



DIREZIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITA'  
SERVIZIO PONTI, VIE D'ACQUA ED INFRASTRUTTURE

CITTA' DI TORINO

LAVORI DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO  
SPONDA SINISTRA DEL FIUME PO  
TRATTA D'ALVEO PROSPICIENTE  
IL MUSEO DELL'AUTOMOBILE

codice servizio: IF-PVA codice lavoro: NU-IDR	PROGETTO ESECUTIVO	
codice elaborato: REL.TEC.SPEC.1	RELAZIONE IDRAULICA	
DATA: <b>ottobre 2017</b>	REVISIONE:	SCALA: varie

UFFICIO DI PROGETTAZIONE

ing. Lorenzo Peretti: progettista 

ing. Antonio Mollo: collaboratore

geom. Diego Alume: collaboratore

geom. Giorgio Gilli: coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

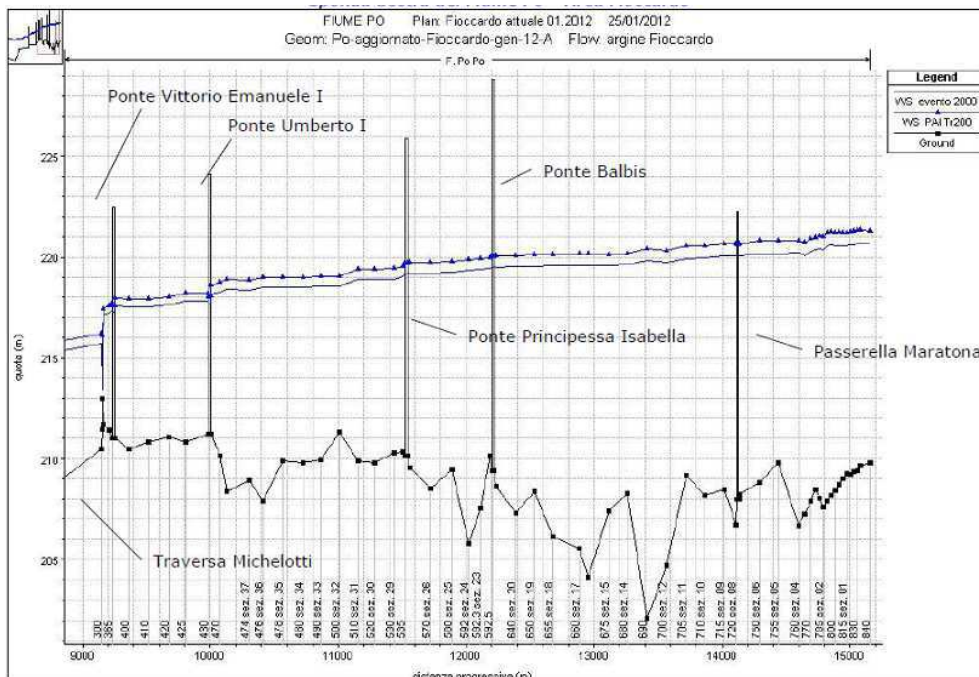
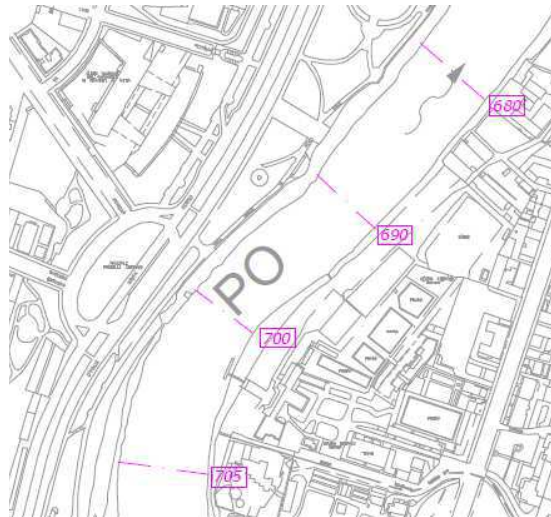
**Ing. Giorgio Marengo**



**LAVORI DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO  
SPONDA SINISTRA DEL FIUME PO  
TRATTA D'ALVEO PROSPICIENTE IL MUSEO DELL'AUTOMOBILE**

