

Contraente: 	Progetto: <b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA          DN 1400 (56") DP 75 bar</b>		Cliente:  <b>SNAM RETE GAS</b>		
	N° Contratto : N° Commessa :				
N° documento: J01811-PPL-RE-000-0009	Foglio 1            di            15	Data 12-04-13	N° documento Cliente:		
<b>ANALISI REGIMI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI          FIUME LAMBRO</b>					
00	12-04-13	EMISSIONE		VANNI	FRASSINELLI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE		PREPARATO	CONTROLLATO
				MONTONI	APPROVATO

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009		Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio 2 di 15					

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL FIUME LAMBRO .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>analisi DELLE PORTATE MEDIE NATURALI PER IL TRATTO DI INTERESSE .....</b>	<b>8</b>
	<b>3.1 Bacino del Lambro a Melegnano.....</b>	<b>8</b>
	<b>3.2 Bacino del Lambro alla confluenza in Po .....</b>	<b>10</b>
<b>4</b>	<b>PORTATE MEDIE antropizzate PER IL TRATTO DI INTERESSE.....</b>	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONE .....</b>	<b>15</b>

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>							
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00					N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0009	Foglio			3	di	15	

## 1 PREMESSA

Il fiume Lambro nasce dai monti del gruppo del San Primo (Triangolo Lariano), nell'area di Piano Rancio nel comune di Magreglio con una sorgente di tipo carsico.

Il fiume ha un regime tipicamente pre-alpino con massimi di portata autunnali e primaverili e magre estive e invernali.

Il Lambro tuttavia può subire notevolissimi sbalzi di portata durante tutto l'anno, toccando nel basso corso anche valori medi di 40 m<sup>3</sup>/s. Tale circostanza è da attribuirsi principalmente alla pesante urbanizzazione che caratterizza il territorio del bacino, che, riducendo la permeabilità dei suoli ed aumentando la velocità di scorrimento, produce sulla rete idrografica dei picchi di piena di particolare intensità. Gli ultimi eventi calamitosi per il bacino del Lambro si sono verificati nel 2002 (ove sono state interessate ampie zone della città di Monza, del monzese e di molti centri della Brianza) e nel 2010, quando è stata interessate alcune zone di Milano, entrambi comunque in zone poste sensibilmente a monte dell'area di intervento.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00						N°Doc. Cliente:
		Foglio 4		di 15			

## 2 ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL FIUME LAMBRO

Per una valutazione del regime idrologico del corso d'acqua che, come anticipato risulta un'operazione abbastanza complessa, si può fare riferimento a specifici studi commissionati dalla regione Lombardia, l'ultimo dei quali, in ordine temporale, è quello commissionato dalla Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità al Politecnico di Milano nell'anno 2003 a corredo della prima edizione del "*Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA)*", i cui risultati prendono le basi anche dai risultati dei precedenti studi redatti con metodologie differenti, dal Politecnico di Milano nell'anno 1998 e dall'Autorità di Bacino nel 1999.

Lo studio suddetto, che nel seguito verrà denominato sinteticamente Poli03, ha operato una prima distinzione tra i fiumi caratterizzati dalla presenza di stazioni di misura nella sezione terminale (con almeno 10 anni di osservazioni) e quelli che ne sono del tutto privi. In questo secondo caso (o in quello in cui le portate misurate sono limitate a periodi inferiori ai 10 anni), è stata definita una procedura di trasferimento dell'informazione idrometrica disponibile tra le sezioni note e le altre sezioni fluviali sullo stesso corso d'acqua. Questa procedura consiste essenzialmente nello stimare i valori delle portate medie annue per unità di superficie dai corrispondenti valori medi unitari misurati in altre sezioni, riscalati in base alle misure della precipitazione media annua sui rispettivi sottobacini tenendo in considerazione anche l'evapotraspirazione e l'eventuale contributo della falda.

Per approfondimenti sulla metodologia i calcolo si rimanda all'*Allegato 2, Cap. 1 "Metodologia per le elaborazioni idrologiche"* e *Cap. 2 "Relazioni applicative per bacino"* del PTUA citato.

Nel caso del Fiume Lambro esistono 2 stazioni di misura delle portate ubicate tutte nella parte alta del bacino (prima dell'attraversamento dell'area urbana di Milano) poste rispettivamente a Lambrugo e Biassono, ed una stazione di misura dei livelli idrometrici a S. Colombano, poco a monte della confluenza in Po, ove è disponibile anche una scala di deflusso che ha consentito la ricostruzione dei valori di portata a partire dai livelli misurati. Pertanto per la determinazione delle portate nei tratti intermedi è stato necessario individuare una serie di sottobacini cui applicare la procedura di trasferimento dell'informazione.

In particolare per il Lambro, oltre alle sezioni ove sono presenti stazioni di misura sono state definite due sezioni aggiuntive una a Brugherio ed una a Melegnano.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio 5	di 15			

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini idrografici studiati.

Sezione	X	Y	Area [km <sup>2</sup> ]	Hmin [m.s.l.m.]	H media [m.s.l.m.]	Hmax [m.s.l.m.]
Lambro a Lambrugo	1.519.410	5.067.775	170	233	468	1449
Lambro a Biassono	1.523.260	5.051.350	301	173	342	1449
Lambro a Brugherio	1.520.979	5.044.223	410	129	285	1449
Lambro a Melegnano	1.525.848	5.022.473	968	79	191	1449
Confluenza Lambro - Po	1.542.918	4.998.264	2217	48	137	1449

Tabella 1 – Coordinate Gauss-Boaga e principali caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini sottesi.

Le opere in progetto ed in rimozione ricomprese nel progetto del metanodotto Cervignano-Mortara ricadono in particolare nel tratto compreso tra la sezione di Melegnano e la confluenza in Po, per cui a queste due sezioni si farà riferimento nel seguito.

Per quanto riguarda le stazioni di misura i dati disponibili sono in genere quelli del Servizio Idrografico per i periodi indicati nella seguente tabella.

Sezione	Area [km <sup>2</sup> ]	Periodo di misura disponibile	Tipo di dato disponibile
Lambro a Lambrugo	170	1958-1967;1969-1972	giornaliero
Lambro a S. Giorgio a Biassono	301	1984-1997;2000-2002	giornaliero
Bevera a Colombaio	-	1954-1973	giornaliero

Tabella 2 – dati idrometrici disponibili per il bacino del Lambro.

Va tuttavia evidenziato che le sezione in cui sono collocate le 3 stazioni di misura risentono in maniera non trascurabile dell'effetto antropico sul bacino di monte, ove sono presenti importanti derivazioni e/o immissioni di scarichi di varia natura che alterano i valori misurati rispetto a quelli che naturalmente caratterizzerebbero il bacino.

La metodologia Poli03 ha pertanto adattato tali valori, con procedura analoga a quella per il trasferimento delle informazioni tra una sezione e l'altra descritta in precedenza, ricostruendoli nel seguente modo (valori rinaturalizzati), ovvero:

$$Q_{AN} = Q_M + Q_{IR} - Q_D - Q_R$$

Con:

$Q_{AN}$  = portata media annua naturale

$Q_M$  = portata media annua misurata

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>												
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>												
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00											N° Doc. Cliente:
Foglio 6 di 15												

$Q_{IR}$  = portata media annua derivazioni irrigue

$Q_D$  = portata media annua depuratori

$Q_R$  = portata media annua immissari

Nelle seguenti tabelle si riporta per le 3 stazioni di misura considerate il confronto tra i valori misurati e quelli rinaturalizzati:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Magg	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>mis</sub> [mc/sec]	3.90	3.92	5.21	5.84	4.90	6.24	3.96	3.94	5.04	5.76	6.74	4.80	5.02
Q <sub>nat</sub> [mc/sec]	3.43	3.45	4.74	5.54	4.60	5.94	3.65	3.64	4.74	5.29	6.27	4.33	4.63

Tabella 3.1 – Portate medie mensili misurate e naturali ricostruite alla stazione di Lambrugo.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>mis</sub> [mc/sec]	5.64	6.14	6.43	8.89	9.48	7.89	5.79	4.58	6.11	8.33	9.38	6.84	7.13
Q <sub>nat</sub> [mc/sec]	5.17	5.67	5.96	8.95	9.54	7.95	5.85	4.64	6.17	7.86	8.91	6.37	6.93

Tabella 3.2 – Portate medie mensili misurate alla stazione di S. Giorgio a Biassono.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Magg	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>mis</sub> [mc/sec]	54.38	61.76	43.60	53.81	62.76	54.92	42.45	36.49	66.32	61.81	65.63	51.50	54.50
Q <sub>nat</sub> [mc/sec]													38.75

Tabella 3.3 – Portate medie mensili misurate alla stazione di S. Colombano.

Come anticipato, per ottenere i valori di portata media annua e media mensile per sezioni ove non sono presenti stazioni di misura lo studio ha applicato una metodologia che, partendo dai dati di pioggia e portata disponibili consente di “trasferire”, scalandoli, i valori di portata noti.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio 7	di 15			

Nel bacino del Lambro sono complessivamente disponibili 13 stazioni di misura delle precipitazioni. Analizzando statisticamente ed integrando con opportune metodologie i valori registrati dalle stazioni sono stati ottenuti i seguenti valori di altezza di precipitazione media annua:

<i>Stazione</i>	<i>Quota [m s.l.m.]</i>	<i>Altezza di precipitazione media annua misurata [mm]</i>	<i>Altezza di precipitazione media annua integrata [mm]</i>
Asso	427	1769	1775
Carpesino	302	1766	1794
Costa Masnaga	318	1432	1427
Cremella	380	1441	1458
Carate Brianza	255	1170	1176
Monza	162	1199	1197
Milano - Duomo	121	1012	1010
Melegnano	88	1055	1046
Cernusco sul Naviglio	134	1109	1100
Albavilla	429	1504	1504
Caleppio di Settala	101	789	789
Milano 2	150	992	989
Monza	190	878	872

Tabella 4 – Altezze medie annue di precipitazioni per le stazioni poste nel bacino del Fiume Lambro.

Mentre le altezze di pioggia areale media mensile e media annua alle sezioni di calcolo sono riportati nella seguenti tabelle:

<i>Stazione</i>	<i>gen</i>	<i>feb</i>	<i>mar</i>	<i>apr</i>	<i>mag</i>	<i>giu</i>	<i>lug</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>ott</i>	<i>nov</i>	<i>dic</i>
Lambro a Lambrugo	79	81	106	152	155	177	141	160	142	180	161	99
Lambro a Biassono	78	81	96	136	144	160	124	141	131	160	145	88
Lambro a Brugherio	78	77	91	126	135	147	116	132	123	151	136	83
Lambro a Melegnano	74	67	87	116	118	124	103	116	116	148	127	79
Confluenza Lambro - Po	70	58	82	110	109	121	90	103	106	136	122	74

Tabella 5 – Altezze medie mensili di precipitazione in [mm] nelle sezioni di calcolo utilizzate dallo studio

	<i>Lambro a Lambrugo</i>	<i>Lambro a Biassono</i>	<i>Lambro a Brugherio</i>	<i>Lambro a Melegnano</i>	<i>Confluenza Lambro - Po</i>
P misurata (anni completi)	1640	1488	1400	1296	1203
P integrata	1634	1483	1394	1191	1081
P utilizzata	1634	1483	1394	1273	1180

Tabella 6 – Altezze medie annue di precipitazione in [mm] ricavate per il bacino del Fiume Ticino alla chiusura delle sezioni di calcolo utilizzate dallo studio

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00						N°Doc. Cliente:
		Foglio	8	di	15		

### 3 ANALISI DELLE PORTATE MEDIE NATURALI PER IL TRATTO DI INTERESSE

A questo punto, con la metodologia espressa nei paragrafi precedenti, lo studio citato ha determinato le portate medie annue e mensili nelle sezioni di chiusura individuate lungo l'asta fluviale, delle quali si riportano i risultati per le sezioni di interesse per il progetto.

3.1 Bacino del Lambro a Melegnano, la cui sezione di chiusura si trova a valle di quella del Lambro a Biassono, la portata media annua naturale  $Q_{AN}$  è stata calcolata, secondo la procedura Poli03, dal contributo unitario del bacino a Biassono riscaldato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue nei due bacini. Essendo:

$$q_2 = \text{contributo unitario del Lambro a Biassono} = (Q_2/A_2 \cdot 1000) = 23.01 \text{ l/s km}^{-2}$$

$$Q_2 = \text{portata media annua del Lambro a Biassono} = 6.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_2 = \text{precipitazione media annua del Lambro a Biassono} = 1273 \text{ mm}$$

$$P_1 = \text{precipitazione media annua del Lambro a Melegnano} = 1483 \text{ mm}$$

$$A_2 = \text{area del bacino del Lambro a Melegnano (senza area del Seveso)} = 742 \text{ km}^2$$

$$A_1 = \text{area del bacino del Lambro a Biassono} = 301 \text{ km}^2$$

risulta:

$$q_1 = \text{contributo unitario del Lambro a Melegnano} = (q_2 \cdot P_1/P_2) = 19.75 \text{ l/s km}^{-2}$$

e quindi

$$Q_{AN1 \text{ Melegnano}} = (q_1 \cdot A_1/1000) = 14.65 \text{ m}^3/\text{s}.$$

A tale valore va aggiunto il contributo  $Q_F = 0.047 \text{ m}^3/\text{s}$  dovuto all'interscambio con la falda, che in questo tratto alimenta il corso d'acqua e l'apporto della portata media annua naturale del Seveso a Bresso pari a  $Q_S = 2.51 \text{ mc/sec}$ .

Inoltre, per tenere conto della massiccia urbanizzazione del territorio del bacino che interessa una superficie di  $255 \text{ km}^2$  su 968, occorre inserire un coefficiente moltiplicativo C dipendente sia dal rapporto tra la superficie urbanizzata e quella naturale che dal rapporto tra i due coefficienti di deflusso (assunto pari a 1.5) calcolato come segue:

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00						N°Doc. Cliente:
		Foglio 9 di 15					

$$\left(\frac{A_{urb}}{A_{tot}}\right) = \frac{255}{742} = 0.34$$

$$\left(\frac{\varphi_{urb}}{\varphi_{nat}}\right) = 1.5$$

$$C = 1 + \left(\left(\frac{\varphi_{urb}}{\varphi_{nat}}\right) - 1\right) \cdot \left(\frac{A_{urb}}{A_{nat}}\right) = 1.17$$

ottenendo così:

$$Q_{AN \text{ Melegnano}} = 1.17 \cdot 14.65 + 2.51 + 0.047 = 19.73 \text{ m}^3/\text{s}$$

a cui corrisponde un contributo unitario pari a 20.38 l/s km<sup>-2</sup>.

