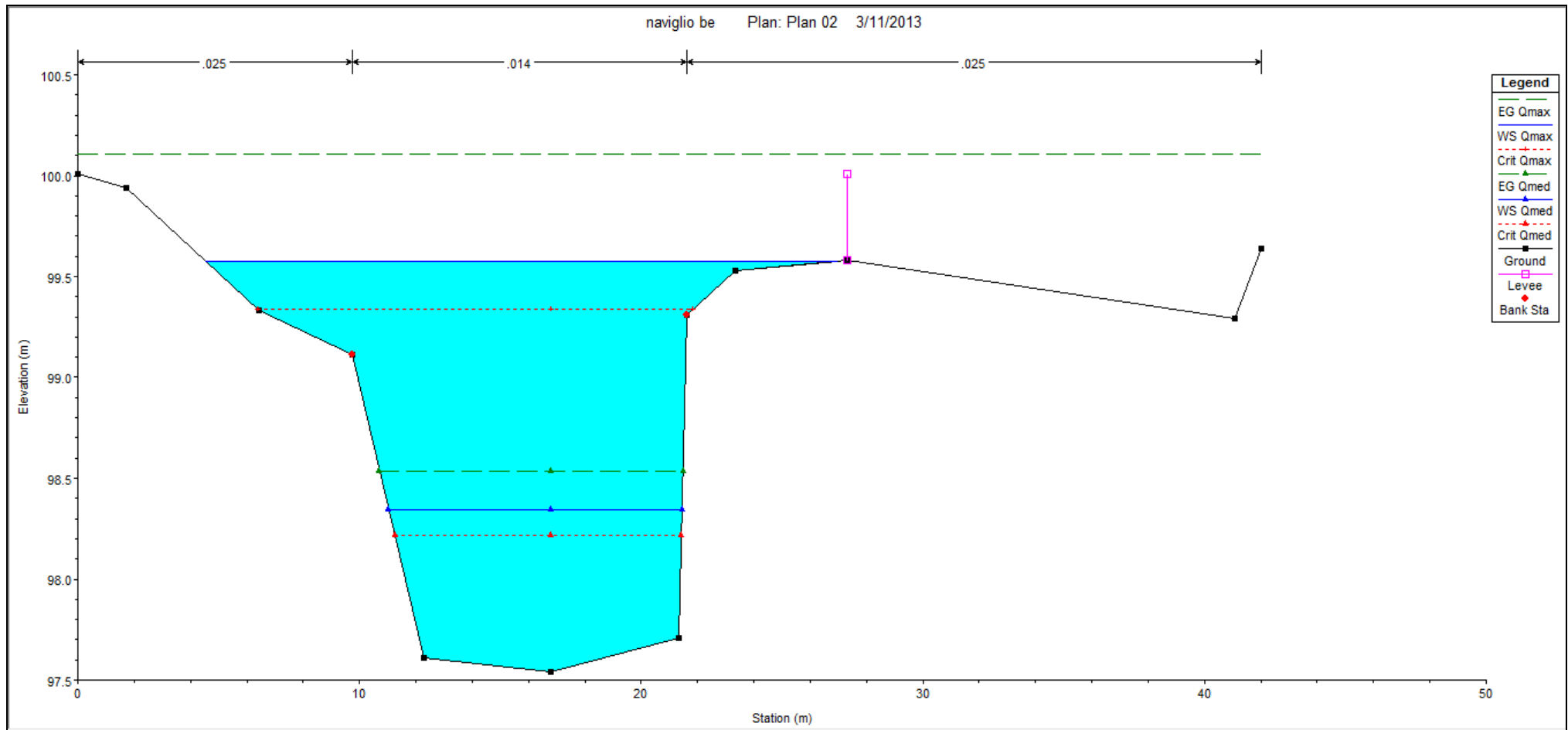


Figura 2.3: sezione trasversale a valle del tratto modellato

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA											
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE											
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO BEREGUARDO											
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00								N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0159		Foglio 10		di 28							

Sezione	Q [mc/sec]	Quota fondo [m.s.m.]	Quota acqua [m.s.m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ alveo [N/mq]
30	70	97.54	99.58	99.34	100.11	0.001138	3.25	23.06	22.47	0.77	0.95	17.45
30	14	97.54	98.35	98.21	98.54	0.001295	1.93	7.25	10.42	0.74	0.65	8.26
20	70	97.48	99.51	99.26	100.05	0.00116	3.26	22.53	18.18	0.78	1.13	17.66
20	14	97.48	98.29	98.14	98.47	0.001261	1.92	7.31	10.41	0.73	0.66	8.12
10	70	97.38	99.28	99.17	99.94	0.001601	3.59	19.68	14.49	0.9	1.2	22.14
10	14	97.38	98.15	98.06	98.37	0.001603	2.08	6.75	10.24	0.82	0.62	9.72

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO					
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 11 di 28				

5 VERIFICHE DI STABILITÀ DELL'OPERA

5.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

6 Top Boundaries
 6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	3.32	4.12	1
2	3.32	4.12	3.33	3.40	1
3	3.33	3.40	6.35	3.20	1
4	6.35	3.20	10.32	3.40	1
5	10.32	3.40	11.41	4.92	1
6	11.41	4.92	14.90	4.90	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	.00	4.90
2	11.41	4.90

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 8.00 ft.
 and X = 10.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 12.00 ft.
 and X = 14.50 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159		Foglio 12 di 28				

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO DI BEREGUARDO - JANBU
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 6 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.56	3.36
2	10.55	3.22
3	11.52	3.44
4	12.35	4.01
5	12.91	4.83
6	12.93	4.91

FS01 = 1.917
FS02 = 1.937
FS03 = 1.953
FS04 = 1.985
FS05 = 1.995
FS06 = 2.000
FS07 = 2.006
FS08 = 2.022
FS09 = 2.025
FS10 = 2.026

PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO DI BEREGUARDO - BISHOP
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 6 Coordinate Points

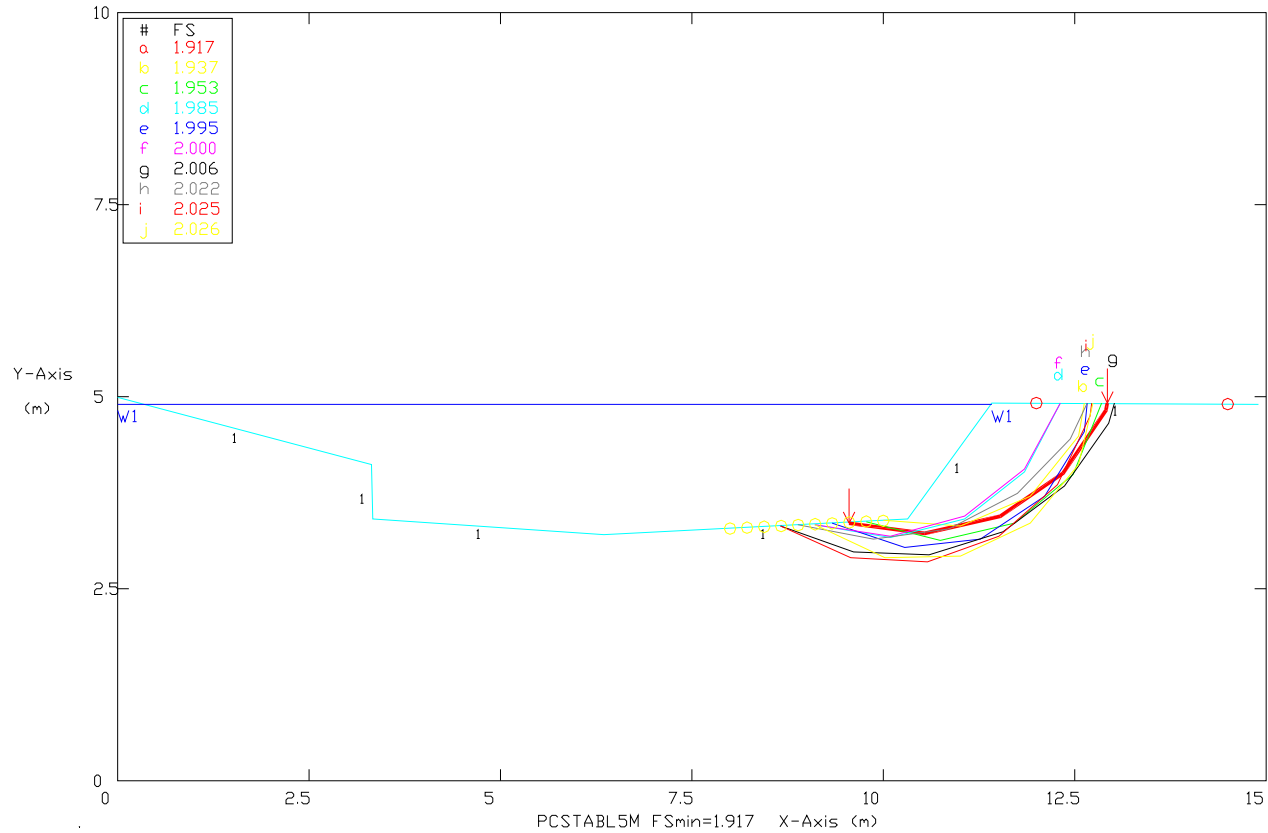
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.56	3.36
2	10.55	3.22
3	11.52	3.44
4	12.35	4.01
5	12.91	4.83
6	12.93	4.91

Circle Center At X = 10.4 ; Y = 5.9 and Radius, 2.7

FS01 = 2.040
FS02 = 2.059
FS03 = 2.117
FS04 = 2.206
FS05 = 2.206
FS06 = 2.212
FS07 = 2.222
FS08 = 2.227
FS09 = 2.232
FS10 = 2.240

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 13 di 28					

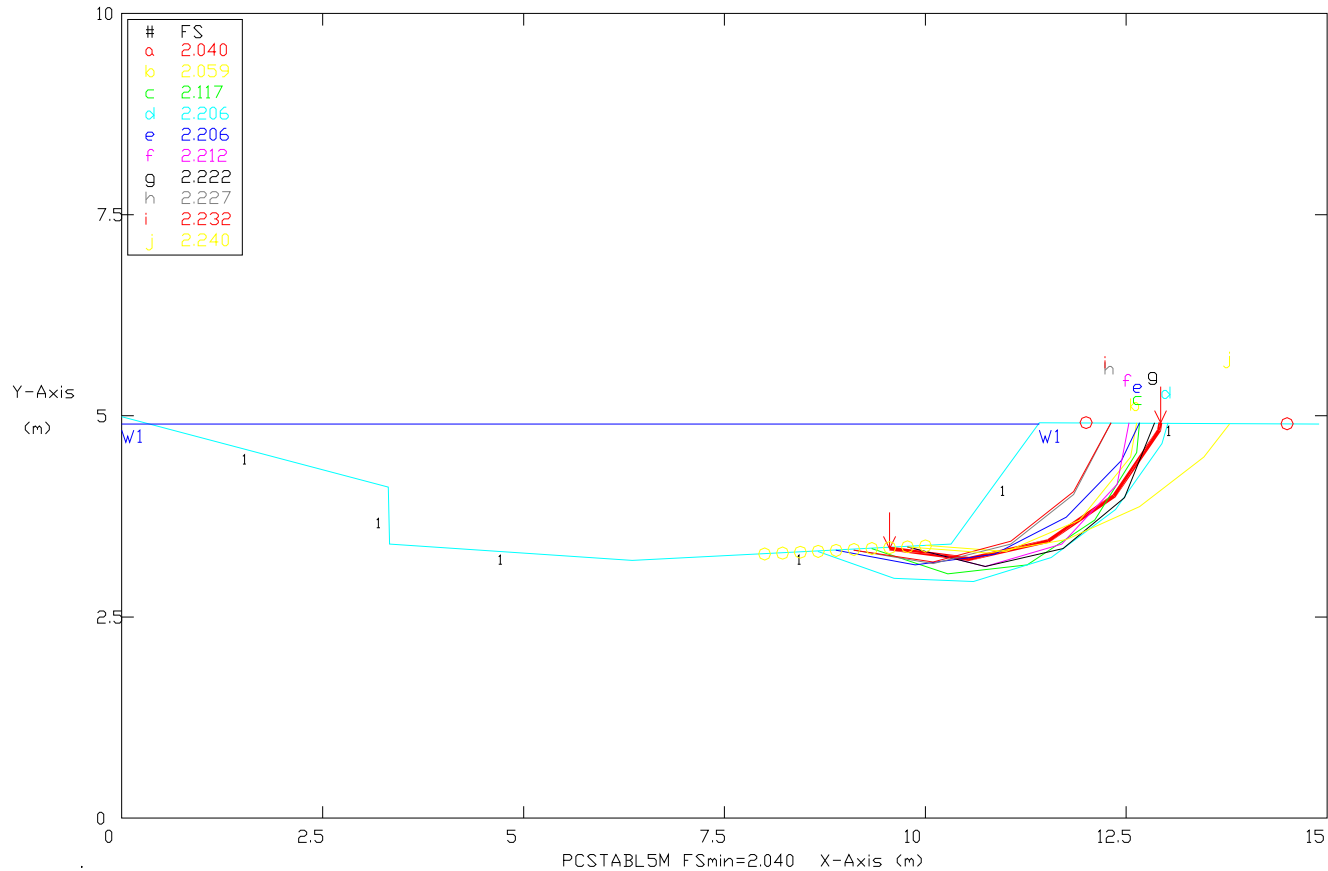
NAVIGLIO DI BEREGUARDO - JANBU verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-26-13 4:34pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 14 di 28					

NAVIGLIO DI BEREGUARDO - BISHOP verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-26-13 4:41pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 15 di 28					

5.2 Verifiche di stabilità post operam

Nel caso di depositi alluvionali (sabbie e ghiaie) ed in altri casi, l'ipotesi di coesione assente appare spesso troppo conservativa. Questi materiali sono infatti caratterizzati da legami di tipo pseudo-coesivo che, per quanto deboli, condizionano in modo netto il loro comportamento meccanico. Di norma l'azione "cementante" è svolta dalla frazione fine contenuta nel terreno granulare, sovraconsolidata per essiccamento, o da ridotte precipitazioni carbonatiche, legate a circolazione di fluidi. Per questi motivi nell'analisi ante operam dei versanti è stata considerato un valore della coesione pari a 4 kPa.

Al fine di modellare le verifiche di stabilità post operam, tenuto conto della natura dei terreni che costituiscono il suolo ed il substrato delle aree interessate dal corso d'acqua in esame, sarà ridotto a 1 kPa il valore della coesione efficace; il disturbo operato dalla fase di scavo sarà infatti recuperato nel tempo attraverso il consolidamento del materiale utilizzato per la chiusura degli scavi.

** PCSTABL5M **
by
Purdue University

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

6 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	3.32	4.12	1
2	3.32	4.12	3.33	3.40	1
3	3.33	3.40	6.35	3.20	1
4	6.35	3.20	10.32	3.40	1
5	10.32	3.40	11.41	4.92	1
6	11.41	4.92	14.90	4.90	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 16 di 28					

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	.00	4.90
2	11.41	4.90

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 8.00 ft. and X = 10.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 12.00 ft. and X = 14.50 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

**PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO DI BEREGUARDO - JANBU
verifiche post opera a canale pieno**

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.11	3.34
2	10.10	3.17
3	11.07	3.41
4	11.85	4.03
5	12.32	4.91

FS01 = 1.358
 FS02 = 1.361
 FS03 = 1.387
 FS04 = 1.395
 FS05 = 1.422
 FS06 = 1.440
 FS07 = 1.448
 FS08 = 1.452
 FS09 = 1.454
 FS10 = 1.494

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159		Foglio 17 di 28				

PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO DI BEREGUARDO - BISHOP
verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 5 Coordinate Points

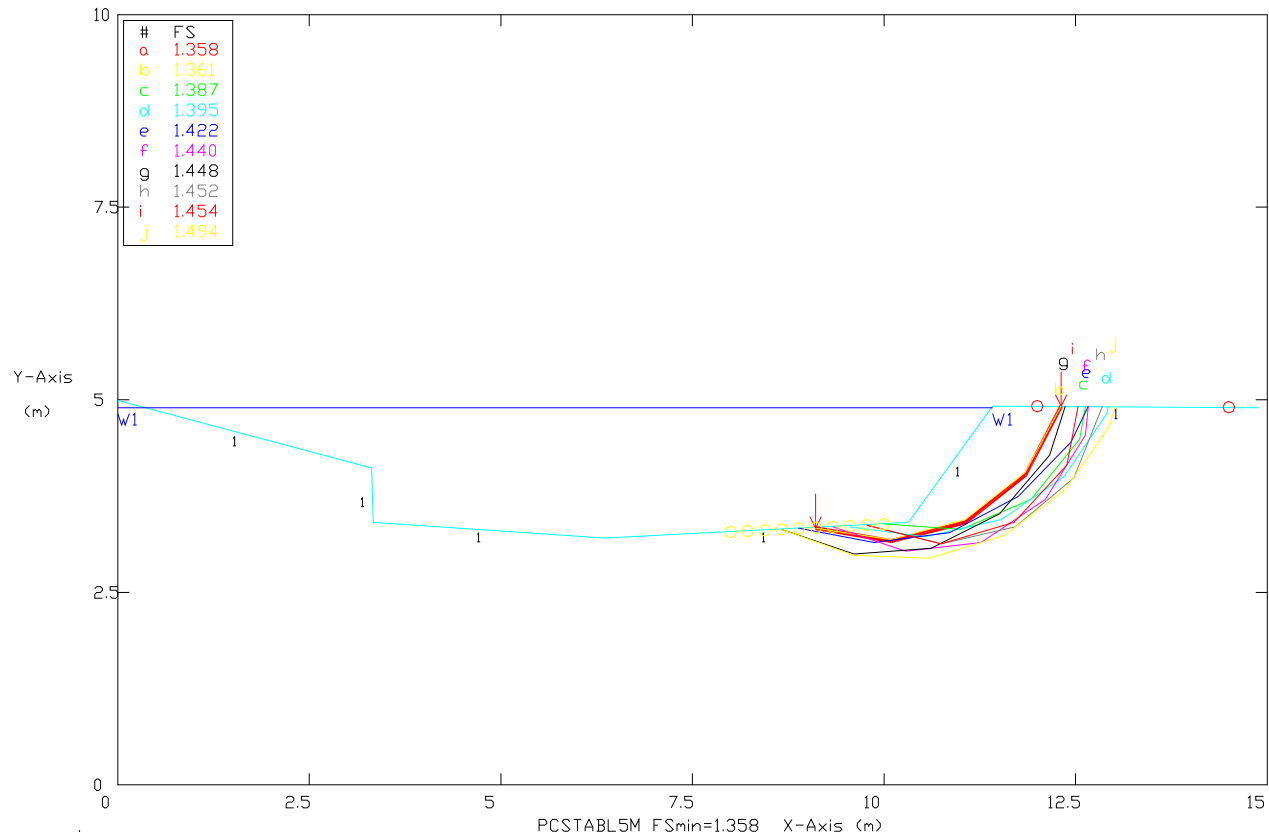
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.11	3.34
2	10.10	3.19
3	11.07	3.44
4	11.85	4.06
5	12.32	4.91

Circle Center At X = 10.0 ; Y = 5.6 and Radius, 2.5

FS01 = 1.365
FS02 = 1.376
FS03 = 1.377
FS04 = 1.412
FS05 = 1.414
FS06 = 1.456
FS07 = 1.459
FS08 = 1.480
FS09 = 1.496
FS10 = 1.529

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 18 di 28					

NAVIGLIO DI BEREGUARDO - JANBU verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-26-13 4:45pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	w1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	w1

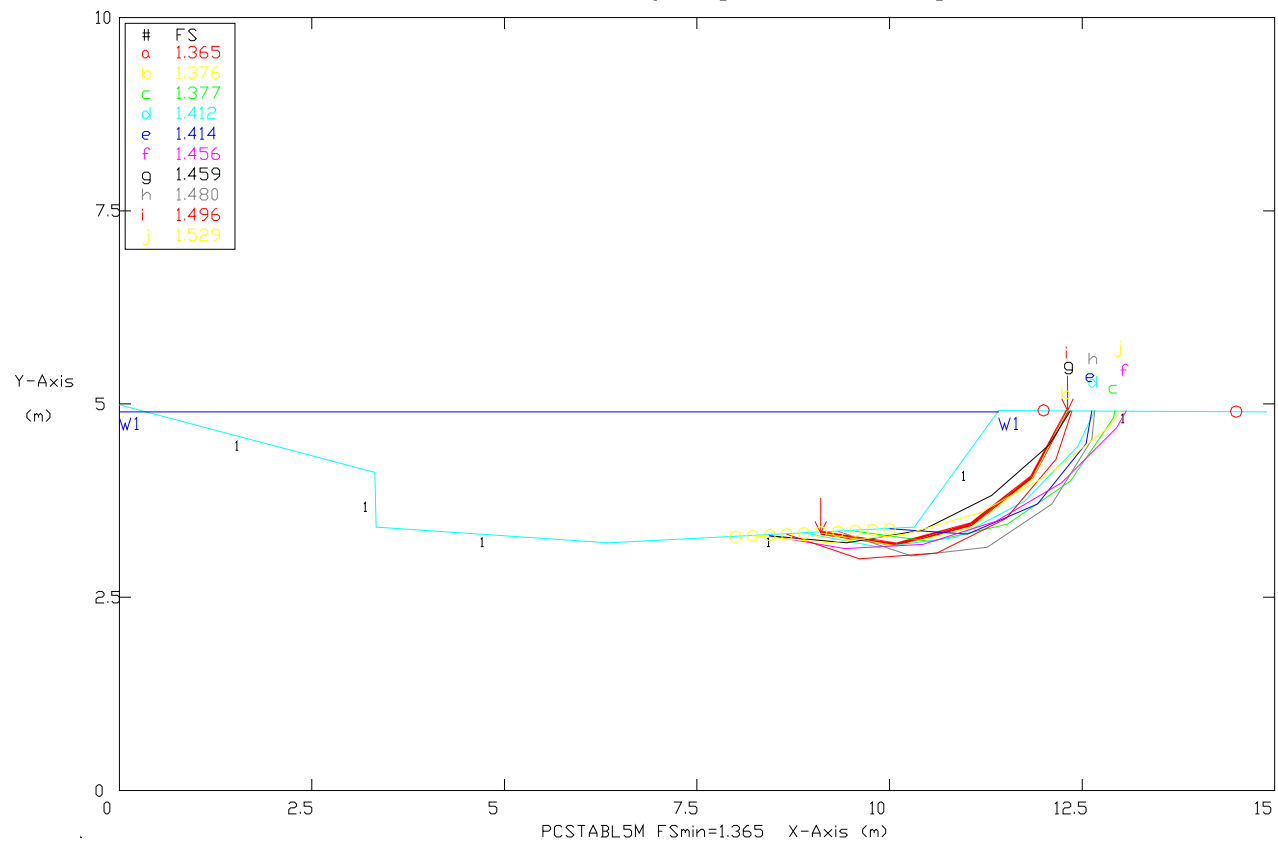
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO

N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 19 di 28					

NAVIGLIO DI BEREGUARDO - BISHOP verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 02-26-13 4:50pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO							
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00		Foglio 20 di 28		N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0159							