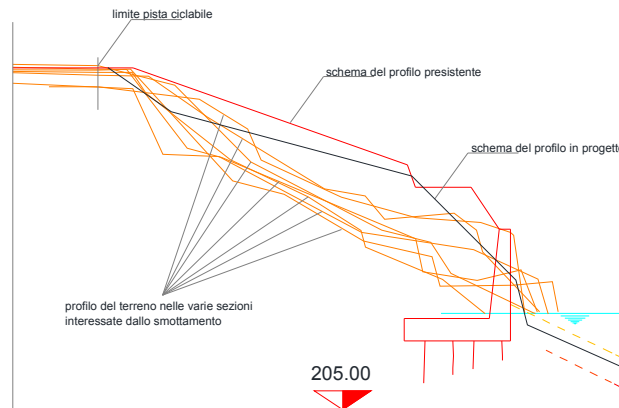
**RELAZIONE IDRAULICA**

Per i livelli di piena si fa riferimento, di seguito, al recente studio del 2012 inerente le “Opere di mitigazione del rischio idraulico sponda destra del fiume Po – Area Fioccardo” redatto dal prof. Ing. Anselmo; tale studio ha assunto come valore di riferimento della piena duecentennale la portata di 2600 m<sup>3</sup>/s, coerentemente alla Direttiva Portate di Progetto dell’Autorità di Bacino del fiume Po. Il profilo di moto permanente calcolato per tale portata indica in prossimità dell’intervento il pelo libero per la sezione di valle (n. 690) a 220,42m.

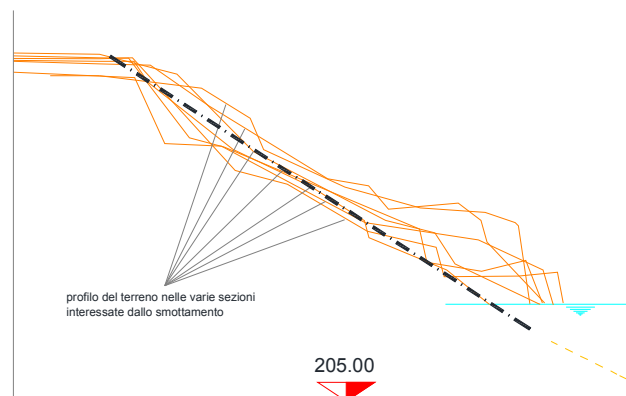


Di seguito vengono indagate le eventuali conseguenze dell'intervento in progetto sul profilo idraulico del fiume.

La figura sottostante mostra che la sezione in progetto risulta quasi perfettamente sovrapponibile a quella preesistente, anzi aumenta la sezione del fiume, cosa che preannuncia superfluo il confronto.



Si procede, pertanto, ad un confronto la sezione attuale (schematizzata come una sezione media) in assenza di interventi, e la sezione in progetto.



Il profilo della sezione media esistente viene schematizzato con un segmento passante per il limite della pista ciclabile che si raccorda quindi alla base con il fondo attuale.

Ciò premesso, si procede all'integrazione numerica all'equazione del pelo libero tra la sezione di valle e di monte dell'intervento, nella situazione *ante operam*; si assume la portata di riferimento di  $2600 \text{ m}^3/\text{s}$  e la condizione al contorno di valle  $z = 220,42\text{m}$ ; si assume il sistema di riferimento con ascissa curvilinea orientata da monte verso valle.

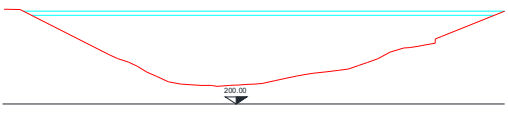
La scabrezza viene assunta coerentemente alle risultanze dello studio idraulico per il “*Fiumi Po e Dora Riparia - Ripristino delle sponde con riferimento alle esigenze della realizzazione di piste ciclo – pedonali*” redatto dal prof. Ing. Anselmo; tale documento indica che in base alle tarature effettuate dopo l'evento del 2000 la scabrezza si può assumere (coefficiente di Manning)  $n = 0,022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ .

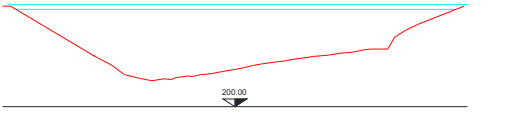
Indicato con  $h$  l'altezza del pelo libero rispetto al fondo ( $Q_{p.l.} = Q_{f.s.} + h$ ) risulta

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_f - \frac{Q^2}{\chi^2 R \Omega^2}}{1 - Fr^2} + \frac{Fr^2}{1 - Fr^2} \frac{\partial \Omega}{\partial x}$$

con

$$Fr^2 = \frac{Q^2 b}{g \Omega^3}$$

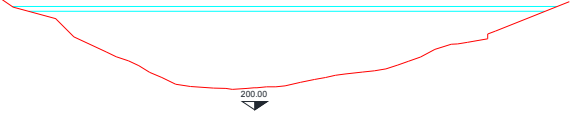
S. n°			$\Omega$	$p$	B
valle		z=220	1034	112	105
		z=221	1141	117	110

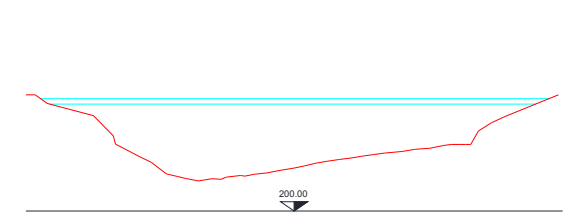
S. n°			$\Omega$	$p$	B
monte		z=220	802	98	91
		z=221	894	102	95

Come noto, il modello di profilo in moto permanente è ricavato analizzando il comportamento di un canale, in cui il fondo è una superficie piana con massima pendenza secondo l'ascissa curvilinea; passando alla modellazione dell'alveo, non è possibile definire inequivocabilmente la pendenza a motivo della variabilità del fondo. Si adotta, pertanto, la pendenza del pelo libero in situazione di magra; dai rilievi batimetrici eseguiti negli anni 2004 e 2005 tale pendenza è di circa 5E-5 nel tratto considerato; la sezione di valle appare piuttosto regolare e simmetrica, per cui si identifica il fondo alveo a quota 204,50m.

n.sez	x	f.s.	h	z	valori di sez valle			valori di sez monte			sez. in esame			R	$\chi$	Fr	dh/dx	H
					$\Omega$	p	B	$\Omega$	p	B	$\Omega$	p	B					
0,00	0,00	205,51	15,15	220,66	863	100,64	93,64	1104	115,29	108,29	1104	115,29	108,29	9,58	65,58	0,06	-8,95E-05	
1,00	7,00	205,51	15,15	220,66	863	100,63	93,63	1104	115,29	108,29	1092	114,56	107,56	9,54	65,53	0,06	-1,07E-03	220,947
2,00	14,00	205,51	15,14	220,65	862	100,60	93,60	1104	115,25	108,25	1079	113,79	106,79	9,49	65,47	0,06	-1,17E-03	220,946
3,00	21,00	205,51	15,13	220,64	861	100,57	93,57	1103	115,21	108,21	1066	113,01	106,01	9,44	65,42	0,06	-1,23E-03	220,945
4,00	28,00	205,51	15,12	220,63	860	100,53	93,53	1102	115,16	108,16	1053	112,24	105,24	9,39	65,36	0,06	-1,28E-03	220,943
5,00	35,00	205,51	15,11	220,62	859	100,49	93,49	1101	115,12	108,12	1040	111,46	104,46	9,33	65,30	0,06	-1,33E-03	220,942
6,00	42,00	205,51	15,11	220,61	858	100,45	93,45	1100	115,07	108,07	1027	110,68	103,68	9,28	65,24	0,07	-1,39E-03	220,940
7,00	49,00	205,51	15,10	220,60	858	100,41	93,41	1099	115,02	108,02	1014	109,91	102,91	9,23	65,17	0,07	-1,45E-03	220,939
8,00	56,00	205,51	15,09	220,59	857	100,37	93,37	1097	114,96	107,96	1001	109,13	102,13	9,17	65,11	0,07	-1,52E-03	220,937
9,00	63,00	205,51	15,08	220,58	856	100,33	93,33	1096	114,91	107,91	988	108,35	101,35	9,12	65,04	0,07	-1,59E-03	220,935
10,00	70,00	205,51	15,06	220,57	854	100,28	93,28	1095	114,85	107,85	975	107,57	100,57	9,06	64,98	0,07	-1,66E-03	220,933
11,00	77,00	205,51	15,05	220,56	853	100,23	93,23	1094	114,79	107,79	962	106,79	99,79	9,00	64,91	0,08	-1,74E-03	220,931
12,00	84,00	205,51	15,04	220,55	852	100,18	93,18	1092	114,73	107,73	948	106,00	99,00	8,95	64,84	0,08	-1,83E-03	220,929
13,00	91,00	205,51	15,03	220,53	851	100,13	93,13	1091	114,66	107,66	935	105,22	98,22	8,89	64,76	0,08	-1,92E-03	220,927
14,00	98,00	205,51	15,01	220,52	850	100,08	93,08	1090	114,60	107,60	922	104,43	97,43	8,83	64,69	0,09	-2,01E-03	220,925
15,00	105,00	205,50	15,00	220,50	848	100,02	93,02	1088	114,52	107,52	908	103,64	96,64	8,76	64,61	0,09	-2,12E-03	220,922
16,00	112,00	205,50	14,99	220,49	847	99,96	92,96	1086	114,45	107,45	895	102,86	95,86	8,70	64,54	0,09	-2,23E-03	220,920
17,00	119,00	205,50	14,97	220,47	846	99,89	92,89	1085	114,37	107,37	881	102,07	95,07	8,64	64,46	0,10	-2,36E-03	220,917
18,00	126,00	205,50	14,95	220,46	844	99,83	92,83	1083	114,28	107,28	868	101,27	94,27	8,57	64,37	0,10	-2,49E-03	220,914
19,00	133,00	205,50	14,94	220,44	842	99,76	92,76	1081	114,19	107,19	854	100,48	93,48	8,50	64,29	0,10	-2,63E-03	220,911
20,00	140,00	205,50	14,92	220,42	841	99,68	92,68	1079	114,10	107,10	841	99,68	92,68	8,43	64,20	0,11	-2,79E-03	220,908