Per il calcolo delle portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua calcolata sono stati utilizzati, anche in questo caso, i rapporti rispetto alla portata media ricavati per la sezione del Lambro a Biassono con l'ulteriore complicazione che è stato necessario prima determinare la portata media mensile del Seveso, suo immissario, ed avendo ipotizzato il contributo della falda costante per tutti i mesi dell'anno.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	14.26	18.52	16.75	26.09	27.97	22.95	16.32	12.52	17.33	22.74	26.05	18.02	19.73

Tabella 7 – Portate medie mensili determinate per la sezione di Melegnano

Nella Tabella 7 sono riportati i valori delle portate medie mensili che ne derivano per la sezione corrente, mentre nella seguente Figura 1 sono riportati gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 10 di 15					

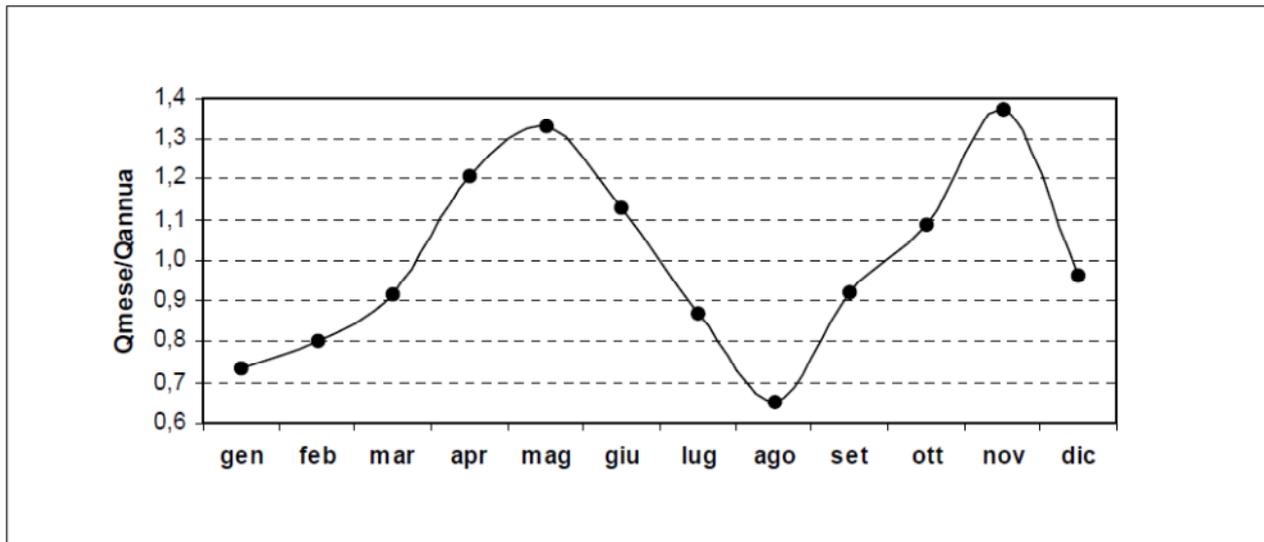


Figura 1 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua calcolate alla sezione di Melegnano.

3.2 Bacino del Lambro alla confluenza in Po, la cui sezione di chiusura si trova a valle di quella del Lambro a S. Colombano, la portata media annua naturale  $Q_{AN}$  è stata calcolata, secondo la procedura Poli03, dal contributo unitario del bacino a S. Colombano riscaldato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue nei due bacini. Essendo:

$$q_2 = \text{contributo unitario del Lambro a S. Colombano} = (Q_2/A_2 \cdot 1000) = 17.92 \text{ l/s km}^{-2}$$

$$Q_2 = \text{portata media annua del Lambro a S. Colombano} = 38.75 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_2 = \text{precipitazione media annua del Lambro a S. Colombano} = 1189 \text{ mm}$$

$$P_1 = \text{precipitazione media annua del Lambro alla confluenza in Po} = 1180 \text{ mm}$$

$$A_2 = \text{area del bacino del Lambro a S. Colombano} = 2163 \text{ km}^2$$

$$A_1 = \text{area del bacino del lambro alla confluenza in Po} = 2217 \text{ km}^2$$

risulta:

$$q_1 = \text{contributo unitario del Lambro alla confluenza} = (q_2 \cdot P_1/P_2) = 17.79 \text{ l/s km}^{-2}$$

e quindi

$$Q_{AN \text{ Po}} = (q_1 \cdot A_1/1000) = 39.43 \text{ m}^3/\text{s}.$$

A tale valore va aggiunto il contributo  $Q_F = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  dovuto all'interscambio con la falda, che in questo tratto alimenta il corso d'acqua, ottenendo così:

$$Q_{AN \text{ Po}} = 39.43 + 1.2 = 40.63 \text{ m}^3/\text{s}$$

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>													
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>													
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009		Rev.: 00		Foglio 11		di 15		N° Doc. Cliente:					

a cui corrisponde un contributo unitario pari a  $18.33 \text{ l/s km}^{-2}$ .

In questo caso non è stata applicata la correzione per tener conto dell'urbanizzazione in quanto il calcolo è stato eseguito a partire dai dati di portata misurati a San Colombano che, essendo poco a monte della confluenza in Po, risente già degli effetti delle massicce urbanizzazioni presenti sul bacino.

Per il calcolo delle portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua calcolata sono stati utilizzati, anche in questo caso, i rapporti rispetto alla portata media ricavati per la sezione del Lambro.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	26.36	32.59	34.48	53.72	57.59	47.26	33.61	25.79	35.68	46.83	53.65	37.12	40.63

Tabella 8 – Portate medie mensili determinate per la sezione di confluenza in Po

Nella seguente Figura 2 sono riportati gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua. Nella Tabella 7 sono invece riportati i valori delle portate medie mensili che ne derivano per la sezione corrente.

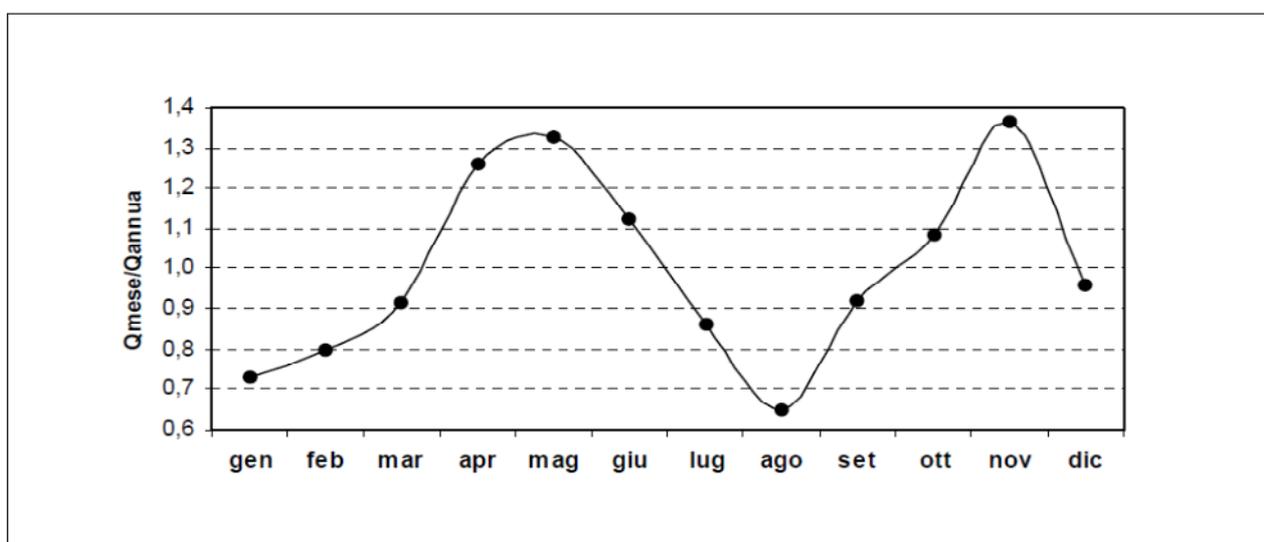


Figura 2 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua calcolate alla sezione di confluenza in Po.

Va detto al riguardo che tale andamento delle portate medie mensili è sostanzialmente in linea con i risultati di un altro studio eseguito sempre dal Politecnico di Milano nell'anno

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>													
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>													
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009		Rev.:	00								N° Doc. Cliente:		
		Foglio		12	di		15						

1998, mentre si discosta sensibilmente dai valori determinati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po riportati nelle sottostanti tabelle 10 e 11.

Pur considerando infatti che i valori calcolati da quest'ultima non tengono conto delle portate derivate/immesse per usi antropici (di cui si parlerà al paragrafo successivo) e, conseguentemente, sono confrontabili esclusivamente con le portate naturali sopra illustrate, si verifica in essi un andamento delle portate mensili con un valore più prossimo al valore medio annuale (caratterizzata cioè da minori oscillazioni tra i valori massimi e i minimi) oltre alla presenza di valori di portata media annua inferiori di circa un 5/6 % di quelli dello studio utilizzato per la presente relazione.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>AdB</sub> Melegnano	16.83	17.35	17.78	19.67	20.09	20.14	17.92	17.26	18.20	18.82	20.57	18.15	18.58
Q <sub>nat</sub> Melegnano	14.26	18.52	16.75	26.09	27.97	22.95	16.32	12.52	17.33	22.74	26.05	18.02	19.73
Diff.	2.57	10.17	1.03	6.42	7.88	2.81	1.60	4.74	0.87	3.92	5.48	0.12	1.15
		(-)		(-)	(-)	(-)				(-)	(-)		(-)

Tabella 10 – Confronto delle portate medie mensili calcolate dai due metodi per la sezione di Melegnano

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>AdB</sub> Po	37.42	38.13	38.70	41.27	41.84	41.91	38.89	38.00	39.28	40.11	42.48	39.22	39.79
Q <sub>nat</sub> Po	26.36	32.59	34.48	53.72	57.59	47.26	33.61	25.79	35.68	46.83	53.65	37.12	40.63
Diff.	11.06	5.54	4.22	12.45	15.75	5.35	5.28	12.21	3.60	6.72	11.17	2.1	0.84
				(-)	(-)	(-)				(-)	(-)		(-)

Tabella 11 – Confronto delle portate medie mensili calcolate dai due metodi per la sezione di confluenza in Po

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio	13	di	15	

#### 4 PORTATE MEDIE ANTROPIZZATE PER IL TRATTO DI INTERESSE

I valori determinati ai paragrafi precedenti tuttavia costituiscono valori teorici in quanto non tengono conto delle derivazioni irrigue ed industriali presenti lungo il corso del fiume e, allo stesso tempo, non considerano gli apporti di eventuali depuratori, scarichi o reimmissioni presenti. Ai valori sopra calcolati andranno pertanto aggiunti o tolti i vari contributi dovuti ai cosiddetti apporti antropici.

Nome	Portata minima [m <sup>3</sup> /s]	Portata massima [m <sup>3</sup> /s]
Canale Addetta	0.2	20
Colatore Venere	-	4
Cusani	-	2
Ghisella	-	15
Scarico Barbavara	-	2.5
Scarico Cavetto	0.3	0.5
Scarico S. Maria	0.1	0.2
Leccama Maiocca	0.3	0.4
Cavo Marocco	-	0.5
Dresana	-	0.6

Tabella 12 – Portate medie/massime annue restituite all'asta del Lambro dai canali irrigui

Nome	Q [m <sup>3</sup> /s]	Ricettore
Depuratore di Merone	0.47	Lambro
Depuratore del Consorzio Alto Lambro (Monza)	2.2	Lambro
Depuratore di Peschiera Borromeo	2.12	Lambro
Depuratore di Milano Nosedo	5	Vettabbia
Depuratore di Carimate	0.32	Seveso
Depuratore di Fino Mornasco	0.27	Seveso
Depuratore di Varedo	0.28	Seveso
Depuratore di Bresso	1.25	Seveso
Depuratore di Milano Sud	4	Olona
Depuratore di Bulgarograsso	0.26	Lura
Depuratore di Caronno Pertusella	0.47	Olona
Depuratore di Assago	0.56	Olona
Depuratore di Pero	0.6	Olona
Depuratore di Canegrate	0.44	Olona

Tabella 13 – Portate medie annue impianti di depurazione gravitanti sull'asta del Lambro

La portata media annua che tiene conto di tali fattori viene detta antropizzata e risulta dalla seguente espressione:

$$Q_{AA} = Q_{AN} - Q_{IR} + Q_D + Q_R$$

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar												
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO												
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.:	00										N°Doc. Cliente:
		Foglio		14	di		15					

Con:

$Q_{AN}$  = portata media annua naturale

$Q_{AA}$  = portata media annua antropizzata

$Q_{IR}$  = portata media annua derivazioni irrigue

$Q_D$  = portata media annua depuratori

$Q_R$  = portata media annua immissari

Nel caso della sezione di Melegnano la portata media annua antropizzata risulta quindi:

$$Q_{AA\text{Melegnano}} = 19.73 + 11.91 - 8.76 + 10.94 + 0.5 = 34.32 \text{ mc/sec}$$

Dove in dettaglio le immissioni sono date da Canale Addetta (10,94 mc/sec), Naviglio Martesana (attraverso il Canale Redefossi 0,5 mc/sec), impianti di depurazione presenti sul Lambro e sul Seveso (11,91 mc/sec).

Mentre per quella di confluenza in Po:

$$Q_{AA\text{confluenza Po}} = 40.63 + 18.24 - 28.74 + 10.94 + 0.5 + 14.05 = 55.62 \text{ mc/sec}$$

Dove in dettaglio le immissioni sono date da Canale Addetta (10,94 mc/sec), Naviglio Martesana (attraverso il Canale Redefossi 0,5 mc/sec), Canale della Muzza (14.05 mc/sec attraverso diversi canali), impianti di depurazione presenti sul Lambro e sul Seveso (18,24 mc/sec).

Con procedura analoga lo studio ha ricavato i valori della portata media mensile che si riportano nelle seguenti tabelle:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qant [mc/sec]	35.84	37.75	37.62	29.41	33.86	32.43	28.59	21.93	22.83	44.40	47.66	39.76	34.32

Tabella 14 – Portate medie mensili antropizzate determinate per la sezione di Melegnano

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qant [mc/sec]	55.50	63.02	44.50	54.91	64.04	56.04	43.32	37.24	67.68	63.08	66.97	52.56	55.62

Tabella 15 – Portate medie mensili antropizzate determinate per la sezione di confluenza in Po

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0009	Rev.: 00						N°Doc. Cliente:
		Foglio 15		di 15			

## 5 CONCLUSIONE

L'analisi dell'andamento dei valori sopra calcolati porta ad individuare, per il tratto interessato dalle opere, **due minimi di portata**, il primo di minore entità tra dicembre e gennaio, ed un secondo nel concentrato nel mese agosto.