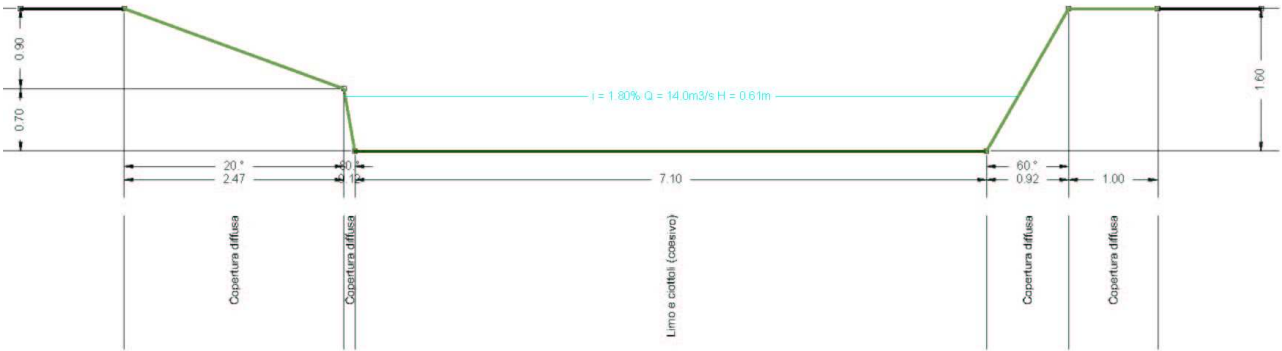
6 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI

Calcolo n.1

Pendenza [%]		1.80		Numero di froude		0.50			
Portata [m ³ /s]		14.00		Sezione [m ²]		9.06			
Livello [m]		1.17		Contorno bagnato [m]		10.52			
Velocità media [m/s]		1.54		Raggio idraulico [m]		0.86			
Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	V _{amm} [m/s]	V _b Materiale [m/s]	V	tau max [N/m ²]	tau amm [N/m ²]	GeoFil
1	2.63	0.41	1.00	-	-	N	6.84	50.00	N
1.1	2.63				- Copertura diffusa				
3	0.71	0.30	1.00	-	- Copertura diffusa	N	17.14	50.00	N
3.1	0.71								
4	7.10	1.65	1.00	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	22.85	38.00	N
4.1	7.10								
5	1.85	0.49	1.00	-	- Copertura diffusa	N	17.14	50.00	N
5.1	1.85								
6	1.00	0.00	1.00	-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
6.1	1.00								

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m ²]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Tempo [h]	C Shields
Limo e ciottoli (coesivo)	0.0300	38.00	S					
Copertura diffusa	0.0400	50.00	S					



**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO

N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.: 00	Foglio 21 di 28	N° Doc. Cliente:
---	----------	-----------------	------------------

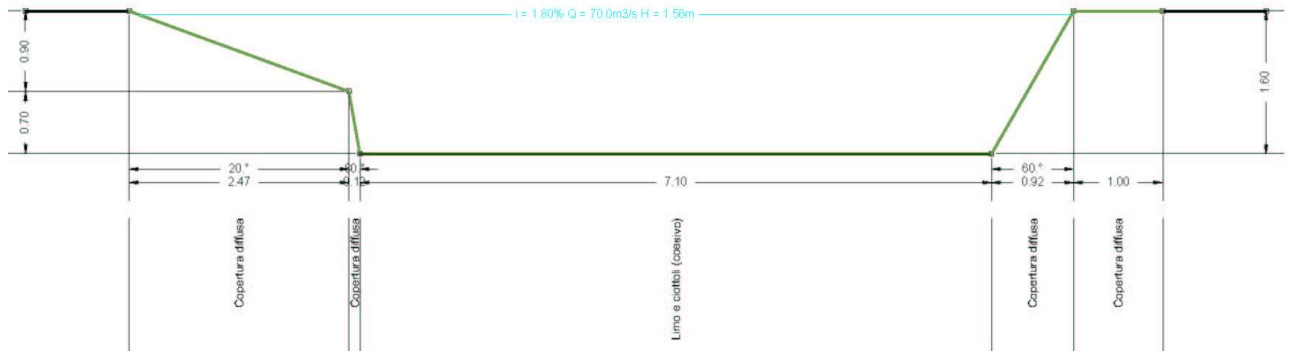
Calcolo n.1

Pendenza [%]	1.80	Numero di fronde	1.55
Portata [m ³ /s]	70.00	Sezione [m ²]	12.95
Livello [m]	1.56	Contorno bagnato [m]	12.13
Velocità media [m/s]	5.40	Raggio idraulico [m]	1.07

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m ²]	tau amm [N/m ²]	GeoFil
1	2.63	1.83	1.00	-	-	N	113.97	50.00	N
1.1	2.63				- Copertura diffusa	N	206.64	50.00	N
3	0.71	1.19	1.00	-	- Copertura diffusa	N	275.52	38.00	N
3.1	0.71				- Copertura diffusa	N	206.64	50.00	N
4	7.10	6.02	1.00	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	-	-	N
4.1	7.10				- Limo e ciottoli (coesivo)	N	-	-	N
5	1.85	1.79	1.00	-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
5.1	1.85				- Copertura diffusa	N	-	-	N
6	1.00	0.00	1.00	-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
6.1	1.00				- Copertura diffusa	N	-	-	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m ²]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Tempo [h]	C Shields
Limo e ciottoli (coesivo)	0.0300	38.00	S					
Copertura diffusa	0.0400	50.00	S					



METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO					
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
Foglio 22 di 28					

7 CONCLUSIONI

Il presente studio ha lo scopo di determinare le caratteristiche idrologiche-idrauliche del Naviglio Bereguardo, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” posta ad una profondità di circa 1,00 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell’azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che le tensioni tangenziali generate dalla portata media misurata alla sezione di presa sono inferiori a quelle considerate ammissibili per i materiali e le finiture presenti; la mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde nel caso della portata massima transitabile deve ritenersi limitata al periodo di deflusso di una portata eccezionale, e pertanto i relativi effetti sono ricompresi nei coefficienti di sicurezza utilizzati per le verifiche di cui ai punti precedenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificato in corso d’opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 23 di 28					

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dell'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:

- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 24 di 28					

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al naviglio principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e naviglio principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAmento NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	25	di	28

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

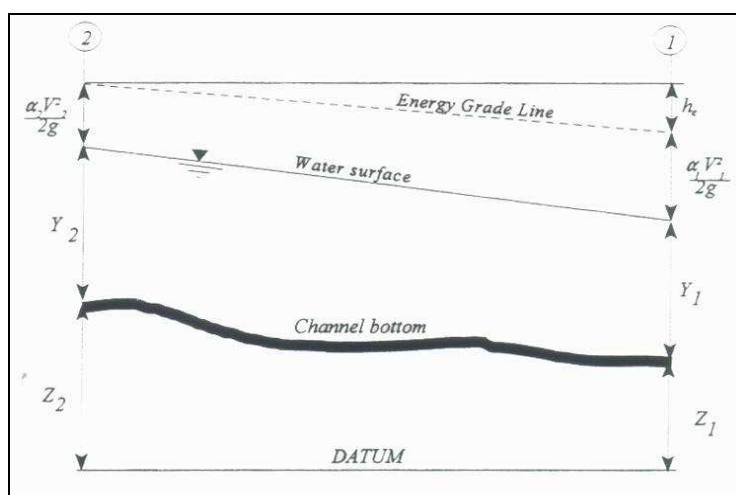


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	26	di	28

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il naviglio di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO					
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0159	Foglio 27 di 28				

x (distanze progressive dall'ascissa x = 0) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel naviglio principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

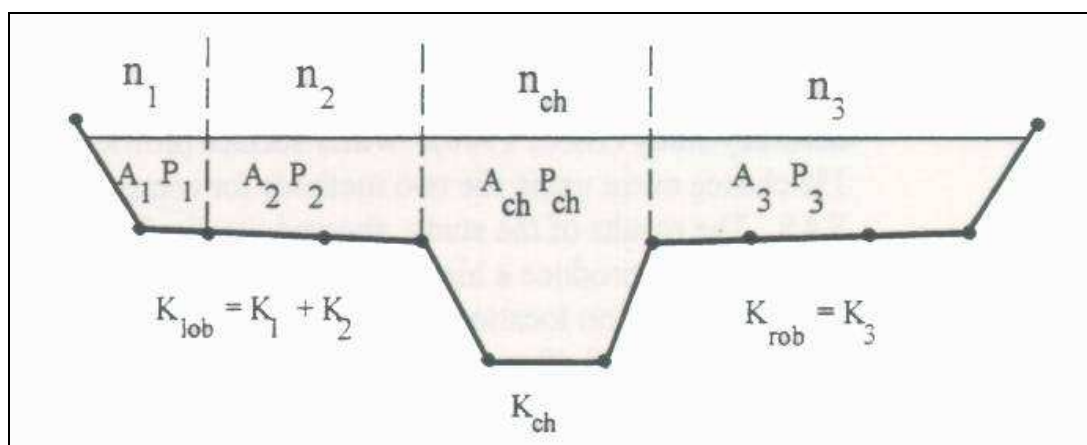


Fig.2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO DI BEREGUARDO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0159	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	28	di	28

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

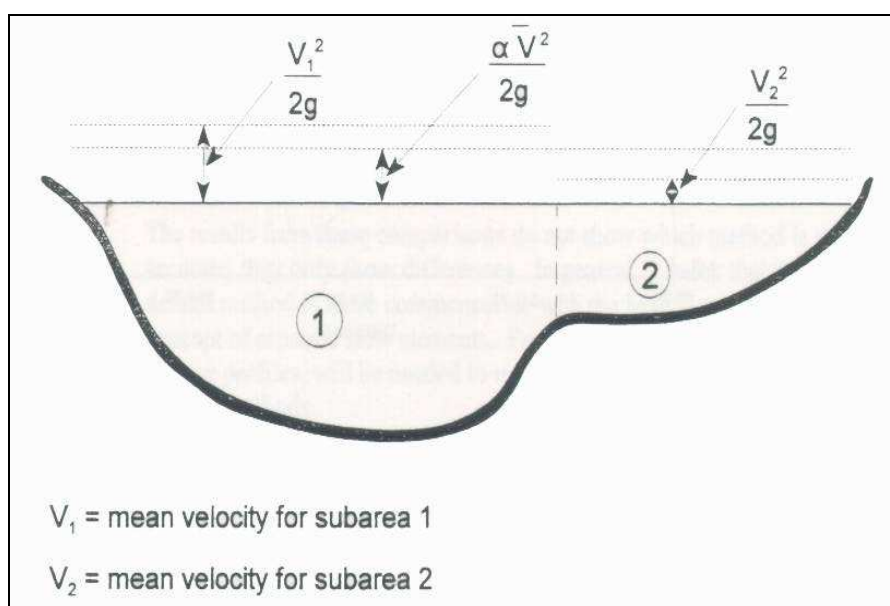
dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, naviglio principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, naviglio principale e golena destra.



Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale



Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 1 di 25	Data 12-04-13	N° documento Cliente:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
RIMOZIONE CONDOTTA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO**

00	12-04-13	EMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	2	di	25

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI E STUDIO IDROLOGICO	4
3	STUDIO IDRAULICO DEL NAVIGLIO LANGOSCO	5
4	VERIFICHE DI STABILITÀ	8
4.1	Verifiche di stabilità ante operam	8
4.2	Verifiche di stabilità post operam	13
5	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI	18
6	CONCLUSIONI	19
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	20

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO					
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
Foglio 3 di 25					

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologico - idrauliche del Naviglio Langosco, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente, costituita da un ponte tubo in acciaio ϕ 30” a spessore maggiorato sostenuto da due plinti laterali in c.a. realizzati in corrispondenza delle sponde che, pertanto, dovranno essere scavate e ripristinate in corrispondenza delle zone interessate dalla rimozione, da cui la necessità delle verifiche di cui alla presente relazione.

L’attraversamento del Canale della è ubicato in una zona distinta in dettaglio ai F. 36 e 37 del NCT del Comune di Gambolò (PV).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell’ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità delle sponde ante e post operam eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 4 di 25					

2 CARATTERISTICHE GENERALI E STUDIO IDROLOGICO

Naviglio Langosco è un canale artificiale, costruito nel XVII secolo con la funzione di irrigare le campagne del novarese e della Lomellina. È derivato dal fiume Ticino a Galliate, ha una lunghezza di oltre 43 chilometri ed una portata media di 20 mc/sec. con una portata massima derivabile all'opera di presa di 280 mc/sec

Termina nel territorio del Comune di Gambolò alimentando una serie di rogge minori.

Stante la sua natura di opera artificiale, non risulta quindi possibile effettuare un'analisi idrologica tradizionale, basata sulla determinazione della portata di progetto partendo dall'analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall'analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.).

Trattandosi di un canale artificiale non sono inoltre presenti stazioni idrometriche ufficiali che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transitanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

Si è quindi ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall'attraversamento.

Di fatto tale valore è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all'asse fluviale. In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene in tal modo:

$$Q_{\max} = 120,0 \text{ mc/sec}$$

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO							
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00				N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0169		Foglio 5		di 25			

3 STUDIO IDRAULICO DEL NAVIGLIO LANGOSCO

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 60 m.

In particolare la sezione dell’attraversamento è quella che nel seguito viene indicata con il numero 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l’altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegare sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d’acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D’ACQUA MINORI (Raggio idraulico $\cong 2$ m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d’acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D’ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico $\cong 4$ m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 6 di 25			

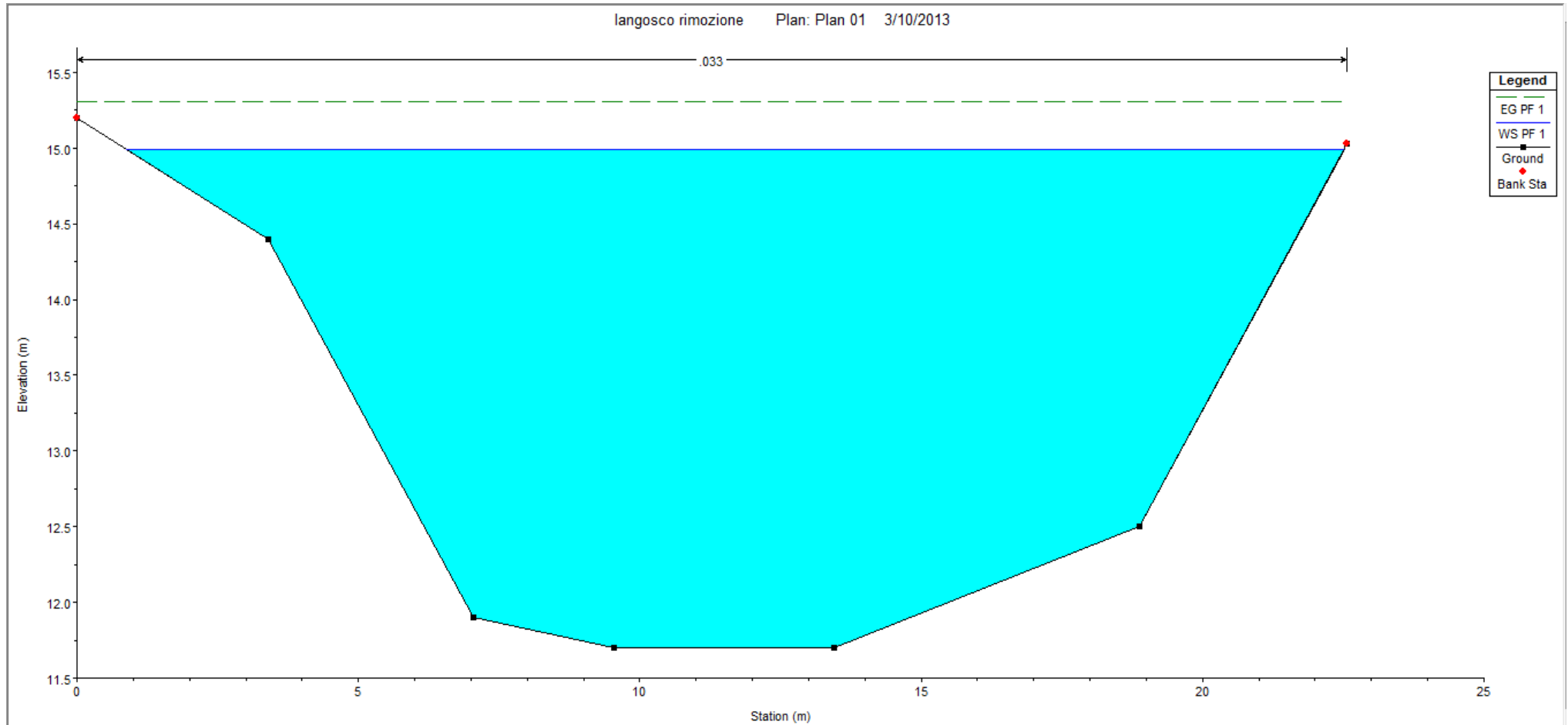


Figura 1: sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento aereo da rimuovere

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA									
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE									
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO									
N° Doc. Ingegneria:		Rev.:	00					N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0169		Foglio 7 di 25							

Sezione	Q [mc/sec]	Quota fondo relativa [m.]	Quota acqua relativa [m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ alveo [N/mq]
30	120	11.78	15.07	14.05	15.38	0.002503	2.47	48.55	21.64	0.53	2.08	51.1
20	120	11.7	14.99		15.3	0.002504	2.47	48.54	21.64	0.53	2.08	51.11
10	120	11.63	14.92	13.9	15.23	0.002504	2.47	48.54	21.64	0.53	2.08	51.11

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 8 di 25					

4 VERIFICHE DI STABILITÀ

4.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

15 Top Boundaries
 21 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	4.10	5.00	1
2	4.10	5.00	5.70	4.95	2
3	5.70	4.95	6.45	4.20	2
4	6.45	4.20	8.00	4.15	2
5	8.00	4.15	9.05	4.10	1
6	9.05	4.10	10.50	3.60	1
7	10.50	3.60	11.95	2.65	1
8	11.95	2.65	12.70	1.70	1
9	12.70	1.70	17.20	1.40	1
10	17.20	1.40	23.20	1.78	1
11	23.20	1.78	24.60	2.45	1
12	24.60	2.45	24.70	3.01	1
13	24.70	3.01	28.10	4.75	1
14	28.10	4.75	31.15	4.90	2
15	31.15	4.90	41.15	5.00	1
16	4.10	5.00	4.11	3.50	1
17	4.11	3.50	7.99	3.50	1
18	7.99	3.50	8.00	4.15	2
19	28.10	4.75	28.11	3.40	1
20	28.11	3.40	31.14	3.40	1
21	31.14	3.40	31.15	4.90	2

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	9.05	4.10
2	28.10	4.10

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
 Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
 Of .030 Has Been Assigned

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 9 di 25					

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 18.00 ft.
and X = 22.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 28.00 ft.
and X = 33.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

The Factor Of Safety For The Trial Failure Surface Defined By The Coordinates Listed Below Is Misleading.

PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO LANGOSCO - JANBU
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Defined By 15 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	18.00	1.45
2	18.96	1.18
3	19.95	1.00
4	20.94	.90
5	21.94	.89
6	22.94	.97
7	23.93	1.13
8	24.90	1.38
9	25.84	1.71
10	26.75	2.12
11	27.62	2.61
12	28.45	3.17
13	29.23	3.80
14	29.94	4.50
15	30.25	4.86

- FS01 = 1.387
- FS02 = 1.734
- FS03 = 1.439
- FS04 = 1.385
- FS05 = 1.722
- FS06 = 1.886
- FS07 = 1.441
- FS08 = 1.452
- FS09 = 1.427
- FS10 = 1.660

PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO LANGOSCO - BISHOP
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

The Factor Of Safety For The Trial Failure Surface Defined By The Coordinates Listed Below Is Misleading.

Failure Surface Defined By 15 Coordinate Points

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO

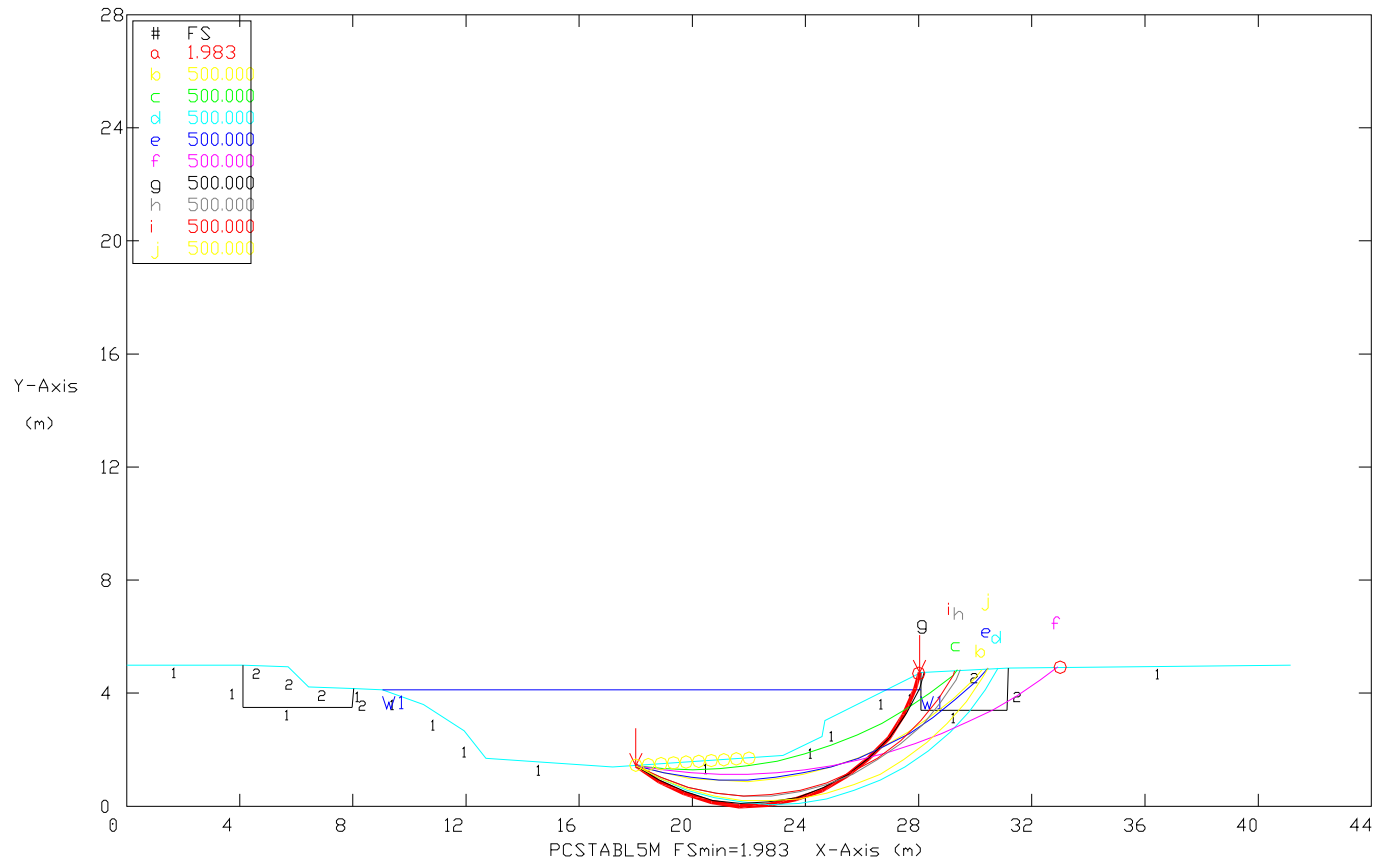
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
Foglio 10 di 25						

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	18.00	1.45
2	18.96	1.18
3	19.95	1.00
4	20.94	.90
5	21.94	.89
6	22.94	.97
7	23.93	1.13
8	24.90	1.38
9	25.84	1.71
10	26.75	2.12
11	27.62	2.61
12	28.45	3.17
13	29.23	3.80
14	29.94	4.50
15	30.25	4.86

FS01 = 1.550
FS02 = 1.885
FS03 = 1.698
FS04 = 1.535
FS05 = 1.789
FS06 = 2.272
FS07 = 1.730
FS08 = 1.751
FS09 = 1.683
FS10 = 1.774