Si eseguono similmente i calcoli per la situazione *post operam*

S. n°			$\Omega$	$p$	B
valle		$z=220$	1025	112	105
		$z=221$	1125	118	110

S. n°			$\Omega$	$p$	B
monte		$z=220$	785	99	91
		$z=221$	878	104	95

n.sez	x	f.s.	h	z	valori di sez valle			valori di sez monte			sez. in esame			R	$\chi$	Fr	dh/dx	H
					$\Omega$	p	B	$\Omega$	p	B	$\Omega$	p	B					
0,00	0,00	205,51	15,17	220,68	848	102,38	93,70	1093	116,05	108,38	1093	116,05	108,38	9,41	65,39	0,06	-9,62E-05	
1,00	7,00	205,51	15,16	220,67	848	102,37	93,70	1092	116,04	108,37	1080	115,36	107,64	9,36	65,33	0,06	-1,13E-03	220,969
2,00	14,00	205,51	15,16	220,67	847	102,33	93,66	1092	115,99	108,33	1067	114,63	106,86	9,31	65,27	0,06	-1,23E-03	220,968
3,00	21,00	205,51	15,15	220,66	846	102,28	93,63	1091	115,94	108,28	1054	113,89	106,09	9,25	65,20	0,06	-1,29E-03	220,967
4,00	28,00	205,51	15,14	220,65	845	102,24	93,59	1090	115,88	108,24	1041	113,16	105,31	9,20	65,14	0,06	-1,35E-03	220,966
5,00	35,00	205,51	15,13	220,64	844	102,19	93,55	1089	115,83	108,19	1028	112,42	104,53	9,14	65,07	0,07	-1,41E-03	220,964
6,00	42,00	205,51	15,12	220,63	843	102,14	93,51	1088	115,76	108,14	1014	111,68	103,75	9,08	65,00	0,07	-1,47E-03	220,962
7,00	49,00	205,51	15,11	220,62	842	102,08	93,47	1087	115,70	108,08	1001	110,94	102,97	9,02	64,93	0,07	-1,54E-03	220,961
8,00	56,00	205,51	15,10	220,61	841	102,03	93,42	1086	115,63	108,03	988	110,19	102,19	8,97	64,86	0,07	-1,61E-03	220,959
9,00	63,00	205,51	15,09	220,59	840	101,97	93,38	1084	115,56	107,97	975	109,45	101,40	8,90	64,79	0,08	-1,69E-03	220,957
10,00	70,00	205,51	15,08	220,58	839	101,91	93,33	1083	115,49	107,91	961	108,70	100,62	8,84	64,71	0,08	-1,77E-03	220,955
11,00	77,00	205,51	15,06	220,57	838	101,85	93,28	1082	115,42	107,85	948	107,95	99,83	8,78	64,63	0,08	-1,86E-03	220,953
12,00	84,00	205,51	15,05	220,56	837	101,78	93,22	1081	115,34	107,78	934	107,20	99,05	8,71	64,55	0,08	-1,95E-03	220,951
13,00	91,00	205,51	15,04	220,54	835	101,71	93,17	1079	115,25	107,71	921	106,45	98,26	8,65	64,47	0,09	-2,06E-03	220,948
14,00	98,00	205,51	15,02	220,53	834	101,64	93,11	1078	115,16	107,64	907	105,69	97,47	8,58	64,39	0,09	-2,17E-03	220,946
15,00	105,00	205,50	15,01	220,51	833	101,56	93,05	1076	115,07	107,56	893	104,94	96,67	8,51	64,30	0,09	-2,29E-03	220,943
16,00	112,00	205,50	14,99	220,50	831	101,48	92,98	1075	114,97	107,48	880	104,17	95,88	8,44	64,22	0,10	-2,42E-03	220,941
17,00	119,00	205,50	14,97	220,48	829	101,39	92,91	1073	114,87	107,39	866	103,41	95,08	8,37	64,13	0,10	-2,56E-03	220,938
18,00	126,00	205,50	14,96	220,46	828	101,30	92,84	1071	114,76	107,30	852	102,64	94,28	8,30	64,03	0,11	-2,72E-03	220,934
19,00	133,00	205,50	14,94	220,44	826	101,20	92,76	1069	114,64	107,20	838	101,87	93,48	8,23	63,94	0,11	-2,89E-03	220,931
20,00	140,00	205,50	14,92	220,42	824	101,10	92,68	1067	114,52	107,10	824	101,10	92,68	8,15	63,84	0,11	-3,08E-03	220,927