Per quanto riguarda i valori estremi di portata può essere utile infine citare i risultati di contenuti nel *"Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia 2001 – Parte IV, L'acqua – Capitolo 1: Le acque superficiali"* che per il Lambro individua:

- Portata massima misurata alle stazioni di misura:  **$Q_{max} = 83 \text{ mc/sec}$**  registrata alla stazione di Lambrugo nel 1963;
- Portata minima stimata alla chiusura del bacino:  **$Q_{355} = 1.25 \text{ mc/sec}$**  ove tale valore rappresenta la portata che statisticamente viene superata 355 giorni all'anno.

In conclusione sugli scostamenti con altri studi evidenziati al paragrafo precedente è utile comunque ricordare che le portate naturali, che prescindono come visto in precedenza dagli impatti antropici, sono in realtà valori privi di riscontro con la realtà, soprattutto in un asta come quella del Lambro dove l'influenza delle urbanizzazioni e delle derivazioni/restituzioni irrigue ed industriali è tutt'altro che trascurabile.

Si ritiene pertanto sicuramente più attendibile fare riferimento ai risultati dello studio illustrato anche in considerazione che essendo l'ultimo in ordine temporale ha potuto far tesoro di tutti i precedenti studi eseguiti avendo allo stesso tempo un maggior numero di dati cui far riferimento.

Contraente: 	Progetto: <b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA          DN 1400 (56") DP 75 bar</b>		Cliente:  <b>SNAM RETE GAS</b>		
	N° Contratto : N° Commessa :				
N° documento: J01811-PPL-RE-000-0010	Foglio 1            di            17	Data 12-04-13	N° documento Cliente:		
<p><b>ANALISI REGIMI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI          FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b></p>					
00	12-04-13	EMISSIONE		VANNI	FRASSINELLI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE		PREPARATO	CONTROLLATO
				MONTONI	APPROVATO

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
		Foglio 2		di 17			

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL FIUME OLONA-LAMBRO MERIDIONALE.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>analisi DELLE PORTATE MEDIE NATURALI PER IL TRATTO DI INTERESSE .....</b>	<b>9</b>
	<b>3.1 Bacino del Olona-Lambro Meridionale a Rozzano.....</b>	<b>9</b>
	<b>3.2 Bacino del Olona-Lambro Meridionale alla confluenza in Lambro .....</b>	<b>11</b>
<b>4</b>	<b>PORTATE MEDIE antropizzate PER IL TRATTO DI INTERESSE.....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONE .....</b>	<b>17</b>

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 3 di 17				

## 1 PREMESSA

Il fiume Olona nasce alle pendici del Sacro Monte di Varese a circa 1.000 m s.l.m. ed ha uno sviluppo di circa 121 km fino alla sua confluenza nel Lambro. Il suo tratto può sostanzialmente dividersi in due parti, la prima dalla sorgente alla Darsena di Milano la seconda, dalla Darsena fino alla confluenza in Lambro, tratto che prende il nome di Colatore Lambro Meridionale. Il collegamento con questo secondo tratto è stato creato artificialmente in epoca medioevale per esigenze difensive ed ha un bacino imbrifero di circa 162 kmq.

Il bacino complessivo alla confluenza in Lambro risulta di circa 650 kmq dei quali 270 kmq relativi ai sottobacini dei due affluenti principali dell'Olona, i torrenti Bozzente e Lura.

In particolare il progetto di posa del nuovo metanodotto Cervignano-Mortara e di rimozione della linea esistente interessa il Lambro Meridionale. Tale corso d'acqua, oltre alle portate residue del Fiume Olona nel suo primissimo tratto 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 Pizzabresa e la roggia Carlesca entrambe arricchite a Rozzano da acque depurate a San Rocco.

Confluisce nel Lambro Sant'Angelo Lodigiano.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>							
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00					N° Doc. Cliente:
		Foglio		4	di		17

## **2 ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL FIUME OLONA-LAMBRO MERIDIONALE**

Per una valutazione del regime idrologico del corso d'acqua che, come anticipato risulta un'operazione abbastanza complessa, si può fare riferimento a specifici studi commissionati dalla regione Lombardia, l'ultimo dei quali, in ordine temporale, è quello commissionato dalla Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità al Politecnico di Milano nell'anno 2003 a corredo della prima edizione del *"Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA)"*, i cui risultati prendono le basi anche dai risultati dei precedenti studi redatti con metodologie differenti, dal Politecnico di Milano nell'anno 1998 e dall'Autorità di Bacino nel 1999.

Lo studio suddetto, che nel seguito verrà denominato sinteticamente Poli03, ha operato una prima distinzione tra i fiumi caratterizzati dalla presenza di stazioni di misura nella sezione terminale (con almeno 10 anni di osservazioni) e quelli che ne sono del tutto privi. In questo secondo caso (o in quello in cui le portate misurate sono limitate a periodi inferiori ai 10 anni), è stata definita una procedura di trasferimento dell'informazione idrometrica disponibile tra le sezioni note e le altre sezioni fluviali sullo stesso corso d'acqua. Questa procedura consiste essenzialmente nello stimare i valori delle portate medie annue per unità di superficie dai corrispondenti valori medi unitari misurati in altre sezioni, riscaldati in base alle misure della precipitazione media annua sui rispettivi sottobacini tenendo in considerazione anche l'evapotraspirazione e l'eventuale contributo della falda.

Per approfondimenti sulla metodologia di calcolo si rimanda all'*Allegato 2, Cap. 1 "Metodologia per le elaborazioni idrologiche"* e *Cap. 2 "Relazioni applicative per bacino"* del PTUA citato.

Nel caso del Fiume Olona-Lambro Meridionale esiste un'unica stazione di misura delle portate ubicata a Ponte Gurone, nella parte alta del bacino, esistono poi varie stazioni di misura idrometrica soprattutto nei tratti a valle che tuttavia non sono corredate di scale di deflusso e pertanto non è stato possibile ricostruire i valori di portata.

Pertanto per la determinazione delle portate nei tratti di valle stato quindi è necessario individuare una serie di sottobacini cui applicare la procedura di trasferimento dell'informazione.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0010	Foglio 5 di 17					

In particolare sono stati definiti 7 sottobacini, il primo dei quali corrispondente con la sezione di misura della portata a Ponte Gurone, mentre i restanti in corrispondenza di stazioni di misura dell'ARPA ben equidistanziate lungo l'asta principale.

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini idrografici studiati.

Sezione	X	Y	Area [km <sup>2</sup> ]	Hmin [m.s.l.m.]	H media [m.s.l.m.]	Hmax [m.s.l.m.]
Olona a Ponte Gurone	1.488.861	5.070.582	97	284	401	1103
Olona a Fagnano Olona	1.489.943	5.058.397	143	226	352	1103
Olona a Olgiate Olona	1.491.784	5.052.178	204	210	313	1103
Olona a Legnano	1.494.062	5.048.155	223	194	300	1103
Olona a Rho	1.504.418	5.040.651	578	147	248	1103
Lambro Meridionale a Rozzano	1.512.766	5.026.722	750	99	211	1103
Confluenza						
Lambro Meridionale - Lambro	1.532.761	5.009.812	953	62	176	1103

Tabella 1 – Coordinate Gauss-Boaga e principali caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini sottesi.

Le opere in progetto ed in rimozione ricomprese nel progetto del metanodotto Cervignano-Mortara ricadono in particolare sul Lambro Meridionale e quindi nel tratto compreso tra la sezione di Rozzano e la confluenza in Lambro, per cui a queste due sezioni si farà riferimento nel seguito.

Per quanto riguarda la stazione di misura i dati disponibili sono quelli del Servizio Idrografico per i periodi indicati nella seguente tabella.

Sezione	Area [km <sup>2</sup> ]	Periodo di misura disponibile	Tipo di dato disponibile
Olona a Ponte Gurone	97	1942-1956	giornaliero

Tabella 2 – dati idrometrici disponibili per il bacino del Olona-Lambro Meridionale.

Va tuttavia evidenziato che la sezione in cui è collocata la stazione di misura risente in maniera non trascurabile dell'effetto antropico sul bacino di monte, ove sono presenti derivazioni ad uso irriguo che alterano i valori misurati rispetto a quelli che naturalmente caratterizzerebbero il bacino.

La metodologia Poli03 ha pertanto adattato tali valori, con procedura analoga a quella per il trasferimento delle informazioni tra una sezione e l'altra descritta in precedenza, ricostruendoli nel seguente modo (valori rinaturalizzati), ovvero:

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar												
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE												
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00										N°Doc. Cliente:
		Foglio		6	di		17					

$$Q_{AN} = Q_M + Q_{IR} = 2.18 + 0.07 = 2.25 \text{ mc/sec}$$

Con:

$Q_{AN}$  = portata media annua naturale

$Q_M$  = portata media annua misurata

$Q_{IR}$  = portata media annua derivazioni irrigue

Per rinaturalizzare le portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua invece si è applicata la correzione ai soli mesi interessati dal prelievo irriguo che, nel caso in esame, va da aprile a settembre e, conseguentemente, risulta pari a 0,14 mc/sec

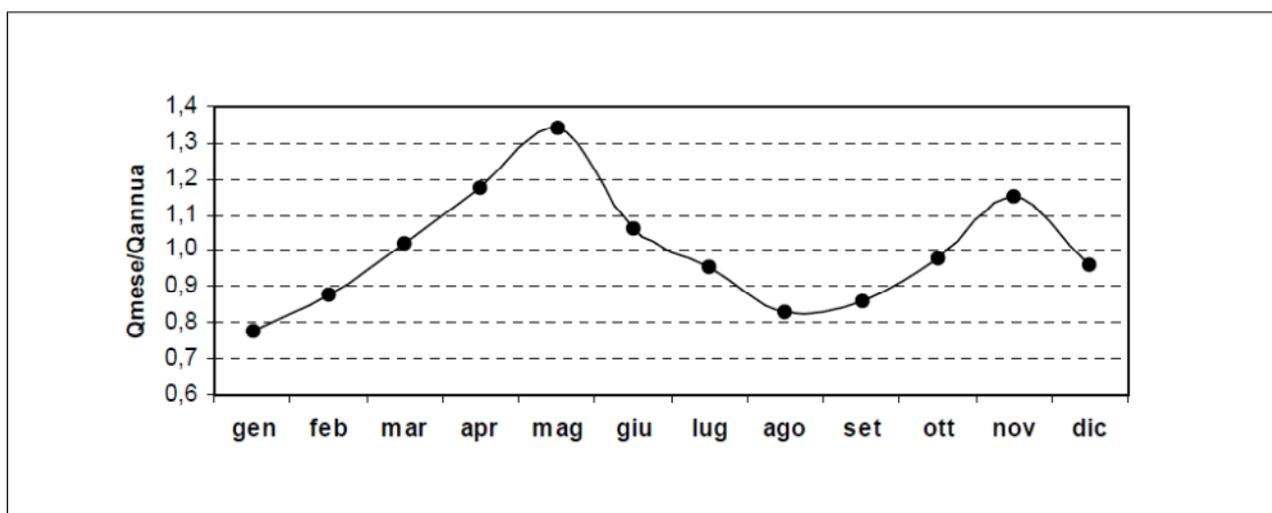


Figura 1 – Andamento delle portate medie mensili rispetto alla portata media annua alla sezione di Ponte Gurone

Nella seguente tabella si riporta il confronto tra i valori misurati e quelli rinaturalizzati:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qmis [mc/sec]	1.75	1.98	2.30	2.51	2.88	2.25	2.02	1.74	1.80	2.21	2.60	2.17	2.18
Qnat [mc/sec]	1.75	1.98	2.30	2.65	3.02	2.39	2.16	1.88	1.95	2.21	2.60	2.17	2.25

Tabella 3 – Portate medie mensili misurate e naturali ricostruite alla stazione di Ponte Gurone.

Come anticipato, per ottenere i valori di portata media annua e media mensile per sezioni ove non sono presenti stazioni di misura lo studio ha applicato una metodologia che, partendo dai dati di pioggia e portata disponibili consente di “trasferire”, scalandoli, i valori di portata noti.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar							
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE							
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0010	Foglio 7 di 17						

Nel bacino del Olona-Lambro Meridionale sono complessivamente disponibili 13 stazioni di misura delle precipitazioni delle quali ne sono state selezionate 11. Analizzando statisticamente ed integrando con opportune metodologie i valori registrati dalle stazioni sono stati ottenuti i seguenti valori di altezza di precipitazione media annua:

Stazione	Quota [m s.l.m.]	Periodo di misura disponibile	Numero anni	N. anni completi	N. anni integrati e utilizzati
Casanova Lanza	412	1942-1961	20	18	20
Olgiate Comasco	407	1951-1964, 1967, 1969-1975, 1980, 1981	24	18	24
Ponte Gurone	375	1980, 1985, 1996, 1997	4	4	4
Ponte Vedano	360	1999-2002	4	2	escluso
Rho	155	1951-1956, 1958-1964	13	11	13
S. Maria del Monte	881	1942-1975, 1980-1995	49	44	49
Saronno	212	1951-1958, 1960-1964	13	11	13
Venegono Inferiore	341	1951-1988	38	36	38
Viggiù	483	1942; 1953-1961, 1967-1975, 1980-1986, 1989-1997	34	30	34
Minoprio	325	1988-2001	14	13	14
Arcisate	370	2001-2002	2	0	escluso
S. Angelo Lodigiano	73	1993-1996, 1998-2001	8	6	8
Landriano	88	1993-2001	9	6	9
<b>TOTALE</b>			<b>300</b>	<b>256</b>	<b>200</b>

Tabella 4 – Altezze medie annue di precipitazioni per le stazioni poste nel bacino del Fiume Olona-Lambro Meridionale.