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 11 di 25					

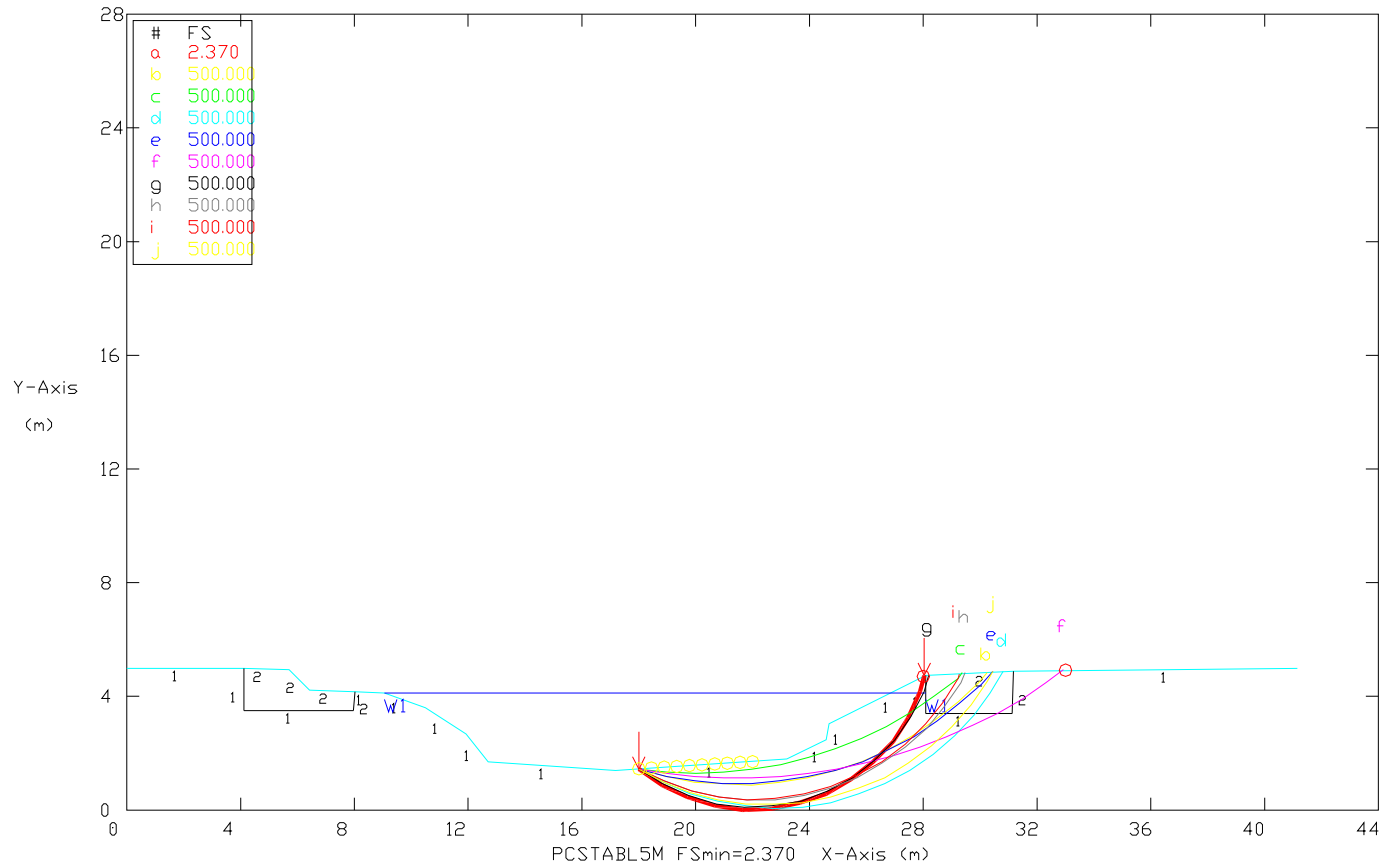
NAVIGLIO LANGOSCO – JANBU verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-02-13 4:00pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 12 di 25					

NAVIGLIO LANGOSCO – BISHOP verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-02-13 4:04pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 13 di 25					

4.2 Verifiche di stabilità post operam

Nel caso di depositi alluvionali (sabbie e ghiaie) ed in altri casi, l'ipotesi di coesione assente appare spesso troppo conservativa. Questi materiali sono infatti caratterizzati da legami di tipo pseudo-coesivo che, per quanto deboli, condizionano in modo netto il loro comportamento meccanico. Di norma l'azione "cementante" è svolta dalla frazione fine contenuta nel terreno granulare, sovraconsolidata per essiccamento, o da ridotte precipitazioni carbonatiche, legate a circolazione di fluidi. Per questi motivi nell'analisi ante operam dei versanti è stata considerato un valore della coesione pari a 4 kPa.

Al fine di modellare le verifiche di stabilità post operam, tenuto conto della natura dei terreni che costituiscono il suolo ed il substrato delle aree interessate dal corso d'acqua in esame, sarà ridotto a 1 kPa il valore della coesione efficace; il disturbo operato dalla fase di scavo sarà infatti recuperato nel tempo attraverso il consolidamento del materiale utilizzato per la chiusura degli scavi.

** PCSTABL5M **
by
Purdue University

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

15 Top Boundaries
15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	4.10	5.00	1
2	4.10	5.00	5.70	4.95	1
3	5.70	4.95	6.45	4.20	1
4	6.45	4.20	8.00	4.15	1
5	8.00	4.15	9.05	4.10	1
6	9.05	4.10	10.50	3.60	1
7	10.50	3.60	11.95	2.65	1
8	11.95	2.65	12.70	1.70	1
9	12.70	1.70	17.20	1.40	1
10	17.20	1.40	23.20	1.78	1
11	23.20	1.78	24.60	2.45	1
12	24.60	2.45	24.70	3.01	1
13	24.70	3.01	28.10	4.75	1
14	28.10	4.75	31.15	4.90	1
15	31.15	4.90	41.15	5.00	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO							
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 14 di 25						

1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	9.05	4.10
2	28.10	4.10

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .030 Has Been Assigned

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries Of Which The First 0 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	24.70	3.00	27.00	1.80

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 18.00 ft. and X = 22.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 29.00 ft. and X = 31.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

**PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO LANGOSCO - JANBU
verifiche post opera a canale pieno**

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	22.00	1.70
2	22.91	1.30
3	23.89	1.08
4	24.89	1.06
5	25.87	1.24
6	26.80	1.61
7	27.64	2.16
8	28.35	2.86
9	28.91	3.69
10	29.29	4.62

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169		Foglio 15 di 25				

11 29.32 4.81

FS01 = 1.210
 FS02 = 1.219
 FS03 = 1.249
 FS04 = 1.259
 FS05 = 1.264
 FS06 = 1.265
 FS07 = 1.274
 FS08 = 1.280
 FS09 = 1.283
 FS10 = 1.284

PROBLEM DESCRIPTION NAVIGLIO LANGOSCO - BISHOP
verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 11 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	22.00	1.70
2	22.95	1.39
3	23.94	1.23
4	24.94	1.23
5	25.92	1.39
6	26.87	1.70
7	27.76	2.16
8	28.57	2.76
9	29.27	3.47
10	29.84	4.29
11	30.12	4.85

Circle Center At X = 24.4 ; Y = 7.5 and Radius, 6.3

FS01 = 1.380
 FS02 = 1.392
 FS03 = 1.393
 FS04 = 1.408
 FS05 = 1.424
 FS06 = 1.428
 FS07 = 1.428
 FS08 = 1.434
 FS09 = 1.434
 FS10 = 1.442

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO

N° Doc. Ingegneria:

Rev.:

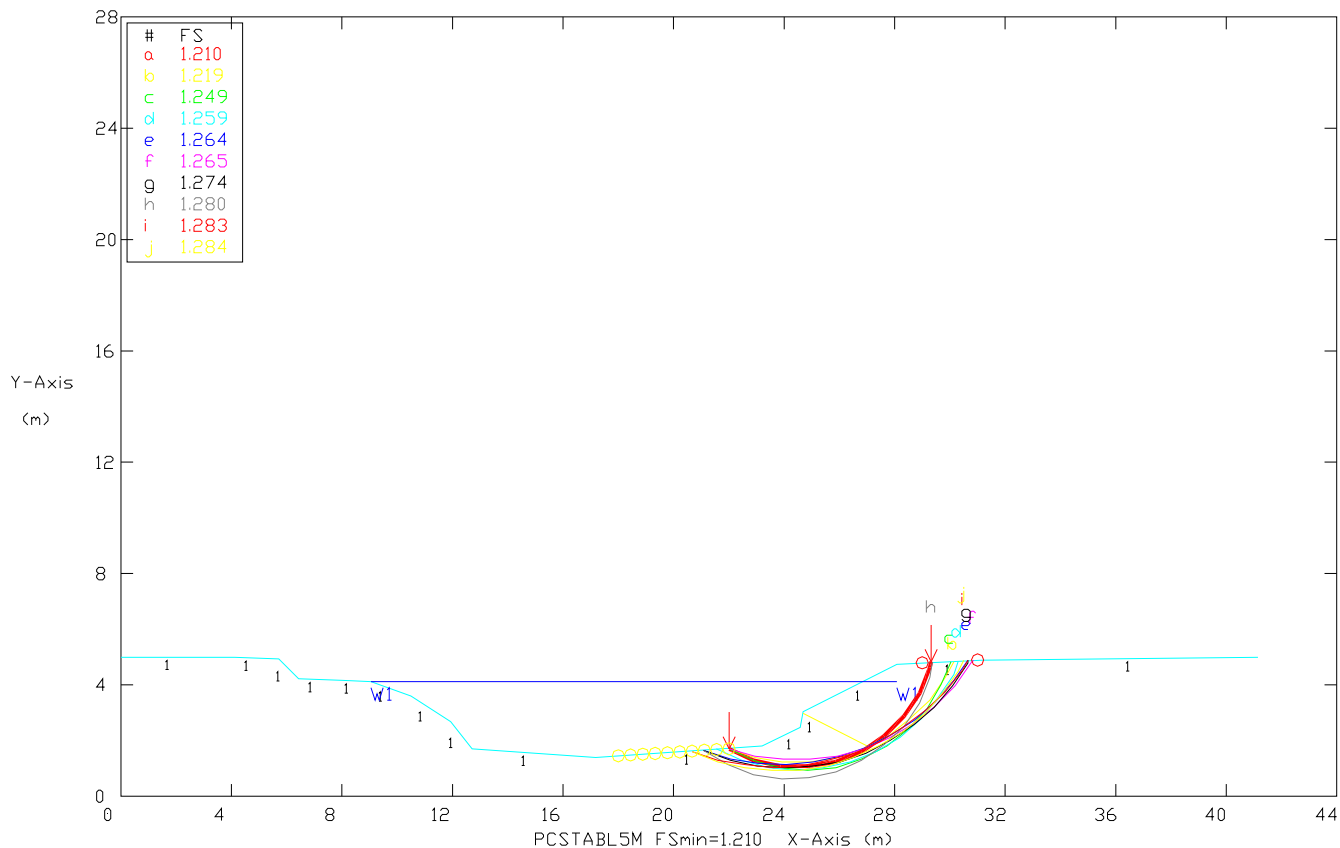
00

N° Doc. Cliente:

J01811-PPL-RE-300-0169

Foglio 16 di 25

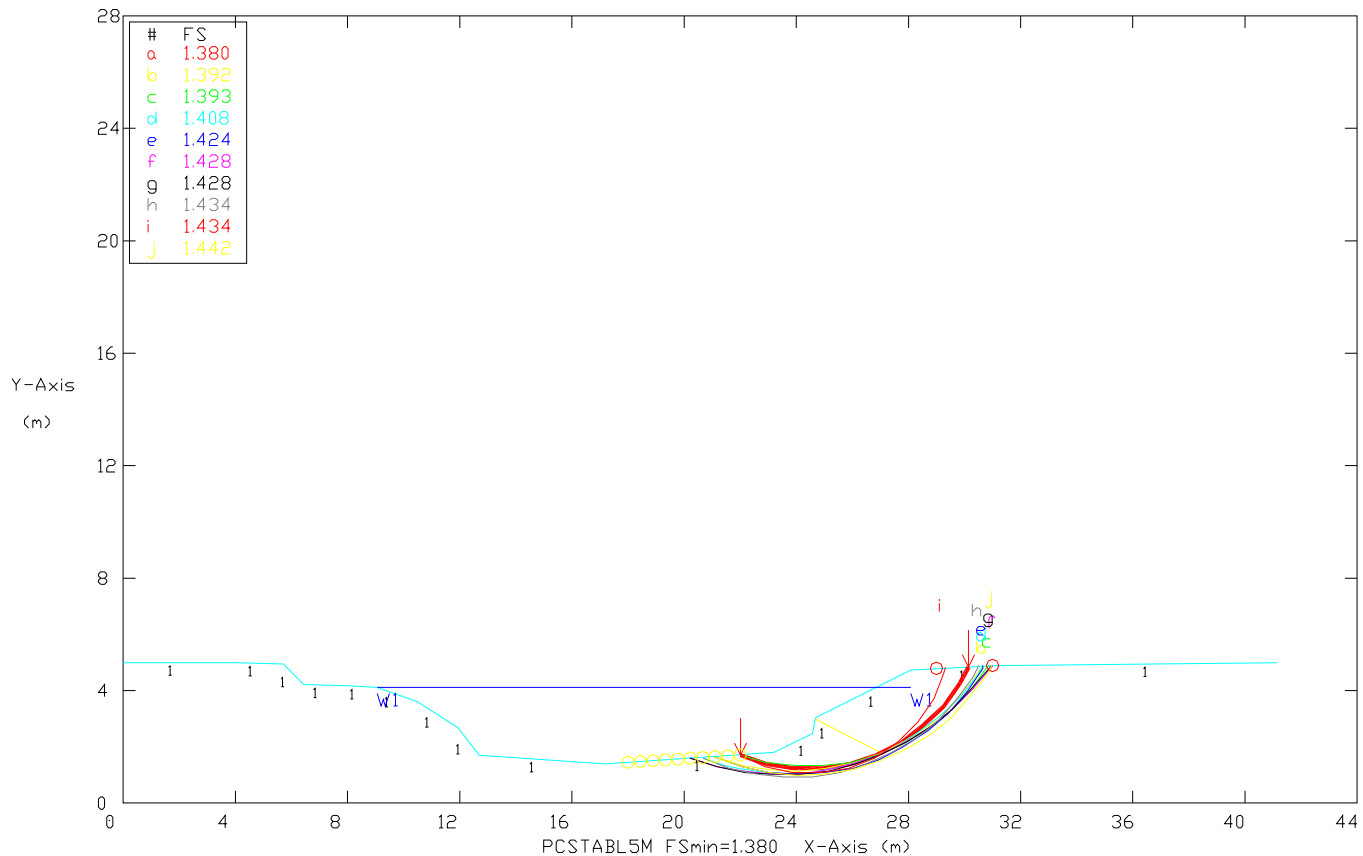
NAVIGLIO LANGOSCO - JANBU verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-03-13 11:59am



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 17 di 25					

NAVIGLIO LANGOSCO – BISHOP verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-03-13 12:04pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr.	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00			N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0169		Foglio 18 di 25				

5 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI

Calcolo n.1

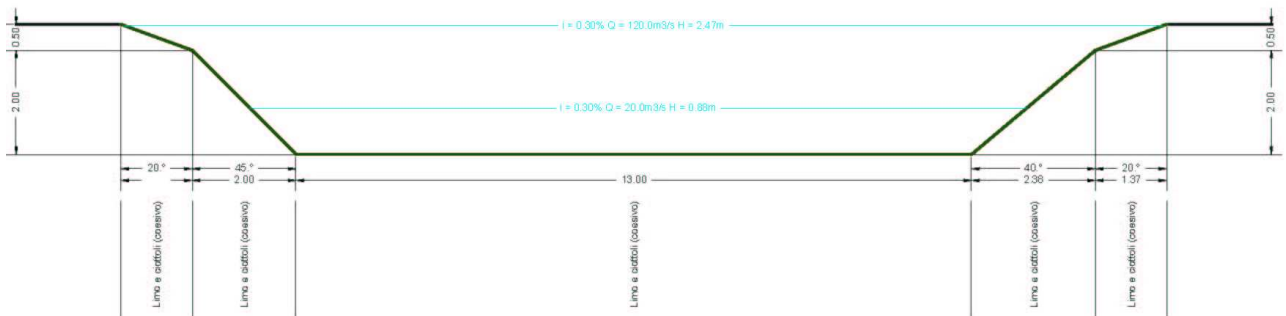
Pendenza [%]		0.30	Numero di fronde		0.57				
Portata [m3/s]		20.00	Sezione [m2]		12.32				
Livello [m]		0.88	Contorno bagnato [m]		15.62				
Velocità media [m/s]		1.62	Raggio idraulico [m]		0.79				
Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	V _{amm} [m/s]	V _b Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	1.46	0.00	1.00						
1.1	1.46			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	-	-	N
3	2.83	0.84	1.00						
3.1	2.83			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	19.47	38.00	N
4	13.00	1.68	1.00						
4.1	13.00			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	25.95	38.00	N
5	3.11	0.89	1.00						
5.1	3.11			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	19.47	38.00	N
7	1.46	0.00	1.00						
7.1	1.46			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	-	-	N

Calcolo n.2

Pendenza [%]		0.30	Numero di fronde		0.70				
Portata [m3/s]		120.00	Sezione [m2]		39.17				
Livello [m]		2.47	Contorno bagnato [m]		21.69				
Velocità media [m/s]		3.06	Raggio idraulico [m]		1.81				
Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	V _{amm} [m/s]	V _b Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	1.46	0.67	1.00						
1.1	1.46			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	10.38	38.00	N
3	2.83	1.87	1.00						
3.1	2.83			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	54.51	38.00	N
4	13.00	3.34	1.00						
4.1	13.00			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	72.68	38.00	N
5	3.11	1.98	1.00						
5.1	3.11			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	54.51	38.00	N
7	1.46	0.67	1.00						
7.1	1.46			-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	10.38	38.00	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m2]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m3]	Tempo [h]	C Shields
Ciottoli e ghiaia	0.0350	52.60	S					
Limo e ciottoli (coesivo)	0.0300	38.00	S					



METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
Foglio 19 di 25						

6 CONCLUSIONI

Come anticipato in premessa la presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologico - idrauliche del Naviglio Langosco, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente, costituita da un ponte tubo in acciaio ϕ 30” a spessore maggiorato sostenuto da due plinti laterali in c.a. realizzati in corrispondenza delle sponde che, pertanto, dovranno essere scavate e ripristinate in corrispondenza delle zone interessate dalla rimozione, da cui la necessità delle verifiche di cui alla presente relazione.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell'azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che le tensioni tangenziali generate dalla portata media mensile sono inferiori a quelle considerate ammissibili per i materiali presenti; la mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde nel caso della portata massima transitabile deve ritenersi limitata al periodo di deflusso di una portata eccezionale, e pertanto i relativi effetti sono ricompresi nei coefficienti di sicurezza utilizzati per le verifiche di cui ai punti precedenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificato in corso d'opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 20 di 25					

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

- Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:
- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0169	Foglio 21 di 25					

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al naviglio principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e naviglio principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	22	di	25

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

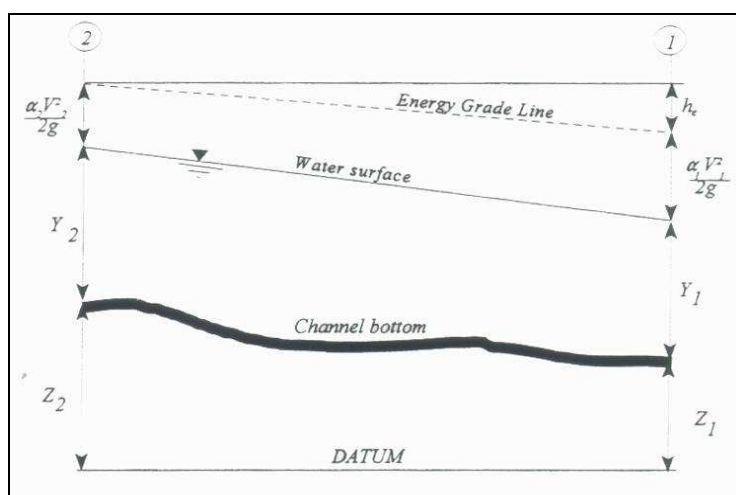


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	23	di	25

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il naviglio di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	24	di	25

x (distanze progressive dall'ascissa $x = 0$) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel naviglio principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

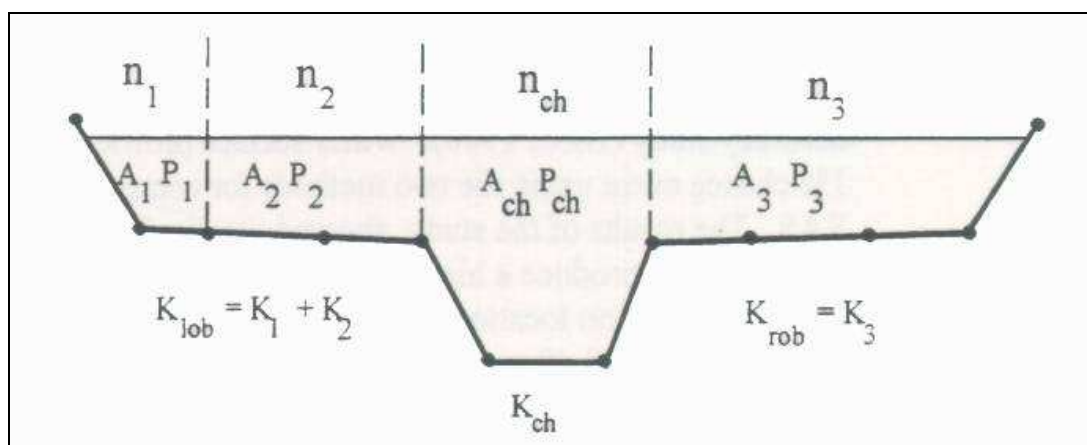


Fig. 2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO NAVIGLIO LANGOSCO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0169	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	25	di	25

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, naviglio principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, naviglio principale e golena destra.