Si osserva, pertanto, che il profilo di moto permanente non presenta differenze ingegneristicamente rilevabili; pertanto, l'opera in progetto non ha rilevanza nei confronti del profilo stesso.

### Considerazioni sulla stabilità della sponda

Come descritto nella relazione di calcolo strutturale, la stabilità della sponda è stata verificata in condizioni di rapido svasso, considerando l'altezza della falda ricaricata pari a quella del terreno e il livello del fiume in condizioni di magra.

La superficie al di sopra dell'opera di contenimento ha una pendenza ridotta, in modo da risultare stabile anche in condizioni di moto di filtrazione parallelo alla superficie; per tali condizioni il coefficiente di sicurezza è di 1,16 per il breve periodo; si fa, quindi, affidamento sullo sviluppo degli apparati radicali per l'incremento di tale coefficiente a regime. La suddetta livelletta (inclinata di 15°) è raccordata al piano della pista ciclabile con una pendenza di 35° (pari cioè a quella di attrito interno del terreno); la variazione di pendenza è prevista a quota prossima a quella della piena duecentennale; pertanto il tratto a maggior pendenza non risulta mai interessato dalla falda.

### Considerazioni sulla potenziale erosione

La tensione tangenziale esercitata del flusso dell'acqua è

$$\tau = \gamma R j$$

$R$  è identificabile con l'altezza dell'acqua per la zona di maggiore esposizione (2m);  $j$  è la pendenza motrice in condizioni di piena, valutabile dalle precedenti considerazioni come  $j = 1,7E-3$ ; pertanto  $\tau = 10.000 (Nm^{-3}) * 2m * 1,7E-3 = 34 N/m^2$ .

Tale valore risulta coerente con valori di resistenza anche semplicemente di un prato; si riporta, all'uopo, una tabella di valori delle tensioni di trascinamento a cui hanno storicamente resistito delle sistemazioni studiate (i valori non corrispondono quindi necessariamente a valori limite).

Sistemi di copertura	Resistenza unitaria misurata in tempo di piena [N/m <sup>2</sup> ]			
	Alla data del collaudo	Al termine del 1° periodo vegetativo	Al termine del 2° periodo vegetativo	Al termine del 3° periodo vegetativo
Piantagione semplice	0	10	30	>30
Prati	10	30	30	30
Mantellata viva di salici	50	150	300	>300
Piantagione con letto di ramaglie	15	-	75	120
Gettata di pietrame rinverdita	50	-	100	250
Graticciata con ramaglia rinverdita	100	200	-	>300
Scogliera di massi rinverdita	75	100	300	>350

Tabella 2.10 - Valori sperimentali di resistenza al trascinamento della corrente misurati su opere spondali senza consolidamento al piede (Begemann W., Schiechl H.) (Di Fidio M., I corsi d'acqua, Sistemazioni naturalistiche e difesa del territorio - Pirola, 1995).