Mentre le altezze di pioggia areale media mensile e media annua alle sezioni di calcolo sono riportati nella seguenti tabelle:

Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Olona a P.te Gurone	82	62	121	153	191	179	116	146	141	171	151	98
Olona a Fagnano O.	93	48	115	122	178	168	105	142	106	157	149	100
Olona ad Olgiate O.	100	40	111	103	171	162	99	140	85	149	147	101
Olona a Legnano	103	38	111	97	170	161	97	141	80	146	147	101
Olona a Rho	72	64	102	130	136	149	106	117	104	147	138	81
Lambro Meridionale a Rozzano	69	63	101	130	126	147	104	112	99	144	138	81
Confluenza Lambro Meridionale - Lambro	66	57	90	116	114	130	90	101	104	132	128	75

Tabella 5 – Altezze medie mensili di precipitazione in [mm] nelle sezioni di calcolo utilizzate dallo studio

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio 8 di 17						

	<i>Olona a Ponte Gurone</i>	<i>Olona a Fagnano Olona</i>	<i>Olona a Olgiate Olona</i>	<i>Olona a Legnano</i>	<i>Olona a Rho</i>	<i>Lambro Meridionale a Rozzano</i>	<i>Confluenza Lambro Meridionale - Lambro</i>
P misurata (anni completi)	1619	1491	1416	1398	1376	1341	1233
P integrata ed utilizzata	1609	1484	1408	1393	1346	1312	1203

Tabella 6 – Altezze medie annue di precipitazione in [mm] ricavate per il bacino del Fiume Olona-Lambro Meridionale alla chiusura delle sezioni di calcolo utilizzate dallo studio

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 9 di 17				

### 3 ANALISI DELLE PORTATE MEDIE NATURALI PER IL TRATTO DI INTERESSE

A questo punto, con la metodologia espressa nei paragrafi precedenti, lo studio citato ha determinato le portate medie annue e mensili nelle sezioni di chiusura individuate lungo l'asta fluviale, delle quali si riportano i risultati per le sezioni di interesse per il progetto.

3.1 Bacino del Olona-Lambro Meridionale a Rozzano, la cui sezione di chiusura si trova a valle di quella di Ponte Gurone, la portata media annua naturale  $Q_{AN}$  è stata calcolata, secondo la procedura Poli03, dal contributo unitario del bacino suddetto riscaldato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue nei due bacini. Essendo:

$q_2 =$  contributo unitario del Olona-Lambro Meridionale a Ponte Gurone  $= (Q_2/A_2 \cdot 1000) = 23.20 \text{ l/s km}^{-2}$

$Q_2 =$  portata media annua del Olona-Lambro M. a Ponte Gurone  $= 2.25 \text{ m}^3/\text{s}$

$P_2 =$  precipitazione media annua del Olona-Lambro M. a Ponte Gurone  $= 1609 \text{ mm}$

$P_1 =$  precipitazione media annua del Olona-Lambro M. a Rozzano  $= 1312 \text{ mm}$

$A_2 =$  area del bacino del Olona-Lambro M. a Ponte Gurone  $= 97 \text{ km}^2$

$A_1 =$  area del bacino del Olona-Lambro Meridionale a Rozzano  $= 750 \text{ km}^2$

risulta:

$q_1 =$  contributo unitario del Olona-Lambro Meridionale a Rozzano  $= (q_2 \cdot P_1/P_2) = 18.91 \text{ l/s km}^{-2}$

e quindi

$Q_{AN1 \text{ Rozzano}} = (q_1 \cdot A_1/1000) = 14.18 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A tale valore va aggiunto il contributo  $Q_F = 1.32 \text{ m}^3/\text{s}$  dovuto all'interscambio con la falda, che in questo tratto alimenta il corso d'acqua.

Inoltre, per tenere conto della massiccia urbanizzazione del territorio del bacino che a questa sezione di chiusura interessa una superficie di  $279 \text{ km}^2$  su  $750$ , occorre inserire un coefficiente moltiplicativo  $C$  dipendente sia dal rapporto tra la superficie urbanizzata e quella naturale che dal rapporto tra i due coefficienti di deflusso (assunto pari a  $1.5$ ) calcolato come segue:

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0010	Foglio 10 di 17					

$$\left(\frac{A_{urb}}{A_{tot}}\right) = \frac{279}{750} = 0.37$$

$$\left(\frac{\varphi_{urb}}{\varphi_{nat}}\right) = 1.5 \text{ (per ipotesi)}$$

$$C = 1 + \left(\left(\frac{\varphi_{urb}}{\varphi_{nat}}\right) - 1\right) \cdot \left(\frac{A_{urb}}{A_{tot}}\right) = 1.19$$

ottenendo così:

$$Q_{AN \text{ Rozzano}} = 1.19 \cdot 14.18 + 1.32 = 18.14 \text{ m}^3/\text{s}$$

a cui corrisponde un contributo unitario pari a  $24.19 \text{ l/s km}^{-2}$ .

Per il calcolo delle portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua calcolata sono stati utilizzati, anche in questo caso, i rapporti rispetto alla portata media ricavati per la sezione del Olona a Ponte Gurone.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	14.10	15.89	18.52	21.35	24.32	19.23	17.39	15.10	15.59	17.76	20.89	17.49	18.14

Tabella 7 – Portate medie mensili determinate per la sezione di Rozzano

Nella Tabella 7 sono riportati i valori delle portate medie mensili che ne derivano per la sezione corrente, mentre nella seguente Figura 2 sono riportati gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua.

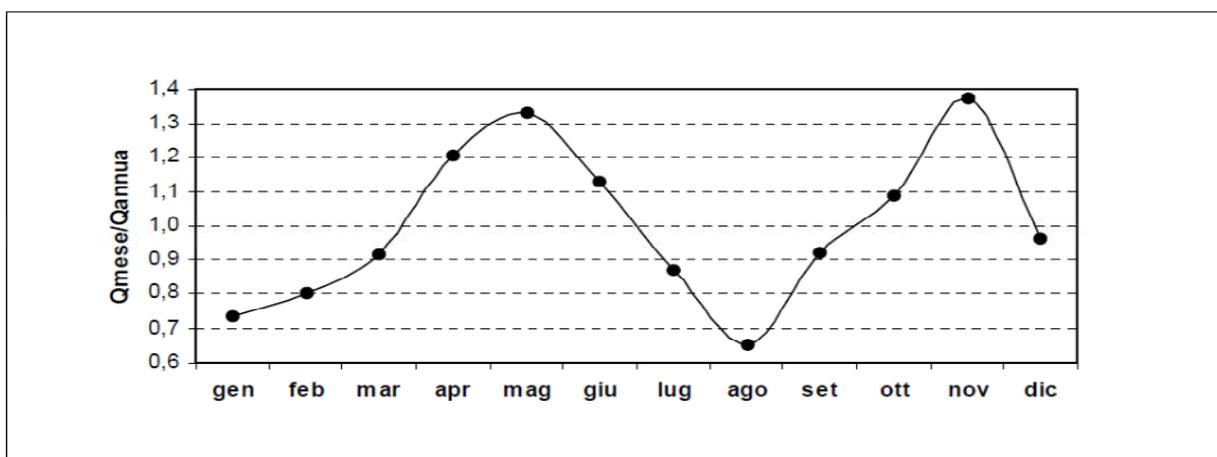


Figura 1 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua calcolate alla sezione di Rozzano.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio 11 di 17				

3.2 Bacino del Olona-Lambro Meridionale alla confluenza in Lambro, la cui sezione di chiusura si trova a valle di quella del Olona-Lambro Meridionale a Rozzano, la portata media annua naturale  $Q_{AN}$  è stata calcolata, secondo la procedura Poli03, dal contributo unitario del bacino a Ponte Gurone riscalato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue nei due bacini. Essendo:

$q_2 =$  contributo unitario del Olona-Lambro Meridionale a Ponte Gurone  $= (Q_2/A_2 \cdot 1000) = 23.20 \text{ l/s km}^{-2}$

$Q_2 =$  portata media annua del Olona-Lambro M. a Ponte Gurone  $= 2.25 \text{ m}^3/\text{s}$

$P_2 =$  precipitazione media annua del Olona-Lambro M. a Ponte Gurone  $= 1609 \text{ mm}$

$P_1 =$  precipitazione media annua del Olona-Lambro M. alla confluenza  $= 1203 \text{ mm}$

$A_2 =$  area del bacino del Olona-Lambro M. a Ponte Gurone  $= 97 \text{ km}^2$

$A_1 =$  area del bacino del Olona-Lambro Meridionale alla confluenza  $= 953 \text{ km}^2$

risulta:

$q_1 =$  contributo unitario del Olona-Lambro Meridionale alla confluenza  $= (q_2 \cdot P_1/P_2) = 17.35 \text{ l/s km}^{-2}$

e quindi

$Q_{AN1 \text{ confluenza}} = (q_1 \cdot A_1/1000) = 16.53 \text{ m}^3/\text{s}$ .

A tale valore va aggiunto il contributo  $Q_F = 1.70 \text{ m}^3/\text{s}$  dovuto all'interscambio con la falda, che in questo tratto alimenta il corso d'acqua.

Inoltre, anche in questo caso, per tenere conto della massiccia urbanizzazione del territorio del bacino che a questa sezione di chiusura interessa una superficie di  $289 \text{ km}^2$  su  $953$ , occorre inserire un coefficiente moltiplicativo  $C$  dipendente sia dal rapporto tra la superficie urbanizzata e quella naturale che dal rapporto tra i due coefficienti di deflusso (assunto pari a  $1.5$ ) calcolato come segue:

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0010	Foglio		12	di	17	

$$\left(\frac{A_{urb}}{A_{tot}}\right) = \frac{289}{953} = 0.30$$

$$\left(\frac{\varphi_{urb}}{\varphi_{nat}}\right) = 1.5 \text{ (per ipotesi)}$$

$$C = 1 + \left( \left( \frac{\varphi_{urb}}{\varphi_{nat}} \right) - 1 \right) \cdot \left( \frac{A_{urb}}{A_{tot}} \right) = 1.15$$

ottenendo così:

$$Q_{AN \text{ confluenza}} = 1.15 \cdot 16.53 + 1.70 = 20.74 \text{ m}^3/\text{s}$$

a cui corrisponde un contributo unitario pari a  $21.76 \text{ l/s km}^{-2}$ .

Per il calcolo delle portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua calcolata sono stati utilizzati, anche in questo caso, i rapporti rispetto alla portata media ricavati per la sezione del Olona-Lambro Meridionale.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	16.12	18.17	21.17	24.41	27.80	21.99	19.88	17.26	17.83	20.30	23.88	19.99	20.74

Tabella 8 – Portate medie mensili determinate per la sezione di confluenza in Lambro

Nella seguente Figura 3 sono riportati gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua. Nella Tabella 7 sono invece riportati i valori delle portate medie mensili che ne derivano per la sezione corrente.

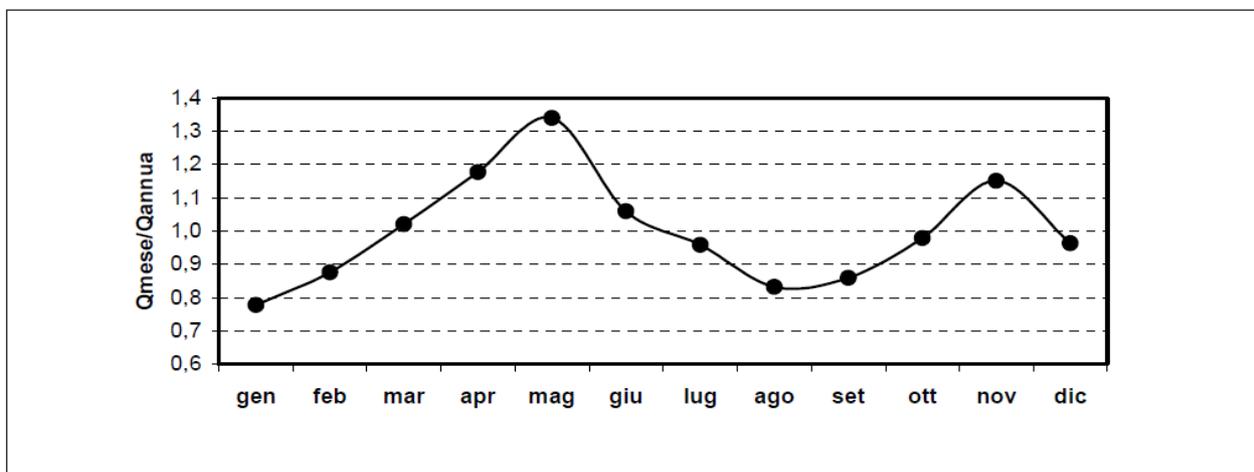


Figura 3 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua calcolate alla sezione di confluenza in Lambro.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar													
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE													
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010		Rev.:	00								N° Doc. Cliente:		
				Foglio 13		di 17							

Va detto al riguardo che tale andamento delle portate medie mensili è sostanzialmente in linea con i risultati di un altro studio eseguito sempre dal Politecnico di Milano nell'anno 1998, mentre si discosta sensibilmente dai valori determinati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po riportati nelle sottostanti tabelle 10 e 11.

Pur considerando infatti che i valori calcolati da quest'ultima non tengono conto delle portate derivate/immesse per usi antropici (di cui si parlerà al paragrafo successivo) e, conseguentemente, sono confrontabili esclusivamente con le portate naturali sopra illustrate, si verifica in essi un andamento delle portate mensili con un valore più prossimo al valore medio annuale (caratterizzata cioè da minori oscillazioni tra i valori massimi e i minimi) oltre alla presenza di valori di portata media annua inferiori tra il 5 ed il 12 % di quelli dello studio utilizzato per la presente relazione.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>AdB</sub> Rozzano	15.67	16.16	16.57	18.35	18.76	18.18	16.70	16.07	16.97	17.55	19.20	16.92	17.33
Q <sub>nat</sub> Rozzano	14.10	15.89	18.52	21.35	24.32	19.23	17.39	15.10	15.59	17.76	20.89	17.49	18.14
Diff.	1.57	0.27	1.95	3.00	5.56	1.05	0.69	0.97	1.38	0.21	1.69	0.57	0.81
			(-)	(-)	(-)	(-)	(-)			(-)	(-)	(-)	(-)

Tabella 10 – Confronto delle portate medie mensili calcolate dai due metodi per la sezione di Rozzano

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>AdB</sub> c. Lambro	16.95	17.38	17.73	19.30	19.66	19.69	17.85	17.30	18.09	18.60	20.05	18.05	18.40
Q <sub>nat</sub> c. Lambro	16.12	18.17	21.17	24.41	27.80	21.99	19.88	17.26	17.83	20.30	23.88	19.99	20.74
Diff.	0.83	0.79	3.44	5.11	8.14	2.30	4.14	0.04	0.26	0.77	3.83	1.94	2.34
		(-)	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)			(-)	(-)	(-)	(-)

Tabella 11 – Confronto delle portate medie mensili calcolate dai due metodi per la sezione di confluenza in Lambro

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar												
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE												
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00										N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0010	Foglio 14 di 17											

#### 4 PORTATE MEDIE ANTROPIZZATE PER IL TRATTO DI INTERESSE

I valori determinati ai paragrafi precedenti tuttavia costituiscono valori teorici in quanto non tengono conto delle derivazioni irrigue ed industriali presenti lungo il corso del fiume e, allo stesso tempo, non considerano gli apporti di eventuali depuratori, scarichi o reimmissioni presenti. Ai valori sopra calcolati andranno pertanto aggiunti o tolti i vari contributi dovuti ai cosiddetti apporti antropici.