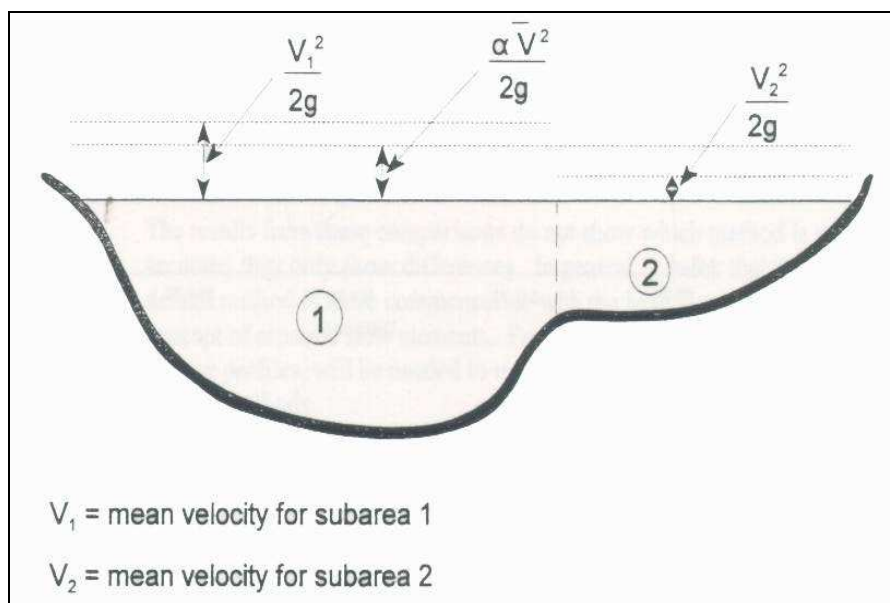


Fig.3 - Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale


Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 1 di 26	Data 12-04-13	N° documento Cliente:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
RIMOZIONE CONDOTTAATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA**

00	12-04-13	EMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 2 di 26					

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI	4
3	STUDIO IDROLOGICO.....	5
4	STUDIO IDRAULICO DEL SUBDIRAMATORE PAVIA.....	6
5	VERIFICHE DI STABILITÀ DELL’OPERA.....	9
5.1	Verifiche di stabilità ante operam	9
5.2	Verifiche di stabilità post operam	14
6	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI.....	19
7	CONCLUSIONI	20
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	20

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 3 di 26				

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Subdiramatore sinistro del Canale Cavour, detto Subdiramatore Pavia, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” provvista di tubo camicia anch’esso in acciaio Φ 36”, posta ad una profondità di circa 1,50 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

L’attraversamento del Canale è ubicato in una zona distinta in dettaglio ai F. 33 e 37 del NCT del Comune di Gambolò (PV).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell’ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità delle sponde ante e post operam eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 4 di 26				

2 CARATTERISTICHE GENERALI

Il Canale subdiramatore Pavia è una canale artificiale lungo circa 50 km che deriva le acque dal diramatore Quintino Sella che, a sua volta, le deriva dal Canale Cavour. Quest’ultimo, realizzato in soli 3 anni dal 1863 al 1866, è derivato dal Po a Chivasso, integrato con le acque della Dora Baltea, a mezzo del canale sussidiario Farini, nei pressi di Saluggia, e sfocia in Ticino dopo un percorso di 86 chilometri. Il diramatore Quintino Sella deriva dal Canale Cavour una portata di complessivi 32 mc/sec che distribuisce lungo il su percorso per usi irrigui e industriali, consegnando l’intera portata residua al diramatore Mortara (7 mc/sec) e Diramatore Pavia (15 mc/sec).

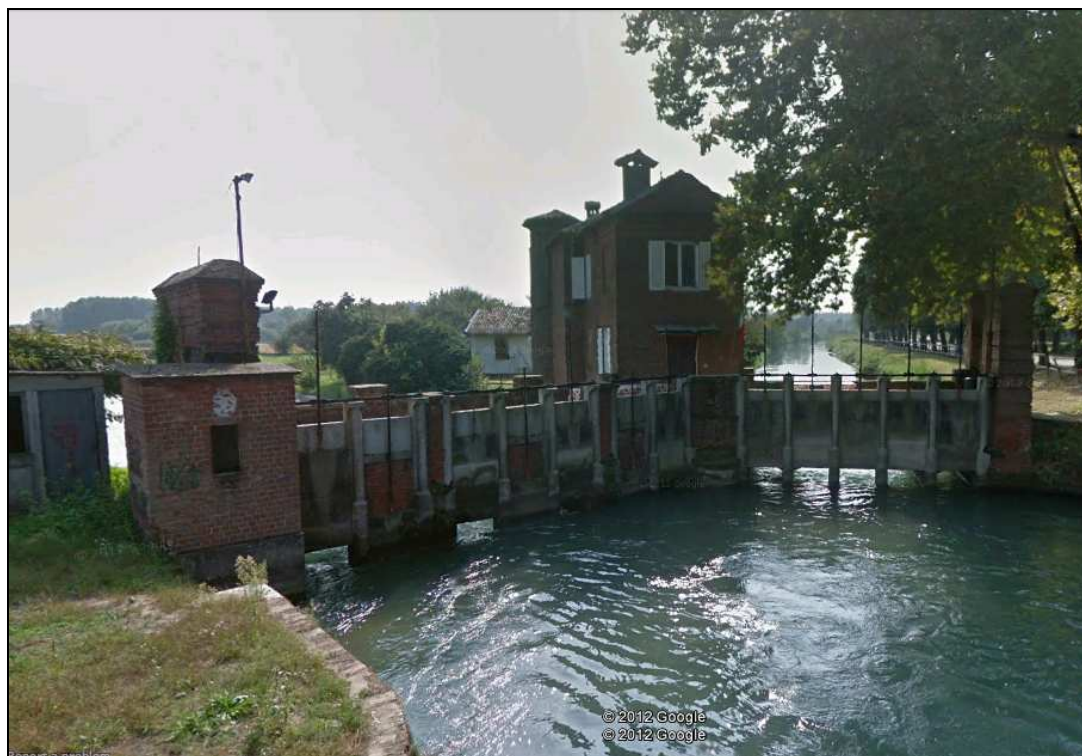


Figura 1: Sezione terminale del Canale Quintino Sella con inizio dei due canali Sub. Pavia e Sub. Mortara

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 5 di 26				

3 STUDIO IDROLOGICO

Come accennato in premessa il Canale Subdiramatore Pavia è un opera artificiale che, come anticipato al paragrafo precedente, riceve le acque da due canali anch’essi artificiali.

Non risulta quindi possibile effettuare un’analisi idrologica tradizionale, basata quindi sulla determinazione della portata di progetto partendo dall’analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall’analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.).

Trattandosi di un canale artificiale non sono inoltre presenti stazioni idrometriche ufficiali che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transitanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

In dettaglio si è ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall’attraversamento con un franco di sicurezza di circa 50 cm.

Di fatto tale valore è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all’asse fluviale. In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene in tal modo:

$$Q_{\max} = 80,0 \text{ mc/sec}$$

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA							
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00				N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0165		Foglio 6		di 26			

4 STUDIO IDRAULICO DEL SUBDIRAMATORE PAVIA

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 100 m.

In particolare la sezione dell’attraversamento è quella che nel seguito viene indicata con il numero 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l’altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegare sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d’acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D’ACQUA MINORI (Raggio idraulico $\cong 2$ m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d’acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D’ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico $\cong 4$ m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 7 di 26			

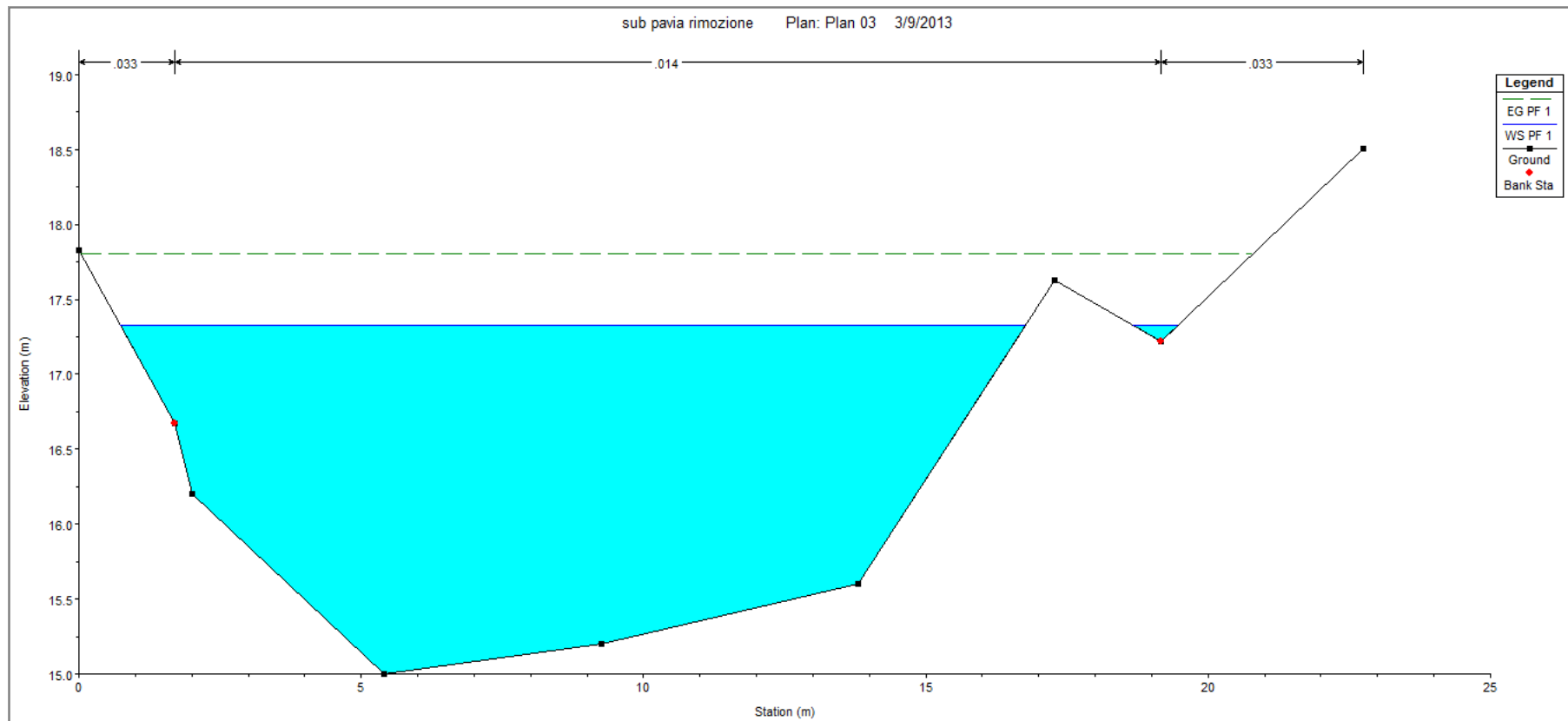


Figura 2: sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo da rimuovere

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA												
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE												
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA												
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00								N° Doc. Cliente:		
J01811-PPL-RE-300-0165		Foglio 8		di 26								

Sezione	Q [mc/sec]	Q. fondo [m.s.m.]	Q. acqua [m.s.m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ [N/mq]
30	80	15.05	17.38		17.85	0.001001	3.06	26.4	16.82	0.76	1.47	15.49
20	80	15	17.33		17.8	0.001002	3.06	26.4	16.82	0.76	1.47	15.5
10	80	14.95	17.28	16.94	17.75	0.001002	3.06	26.4	16.82	0.76	1.47	15.5

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA					
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 9 di 26				

5 VERIFICHE DI STABILITÀ DELL'OPERA

5.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

14 Top Boundaries
 14 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	2.85	5.20	1
2	2.85	5.20	4.55	4.00	1
3	4.55	4.00	4.56	3.54	1
4	4.56	3.54	6.10	2.80	1
5	6.10	2.80	8.30	2.25	1
6	8.30	2.25	10.00	2.30	1
7	10.00	2.30	14.10	2.80	1
8	14.10	2.80	16.60	2.90	1
9	16.60	2.90	18.00	4.30	1
10	18.00	4.30	19.00	4.80	1
11	19.00	4.80	20.15	4.95	1
12	20.15	4.95	21.10	4.55	1
13	21.10	4.55	22.00	4.50	1
14	22.00	4.50	24.50	5.75	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	2.85	4.80
2	19.00	4.80

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
 Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
 Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
 Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 10 di 26					

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced
 Along The Ground Surface Between X = 14.00 ft.
 and X = 16.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 19.00 ft.
 and X = 24.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
 At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
 Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
 First.

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE PAVIA - JANBU
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.78	2.87
2	16.76	2.70
3	17.76	2.79
4	18.70	3.12
5	19.54	3.67
6	20.20	4.42
7	20.42	4.84

- FS01 = 1.727
- FS02 = 1.749
- FS03 = 1.756
- FS04 = 1.759
- FS05 = 1.812
- FS06 = 1.814
- FS07 = 1.817
- FS08 = 1.840
- FS09 = 1.849
- FS10 = 1.863

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE PAVIA - BISHOP
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.78	2.87
2	16.76	2.70
3	17.76	2.79
4	18.70	3.12
5	19.54	3.67
6	20.20	4.42
7	20.42	4.84

Circle Center At X = 16.9 ; Y = 6.7 and Radius, 4.0

- FS01 = 1.884
- FS02 = 1.920

**METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE**

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA

N°D oc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
Foglio 11 di 26						

FS03 = 1.932
FS04 = 1.974

FS05 = 2.000
FS06 = 2.007
FS07 = 2.025
FS08 = 2.028
FS09 = 2.045
FS10 = 2.069

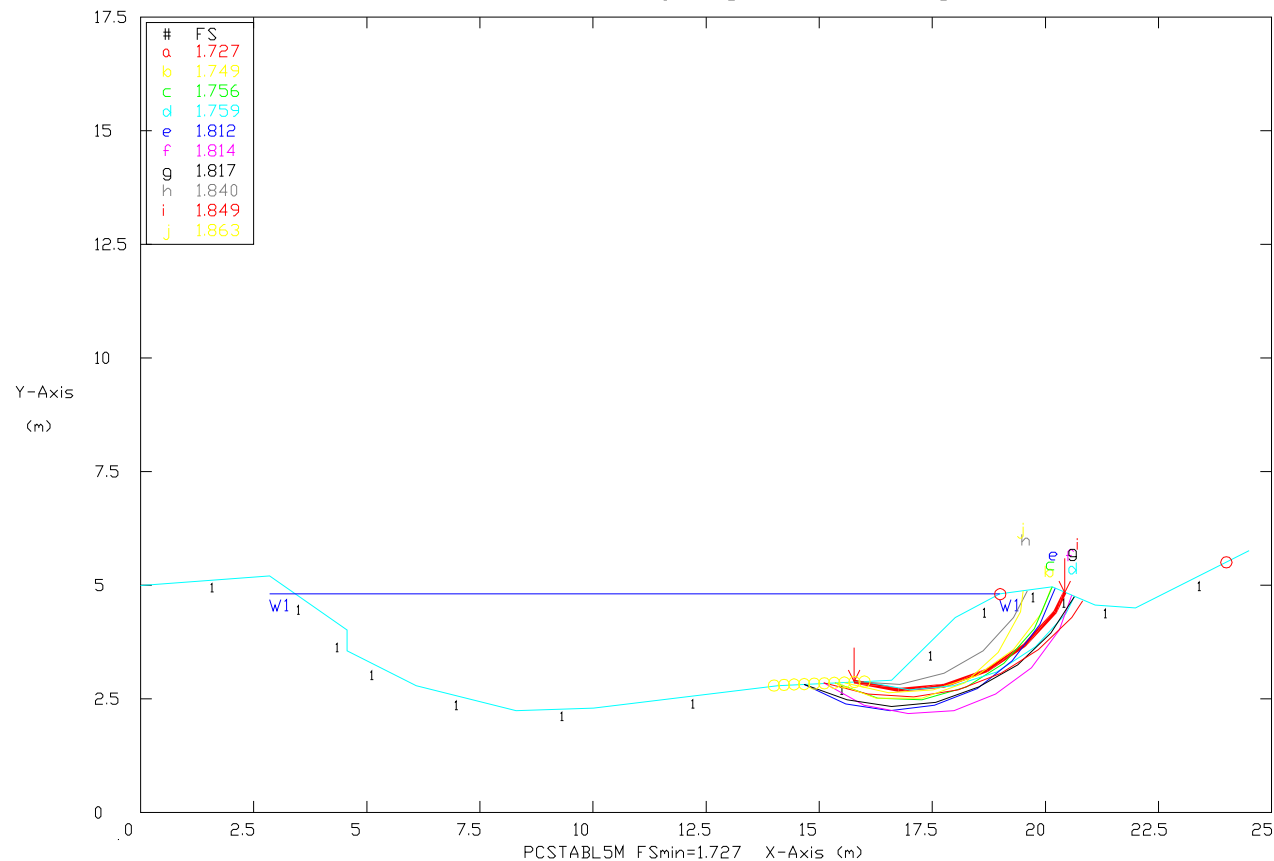
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA

N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
	Foglio 12 di 26					

SUBDIRAMATORE PAVIA – JANBU verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-02-13 8:11am



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

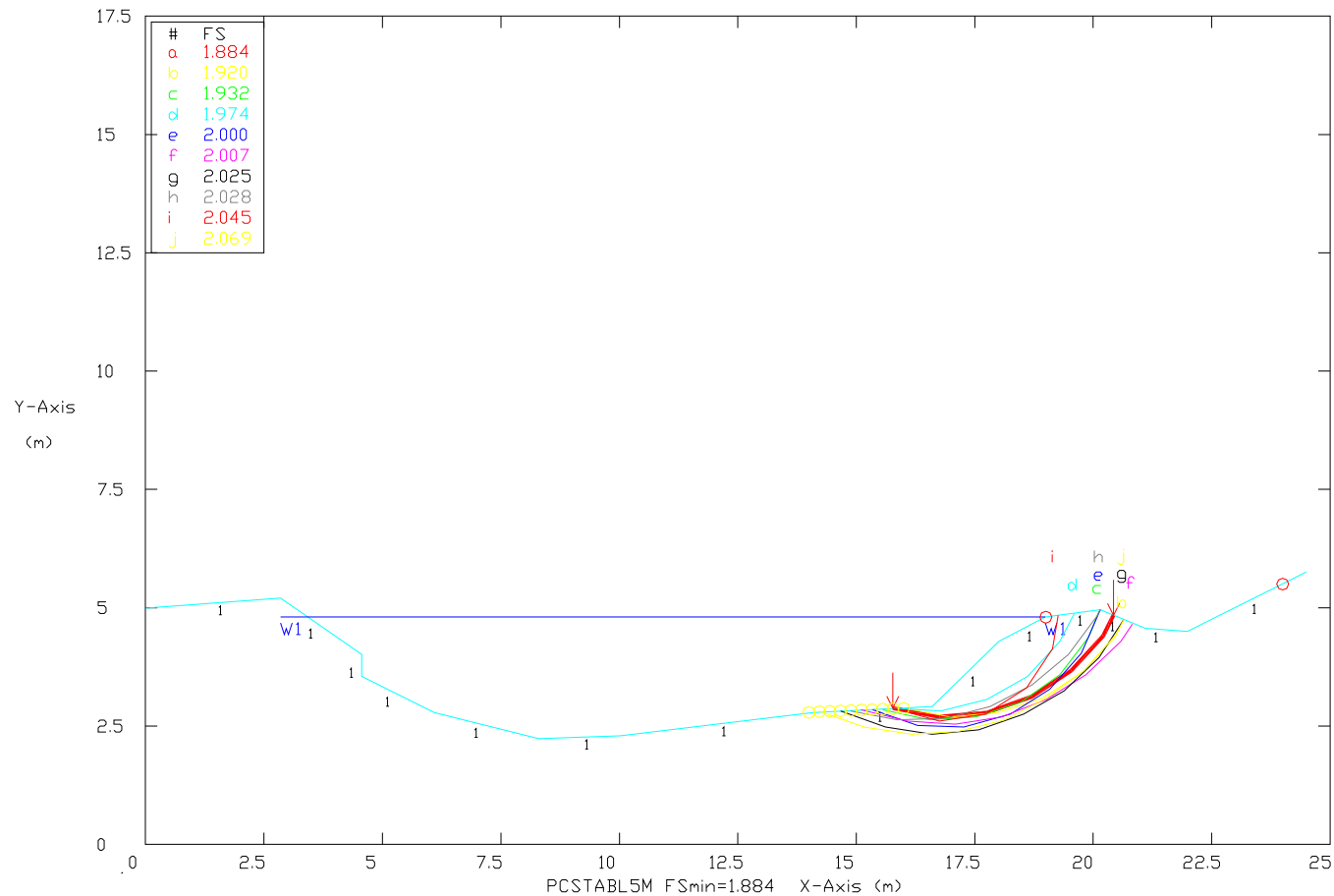
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA

N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 13 di 26					

SUBDIRAMATORE PAVIA - BISHOP verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT 03-02-13 8:42am



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 14 di 26					

5.2 Verifiche di stabilità post operam

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

14 Top Boundaries
 14 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	2.85	5.20	1
2	2.85	5.20	4.55	4.00	1
3	4.55	4.00	4.56	3.54	1
4	4.56	3.54	6.10	2.80	1
5	6.10	2.80	8.30	2.25	1
6	8.30	2.25	10.00	2.30	1
7	10.00	2.30	14.10	2.80	1
8	14.10	2.80	16.60	2.90	1
9	16.60	2.90	18.00	4.30	1
10	18.00	4.30	19.00	4.80	1
11	19.00	4.80	20.15	4.95	1
12	20.15	4.95	21.10	4.55	1
13	21.10	4.55	22.00	4.50	1
14	22.00	4.50	24.50	5.75	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	2.85	4.80
2	19.00	4.80

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
 Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
 Of .030 Has Been Assigned

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries
 Of Which The First 0 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	16.60	2.90	18.00	2.10

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
 Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 15 di 26					

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced
 Along The Ground Surface Between X = 14.00 ft.
 and X = 16.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 19.00 ft.
 and X = 24.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
 At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
 Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
 First.

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE PAVIA - JANBU
verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.33	2.85
2	16.17	2.30
3	17.13	2.03
4	18.13	2.07
5	19.07	2.41
6	19.86	3.03
7	20.43	3.85
8	20.69	4.72

- FS01 = 1.372
- FS02 = 1.415
- FS03 = 1.437
- FS04 = 1.478
- FS05 = 1.492
- FS06 = 1.508
- FS07 = 1.509
- FS08 = 1.528
- FS09 = 1.538
- FS10 = 1.548

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE PAVIA - BISHOP
verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	15.11	2.84
2	15.97	2.33
3	16.95	2.13
4	17.95	2.24
5	18.85	2.67
6	19.57	3.36
7	20.04	4.25
8	20.15	4.95

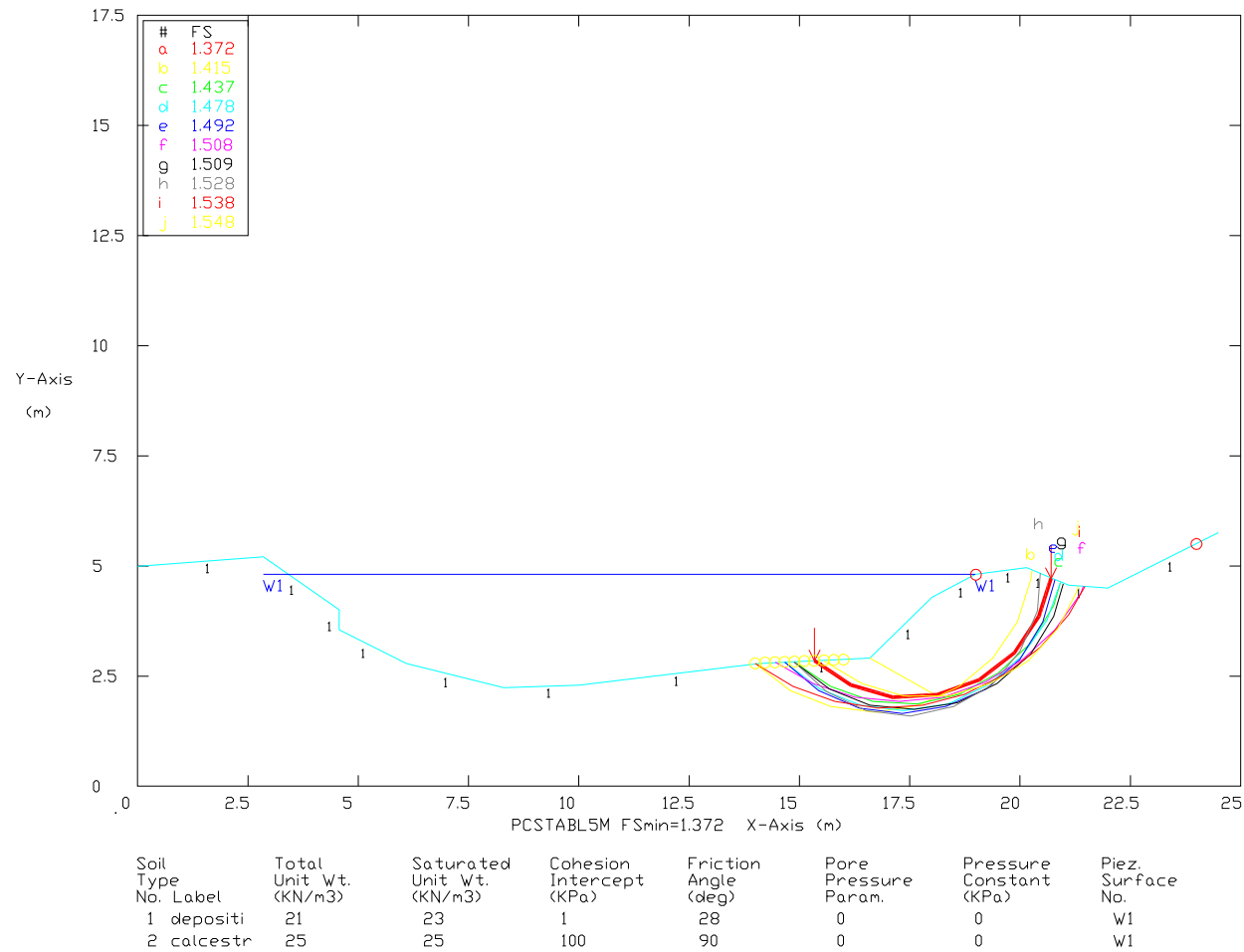
Circle Center At X = 17.1 ; Y = 5.2 and Radius, 3.1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:		Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165		Foglio 16 di 26				

- FS01 = 1.549
- FS02 = 1.599
- FS03 = 1.631
- FS04 = 1.707
- FS05 = 1.709
- FS06 = 1.758
- FS07 = 1.759
- FS08 = 1.767
- FS09 = 1.773
- FS10 = 1.790

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 17 di 26				

SUBDIRAMATORE PAVIA - JANBU verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-02-13 10:22am



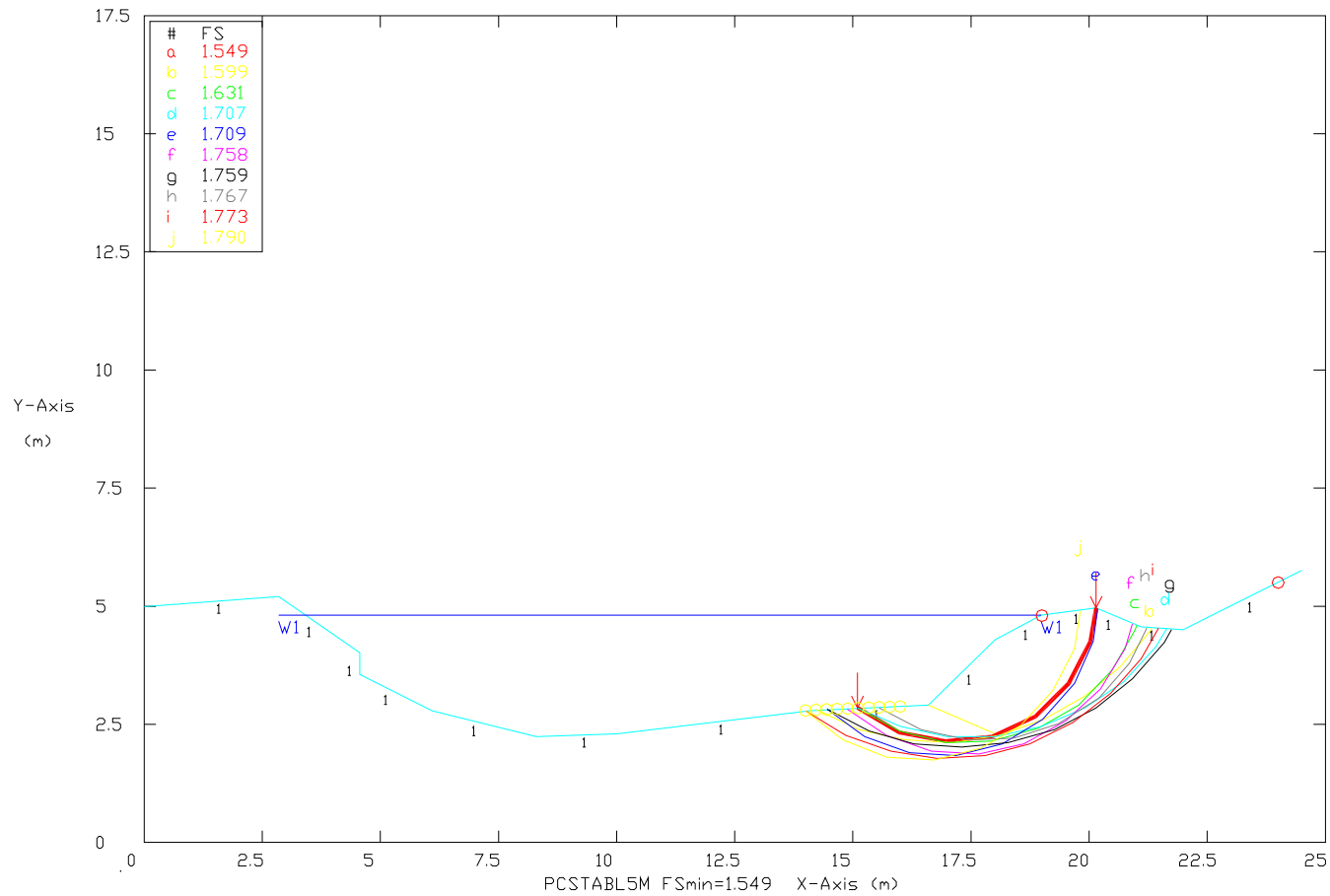
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA

N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 18 di 26					

SUBDIRAMATORE PAVIA – BISHOP verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-02-13 10:28am



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA							
N°D oc. Ingegneria:		Rev.: 00		Foglio 19 di 26		N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0165							

6 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI

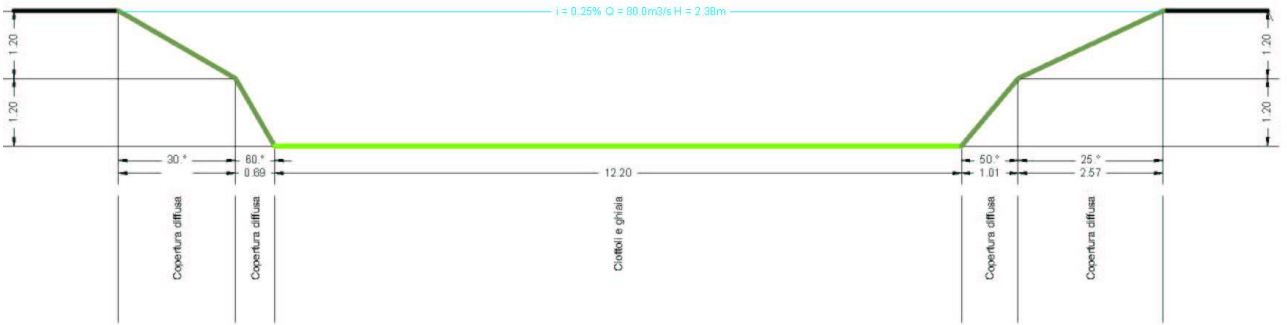
Calcolo n.1

Pendenza [%]		0.25		Numero di fronde		0.54	
Portata [m3/s]		80.00		Sezione [m2]		34.76	
Livello [m]		2.38		Contorno bagnato [m]		20.30	
Velocità media [m/s]		2.30		Raggio idraulico [m]		1.71	

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	2.40	0.80	1.00	-	-	N	21.69	50.00	N
1.1	2.40			-	- Copertura diffusa	N	21.69	50.00	N
3	1.39	1.16	1.00	-	- Copertura diffusa	N	43.76	50.00	N
3.1	1.39			-	- Copertura diffusa	N	43.76	50.00	N
4	12.20	2.55	1.00	-	- Ciottoli e ghiaia	N	58.34	52.60	N
4.1	12.20			-	- Ciottoli e ghiaia	N	58.34	52.60	N
5	1.57	1.37	1.00	-	- Copertura diffusa	N	43.76	50.00	N
5.1	1.57			-	- Copertura diffusa	N	43.76	50.00	N
7	2.84	0.82	1.00	-	- Copertura diffusa	N	21.69	50.00	N
7.1	2.84			-	- Copertura diffusa	N	21.69	50.00	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m2]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m3]	Tempo [h]	C Shields
Ciottoli e ghiaia	0.0350	52.60	S					
Copertura diffusa	0.0400	50.00	S					



METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 20 di 26					

7 CONCLUSIONI

Come anticipato in premessa la presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologico idrauliche del Subdiramatore sinistro del Canale Cavour, detto Subdiramatore Pavia, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” provvista di tubo camicia anch’esso in acciaio Φ 36”, posta ad una profondità di circa 1,50 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell’azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che la mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo nel caso della portata massima transitabile deve ritenersi limitata al periodo di deflusso di una portata eccezionale, e pertanto i relativi effetti sono ricompresi nei coefficienti di sicurezza utilizzati per le verifiche di cui ai punti precedenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificato in corso d’opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	21	di	26

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dell'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

- Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:
- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 22 di 26					

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	23	di	26

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

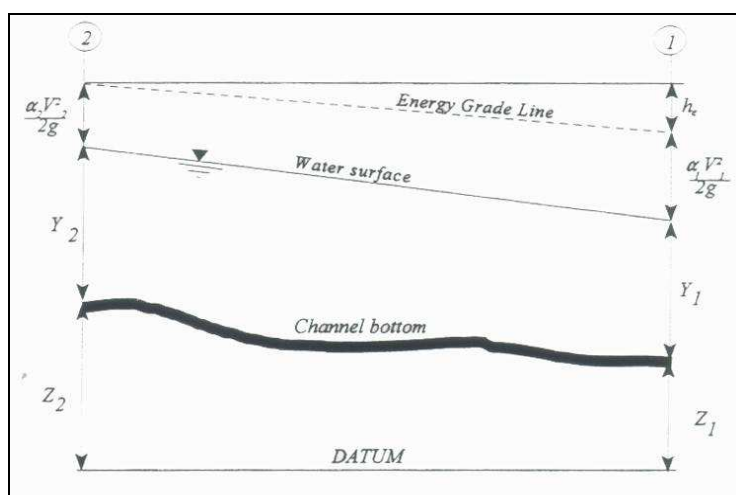


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	24	di	26

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il canale di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0165	Foglio 25 di 26					

x (distanze progressive dall'ascissa x = 0) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

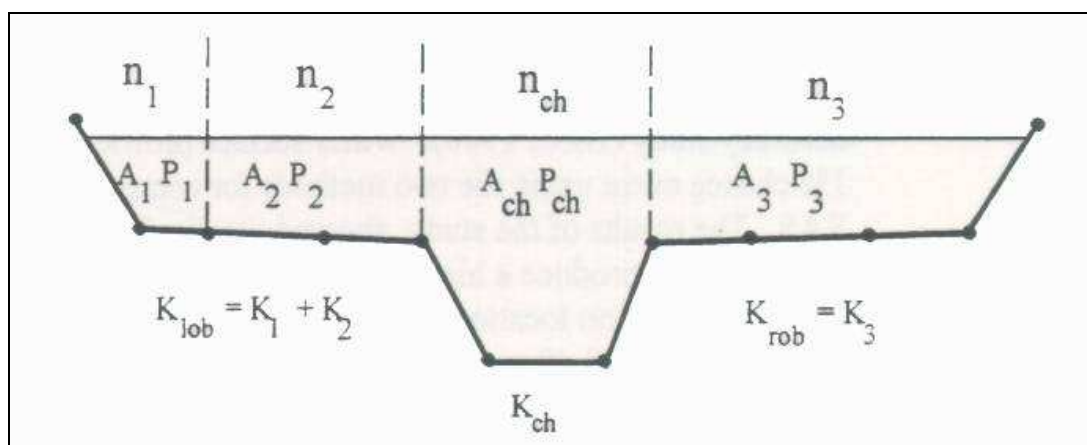


Fig.2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE PAVIA						
N°D oc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0165	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	26	di	26

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

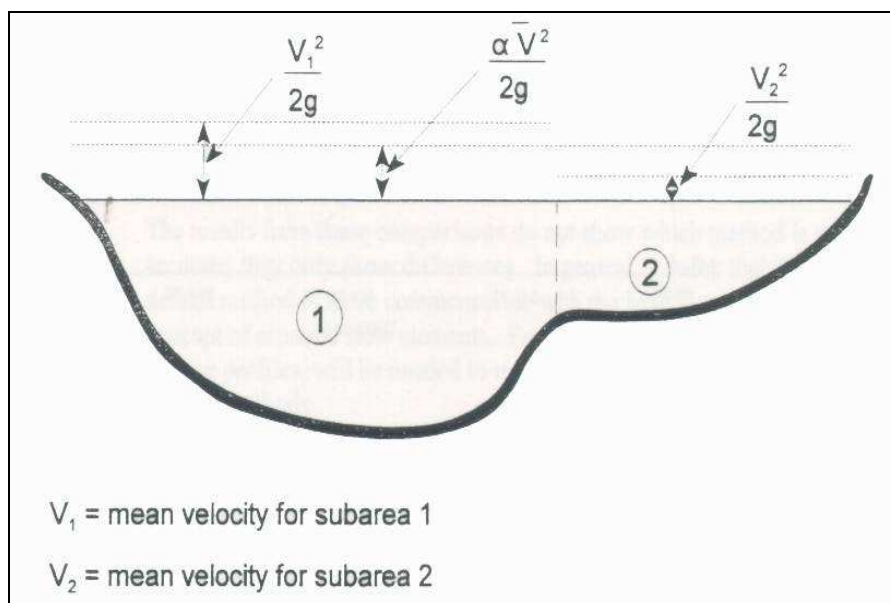
dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.





Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 1 di 26	Data 12-04-13	N° documento Cliente:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 RIMOZIONE CONDOTTA
 ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA**

00	12-04-13	EMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 2 di 26				

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI	3
3	STUDIO IDROLOGICO.....	5
4	STUDIO IDRAULICO DEL CANALE MORTARA.....	6
5	VERIFICHE DI STABILITA'	9
5.1	Verifiche di stabilità ante operam	9
5.2	Verifiche di stabilità post operam	14
6	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI.....	19
7	CONCLUSIONI	20
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	20

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 3 di 26					

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Subdiramatore destro del Canale Cavour, detto Subdiramatore Mortara, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” posta ad una profondità di circa 1,00 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

L'attraversamento del Canale della è ubicato in una zona distinta in dettaglio ai F. 28 e 29 del NCT del Comune di Mortara (PV).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell'ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità delle sponde ante e post operam eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0179	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 4 di 26				

2 CARATTERISTICHE GENERALI

Il Canale subdiramatore Mortara è una canale artificiale lungo 13,5 km che deriva le acque dal diramatore Quintino Sella che, a sua volta, le deriva dal Canale Cavour. Quest’ultimo, realizzato in soli 3 anni dal 1863 al 1866, è derivato dal Po a Chivasso, integrato con le acque della Dora Baltea, a mezzo del canale sussidiario Farini, nei pressi di Saluggia, e sfocia in Ticino dopo un percorso di 86 chilometri. Il diramatore Quintino Sella deriva dal Canale Cavour una portata di complessivi 32 mc/sec che distribuisce lungo il suo percorso per usi irrigui e industriali, consegnando l’intera portata residua al diramatore Mortara (7 mc/sec) e Diramatore Pavia (15 mc/sec).



Figura 1: Sezione terminale del Canale Quintino Sella con inizio dei due canali Sub. Pavia e Sub. Mortara

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 5 di 26				

3 STUDIO IDROLOGICO

Come accennato in premessa il Canale Mortara è un opera artificiale che riceve le acque da canali anch'essi artificiali, non risulta quindi possibile effettuare un'analisi idrologica tradizionale, basata cioè sulla determinazione della portata di progetto partendo dall'analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall'analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.).

Trattandosi di un canale artificiale non sono inoltre presenti stazioni idrometriche ufficiali che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transitanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

Si è quindi ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall'attraversamento.

Di fatto tale valore è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all'asse fluviale.

In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene in tal modo:

$$Q_{\max} = 13,50 \text{ mc/sec}$$

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA							
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00				N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0179		Foglio 6		di 26			

4 STUDIO IDRAULICO DEL CANALE MORTARA

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l’ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all’annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 60 m.

In particolare la sezione dell’attraversamento è quella che nel seguito viene indicata con il numero 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l’altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegare sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d’acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D’ACQUA MINORI (Raggio idraulico $\cong 2$ m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d’acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D’ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico $\cong 4$ m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA				
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA				
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00		N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 7 di 26			

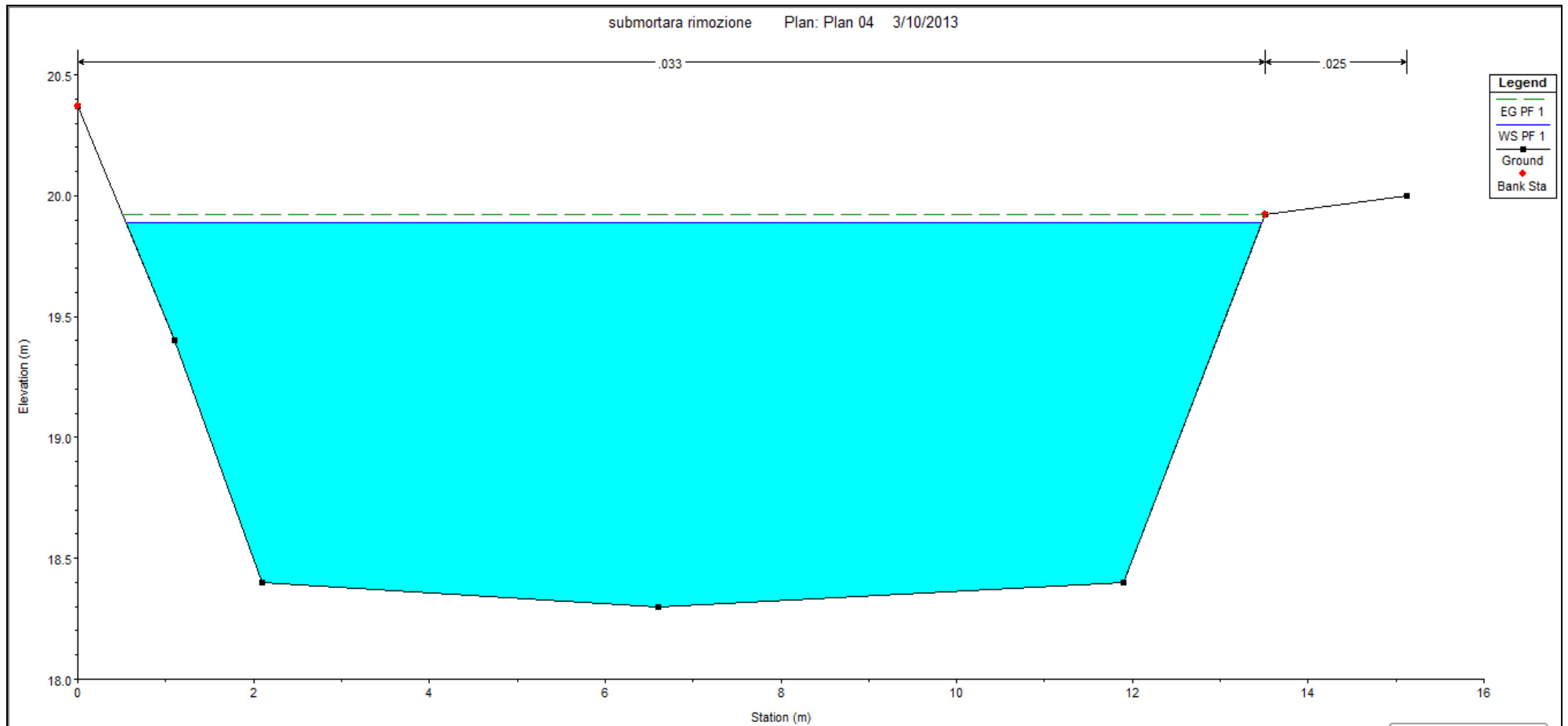


Figura 2: sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo da rimuovere

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA											
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE											
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA											
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00								N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0179		Foglio		8		di		26			

Sezione	Q [mc/sec]	Quota fondo [m.s.m.]	Quota acqua [m.s.m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ tot [N/mq]
30	13.5	18.31	19.9		19.93	0.000496	0.78	17.41	12.94	0.21	1.23	5.99
20	13.5	18.3	19.89		19.92	0.000498	0.78	17.39	12.93	0.21	1.23	6.01
10	13.5	18.29	19.87	18.91	19.91	0.0005	0.78	17.36	12.93	0.21	1.23	6.03

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 9 di 26					

5 VERIFICHE DI STABILITA'

5.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
by
Purdue University

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

11 Top Boundaries
15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	3.15	5.35	1
2	3.15	5.35	5.50	6.60	1
3	5.50	6.60	8.25	6.90	1
4	8.25	6.90	10.40	4.80	1
5	10.40	4.80	14.90	4.70	2
6	14.90	4.70	20.00	4.85	2
7	20.00	4.85	21.80	6.30	1
8	21.80	6.30	23.30	6.45	1
9	23.30	6.45	26.75	6.50	1
10	26.75	6.50	28.50	5.10	1
11	28.50	5.10	32.90	5.00	1
12	10.40	4.80	10.41	4.55	1
13	10.41	4.55	14.90	4.45	1
14	14.90	4.45	19.99	4.60	1
15	19.99	4.60	20.00	4.85	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	8.25	6.45
2	23.30	6.45

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 10 di 26					

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced
 Along The Ground Surface Between X = 18.00 ft.
 and X = 20.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 23.00 ft.
 and X = 29.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
 At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

The Factor Of Safety For The Trial Failure Surface Defined
 By The Coordinates Listed Below Is Misleading.

Failure Surface Defined By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	18.22	4.80
2	19.21	4.63
3	20.21	4.65
4	21.18	4.87
5	22.10	5.27
6	22.92	5.85
7	23.50	6.45

Factor Of Safety For The Preceding Specified Surface = 1.868

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
 Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
 First.