Nome	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media annua derivata	media annua da concessione
Roggia Bolognini	7	7	7	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	7	7	7	-	5.88
Consorzio Cavi Litta ed Uniti	5.48	5.48	5.48	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81	5.48	5.48	5.48	-	4.36

Tabella 12 – Portate medie mensili e annue derivate dall'asta del Olona-Lambro Meridionale dai canali irrigui

Nome	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media annua derivata	media annua da concessione
Olona a Ponte Gurone	0	0	0	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0	0	0	-	0.07
Olona a Rho	0	0	0	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0	0	0	-	0.13
Lambro Meridionale a Rozzano	0	0	0	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68	0	0	0	-	1.34
Confluenza Lambro Meridionale - Lambro	0	0	0	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	11.25	0	0	0	-	5.64

Tabella 13 – Portate medie mensili e annue derivate dall'asta del Olona-Lambro Meridionale dalle piccole derivazioni presenti

Nome	Q [m³/s]	Ricettore
Depuratore di Milano Sud	4	Lambro Meridionale
Depuratore di Bulgarograsso	0.26	Lura
Depuratore di Caronno Pertusella	0.47	Lura
Depuratore di Assago	0.56	Deviatore Olona
Depuratore di Pero	0.6	Deviatore Olona
Depuratore di Canegrate	0.44	Olona

Tabella 14 – Portate medie annue impianti di depurazione gravitanti sull'asta del Olona-Lambro Meridionale

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>												
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>												
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010		Rev.: 00									N° Doc. Cliente:	
		Foglio 15 di 17										

La portata media annua che tiene conto di tali fattori viene detta antropizzata e risulta dalla seguente espressione:

$$Q_{AA} = Q_{AN} - Q_{IR} + Q_D + Q_R$$

Con

$Q_{AN}$  = portata media annua naturale

$Q_{AA}$  = portata media annua antropizzata

$Q_{IR}$  = portata media annua derivazioni irrigue

$Q_D$  = portata media annua depuratori

$Q_R$  = portata media annua immissari

Nel caso della sezione di Rozzano la portata media annua antropizzata risulta quindi:

$$Q_{AA\text{Melegnano}} = 18.14 - 1.54 + 6.33 = 22.93 \text{ mc/sec}$$

Dove in dettaglio le immissioni sono date dalla somma degli scarichi dei depuratori presenti nel bacino.

Mentre per quella di confluenza in Lambro:

$$Q_{AA\text{confluenza Lambro}} = 20.74 - (7.17 + 5.66 + 4.14) + 6.33 = 10.10 \text{ mc/sec}$$

Dove in dettaglio i pesanti prelievi presenti sono dovuti alla roggia Bolognina (5.66 mc/sec), ai cavi Litta e Uniti (4.14 mc/sec) ed a piccole derivazioni irrigue (la cui somma da 7.17 mc/sec), mentre le immissioni degli impianti di depurazione sono le medesime della sezione precedente.

Con procedura analoga lo studio ha ricavato i valori della portata media mensile che si riportano nelle seguenti tabelle:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qant [mc/sec]	20.43	22.22	24.85	24.61	27.58	22.49	20.65	18.36	18.85	24.09	27.22	23.82	22.93

Tabella 15 – Portate medie mensili antropizzate determinate per la sezione di Melegnano

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>												
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>												
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010		Rev.: 00								N°Doc. Cliente:		
		Foglio 16			di 17							

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qant [mc/sec]	9.97	12.02	15.02	9.30	12.69	6.88	4.77	2.15	2.72	14.15	17.73	13.84	10.10

*Tabella 16 – Portate medie mensili antropizzate determinate per la sezione di confluenza in Lambro*

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME LAMBRO MERIDIONALE</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0010	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio		17	di	17

## 5 CONCLUSIONE

L'analisi dell'andamento dei valori sopra calcolati porta ad individuare, per il tratto interessato dalle opere, **due minimi di portata**, il primo di minore entità tra dicembre e gennaio, un secondo nel periodo agosto-settembre.

Per quanto riguarda i valori estremi di portata può essere utile infine citare i risultati di contenuti nel *"Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia 2001 – Parte IV, L'acqua – Capitolo 1: Le acque superficiali"* che per l'Olona individua:

- Portata massima misurata alle stazioni di misura:  **$Q_{max}$  = non disponibile;**
- Portata minima stimata alla chiusura del bacino:  **$Q_{355}$  = 1.30 mc/sec** ove tale valore rappresenta la portata che statisticamente viene superata 355 giorni all'anno.

In conclusione sugli scostamenti con altri studi evidenziati al paragrafo precedente è utile comunque ricordare che le portate naturali, che prescindono come visto in precedenza dagli impatti antropici, sono in realtà valori privi di riscontro con la realtà, soprattutto in un'asta come quella del Olona-Lambro Meridionale dove l'influenza delle urbanizzazioni e delle derivazioni/restituzioni irrigue ed industriali è tutt'altro che trascurabile.

Si ritiene pertanto sicuramente più attendibile fare riferimento ai risultati dello studio illustrato anche in considerazione che essendo l'ultimo in ordine temporale ha potuto far tesoro di tutti i precedenti studi eseguiti avendo allo stesso tempo un maggior numero di dati cui far riferimento.

Contraente: 	Progetto: <b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA          DN 1400 (56") DP 75 bar</b>		Cliente:  <b>SNAM RETE GAS</b>		
	N° Contratto : N° Commessa :				
N° documento: J01811-PPL-RE-000-0012	Foglio 1            di            15	Data 12-04-13	N° documento Cliente:		
<b>ANALISI REGIMI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI          FIUME TICINO</b>					
00	12-04-13	EMISSIONE		VANNI	FRASSINELLI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE		PREPARATO	CONTROLLATO
				MONTONI	APPROVATO

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012		Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio 2 di 15					

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL FIUME TICINO.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>analisi DELLE PORTATE MEDIE NATURALI PER IL TRATTO DI INTERESSE .....</b>	<b>8</b>
	<b>3.1 Bacino del Ticino a Vigevano .....</b>	<b>8</b>
	<b>3.2 Bacino del Ticino a Bereguardo .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>PORTATE MEDIE antropizzate PER IL TRATTO DI INTERESSE.....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONE .....</b>	<b>15</b>

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>							
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.:	00					N° Doc. Cliente:
		Foglio	3	di	15		

## 1 PREMESSA

Il Ticino è il principale affluente del Po per volume d'acqua e, in assoluto, il secondo fiume italiano per portata d'acqua dopo quest'ultimo. Il Ticino misura complessivamente 248 km, dei quali 91 km percorsi a monte del lago Maggiore, 47 km percorsi nel Verbano e 110 km percorsi da Sesto Calende al Po. Il corso d'acqua è infatti tradizionalmente diviso in tre parti: la parte montana (Ticino Superiore), che scorre in territorio svizzero; la parte lacunale, che riguarda il Lago Maggiore e la parte pianeggiante (Ticino Inferiore), che vede il Ticino scorrere in Italia, nella tratta compresa tra Sesto Calende ed il Po.

Il regime idrometrico del Ticino inferiore o sublacuale è condizionato dall'azione regolatrice del Lago Maggiore, dalle cui condizioni d'invaso dipendono i ritardi dei tempi di corrvazione alla confluenza in Po.

Come tutti i fiumi lombardi, alimentati dalle precipitazioni nevose e piovose, ha portate consistenti e regimi relativamente costanti, con presenza di un massimo di portata estivo ed un minimo nel periodo invernale, sebbene alterato, nella sua natura nivo-glaciale, dalla presenza dei grandi laghi subalpini.

Sul Ticino, in particolare nell'ultimo tratto prima della confluenza in Po, si possono riscontrare piene con caratteristiche idrometriche e idrodinamiche complesse dovute all'effetto rigurgito da parte del ricettore che si traduce nell'innalzamento dei tiranti idrici con pericolo di sormonto e di franamento delle arginature. Comportamento diverso si può invece rilevare per le piene del Ticino che presentano forti velocità di deflusso e con effetti aggravati da irregolarità e modificazioni morfologiche dell'alveo. In tali casi deriva un'accentuata azione erosiva con effetti molto spesso dirompenti sulle opere di presidio esistenti.

In ultimo va ricordato che le acque del Ticino alimentano varie centrali idroelettriche e numerosi canali di irrigazione anche importanti come il Canale Villoresi, il Naviglio Grande ed il Naviglio Pavese e che questi alimentano a sua volta importanti derivazioni di II livello quale il Naviglio di Bereguardo.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>							
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.:	00					N° Doc. Cliente:
		Foglio		4	di		15

## 2 ANALISI DEL REGIME IDROLOGICO DEL FIUME TICINO

Per una valutazione del regime idrologico del corso d'acqua che, come anticipato risulta un'operazione abbastanza complessa, si può fare riferimento a specifici studi commissionati dalla regione Lombardia, l'ultimo dei quali, in ordine temporale, è quello commissionato dalla Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità al Politecnico di Milano nell'anno 2003, i cui risultati prendono le basi anche dai risultati dei precedenti studi redatti con metodologie differenti, dal Politecnico di Milano nell'anno 1998 e dall'Autorità di Bacino nel 1999 a corredo della prima edizione del *"Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA)"*, i cui risultati prendono le basi anche dai risultati dei precedenti studi redatti con metodologie differenti, dal Politecnico di Milano nell'anno 1998 e dall'Autorità di Bacino nel 1999.

Lo studio suddetto, che nel seguito verrà denominato sinteticamente Poli03, ha operato una prima distinzione tra i fiumi caratterizzati dalla presenza di stazioni di misura nella sezione terminale (con almeno 10 anni di osservazioni) e quelli che ne sono del tutto privi. In questo secondo caso (o in quello in cui le portate misurate sono limitate a periodi inferiori ai 10 anni), è stata definita una procedura di trasferimento dell'informazione idrometrica disponibile tra le sezioni note e le altre sezioni fluviali sullo stesso corso d'acqua. Questa procedura consiste essenzialmente nello stimare i valori medi delle portate medie annue per unità di superficie dai corrispondenti valori medi unitari misurati in altre sezioni, riscalati in base alle misure della precipitazione media annua sui rispettivi sottobacini tenendo in considerazione anche l'evapotraspirazione e l'eventuale contributo della falda.

Per approfondimenti sulla metodologia il calcolo si rimanda all'*Allegato 2, Cap. 1 "Metodologia per le elaborazioni idrologiche"* e *Cap. 2 "Relazioni applicative per bacino"* del PTUA citato.

Nel caso del Fiume Ticino esiste un'unica stazione di misura delle portate posta a Golasecca, in corrispondenza dello sbarramento della Miorina, all'uscita del Lago Maggiore. Pertanto per la determinazione delle portate nei tratti di valle stato quindi è necessario individuare una serie di sottobacini cui applicare la procedura di trasferimento dell'informazione.

In particolare per il Ticino sono stati definiti 6 sottobacini, il primo dei quali corrispondente con la sezione di misura della portata a Golasecca (loc. Miorina), mentre i

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO						
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
		Foglio	5	di	15	

restanti in corrispondenza di stazioni di misura dell'ARPA ben equidistanziate lungo l'asta principale.

In Tabella 1 sono riportate le principali caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini idrografici studiati.

Sezione	X	Y	Area [km <sub>2</sub> ]	Hmin [m.s.l.m.]	H media [m.s.l.m.]	Hmax [m.s.l.m.]
<u>Ticino a Golasecca (loc. Miorina)</u>	<u>1.473.125</u>	<u>5.061.410</u>	<u>6559</u>	<u>193</u>	<u>1083</u>	<u>4600</u>
<u>Ticino a Lonate Pozzolo</u>	<u>1.476.980</u>	<u>5.048.505</u>	<u>6732</u>	<u>147</u>	<u>1069</u>	<u>4600</u>
<u>Ticino a Boffalora</u>	<u>1.484.858</u>	<u>5.033.139</u>	<u>7082</u>	<u>108</u>	<u>1031</u>	<u>4600</u>
<u>Ticino a Vigevano</u>	<u>1.490.664</u>	<u>5.020.971</u>	<u>7281</u>	<u>84</u>	<u>1019</u>	<u>4600</u>
<u>Ticino a Bereguardo</u>	<u>1.501.060</u>	<u>5.009.010</u>	<u>7575</u>	<u>63</u>	<u>983</u>	<u>4600</u>
<u>Confluenza Ticino-Po</u>	<u>1.518.833</u>	<u>4.998.778</u>	<u>8172</u>	<u>51</u>	<u>913</u>	<u>4600</u>

Tabella 1 – Coordinate Gauss-Boaga e principali caratteristiche geomorfologiche dei sottobacini sottesi.

Le opere in progetto ed in rimozione ricomprese nel progetto del metanodotto Cervignano-Mortara ricadono in particolare nel tratto compreso tra la sezione di Vigevano e quella di Bereguardo, per cui a queste due sezioni si farà riferimento nel seguito.

Per quanto riguarda la stazione di misura di Golasecca, le misure disponibili sono quelle del Servizio Idrografico per il periodo dal 1921 al 1985. Dal 1987 al 2002 sono invece disponibili le misure giornaliere effettuate dal Consorzio del Ticino.