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE MORTARA - JANBU
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	19.11	4.82
2	20.05	4.47
3	21.05	4.47
4	21.98	4.81
5	22.74	5.47
6	23.22	6.35
7	23.23	6.44

- FS01 = 1.924
- FS02 = 1.983
- FS03 = 2.003
- FS04 = 2.007
- FS05 = 2.015
- FS06 = 2.046
- FS07 = 2.058
- FS08 = 2.072
- FS09 = 2.089
- FS10 = 2.103

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00			N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179		Foglio 11 di 26				

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE MORTARA - BISHOP
verifiche ante opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 8 Coordinate Points

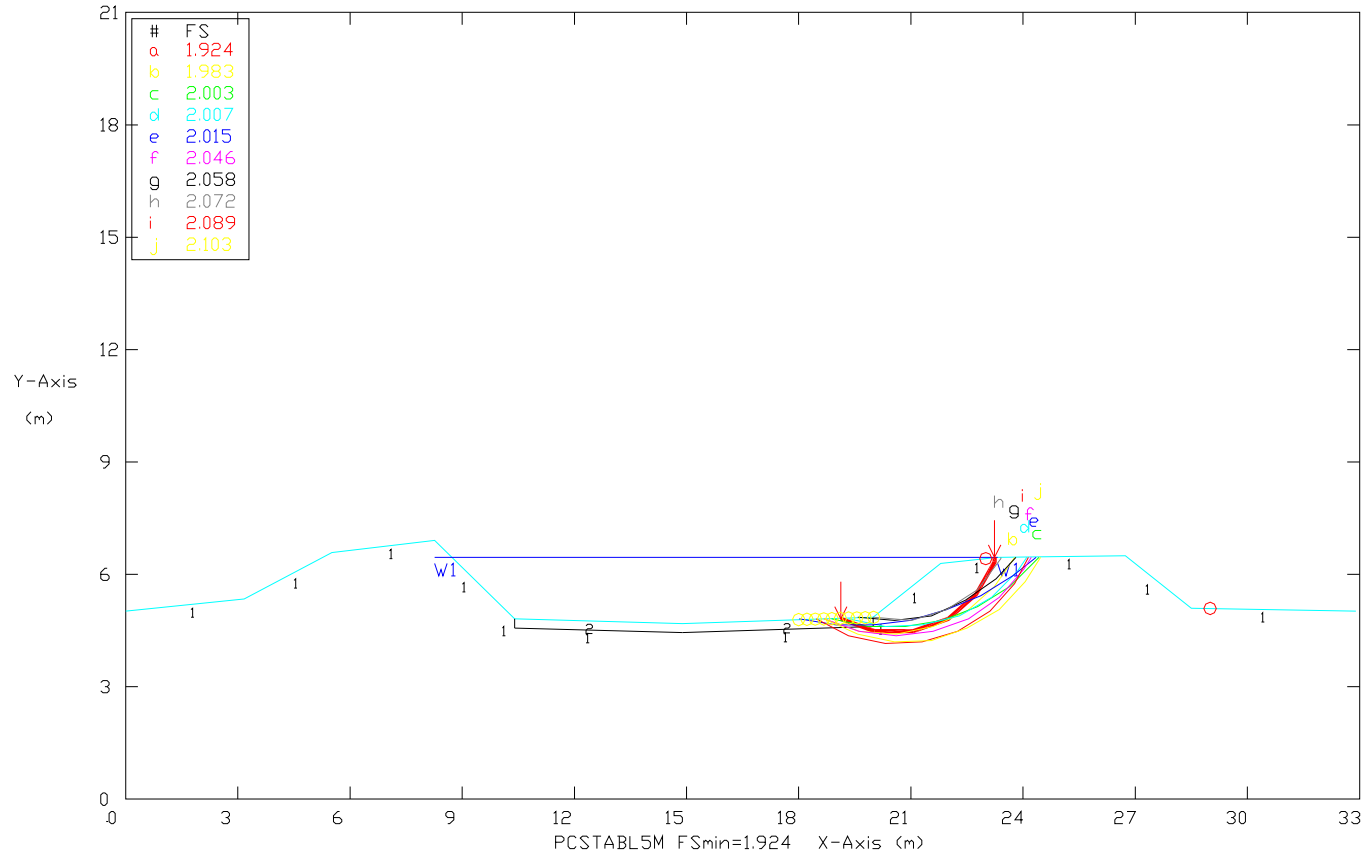
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	18.00	4.79
2	18.99	4.65
3	19.99	4.64
4	20.98	4.77
5	21.94	5.04
6	22.86	5.44
7	23.72	5.96
8	24.34	6.47

Circle Center At X = 19.5 ; Y = 11.8 and Radius, 7.2

- FS01 = 2.061
- FS02 = 2.114
- FS03 = 2.157
- FS04 = 2.159
- FS05 = 2.169
- FS06 = 2.186
- FS07 = 2.247
- FS08 = 2.254
- FS09 = 2.322
- FS10 = 2.372

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 12 di 26					

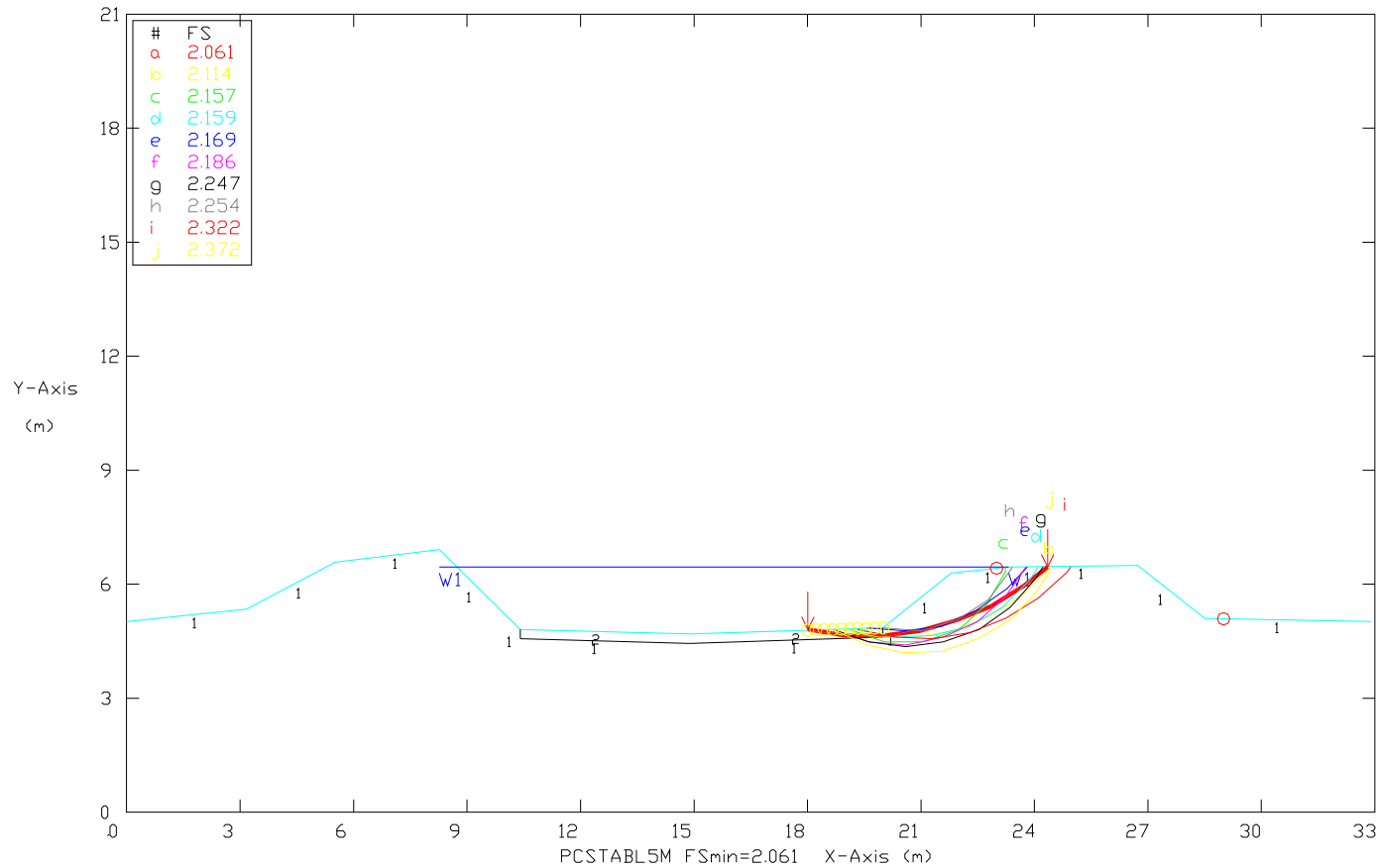
SUBDIRAMATORE MORTARA - JANBU verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-05-13 6:25pm



Soil Type	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 13 di 26					

SUBDIRAMATORE MORTARA - BISHOP verifiche ante opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-05-13 6:27pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 14 di 26					

5.2 Verifiche di stabilità post operam

Nel caso di depositi alluvionali (sabbie e ghiaie) ed in altri casi, l'ipotesi di coesione assente appare spesso troppo conservativa. Questi materiali sono infatti caratterizzati da legami di tipo pseudo-coesivo che, per quanto deboli, condizionano in modo netto il loro comportamento meccanico. Di norma l'azione "cementante" è svolta dalla frazione fine contenuta nel terreno granulare, sovraconsolidata per essiccamento, o da ridotte precipitazioni carbonatiche, legate a circolazione di fluidi. Per questi motivi nell'analisi ante operam dei versanti è stata considerato un valore della coesione pari a 4 kPa.

Al fine di modellare le verifiche di stabilità post operam, tenuto conto della natura dei terreni che costituiscono il suolo ed il substrato delle aree interessate dal corso d'acqua in esame, sarà ridotto a 1 kPa il valore della coesione efficace; il disturbo operato dalla fase di scavo sarà infatti recuperato nel tempo attraverso il consolidamento del materiale utilizzato per la chiusura degli scavi.

** PCSTABL5M **
by
Purdue University
--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer`s Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

11 Top Boundaries
15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	3.15	5.35	1
2	3.15	5.35	5.50	6.60	1
3	5.50	6.60	8.25	6.90	1
4	8.25	6.90	10.40	4.80	1
5	10.40	4.80	14.90	4.70	2
6	14.90	4.70	20.00	4.85	2
7	20.00	4.85	21.80	6.30	1
8	21.80	6.30	23.30	6.45	1
9	23.30	6.45	26.75	6.50	1
10	26.75	6.50	28.50	5.10	1
11	28.50	5.10	32.90	5.00	1
12	10.40	4.80	10.41	4.55	1
13	10.41	4.55	14.90	4.45	1
14	14.90	4.45	19.99	4.60	1
15	19.99	4.60	20.00	4.85	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 15 di 26					

2 25.0 25.0 100.0 90.0 .00 .0 1
 1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	8.25	6.45
2	23.30	6.45

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .030 Has Been Assigned

Searching Routine Will Be Limited To An Area Defined By 1 Boundaries Of Which The First 0 Boundaries Will Deflect Surfaces Upward

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)
1	20.00	4.90	21.10	4.40

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 18.00 ft. and X = 20.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 23.00 ft. and X = 29.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE MORTARA - JANBU verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	18.89	4.82
2	19.79	4.38
3	20.79	4.29
4	21.75	4.56
5	22.56	5.15
6	23.11	5.98
7	23.21	6.44

FS01 = 1.315
 FS02 = 1.316
 FS03 = 1.376
 FS04 = 1.398

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 16 di 26					

FS05 = 1.414
 FS06 = 1.477
 FS07 = 1.483
 FS08 = 1.487
 FS09 = 1.490
 FS10 = 1.516

PROBLEM DESCRIPTION SUBDIRAMATORE MORTARA - BISHOP
verifiche post opera a canale pieno

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 7 Coordinate Points

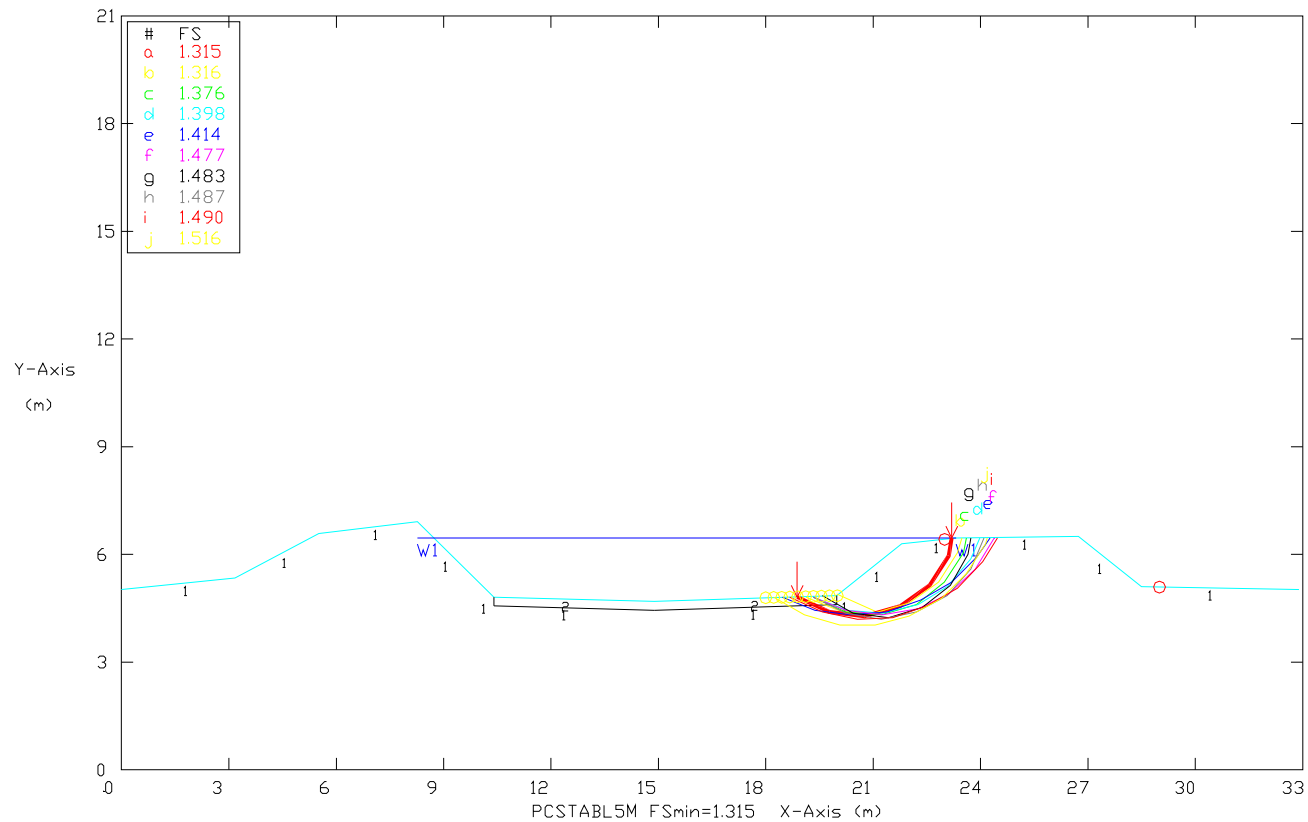
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	19.11	4.82
2	20.03	4.43
3	21.03	4.37
4	21.99	4.64
5	22.80	5.22
6	23.38	6.04
7	23.49	6.45

Circle Center At X = 20.7 ; Y = 7.3 and Radius, 2.9

FS01 = 1.561
 FS02 = 1.575
 FS03 = 1.582
 FS04 = 1.647
 FS05 = 1.672
 FS06 = 1.706
 FS07 = 1.719
 FS08 = 1.741
 FS09 = 1.741
 FS10 = 1.759

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 17 di 26				

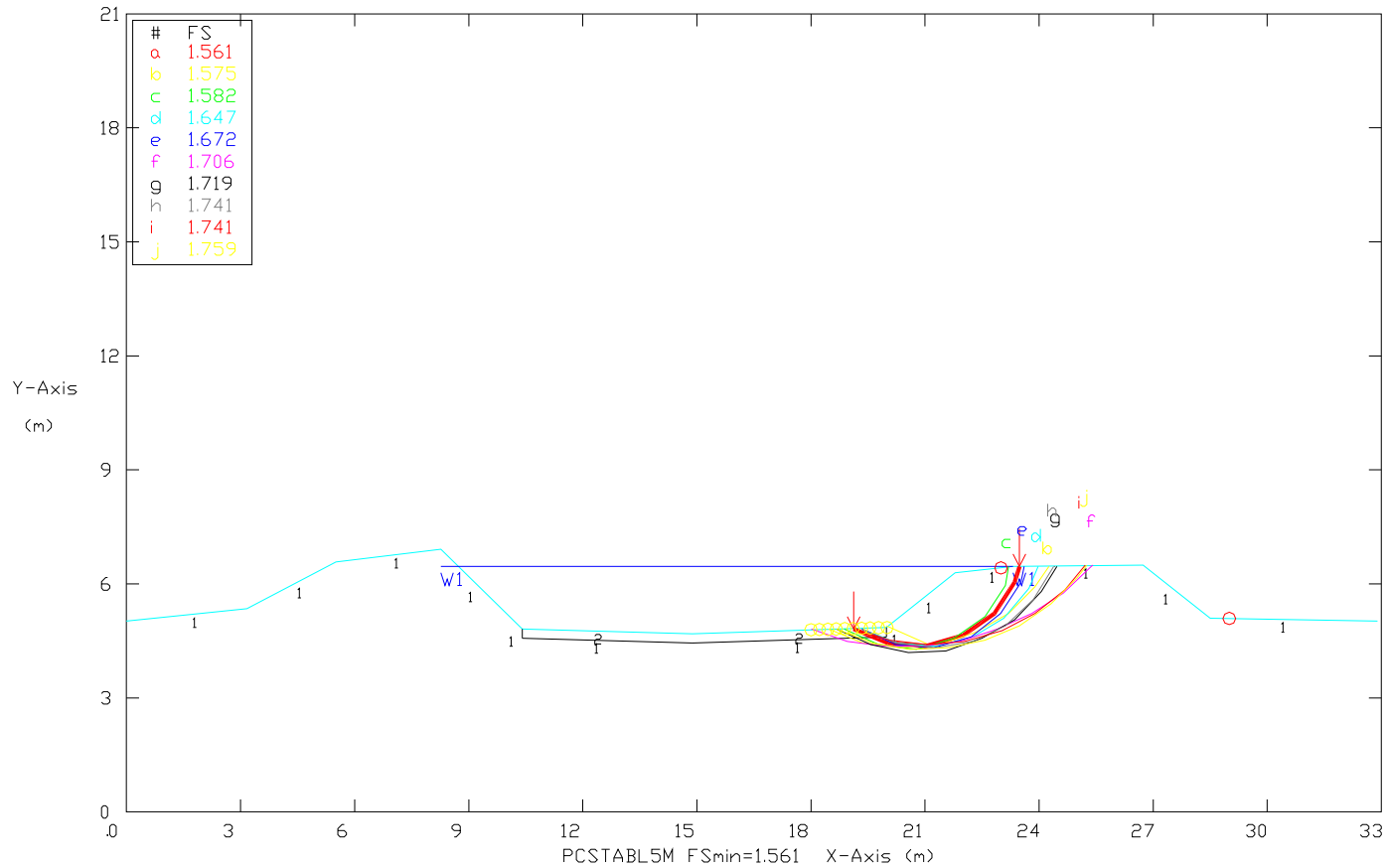
SUBDIRAMATORE MORTARA - JANBU verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-05-13 6:38pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 18 di 26					

SUBDIRAMATORE MORTARA - BISHOP verifiche post opera a canale pieno
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-05-13 6:40pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 19 di 26					

6 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI

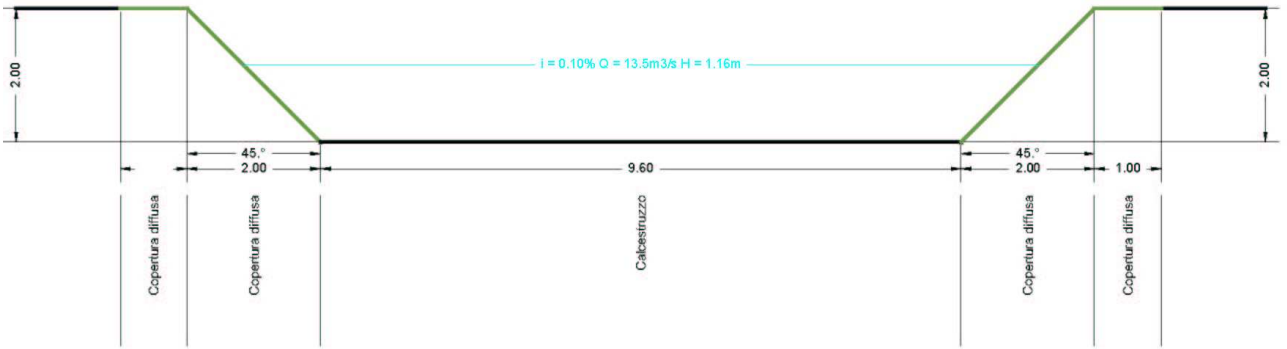
Calcolo n.1

Pendenza [%]	0.10	Numero di fronde	0.34
Portata [m ³ /s]	13.50	Sezione [m ²]	12.45
Livello [m]	1.16	Contorno bagnato [m]	12.87
Velocità media [m/s]	1.08	Raggio idraulico [m]	0.97

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m ²]	tau amm [N/m ²]	GeoFil
2	1.00	0.00	1.00	-	-	N	-	-	N
2.1	1.00			-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
3	2.83	0.44	1.00	-	- Copertura diffusa	N	8.51	50.00	N
3.1	2.83			-	- Copertura diffusa	N	8.51	50.00	N
4	9.60	1.16	1.00	0.75	- Calcestruzzo	N	11.35	450.00	N
4.1	9.60			0.75	- Calcestruzzo	N	11.35	450.00	N
5	2.83	0.44	1.00	-	- Copertura diffusa	N	8.51	50.00	N
5.1	2.83			-	- Copertura diffusa	N	8.51	50.00	N
6	1.00	0.00	1.00	-	- Copertura diffusa	N	-	-	N
6.1	1.00			-	- Copertura diffusa	N	-	-	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m ²]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m ³]	Tempo [h]	C Shields
Copertura diffusa	0.0400	50.00	S					
Calcestruzzo	0.0300							



METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0179	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	20	di	26

7 CONCLUSIONI

Come anticipato in premessa la presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologico - idrauliche del Subdiramatore destro del Canale Cavour, detto Subdiramatore Mortara, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” posta ad una profondità di circa 1,00 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell’azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che le tensioni tangenziali generate dalla portata prevista sono inferiori a quelle considerate ammissibili per i materiali e le finiture presenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificato in corso d’opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito;
- sarà ripristinato il rivestimento del fondo nel tratto interessato dagli scavi per la rimozione della tubazione.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 21 di 26					

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dell'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

- Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:
- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio 22 di 26					

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0179	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	23	di	26

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

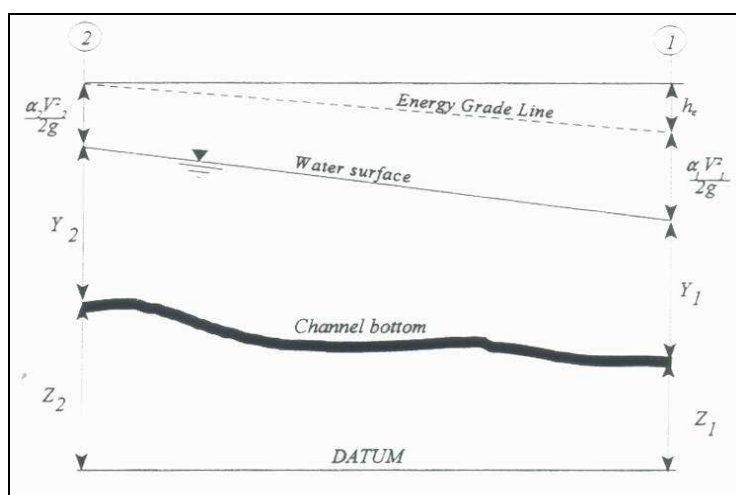


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0179	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	24	di	26

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il canale di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0179	Foglio			25	di	26

x (distanze progressive dall'ascissa x = 0) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

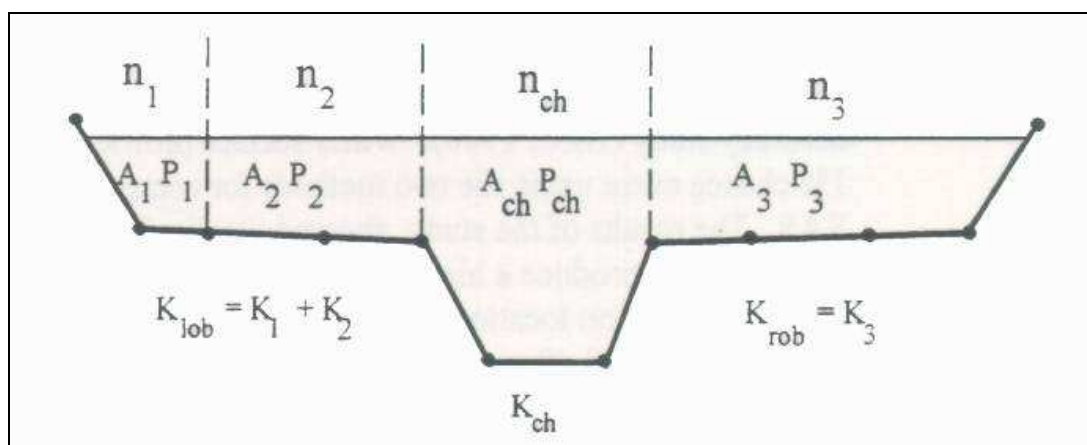


Fig.2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO SUBDIRAMATORE MORTARA						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0179	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	26	di	26

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.

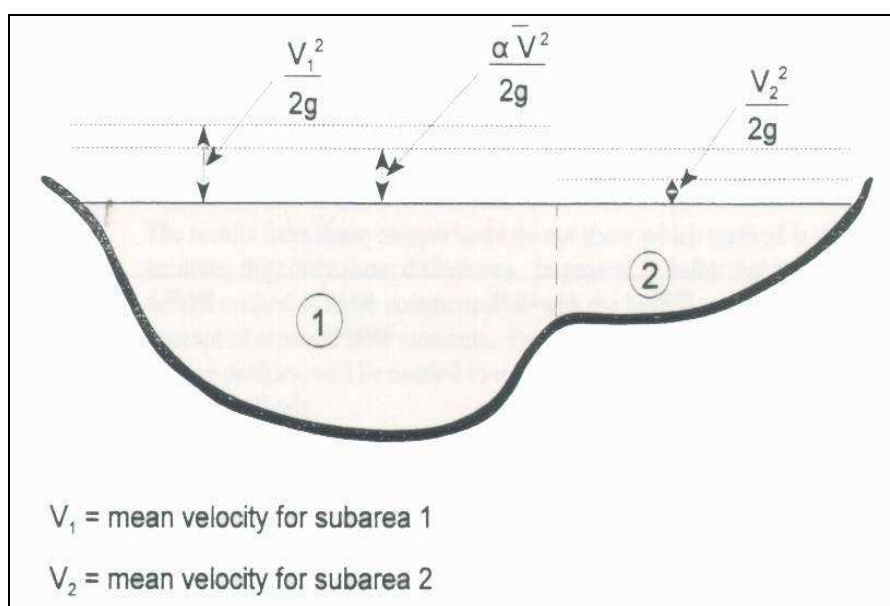


Fig.3 - Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale


Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione

Contraente: 	Progetto: METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 1 di 26	Data 12-04-13	N° documento Cliente:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
RIMOZIONE CONDOTTA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO**

00	12-04-13	EMISSIONE	VANNI	FRASSINELLI	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO					
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
Foglio 2 di 26					

INDICE

1	PREMESSA	3
2	CARATTERISTICHE GENERALI	4
3	STUDIO IDROLOGICO.....	5
4	STUDIO IDRAULICO DEL TORRENTE TERDOPPIO	6
5	VERIFICHE DI STABILITA'	9
5.1	Verifiche di stabilità ante operam	9
5.2	Verifiche di stabilità post operam	14
6	VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI.....	19
7	CONCLUSIONI	20
	ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	20

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 3 di 26				

1 PREMESSA

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Torrente Terdoppio, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” posta ad una profondità di circa 1,50 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

L'attraversamento del Torrente Terdoppio è ubicato in una zona distinta in dettaglio ai F. 32 del NCT del Comune di Gambolò (PV).

La modellazione di cui ai paragrafi seguenti è stata eseguita nell'ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 1).

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche di stabilità delle sponde ante e post operam eseguite al par. 5.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 4 di 26				

2 CARATTERISTICHE GENERALI

Il bacino del Torrente Terdoppio, che ha una superficie complessiva di circa 515 kmq con caratteristiche sostanzialmente pianeggianti, nasce dal gruppo delle Prealpi compreso tra il Lago Maggiore ed il Lago d’Orta e scorre in direzione sud-sud/est attraverso il basso novarese e la Provincia di Pavia, confluendo in Po presso Zinasco, per uno sviluppo complessivo di circa 86 km.

In realtà il corso del torrente è nettamente distinto in due tratte fisicamente disconnesse, rispettivamente il Terdoppio novarese, che confluisce in Ticino a valle di Cerano ed il Terdoppio lomellino che confluisce appunto in Po presso Zinasco. Tale divisione si è determinata in seguito alla realizzazione di uno scolmatore in Ticino in epoca medioevale, determinando la formazione di due bacini distinti con superfici presso ché uguali.

L’interesse del presente studio si concentra pertanto sul Terdoppio lomellino interessato dalle opere in progetto.

Il torrente, a valle del diversivo verso il Ticino, prende origine da alcuni scoli minori presenti nella porzione meridionale della provincia di Novara ed incrementa progressivamente la portata grazie all’apporto di risorgive, colatori e, soprattutto di scaricatori di piena di altri corsi d’acqua. Il comportamento idrologico di tale asta idraulica pertanto risulta solo parzialmente dipendente dagli eventi meteorologici che interessano il bacino idrografico drenato, in quanto connesso agli apporti dei vari scaricatori presenti lungo il suo corso, alcuni dei quali relativi oltretutto ad infrastrutture idrauliche esterne al bacino del Terdoppio stesso, quali ad esempio gli scaricatori del Naviglio Langosco, del canale Cavour (Subdiramatore Pavia), e di altri corsi d’acqua dei bacini del Ticino e della Dora Baltea.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 5 di 26				

3 STUDIO IDROLOGICO

Come accennato in premessa il regime idrologico del Torrente Terdoppio risulta fortemente artificializzato per effetto della presenza di numerose opere di derivazione irrigua e di scaricatori di piena di altri corpi idrici.

Probabilmente per tale motivo il tratto lomellino del Torrente Terdoppio non è stato interessato dagli studi idraulici connessi al PAI come invece è accaduto per il tratto novarese.

Un'analisi idrologica tradizionale pertanto, basata sulla determinazione della portata di progetto partendo dall'analisi statistica dei dati di pioggia raccolti da una o più stazioni pluviometriche ricadenti nel bacino di interesse, nonché dall'analisi delle caratteristiche del bacino stesso (uso ed impermeabilità dei suoli, tempo di corrivazione, ecc.), porterebbe ad ottenere valori che non rappresentano le effettive portate massime che possono interessare il tratto d'alveo di interesse, valore che invece risulta dalla sovrapposizione degli effetti tra le portate indotte dagli eventi meteorici incidenti sul bacino idrografico di interesse ed i contributi provenienti dalle varie reti interconnesse con quella in esame, dato quest'ultimo non facilmente ricostruibile. D'altro canto non sono presenti lungo l'asta stazioni idrometriche dell'ex Servizio Idrografico che consentano di ricavare, sulla base dei livelli registrati e di una scala di deflusso impostata, le portate transitanti in alveo per assegnati tempi di ritorno.

Alla luce delle considerazioni sopra espresse, si è ricavata, per tentativi, la massima portata transitabile nella sezione interessata dall'attraversamento, valore oltre il quale si ha l'esondazione dei terreni circostanti.

Di fatto tale valore è quello cui corrispondono le massime sollecitazioni indotte dalla corrente su sponde e fondo in quanto per portate superiori si avrebbe il superamento delle arginature con innesco di un flusso anche in direzione trasversale all'asse fluviale. In tali condizioni pertanto ad un aumento di portata non corrisponderebbe un sostanziale aumento del tirante idrico né delle velocità in alveo e, conseguentemente nemmeno delle sollecitazioni prodotte dalla corrente.

Si ottiene:

$$Q_{\max} = 110,0 \text{ mc/sec}$$

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 6 di 26				

4 STUDIO IDRAULICO DEL TORRENTE TERDOPPIO

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 1. Il tratto modellato ha una lunghezza di circa 60 m.

In particolare la sezione dell'attraversamento è quella che nel seguito viene indicata con il numero 20.

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l'altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegate sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), valori in linea con quanto contenuto nella Direttiva per il calcolo della piena di progetto dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, che sono riassunti nella sottostante tabella:

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico \cong 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura	
- alvei con fondo compatto, senza irregolarità	45-40
- alvei regolari con vegetazione erbacea	30-35
- alvei con ciottoli e irregolarità modeste	25-30
- alvei fortemente irregolari	25-15
Torrenti montani	
- fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi	30-25
- alveo in roccia regolare	30-25
- fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi	20-15
- alveo in roccia irregolare	20-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico \cong 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
- sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
- sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
- sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
- in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

Tabella 1: valori caratteristici di scabrezza

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA					
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO					
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366		Foglio	7	di	26

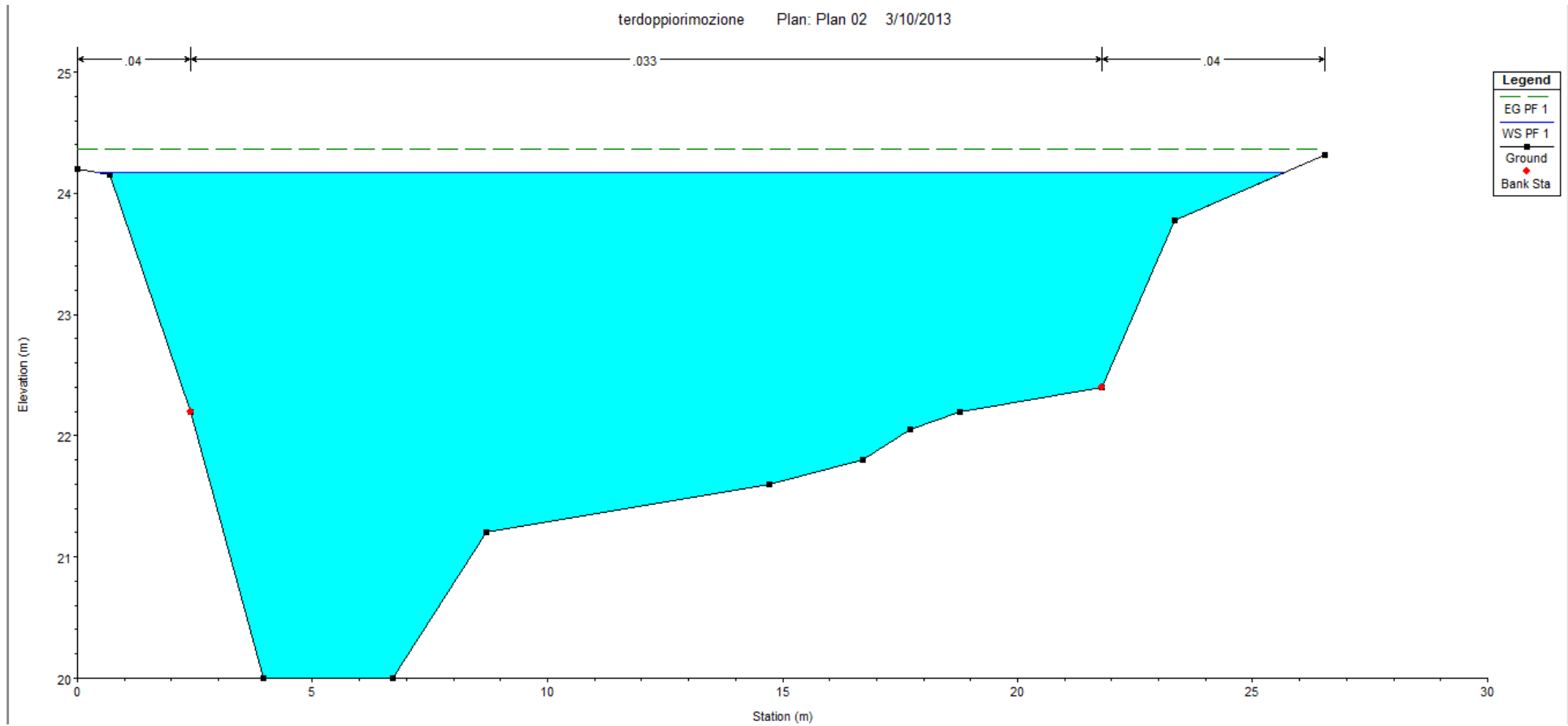


Figura 1: sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento in subalveo da rimuovere

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA									
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE									
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO									
N° Doc. Ingegneria:		Rev.: 00						N° Doc. Cliente:	
J01811-PPL-RE-300-0366		Foglio 8		di 26					

Sezione	Q [mc/sec]	Quota fondo relativa [m.]	Quota acqua relativa [m.]	Altezza critica [m]	Carico Totale [m]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larghezza p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	τ alveo [N/mq]
30	110	20.16	24.22		24.43	0.001319	2.04	56.17	24.24	0.39	2.07	32.69
20	110	20	24.17		24.36	0.001152	1.96	58.89	25.28	0.37	2.08	29.71
10	110	19.84	24.13	22.66	24.31	0.001	1.88	61.95	26.37	0.35	2.1	26.86

Tabella 2: grandezze caratteristiche in corrispondenza delle sezioni modellate

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 9 di 26					

5 VERIFICHE DI STABILITA'

5.1 Verifiche di stabilità ante operam

** PCSTABL5M **
 by
 Purdue University
 --Slope Stability Analysis--
 Simplified Janbu, Simplified Bishop
 or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

15 Top Boundaries
 15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	5.10	5.00	1
2	5.10	5.00	5.11	5.30	1
3	5.11	5.30	5.75	5.30	1
4	5.75	5.30	7.83	2.85	1
5	7.83	2.85	9.00	1.15	1
6	9.00	1.15	11.80	1.10	1
7	11.80	1.10	13.80	2.35	1
8	13.80	2.35	21.65	2.70	1
9	21.65	2.70	22.65	3.00	1
10	22.65	3.00	23.65	3.10	1
11	23.65	3.10	26.60	3.25	1
12	26.60	3.25	28.25	4.60	1
13	28.25	4.60	31.45	5.00	1
14	31.45	5.00	31.46	4.75	1
15	31.46	4.75	42.75	4.45	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (psf)	Piez. Surface No.
1	21.0	23.0	4.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	5.75	5.00
2	31.45	5.00

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient
 Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient
 Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random
 Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 10 di 26					

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced
 Along The Ground Surface Between X = 9.00 ft.
 and X = 11.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 25.00 ft.
 and X = 40.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation
 At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial
 Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical
 First.

PROBLEM DESCRIPTION TORRENTE TERDOPPIO - JANBU
verifiche ante opera torrente in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 25 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	10.33	1.13
2	11.30	.86
3	12.27	.63
4	13.25	.43
5	14.24	.27
6	15.23	.15
7	16.23	.07
8	17.23	.03
9	18.23	.02
10	19.23	.06
11	20.22	.13
12	21.22	.24
13	22.21	.39
14	23.19	.57
15	24.16	.79
16	25.13	1.05
17	26.08	1.35
18	27.03	1.68
19	27.96	2.05
20	28.87	2.46
21	29.77	2.90
22	30.65	3.37
23	31.51	3.87
24	32.36	4.41
25	32.79	4.71

- FT01 = 2.693
- FT02 = 2.700
- FT03 = 2.700
- FT04 = 2.711
- FT05 = 2.726
- FT06 = 2.734
- FT07 = 2.740
- FT08 = 2.744
- FT09 = 2.755
- FT10 = 2.762

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 11 di 26					

PROBLEM DESCRIPTION TORRENTE TERDOPPIO - BISHOP
verifiche ante opera torrente in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 26 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.44	1.14
2	10.41	.88
3	11.38	.65
4	12.36	.46
5	13.35	.30
6	14.34	.17
7	15.34	.08
8	16.34	.03
9	17.34	.00
10	18.34	.02
11	19.34	.06
12	20.33	.15
13	21.33	.26
14	22.32	.41
15	23.30	.60
16	24.27	.82
17	25.24	1.07
18	26.20	1.35
19	27.15	1.67
20	28.08	2.03
21	29.01	2.41
22	29.92	2.82
23	30.81	3.27
24	31.69	3.75
25	32.55	4.26
26	33.25	4.70

Circle Center At X = 17.5 ; Y = 28.8 and Radius, 28.8

- FT01 = 2.809
- FT02 = 2.816
- FT03 = 2.820
- FT04 = 2.824
- FT05 = 2.828
- FT06 = 2.834
- FT07 = 2.840
- FT08 = 2.842
- FT09 = 2.846
- FT10 = 2.852

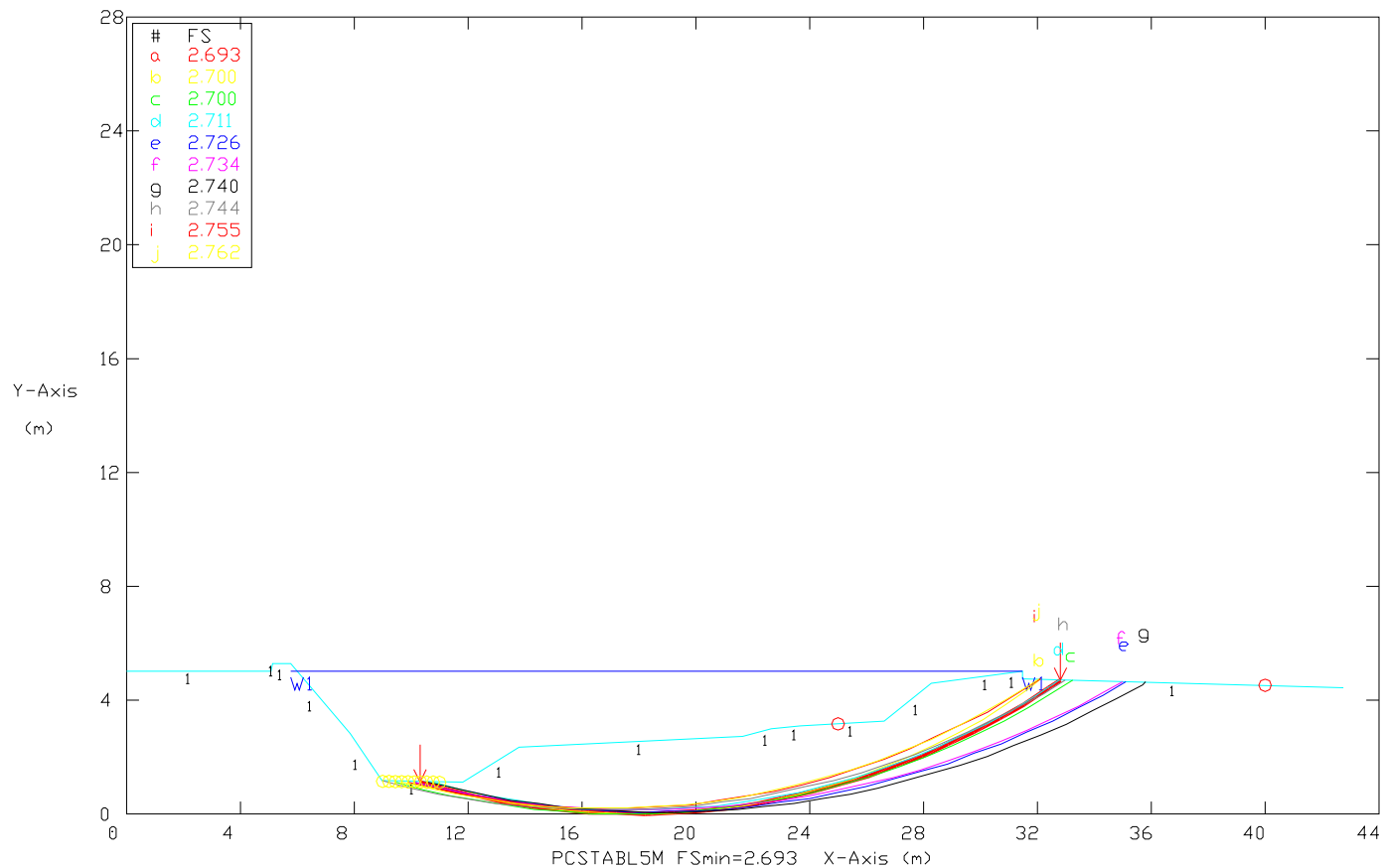
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO

N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 12 di 26					

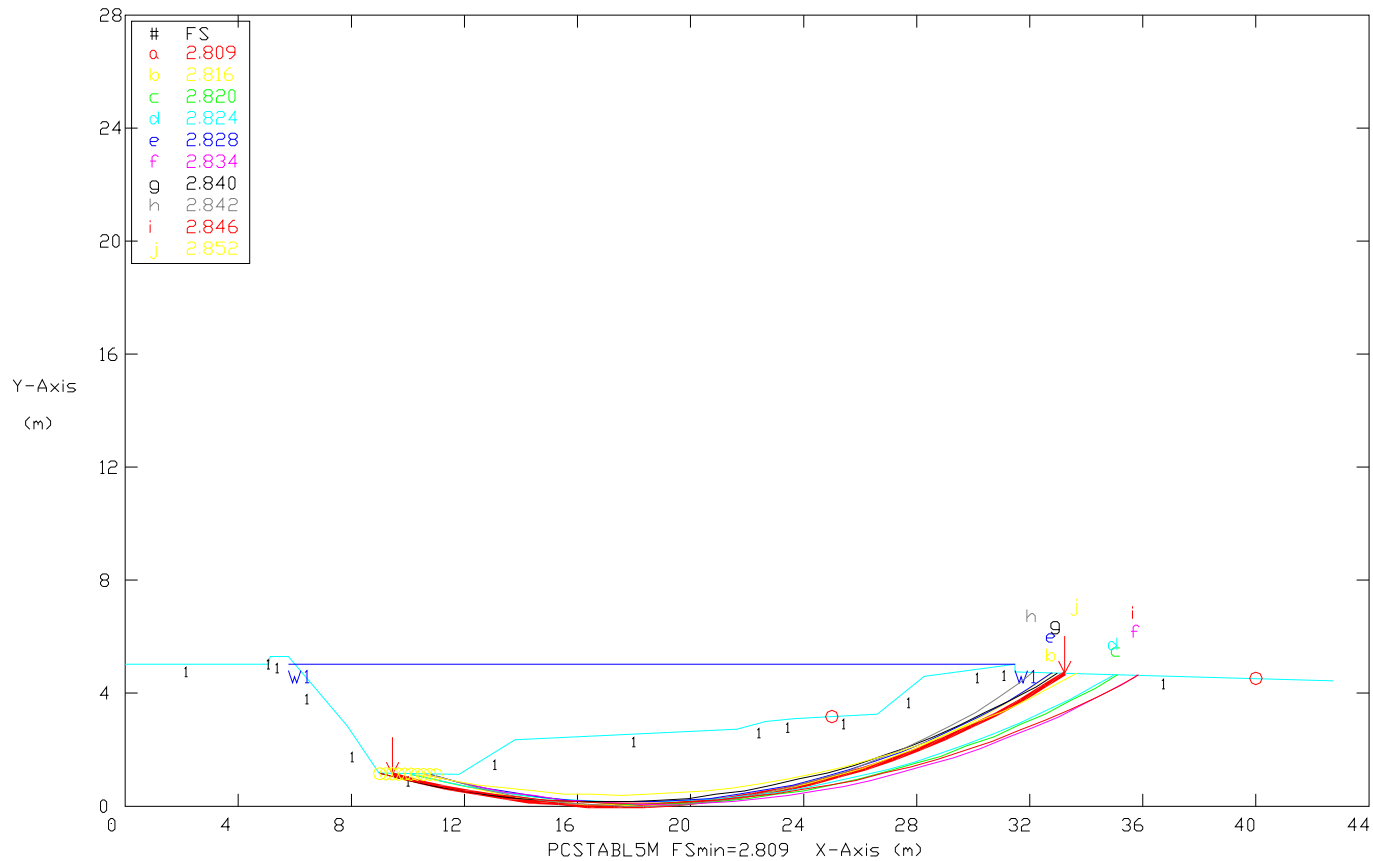
TORRENTE TERDOPPIO – JANBU verifiche ante opera torrente in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-08-13 4:18pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 13 di 26					

TORRENTE TERDOPPIO – BISHOP verifiche ante opera torrente in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-08-13 4:19pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	4	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
			Foglio	14	di	26

5.2 Verifiche di stabilità post operam

Nel caso di depositi alluvionali (sabbie e ghiaie) ed in altri casi, l'ipotesi di coesione assente appare spesso troppo conservativa. Questi materiali sono infatti caratterizzati da legami di tipo pseudo-coesivo che, per quanto deboli, condizionano in modo netto il loro comportamento meccanico. Di norma l'azione "cementante" è svolta dalla frazione fine contenuta nel terreno granulare, sovraconsolidata per essiccamento, o da ridotte precipitazioni carbonatiche, legate a circolazione di fluidi. Per questi motivi nell'analisi ante operam dei versanti è stata considerato un valore della coesione pari a 4 kPa.