Per il calcolo della portata media annua e media mensile lo studio ha semplicemente eseguito la media delle portate rilevate per l'intero periodo disponibile, che risulta pari a 291,43 mc/sec. Per quanto riguarda invece la portata media mensile, essendo iniziata nel 1943 la regolazione artificiale delle portate in uscita dal Lago Maggiore, i dati utili a tal fine sono solo quelli del periodo 1921-1942 che, espressi in percentuale rispetto alla portata media annua, danno il seguente grafico:

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.: 00						N°Doc. Cliente:
		Foglio 6		di 15			

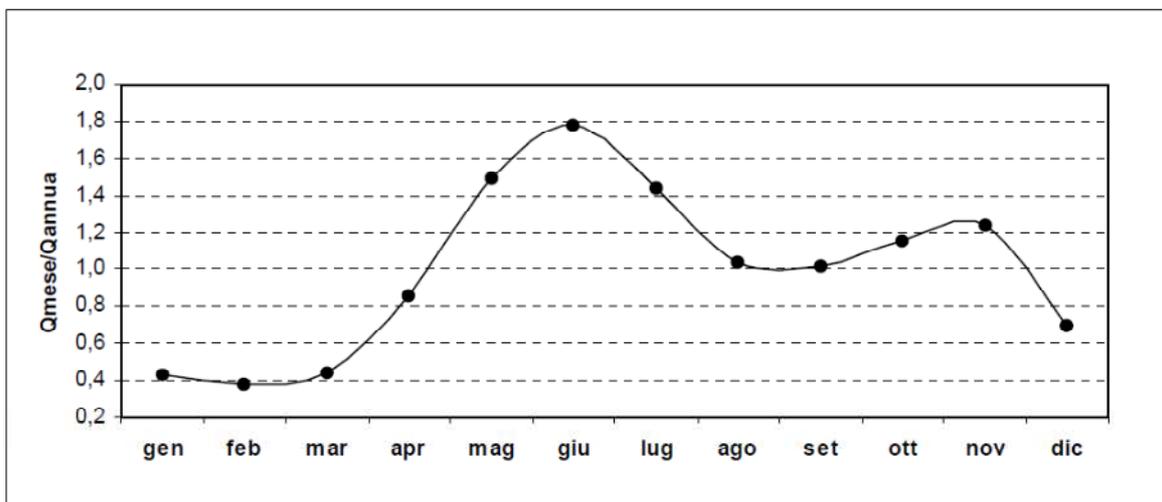


Figura 1 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua misurate alla sezione di Golasecca.

Mentre i valori delle portate medie mensili naturali sono quelli della seguente tabella:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Magg	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	125,41	110,87	128,20	249,84	435,70	518,48	420,70	302,64	295,57	337,15	360,70	203,73	291,43

Tabella 2 – Portate medie mensili naturali alla sezione di Golasecca.

Come anticipato, per ottenere i valori di portata media annua e media mensile per sezioni a valle ove non sono presenti stazioni di misura lo studio ha applicato una metodologia che, partendo dai dati di pioggia e portata disponibili consente di “trasferire”, scalandoli, i valori di portata noti.

Nel bacino del Ticino sono complessivamente disponibili, in territorio lombardo e piemontese, 27 stazioni di misura delle precipitazioni. Analizzando statisticamente ed integrando con opportune metodologie i valori registrati dalle stazioni sono stati ottenuti i seguenti valori di altezza di precipitazione media annua per alcune delle stazioni:

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar							
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO							
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0012	Foglio			7	di	15	

Nome	Quota [m s.l.m.]	Altezza di precipitazione	Altezza di precipitazione
		media annua misurata	media annua integrata
		[mm]	[mm]
Castellanza	217	1037	1028
Samperone di Certosa	94	727	727
Abbiategrosso	122	1035	1024
Azzate	320	1381	1381
Busto Arsizio	224	1168	1164
Casarile	97	789	789
Cerano	129	1000	993
Miorina	250	1289	1285
Beregardo	98	760	782
Pavia	77	873	871
Roncovalgrande	205	2074	2378
Toce a Candoglia	201	1731	1731
Vigevano	116	948	926
Gallarate	238	1292	1292
Somma Lombardo	286	1467	1426
Vizzola Ticino	221	1401	1395
Marcallo	156	1055	1055

Tabella 3 – Altezze medie annue di precipitazioni per alcune stazioni poste nel bacino del Fiume Ticino.

Mentre le altezze di pioggia areale media mensile e media annua alle sezioni di calcolo sono riportati nella seguenti tabelle:

Stazione	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Ticino a Golasecca	58	69	98	165	200	168	141	169	180	180	183	84
Ticino a Lonate Pozzolo	58	69	98	165	199	167	140	167	178	179	182	84
Ticino a Boffalora	58	69	98	162	196	164	137	163	174	176	179	83
Ticino a Vigevano	58	69	97	160	193	162	135	161	172	174	177	83
Ticino a Bereguardo	58	68	97	158	190	159	133	158	168	171	175	82
Confluenza Ticino-Po	59	67	94	152	183	153	126	151	162	166	169	81

Tabella 4 – Altezze medie mensili di precipitazione in [mm] nelle sezioni di calcolo utilizzate dallo studio

	Ticino a Golasecca	Ticino a Lonate Pozzolo	Ticino a Boffalora	Ticino a Vigevano	Ticino a Beregardo	Confluenza Ticino-Po
P misurata (anni completi)	1695	1686	1661	1642	1618	1565
P integrata ed utilizzata	1695	1686	1660	1642	1617	1564

Tabella 5 – Altezze medie annue di precipitazione in [mm] ricavate per il bacino del Fiume Ticino alla chiusura delle sezioni di calcolo utilizzate dallo studio

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
	Foglio		8	di	15		

### 3 ANALISI DELLE PORTATE MEDIE NATURALI PER IL TRATTO DI INTERESSE

A questo punto, con la metodologia espressa nei paragrafi precedenti, lo studio citato ha determinato le portate medie annue e mensili nelle sezioni di chiusura individuate lungo l'asta fluviale, delle quali si riportano i risultati per le sezioni di interesse per il progetto.

3.1 Bacino del Ticino a Vigevano, la cui sezione di chiusura si trova a valle di quella del Ticino a Golasecca, la portata media annua naturale  $Q_{AN}$  è stata calcolata, secondo la procedura Poli03, dal contributo unitario del bacino del Ticino a Golasecca riscaldato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue nei due bacini. Essendo:

$$q_2 = \text{contributo unitario del Ticino a Golasecca} = (Q_2/A_2 \cdot 1000) = 44.43 \text{ l/s km}^{-2}$$

$$Q_2 = \text{portata media annua del Ticino a Golasecca} = 291.43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_2 = \text{precipitazione media annua del Ticino a Golasecca} = 1695 \text{ mm}$$

$$P_1 = \text{precipitazione media annua del Ticino a Vigevano} = 1642 \text{ mm}$$

$$A_2 = \text{area del bacino del Ticino a Golasecca} = 6559 \text{ km}^2$$

$$A_1 = \text{area del bacino del Ticino a Vigevano} = 7281 \text{ km}^2$$

risulta:

$$q_1 = \text{contributo unitario del Ticino a Vigevano} = (q_2 \cdot P_1/P_2) = 43.03 \text{ l/s km}^{-2}$$

e quindi

$$Q_{AN \text{ Vigevano}} = (q_1 \cdot A_1/1000) = 313.31 \text{ m}^3/\text{s}.$$

A tale valore va aggiunto il contributo  $Q_F = 6.54 \text{ m}^3/\text{s}$  dovuto all'interscambio con la falda, che in questo tratto alimenta il corso d'acqua, ottenendo così:

$$Q_{AN \text{ Vigevano}} = 313.31 + 6.54 = 319.85 \text{ m}^3/\text{s}$$

a cui corrisponde un contributo unitario pari a  $43.93 \text{ l/s km}^{-2}$ .

Per il calcolo delle portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua calcolata sono stati utilizzati, anche in questo caso, i rapporti rispetto alla portata media ricavati per la sezione del Ticino a Golasecca per il periodo 1921-1942.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar												
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO												
N° Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012			Rev.: 00			Foglio 9 di 15			N° Doc. Cliente:			

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	137.64	121.68	140.71	274.21	478.20	569.04	461.73	332.15	324.40	370.02	395.88	222.51	319.85

Tabella 6 – Portate medie mensili determinate per la sezione di Vigevano

Nella Tabella 6 sono riportati i valori delle portate medie mensili che ne derivano per la sezione corrente, mentre nella seguente Figura 2 sono riportati gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua.

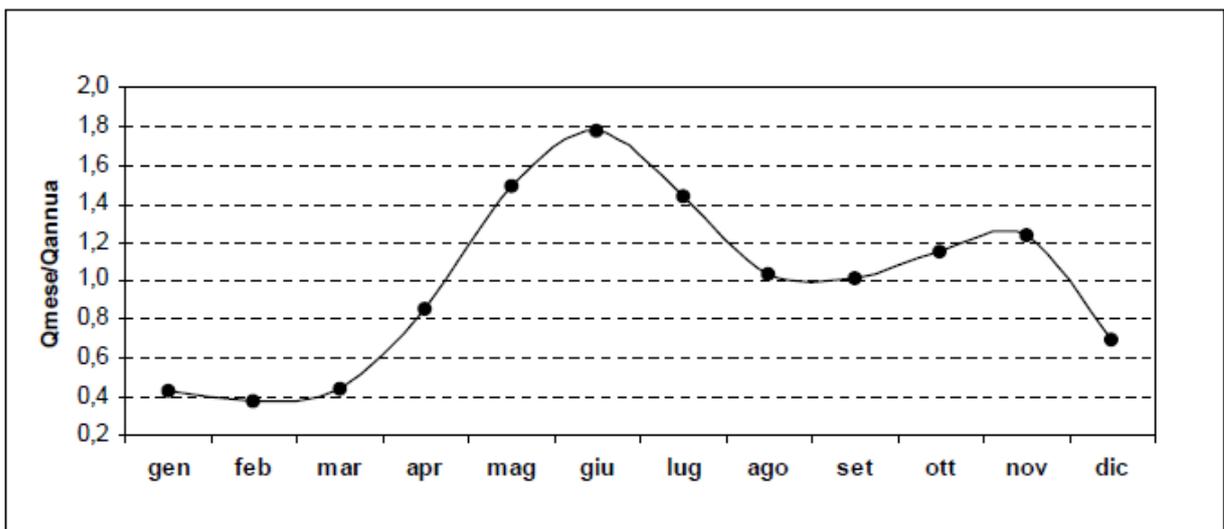


Figura 2 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua calcolate alla sezione di Vigevano.

**3.2 Bacino del Ticino a Bereguardo**, la cui sezione di chiusura si trova a valle di quella del Ticino a Vigevano, la portata media annua naturale  $Q_{AN}$  è stata calcolata, secondo la procedura Poli03, dal contributo unitario del bacino del Ticino a Golasecca riscaldato mediante il rapporto tra le precipitazioni medie annue nei due bacini. Essendo:

$$q_2 = \text{contributo unitario del Ticino a Golasecca} = (Q_2/A_2 \cdot 1000) = 44.43 \text{ l/s km}^{-2}$$

$$Q_2 = \text{portata media annua del Ticino a Golasecca} = 291.43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P_2 = \text{precipitazione media annua del Ticino a Golasecca} = 1695 \text{ mm}$$

$$P_1 = \text{precipitazione media annua del Ticino a Bereguardo} = 1617 \text{ mm}$$

$$A_2 = \text{area del bacino del Ticino a Golasecca} = 6559 \text{ km}^2$$

$$A_1 = \text{area del bacino del Ticino a Vigevano} = 7575 \text{ km}^2$$

risulta:

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.: 00					N°Doc. Cliente:
		Foglio	10	di	15	

$q_1 =$  contributo unitario del Ticino a Bereguardo =  $(q_2 \cdot P_1 / P_2) = 42.38 \text{ l/s km}^{-2}$

e quindi

$$Q_{AN \text{ Bereguardo}} = (q_1 \cdot A_1 / 1000) = 321.02 \text{ m}^3/\text{s}.$$

A tale valore va aggiunto il contributo  $Q_F = 8.99 \text{ m}^3/\text{s}$  dovuto all'interscambio con la falda, che in questo tratto alimenta il corso d'acqua, ottenendo così:

$$Q_{AN \text{ Bereguardo}} = 321.02 + 8.99 = 330.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

a cui corrisponde un contributo unitario pari a  $43.57 \text{ l/s km}^{-2}$ .

Per il calcolo delle portate medie mensili corrispondenti alla portata media annua calcolata sono stati utilizzati, anche in questo caso, i rapporti rispetto alla portata media ricavati per la sezione del Ticino a Golasecca per il periodo 1921-1942.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qnat [mc/sec]	142.01	125.55	145.18	282.93	493.40	587.13	476.40	342.71	334.71	381.79	408.46	229.58	330.01

Tabella 7 – Portate medie mensili determinate per la sezione di Bereguardo

Nella seguente Figura 3 sono riportati gli andamenti mensili in termini percentuali rispetto alla corrispondente media annua. Nella Tabella 7 sono invece riportati i valori delle portate medie mensili che ne derivano per la sezione corrente.

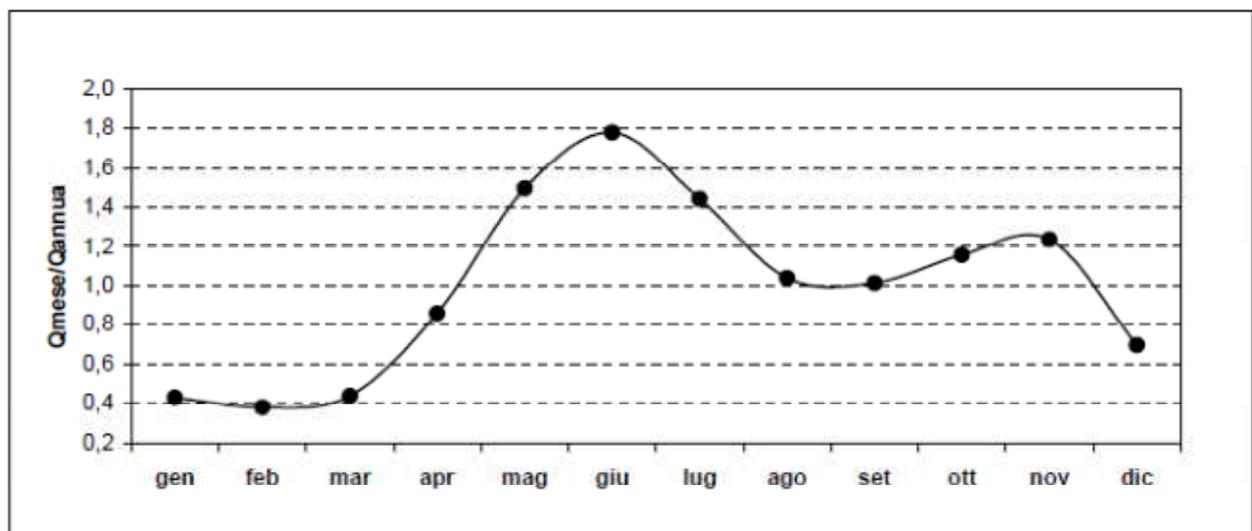


Figura 3 – Andamento del rapporto tra la portata media mensile e quella media annua calcolate alla sezione di Bereguardo.

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar												
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO												
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00										N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0012	Foglio 11 di 15											

Va detto al riguardo che tale andamento delle portate medie mensili è stanzialmente in linea con i risultati di un altro studio eseguito sempre dal Politecnico di Milano nell'anno 1998, mentre si discosta sensibilmente dai valori determinati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po riportati nelle sottostanti tabelle 10 e 11.

Pur considerando infatti che i valori calcolati da quest'ultima non tengono conto delle portate derivate per usi antropici (di cui si parlerà al paragrafo successivo) e, conseguentemente, sono confrontabili esclusivamente con le portate naturali sopra illustrate, si verifica un andamento annuale con una diversa collocazione dei massimi e dei minimi oltre alla presenza di valori medi di portata superiori di circa un 10 % di quelli dello studio utilizzato per la presente relazione.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>AdB</sub> Vigevano	387.32	413.59	413.59	422.34	334.79	252.50	213.97	208.72	240.24	341.80	469.62	499.39	350.55
Q <sub>nat</sub> Vigevano	137.64	121.68	140.71	274.21	478.20	569.04	461.73	332.15	324.40	370.02	395.88	222.51	319.85
Diff.	249.68	291.91	272.88	148.13	143.41 (-)	313.54 (-)	241.76 (-)	123.43 (-)	84.16 (-)	28.22 (-)	73.74	276.88	30.70

Tabella 10 – Confronto delle portate medie mensili calcolate dai due metodi per la sezione di Vigevano

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Q <sub>AdB</sub> Beregardo	397.99	425.46	425.46	434.62	343.06	256.98	216.70	211.20	244.17	350.38	484.07	515.20	359.54
Q <sub>nat</sub> Beregardo	142.01	125.55	145.18	282.93	493.40	587.13	476.40	342.71	334.71	381.79	408.46	229.58	330.01
Diff.	255.98	298.91	280.28	151.69	150.34 (-)	330.15 (-)	259.70 (-)	131.51 (-)	90.54 (-)	31.41 (-)	75.61	285.62	29.53

Tabella 11 – Confronto delle portate medie mensili calcolate dai due metodi per la sezione di Bereguardo

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar										
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO										
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00								N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0012	Foglio			12	di	15				

#### 4 PORTATE MEDIE ANTROPIZZATE PER IL TRATTO DI INTERESSE

I valori determinati ai paragrafi precedenti tuttavia costituiscono valori teorici in quanto non tengono conto delle derivazioni irrigue ed industriali presenti lungo il corso del fiume e, allo stesso tempo, non considerano gli apporti di eventuali depuratori o scarichi presenti. Ai valori sopra calcolati andranno pertanto aggiunti o tolti i vari contributi dovuti ai cosiddetti apporti antropici.

Nome	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media annua derivata	media annua da concessione
Canale Regina Elena	9.50	3.05	7.50	55.02	56.16	58.01	56.74	53.28	23.05	13.50	14.71	14.10	30.53(+)	27.55(+)
Roggia Visconti	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1
Canale Villoresi	16.74	16.53	2.52	14.01	50.29	60.65	66.48	62.67	33.23	0.03	9.74	16.21	29.19(+)	30.54
Roggia Clerici e Simonetta	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	1.26	-	1.26
Roggia Molinara di Oleggio	3.83	3.85	2.74	2.95	5.63	5.79	5.74	5.62	5.41	4.43	4.04	4.10	4.51(+)	5
Roggia Molinara di valle Ticino	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	1.5
Naviglio Grande	35	35	35	64	64	64	64	64	64	35	35	35	-	49.54
Molinara di Castano	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	-	1.5
Naviglio Langosco	18	18	18	22.70	22.70	22.70	22.70	22.70	22.70	18	18	18	-	20.36
Molinara di Galliate	2.7	2.7	2.7	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	2.7	2.7	2.7	-	1.71
Naviglio Sforzesco	8.4	8.4	8.4	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	9.42	8.4	8.4	8.4	-	8.91
Roggia Magna e Castellana	10.80	10.80	10.80	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	9.50	10.80	10.80	10.80	-	10.14

Tabella 12 – Portate medie mensili e medie annue derivate/concesse sull'asta del Ticino

La portata media annua che tiene conto di tali fattori viene detta antropizzata e risulta dalla seguente espressione:

$$Q_{AA} = Q_{AN} - Q_{IR} + Q_D + Q_R$$

Con:

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar						
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0012	Foglio 13 di 15					

$Q_{AN}$  = portata media annua naturale

$Q_{AA}$  = portata media annua antropizzata

$Q_{IR}$  = portata media annua derivazioni irrigue

$Q_D$  = portata media annua depuratori

$Q_R$  = portata media annua immissari

Nome	Q [m³/s]
Depuratore di Golasecca Nord - Ticino	0.004
Depuratore di Sesto Calende	0.029
Depuratore di Golasecca Sud	0.003
Depuratore di Somma Lombardo - Ca' Bagaggio	0.067
Depuratore di Somma Lombardo - Coarezza	0.002
Depuratore di Mornago	0.019
Depuratore di Daverio	0.01
Depuratore di Casale Litta	0.007
Depuratore di Vergiate - Sesona	0.003
Depuratore di Vergiate - Sant'Eurosia	0.017
Depuratore di Nosate	0.003
Depuratore di Turbigo	0.145
Depuratore di Robecco sul Naviglio	0.564
Depuratore di Ozzero	0.006

Tabella 13 – Portate medie annue impianti di depurazione gravitanti sull'asta del Ticino

Nel caso della sezione di Vigevano la portata media annua antropizzata risulta quindi:

$$Q_{AAVigevano} = 319.85 - 210.97 + (0.309 + 0.564) + 62.50 = 172.25 \text{ mc/sec}$$

Mentre per quella di Bereguardo:

$$Q_{AAbereguardo} = 330.01 - (210.97 + 10.14) + (0.873 + 0.006) + 62.50 = 172.28 \text{ mc/sec}$$

Con procedura analoga lo studio ha ricavato i valori della portata media mensile che si riportano nelle seguenti tabelle:

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>												
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>												
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012		Rev.:	00								N°Doc. Cliente:	
		Foglio			14	di		15				

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qant [mc/sec]	72.69	86.32	126.44	130.58	281.50	292.57	162.22	90.54	186.22	322.19	214.46	97.36	172.25

*Tabella 14 – Portate medie mensili antropizzate determinate per la sezione di Vigevano*

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qant [mc/sec]	67.29	81.15	122.20	130.69	287.68	299.50	165.15	90.96	187.77	324.33	213.52	92.89	172.28

*Tabella 15 – Portate medie mensili antropizzate determinate per la sezione di Bereguardo*

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar							
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI FIUME TICINO</b>							
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0012	Rev.:	00					N°Doc. Cliente:
		Foglio		15	di	15	

## 5 CONCLUSIONE

L'analisi dell'andamento dei valori sopra calcolati porta ad individuare, per il tratto interessato dalle opere, **due minimi di portata**, il primo nei primi tre mesi dell'inverno ed un secondo nel periodo estivo concentrato nel mese di agosto, di intensità paragonabile ai precedenti se si tiene conto dell'influenza delle derivazioni irrigue.

Per quanto riguarda i valori estremi di portata può essere utile infine citare i risultati di contenuti nel *"Rapporto sullo stato dell'ambiente in Lombardia 2001 – Parte IV, L'acqua – Capitolo 1: Le acque superficiali"* che per il Ticino individua:

- Portata massima misurata alle stazione di misura:  **$Q_{max} = 1927$  mc/sec** registrata alla stazione della Miorina nel 1926;
- Portata minima stimata alla chiusura del bacino:  **$Q_{355} = 88,60$  mc/sec** ove tale valore rappresenta la portata che statisticamente viene superata 355 giorni all'anno.

In conclusione sugli scostamenti

Per quanto riguarda gli scostamenti con altri studi evidenziati al paragrafo precedente è utile comunque ricordare che le portate naturali, che prescindono come visto in precedenza dagli impatti antropici, sono in realtà valori privi di riscontro con la realtà, soprattutto in un'asta come quella del Ticino dove l'influenza delle derivazioni irrigue ed industriali è tutt'altro che trascurabile.

Si ritiene pertanto sicuramente più attendibile fare riferimento ai risultati dello studio illustrato anche in considerazione che essendo l'ultimo in ordine temporale ha potuto far tesoro di tutti i precedenti studi eseguiti avendo allo stesso tempo un maggior numero di dati cui far riferimento.

<b>Contraente:</b> 	<b>Progetto:</b> <b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA</b> <b>DN 1400 (56") DP 75 bar</b>		<b>Cliente:</b>  <b>SNAM RETE GAS</b>
	<b>N° Contratto :</b> <b>N° Commessa :</b>		
<b>N° documento:</b> J01811-PPL-RE-000-0014	<b>Foglio</b> 1            di            11	<b>Data</b> 12-04-13	<b>N° documento Cliente:</b>

**ANALISI REGIMI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI**  
**CANALI PRINCIPALI E MINORI**

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

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 2 di 11				

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI DEL REGIME DI PORTATA CANALI PRINCIPALI .....</b>	<b>4</b>
2.1	NAVIGLIO DI BEREGUARDO	4
2.2	NAVIGLIO DI PAVIA	5
2.3	NAVIGLIO LANGOSCO	7
2.4	SUBDIRAMATORE PAVIA	7
2.5	SUBDIRAMATORE MORTARA	8
2.6	COLATORE NAVIGLIACCIO	8
2.7	CANALE DELLA MUZZA	8
2.8	TORRENTE TERDOPPIO LOMELLINO	9
<b>3</b>	<b>ANALISI DEL REGIME DI PORTATA CANALI SECONDARI E MINORI.....</b>	<b>11</b>

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 3 di 11				

## 1 PREMESSA

I canali oggetto della presente relazione sono tutti di tipo artificiale nati come canali navigabili o derivazioni irrigue o industriali oppure, come nel caso del Terdoppio, fortemente artificializzati in seguito ad interventi di regimazione.

Non risulta pertanto possibile effettuare una valutazione del regime idrologico in termini tradizionali.

Ove disponibili si farà pertanto riferimento ai dati sulle portate derivate alla bocca di presa e/o quelli rilasciati nella ricettore terminale come desumibili da specifici studi commissionati dalla regione Lombardia, quale ad esempio quello della Direzione Generale Reti e Servizi di Pubblica Utilità al Politecnico di Milano nell'anno 2003 a corredo della prima edizione del "*Piano di Tutela e Uso delle Acque della Regione Lombardia (PTUA)*", o al "Bilancio idrico del Master Plan Navigli Lombardi" commissionato dalla Direzione Generale Lavori Pubblici.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N° Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N° Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0014	Foglio			4	di	11

## 2 ANALISI DEL REGIME DI PORTATA CANALI PRINCIPALI

### 2.1 NAVIGLIO DI BEREGUARDO

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.

Garantisce l'irrigazione di un comprensorio di 7.000 ettari.

Il Naviglio di Bereguardo ha una portata nominale di derivazione di circa 11 m<sup>3</sup>/s nel periodo estivo e di 9,4 m<sup>3</sup>/s nel periodo invernale.

L'andamento delle portate nel periodo considerato (Figura 1) evidenzia una certa alternanza dovuta alla variabilità delle portate che pervengono dal Naviglio Grande.

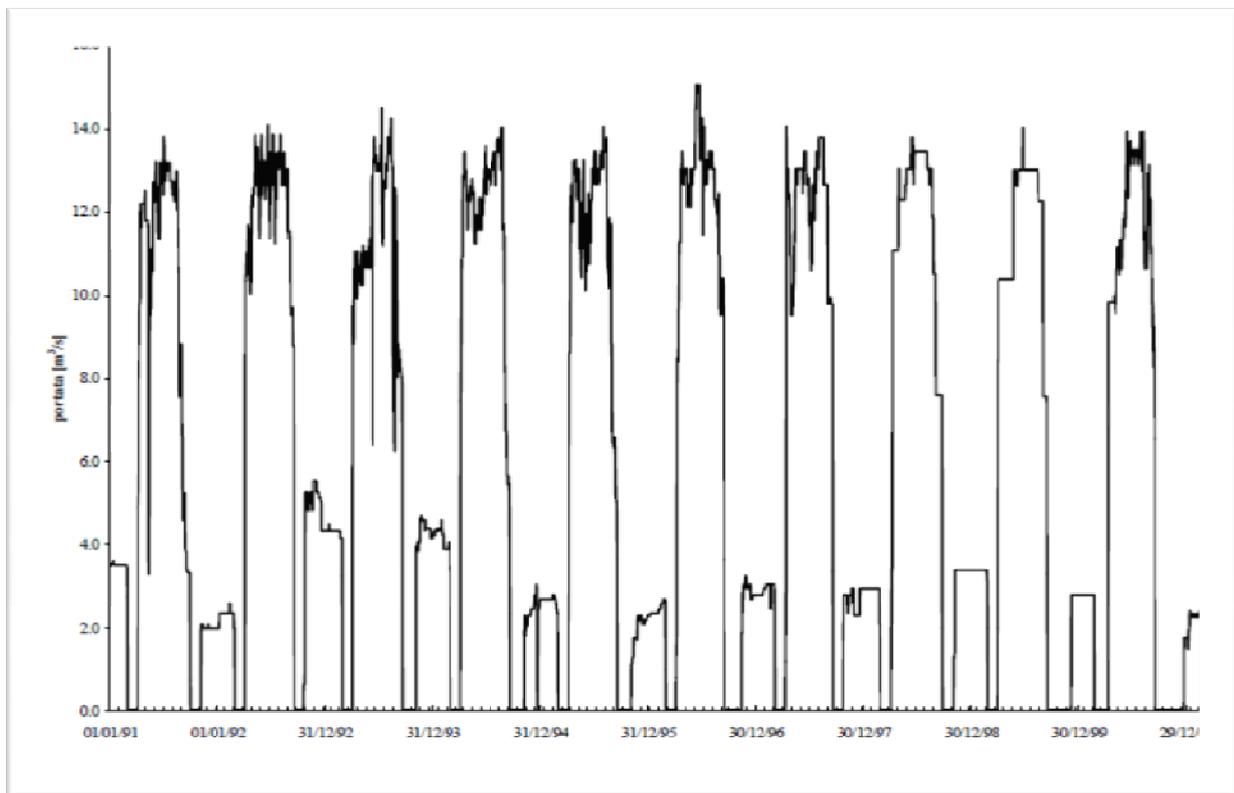


Figura 1: andamento delle portate derivate dal Naviglio di Bereguardo nel periodo 01/01/1991-29/12/2000.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio 5 di 11				

Il grafico evidenzia inoltre, per ciascun anno analizzato, i due periodi in cui non è presente acqua in corrispondenza delle asciutte del Naviglio Grande, che si collocano nel mese di marzo e tra la metà di settembre e la fine di ottobre.

Come per il Naviglio Grande negli ultimi anni si è osservata una tendenza ad anticipare l'asciutta primaverile. La durata delle asciutte è di un mese circa per quella primaverile, mentre è di una cinquantina di giorni per quella autunnali.

Distinguendo i due periodi, estivo ed invernale, la portata derivata media pluriennale è rispettivamente di 11,65 m<sup>3</sup>/s (dev. standard tra le medie estive annuali 0,52 m<sup>3</sup>/s) e 3,01 m<sup>3</sup>/s (dev. standard tra le medie invernali annuali 0,82 m<sup>3</sup>/s).

Analogamente al Naviglio Grande da cui deriva le acque, anche per il Naviglio di Bereguardo si rileva una tendenza alla riduzione delle portate derivate nel periodo invernale; tuttavia tale tendenza non risulta statisticamente significativa.

La derivazione del Naviglio di Bereguardo dal Naviglio Grande è a luce libera, ha una larghezza di 31,50 m tra i due muri di sponda, e la regolazione avviene alla prima Conca detta del Dazio poco a valle dell'incile.

Al 2002 risultano attive 39 derivazioni per una portata derivata complessiva di 11,688 m<sup>3</sup>/s con una superficie irrigata stimabile in circa 7000/7500 ha e di questa la parte integrata con la rete dei fontanili ammonta a circa 2250 ha (30%).

La portata residua che il Naviglio di Bereguardo riversa nel Fiume Ticino è di circa 200 l/s.

## **2.2 NAVIGLIO DI PAVIA**

Il Naviglio di Pavia è un canale artificiale che ha origine come derivazione del Naviglio Grande in corrispondenza della Darsena di Milano, è lungo 33 km e sfocia in Ticino presso Pavia. Il dislivello tra la darsena di porta Ticinese e il Ticino è di 56,6 metri, dei quali 4,40 sono superati dall'inclinazione del fondo, mentre agli altri 52,2 provvedono dodici conche con cascate. Alimenta una rete derivata di estensione superiore a 250 Km con 10 mila ettari di superficie irrigata.

Il Naviglio Pavese ha una portata nominale di derivazione di 9,1 m<sup>3</sup>/s nel periodo estivo e di 12,6 m<sup>3</sup>/s nel periodo invernale.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0014	Foglio			6	di	11

L'andamento delle portate nel periodo considerato (Figura 2) mostra una certa variabilità dovuta al fatto che la derivazione risente dell'andamento delle portate che pervengono alla Darsena dal Naviglio Grande.

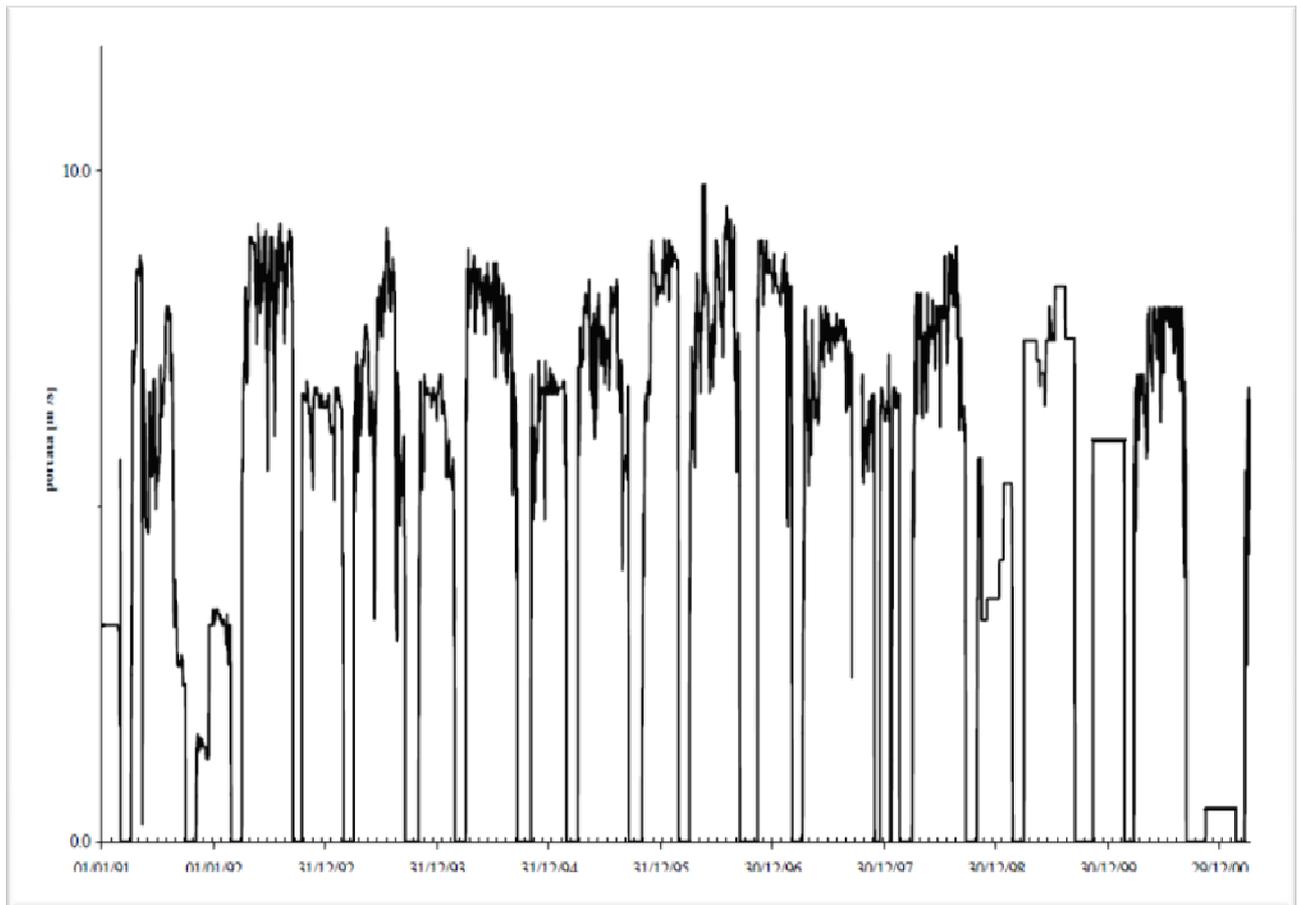


Figura 2: andamento delle portate derivate dal Naviglio di Pavia nel periodo 01/01/1991-29/12/2000.

Il grafico evidenzia, inoltre, i due periodi di asciutta in corrispondenza delle asciutte del Naviglio Grande, nel mese di marzo e tra la metà di settembre e la fine di ottobre.

Come per il Naviglio Grande negli ultimi anni si è osservata una tendenza ad anticipare l'asciutta primaverile. La durata delle asciutte è di un mese circa per quella primaverile, mentre è variabile tra 40 e oltre 55 giorni per quella autunnale.

Distinguendo i due periodi, la portata media estiva è di  $7.22 \text{ m}^3/\text{s}$  (dev. standard  $1.02 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mentre quella invernale è di  $5.75 \text{ m}^3/\text{s}$  (dev. standard  $0.69 \text{ m}^3/\text{s}$ ), escludendo il 2001 in cui la portata invernale è stata costantemente di  $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La derivazione del Naviglio Pavese dal Naviglio Grande avviene alla Darsena di Milano, in corrispondenza del ponte del Trofeo.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>												
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>												
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014			Rev.: 00		Foglio 7		di 11		N°Doc. Cliente:			

Al 2002 risultano attive 35 derivazioni per una portata derivata complessiva di 6,766 m<sup>3</sup>/s, e la superficie irrigata è circa 4.700 ha.

La portata residua del Naviglio Pavese è di circa 300÷400 l/s.

### 2.3 NAVIGLIO LANGOSCO

Naviglio Langosco è una canale artificiale, costruito nel XVII secolo con la funzione di irrigare le campagne del novarese e della Lomellina. E' derivato dal fiume Ticino a Galliate, ha una lunghezza di oltre 43 chilometri.

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

Il Naviglio Langosco ha una portata media annua da concessione di 20.36 m<sup>3</sup>/s con valori medi mensili più bassi nei mesi invernali e maggiori nei mesi irrigui come da tabella sottostante:

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qder [mc/sec]	18	18	18	22.70	22.70	22.70	22.70	22.70	22.70	18	18	18	20.36

Tabella 1 – Portate medie mensili derivate dal Naviglio Langosco alla presa sul Ticino.

Non sono disponibili informazioni sulle portate residue scaricate nelle rogge poste al termine del Naviglio.

### 2.4 SUBDIRAMATORE PAVIA

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.

Ha una portata media derivata 15 m<sup>3</sup>/s, con un rilascio finale in Ticino di 2,5 m<sup>3</sup>/s.

Non sono disponibili informazioni dettagliate sulle variazioni mensili di portata sia alla presa che allo sbocco in Ticino è comunque lecito attendersi, stante l'utilizzo principalmente irriguo delle sue acque, che vi sia un andamento caratterizzato da valori minimi nel periodo ottobre-febbraio ed massimi nel periodo luglio-agosto, in analogia a quanto rilevabile su altri canali per i quali si dispone di dati sulle derivazioni.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
		Foglio	8	di	11	

## 2.5 SUBDIRAMATORE MORTARA

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.

Ha una portata media derivata di 7 m<sup>3</sup>/s, mentre non sono disponibili informazioni dettagliate sulle variazioni mensili di portata sia alla presa che sulla portata rilasciata allo sbocco in Ticino è comunque lecito attendersi, stante l'utilizzo principalmente irriguo delle sue acque, che vi sia un andamento caratterizzato da valori minimi nel periodo ottobre-febbraio ed massimi nel periodo luglio-agosto, in analogia a quanto rilevabile su altri canali per i quali si dispone di dati sulle derivazioni.

## 2.6 COLATORE NAVIGLIACCIO

Il Colatore Navigliaccio o Roggia Ticinello Occidentale è un canale artificiale con funzione principalmente irrigua che nasce in Comune di Calvignasco e termina nel Ticino in Comune di Binasco. Lungo il percorso è interconnesso a varie rogge in cui versa o da cui riceve quote d'acqua quali la Roggia Mischia, la Roggia Bergonza, Roggia Gamberina.

Non sono disponibili informazioni sulle portate derivate e su quelle residue scaricate in Ticino è comunque lecito attendersi, stante l'utilizzo principalmente irriguo delle sue acque, che vi sia un andamento caratterizzato da valori minimi nel periodo invernale e massimi nel periodo estivo con valori di punta in genere collocati tra luglio ed agosto, in analogia a quanto rilevabile su altri canali per i quali si dispone di dati sulle derivazioni.

## 2.7 CANALE DELLA MUZZA

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

METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar												
ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI												
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014	Rev.:	00										N°Doc. Cliente:
		Foglio		9	di		11					

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.

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media annua
Qder [mc/sec]	51.22	53.29	48.77	48.68	62.79	86.06	99.26	82.31	61.76	53.71	52.20	51.74	62.65

Tabella 2 – Portate medie mensili derivate dalla Muzza alla presa sull'Adda.

Non sono disponibili informazioni sulle portate residue scaricate nelle rogge poste al termine del Naviglio.

## 2.8 TORRENTE TERDOPPIO LOMELLINO

Il torrente interessato dalle opere è quello posto 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.

Non essendo disponibili studi specifici o rilievi si possono solo effettuare considerazioni di tipo qualitativo basandosi sulla similitudine delle caratteristiche del bacino con quelle di altri corsi d'acqua di pianura come il Lambro ed il Lambro Meridionale. Entrambi questi corsi d'acqua presentano per la parte terminale andamenti fra loro simili caratterizzati dalla presenza di **due minimi di portata**, il primo di minore entità tra dicembre e gennaio, un

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria:	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
J01811-PPL-RE-000-0014	Foglio 10 di 11					

secondo nel periodo agosto-settembre e di **due massimi**, uno di maggiore entità nel periodo primaverile ed uno di minore entità nel periodo autunnale.

È pertanto naturale attendersi un andamento di questo tipo anche per il Terdoppio.

<b>METANODOTTO CERVIGNANO-MORTARA DN 1400 (56") DP 75 bar</b>						
<b>ANALISI DI PORTATA ED OSCILLAZIONI STAGIONALI CANALI PRINCIPALI E MINORI</b>						
N°Doc. Ingegneria: J01811-PPL-RE-000-0014	Rev.:	00				N°Doc. Cliente:
	Foglio		11	di	11	

### **3 ANALISI DEL REGIME DI PORTATA CANALI SECONDARI E MINORI**

Oltre ai canali di cui al paragrafo precedente, è presente nella zona una fitta rete di canali secondari e minori destinati principalmente alla distribuzione irrigua per i quali non sono disponibili informazioni sulle portate derivate e/o su quelle veicolate.

Per tali aste è comunque lecito attendersi, stante l'utilizzo principalmente irriguo delle acque, che in generale vi sia un andamento caratterizzato da valori minimi nel periodo invernale e massimi nel periodo estivo con valori di punta in genere collocati tra luglio ed agosto, in analogia a quanto rilevabile su altri canali per i quali si dispone di dati sulle derivazioni.

Tale andamento generale tenderà invece a stabilizzarsi intorno al valore medio della portata per quei canali ove vi sia una significativa presenza di derivazioni di tipo industriale o artigianale, caratterizzate dalla necessità di una portata grosso modo costante durante tutti i mesi dell'anno.

Analogamente ad un valore di portata costante, in questo caso tuttavia intorno a valori prossimi alla portata minima, si potrà riscontrare in generale nei tratti terminali dei cavi ove, essendo già avvenuta la parte preponderante dei prelievi si avrà una portata grosso modo costante lungo tutti i mesi dell'anno con un valore prossimo a quello di rilascio.

Discorso a parte meritano infine quei canali ove, oltre alla funzione irrigua, sia presente anche quella di scolo, quindi con immissione di scaricatori di piena o semplicemente di apporti della rete di raccolta superficiale dei terreni attraversati (scoline campestri, fossi di guardia, ecc.). In tali casi l'andamento descritto in apertura potrà risultare alterato dagli apporti meteorici che potranno determinare la formazione di picchi di piena nei periodi autunnali e primaverili, anche se per durate limitate nel tempo.