Al fine di modellare le verifiche di stabilità post operam, tenuto conto della natura dei terreni che costituiscono il suolo ed il substrato delle aree interessate dal corso d'acqua in esame, sarà ridotto a 1 kPa il valore della coesione efficace; il disturbo operato dalla fase di scavo sarà infatti recuperato nel tempo attraverso il consolidamento del materiale utilizzato per la chiusura degli scavi.

** PCSTABL5M **
by
Purdue University

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

BOUNDARY COORDINATES

15 Top Boundaries
15 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	5.00	5.10	5.00	1
2	5.10	5.00	5.11	5.30	1
3	5.11	5.30	5.75	5.30	1
4	5.75	5.30	7.83	2.85	1
5	7.83	2.85	9.00	1.15	1
6	9.00	1.15	11.80	1.10	1
7	11.80	1.10	13.80	2.35	1
8	13.80	2.35	21.65	2.70	1
9	21.65	2.70	22.65	3.00	1
10	22.65	3.00	23.65	3.10	1
11	23.65	3.10	26.60	3.25	1
12	26.60	3.25	28.25	4.60	1
13	28.25	4.60	31.45	5.00	1
14	31.45	5.00	31.46	4.75	1
15	31.46	4.75	42.75	4.45	1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Total Saturated Cohesion Friction Pore Pressure Piez.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA							
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO							
N°Doc. Ingegneria:		Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366		Foglio 15 di 26					

Type No.	Unit Wt. (pcf)	Unit Wt. (pcf)	Intercept (psf)	Angle (deg)	Pressure Param.	Constant (psf)	Surface No.
1	21.0	23.0	1.0	28.0	.00	.0	1
2	25.0	25.0	100.0	90.0	.00	.0	1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 9.80

Piezometric Surface No. 1 Specified by 2 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	5.75	5.00
2	31.45	5.00

A Horizontal Earthquake Loading Coefficient Of .060 Has Been Assigned

A Vertical Earthquake Loading Coefficient Of .030 Has Been Assigned

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

100 Trial Surfaces Have Been Generated.

10 Surfaces Initiate From Each Of 10 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 9.00 ft. and X = 11.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 25.00 ft. and X = 40.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

1.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First.

PROBLEM DESCRIPTION TORRENTE TERDOPPIO - JANBU verifiche post opera torrente in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Janbu Method * *

Failure Surface Specified By 25 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.89	1.13
2	10.86	.89
3	11.84	.69
4	12.82	.52
5	13.81	.38
6	14.81	.28
7	15.81	.22
8	16.81	.20
9	17.81	.21
10	18.81	.25
11	19.80	.34
12	20.80	.46
13	21.78	.62
14	22.76	.81
15	23.74	1.04
16	24.70	1.30
17	25.66	1.60

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 16 di 26					

18	26.60	1.93
19	27.53	2.30
20	28.45	2.70
21	29.35	3.14
22	30.23	3.60
23	31.10	4.10
24	31.94	4.63
25	32.09	4.73

FS01 = 2.182
 FS02 = 2.182
 FS03 = 2.183
 FS04 = 2.184
 FS05 = 2.184
 FS06 = 2.187
 FS07 = 2.189
 FS08 = 2.189
 FS09 = 2.190
 FS10 = 2.197

PROBLEM DESCRIPTION TORRENTE TERDOPPIO - BISHOP
verifiche post opera torrente in piena

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *

Failure Surface Specified By 26 Coordinate Points

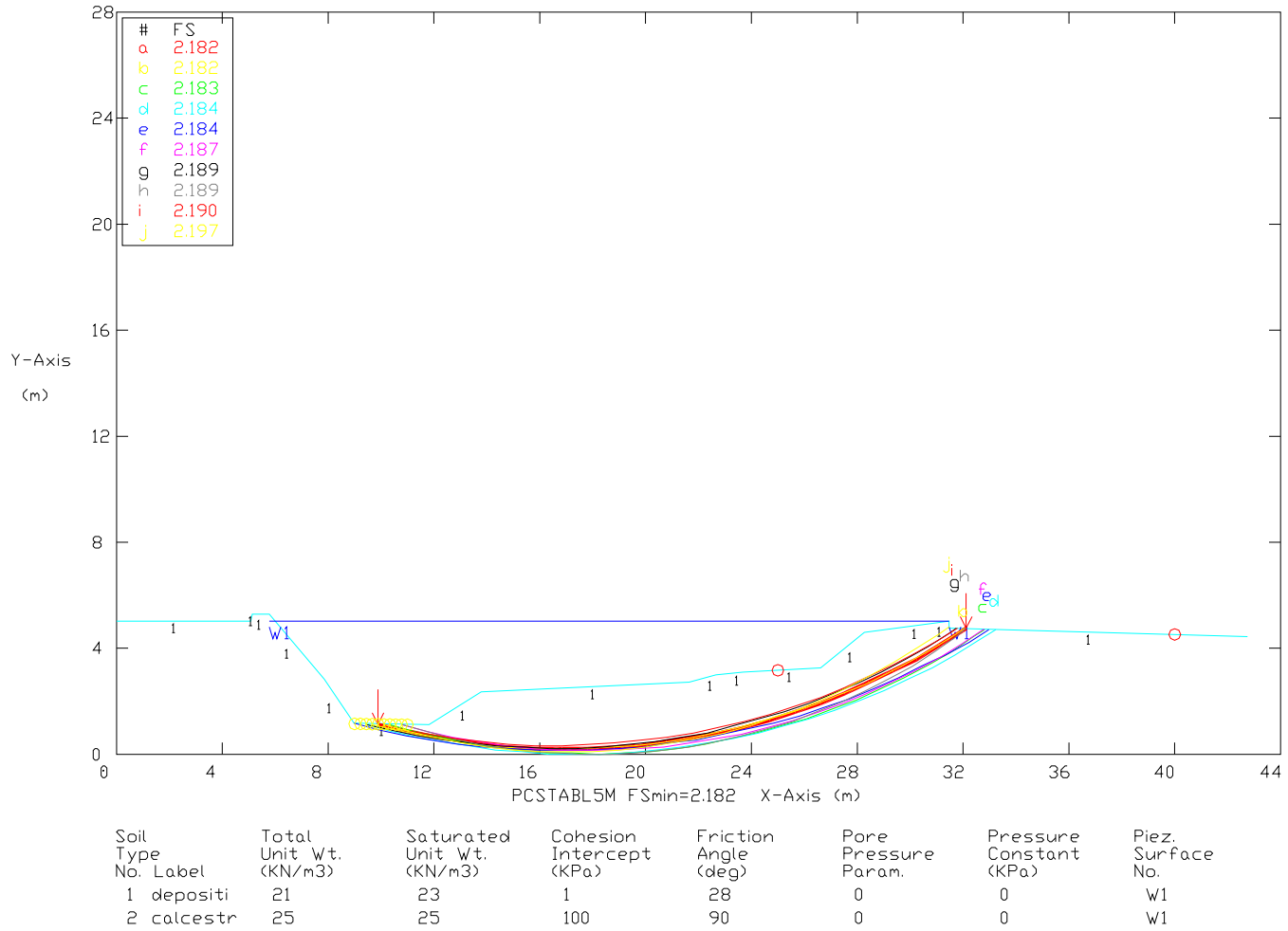
Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
1	9.00	1.15
2	9.99	1.00
3	10.98	.87
4	11.98	.77
5	12.97	.69
6	13.97	.64
7	14.97	.61
8	15.97	.61
9	16.97	.64
10	17.97	.69
11	18.97	.76
12	19.96	.86
13	20.95	.98
14	21.94	1.13
15	22.93	1.30
16	23.91	1.50
17	24.88	1.72
18	25.85	1.97
19	26.81	2.24
20	27.77	2.54
21	28.72	2.86
22	29.66	3.20
23	30.59	3.57
24	31.51	3.96
25	32.42	4.37
26	33.12	4.71

Circle Center At X = 15.5 ; Y = 40.4 and Radius, 39.8

FS01 = 2.258
 FS02 = 2.265
 FS03 = 2.266
 FS04 = 2.268
 FS05 = 2.271
 FS06 = 2.272
 FS07 = 2.273
 FS08 = 2.274
 FS09 = 2.278
 FS10 = 2.278

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 17 di 26					

TORRENTE TERDOPPIO - JANBU verifiche post opera torrente in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-08-13 4:21pm



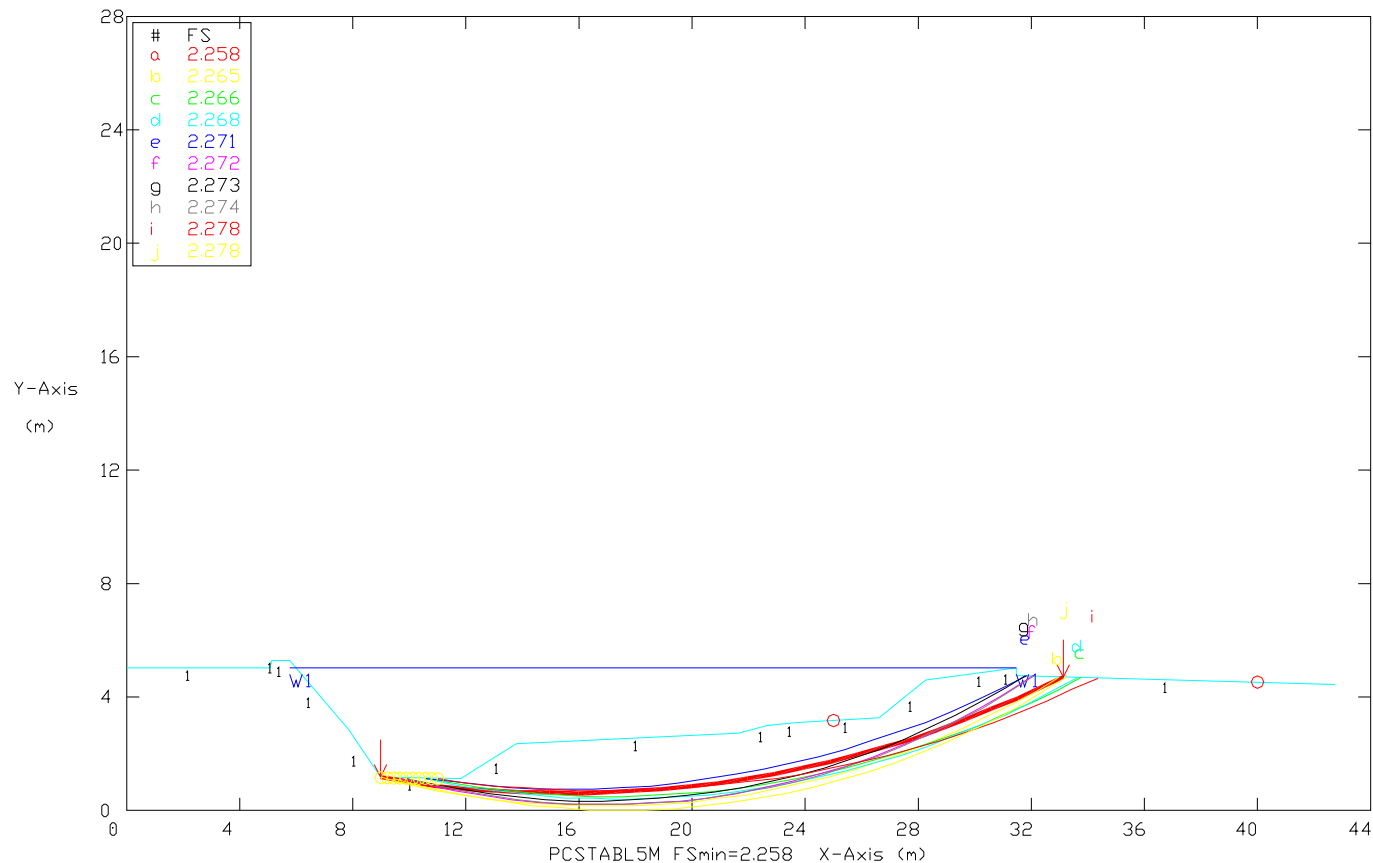
METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA

DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO

N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio 18 di 26					

TORRENTE TERDOPPIO – BISHOP verifiche post opera torrente in piena
 Ten Most Critical. C:SEZIONE.PLT By: ing. Filippo Tamagnini 03-08-13 4:24pm



Soil Type No. Label	Total Unit Wt. (KN/m3)	Saturated Unit Wt. (KN/m3)	Cohesion Intercept (KPa)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param.	Pressure Constant (KPa)	Piez. Surface No.
1 depositi	21	23	1	28	0	0	W1
2 calcestr	25	25	100	90	0	0	W1

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria:		Rev.:	00			N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366		Foglio 19 di 26				

6 VERIFICHE PROTEZIONI SPONDALI

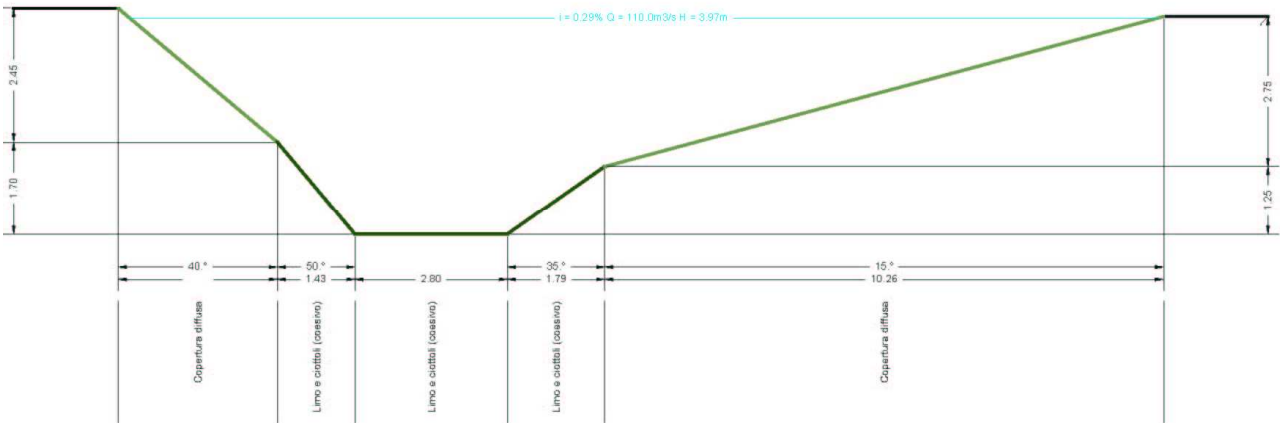
Calcolo n.1

Pendenza [%]		0.29		Numero di fronde		0.64	
Portata [m3/s]		110.00		Sezione [m2]		38.48	
Livello [m]		3.97		Contorno bagnato [m]		21.26	
Velocità media [m/s]		2.86		Raggio idraulico [m]		1.81	

Tratto	Lunghezza [m]	V [m/s]	K	Vamm [m/s]	Vb Materiale [m/s]	V	tau max [N/m2]	tau amm [N/m2]	GeoFil
1	3.81	1.23	1.00	-	-	N	48.49	50.00	N
1.1	3.81				-				
3	2.22	2.86	1.00	-	- Copertura diffusa	N	84.74	50.00	N
4	2.80	4.50	1.00	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	112.99	50.00	N
4.1	2.80				- Limo e ciottoli (coesivo)	N	84.74	50.00	N
5	2.18	3.52	1.00	-	- Limo e ciottoli (coesivo)	N	84.74	50.00	N
5.1	2.18				- Limo e ciottoli (coesivo)	N	84.74	50.00	N
7	10.63	1.62	1.00	-	- Copertura diffusa	N	58.08	50.00	N
7.1	10.63				- Copertura diffusa	N	58.08	50.00	N

Materiali utilizzati

Descrizione	Scabrezza	Tensione ammissibile [N/m2]	V	Diametro [m]	Spessore [m]	Peso specifico [kN/m3]	Tempo [h]	C Shields
Limo e ciottoli (coesivo)	0.0300	50.00	S					
Copertura diffusa	0.0400	50.00	S					



METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 20 di 26				

7 CONCLUSIONI

Come anticipato in premessa la presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologico idrauliche del Fiume Terdoppio, necessarie per definire le più corrette modalità operative e di ripristino da adottare nelle operazioni di rimozione della tubazione esistente in subalveo, costituita da una condotta in acciaio Φ 30” posta ad una profondità di circa 1,50 misurata dal punto più depresso del fondo alveo.

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che le verifiche di stabilità ante e post opera delle sponde hanno restituito fattori di sicurezza superiori ai valori minimi imposti per legge;
- che le verifiche dell’azione della corrente sulle sponde e sul fondo mettono in evidenza che la mancata verifica delle tensioni tangenziali sul fondo e sulle sponde nel caso della portata massima transitabile deve ritenersi limitata al periodo di deflusso di una portata eccezionale, e pertanto i relativi effetti sono ricompresi nei coefficienti di sicurezza utilizzati per le verifiche di cui ai punti precedenti.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno rispettate mettendo in atto le azioni più opportune per il corretto ripristino delle aree scavate. In particolare:

- sarà assicurata una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle arginature, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- sarà verificata in corso d’opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;
- sarà assicurato il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 21 di 26				

ANNESSO 1: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

Descrizione del modello di simulazione idraulica

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

- Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:
- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

È rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 22 di 26				

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA). Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
			Foglio	23	di	26

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

Calcolo del profilo di moto permanente

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico (fig. 1).

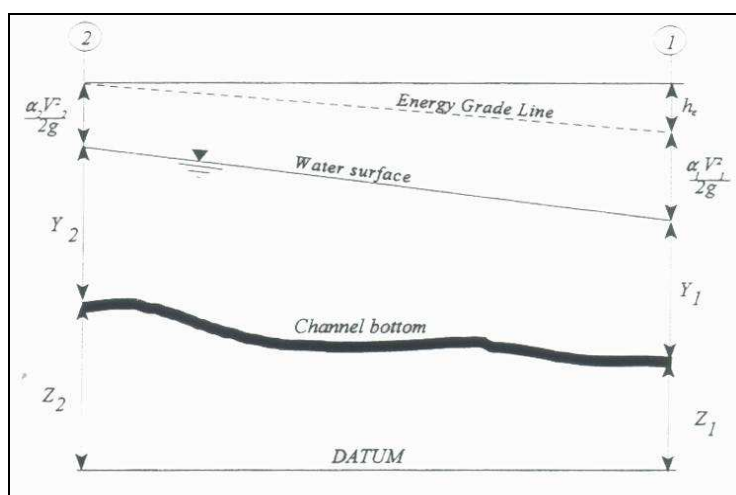


Fig.1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico.

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 24 di 26				

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione (vedi tab.1).

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il canale di magra e la golena di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$: sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

$$Sf = \left(\frac{Q}{K} \right)^2$$

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione.

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30"), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-300-0366	Foglio			25	di	26

x (distanze progressive dall'ascissa $x = 0$) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso (fig. 2).

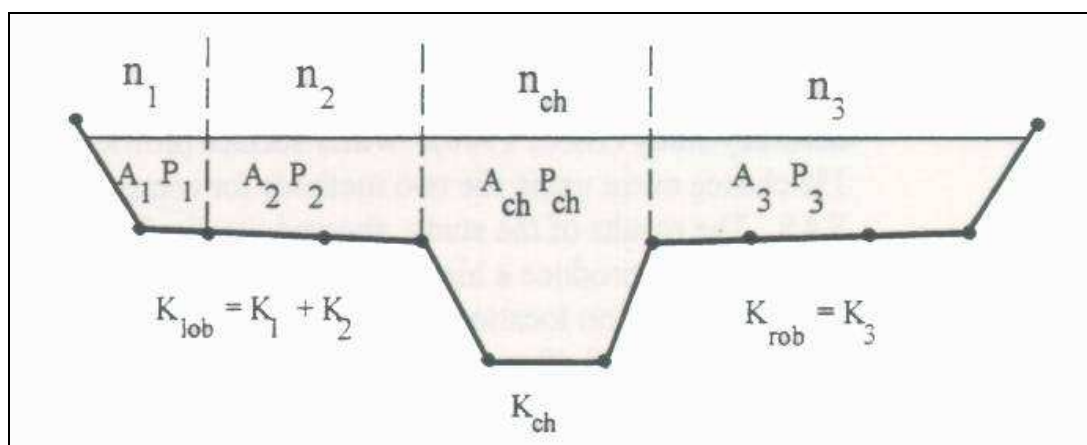


Fig.2 - Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

METANODOTTO SERGNANO – MORTARA, TRATTO CERVIGNANO – MORTARA						
DN 750 (30”), MOP 70 BAR, E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TERDOPPIO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-300-0366	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio 26 di 26				

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente α , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione (fig.3):

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

K_t : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.

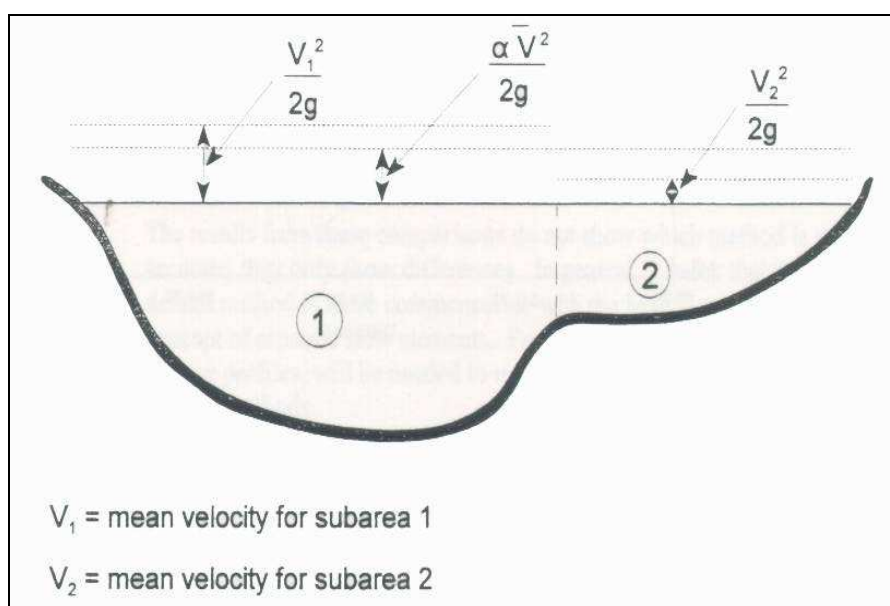


Fig. 3 - Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale

Il coefficiente α si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice S_f e della distanza L fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione