



**REGIONE
LAZIO**

**DIREZIONE REGIONALE INFRASTRUTTURE,
AMBIENTE E POLITICHE ABITATIVE**

**LAVORI DI RIPRISTINO DELL'OFFICIOSITA' DEL FOSSO DI
PRATOLUNGO COMPRESA LA M.S. DELL'ALVEO E LA COSTITUZIONE
DI OPPORTUNE OPERE DI ACCUMULO E
LAMINAZIONE DELLE PIENE - II LOTTO**

**PROGETTO ESECUTIVO
PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA**

**STUDI SPECIALISTICI
IDRAULICA
Relazione Idrologica e Idraulica**

IMPRESA DI COSTRUZIONE:
ATI:

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Dott. Dario Maturro



(capogruppo)



(mandante)

PROGETTISTI:

DIREZIONE DEI LAVORI
Ing. Severino Marasco



(mandataria)
Prof. Ing. Marco Petrangeli
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì



(mandante)
Ing. Luciano Landolfi
Ing. Roberto De Gennaro
Ing. Antonio Petti

STUDI GEOLOGICI:

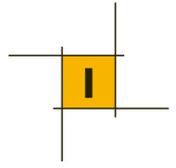
Ing. Geol. Massimo Pietrantonì

CODICE ELABORATO	RIFERIMENTO ELABORATO							SCALA		
							File name:			
	R	IN	122	ID	-	RE 101	-	R 2	RIN122ID-RE101-R2	-

rev	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Visto committente	Descrizione
0	11/2013	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		
1	11/2013	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		A seguito di istruttoria del Servizio Dighe
2	08/07/2015	A. Tagliaferri	M. Pietrantonì	M. Petrangeli		Ottemperanza prescrizioni. Consegna definitiva

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO, MORFOMETRICO ED IDROGEOLOGICO	5
2.1	Caratteri topografici e morfometrici del bacino idrografico appartenente.....	5
2.2	Caratteri idrogeologici e colturali.....	6
3	PORTATA DI PIENA DI PREFISSATA FREQUENZA PROBABILE.....	7
3.1	Generalità.....	7
3.2	Fosso di Pratolungo alla confluenza nel Fiume Aniene.....	8
3.3	Fosso di Pratolungo alla SEZIONE DI PROGETTO.....	17
4	PORTATE DI PIENA.....	23
4.1	Portate di piena di interesse.....	23
4.2	Portata di piena per evento estremo	23
5	ONDE DI PIENA PER PORTATE AL COLMO STIMATE CON MODELLI A PARAMETRI CONCENTRATI IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI PROGETTO	24
6	STUDIO DEL COMPORTAMENTO IDRAULICO.....	27
6.1	Simulazioni	27
7	LAMINAZIONE DELLE ONDE DI PIENA.....	45
7.1	Ipotesi di calcolo	45
7.2	Simulazioni	46
7.3	Allegati grafici al capitolo	48
8	CONCLUSIONI	66



1 PREMESSA

Nella presente relazione sono illustrati i risultati degli studi idrologici e idraulici condotti nell'ambito del progetto dei "Lavori di ripristino dell'efficienza idraulica del fosso di Pratolungo, compresa la messa in sicurezza dell'alveo e la costituzione di opportune opere di accumulo e laminazione delle piene – 2° lotto".

Il progetto prevede la realizzazione di una vasca di accumulo in linea che permetta, in caso di evento di piena, di laminare e regolare il deflusso in modo tale da abbattere sensibilmente la probabilità di esondazione nelle aree immediatamente a valle, attualmente tutte ricadenti in fascia A (PAI) e soggette a rischio idraulico R4.

L'opera in esame si inserisce in un piano di interventi già realizzati nel recente passato per l'eliminazione del rischio di inondazione della Via Tiburtina per fenomeni di rigurgito causati dalle piene da deflusso del ricettore, il Fiume Aniene.

Tali interventi hanno avuto l'obiettivo di eliminare il rischio di inondazione del Fiume Aniene, non intervenendo però sulle aree del fosso di Pratolungo.

Per queste aree sono stati programmati altri interventi che hanno l'obiettivo della messa in sicurezza idraulica dell'area, fortemente urbanizzata e soggetta a rischio R4, compresa tra la confluenza del fosso di Pratolungo e il Fiume Aniene e il G.R.A.. Uno di questi interventi è rappresentato dal progetto in esame.

Per questo lavoro la Regione Lazio ha indetto una gara di Appalto Integrato con un progetto definitivo posto a base di gara. Questo Progetto Definitivo contiene un approfondito studio idrologico e idraulico sulla base del quale sono stati individuati e concordati con le Autorità competenti gli interventi inseriti nei lavori appaltati. Gli studi idrologici e idraulici sono stati condotti prendendo in esame tutti i dati disponibili e necessari per la modellazione idraulica presa a base del dimensionamento delle opere.

Le Amministrazioni preposte all'approvazione del progetto non hanno individuato la necessità di integrazioni o adeguamenti degli studi di idrologia e idraulica generale condotti in sede di progetto definitivo, che quindi vanno considerati adeguati anche per questa fase progettuale.

Specifiche integrazioni sono state richieste dalla Direzione Generale per le dighe con riguardo al "piano di laminazione", allo studio delle onde di piena artificiali e al "progetto di gestione dell'invaso". Tali studi non prevedono però ulteriori studi idrologici e idraulici generali, oltre a quelli condotti in sede di progetto definitivo, che pertanto rimangono validi.

In questa sede vengono quindi riproposti integralmente i temi riportati nella relazione del progetto definitivo, solo con opportune modifiche e adattamenti che tengono conto delle variazioni introdotte, le quali comunque non modificano i dati di base degli studi.

2 INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO, MORFOMETRICO ED IDROGEOLOGICO

2.1 Caratteri topografici e morfometrici del bacino idrografico appartenente

I caratteri topografici e morfometrici, derivati dalla perimetrazione effettuata su CTR 1:10.000 riportata nella Planimetria di inquadramento idrografico, sono indicati nel seguito:

- per il bacino idrografico del fosso di Pratolungo chiuso all'altezza della confluenza nel Fiume Aniene, a valle di Tivoli, ove questo ha quale idronimo la denominazione Teverone, risultano:

lunghezza dell'asta principale del fosso	$L = 17,287 \text{ km}$
superficie del bacino idrografico apparente	$S = 72,03 \text{ km}^2$
quota massima	$H_{\max} = 416,00 \text{ m s.m.m.}$
quota minima	$H_{\min} = 20,00 \text{ m s.m.m.}$
indice di compattezza (Gravelius)	$K_G = 1,6091$
lato maggiore del rettangolo equivalente	$L_G = 20,3701 \text{ km}$
lato minore del rettangolo equivalente	$l_G = 3,6302 \text{ km}$
densità della rete di drenaggio	$D = 1,244 \text{ km/km}^2$
pendenza media	$i_G = 0.9 \%$
altitudine media del bacino idrografico	$H = 218,00 \text{ m s.m.m.}$
dislivello medio del bacino idrografico rispetto alla quota minima	$H' = 198,00 \text{ m}$

- per il bacino idrografico del fosso di Pratolungo chiuso all'altezza della SEZIONE DI PROGETTO, risultano:

lunghezza dell'asta del fosso	$L = 15,171 \text{ km}$
superficie del bacino idrografico apparente	$S = 67,47 \text{ km}^2$
quota massima	$H_{\max} = 416,00 \text{ m s.m.m.}$
quota minima	$H_{\min} = 23,00 \text{ m s.m.m.}$
indice di compattezza (Gravelius)	$K_G = 1,5004$
lato maggiore del rettangolo equivalente	$L_G = 18,4306 \text{ km}$
lato minore del rettangolo equivalente	$l_G = 3,8201 \text{ km}$
densità della rete di drenaggio	$D = 1,275 \text{ km/km}^2$
pendenza media	$i_G = 0,9 \%$
altitudine media del bacino idrografico	$H = 219,50 \text{ m s.m.m.}$
dislivello medio del bacino idrografico rispetto alla quota minima	$H' = 196,50 \text{ m}$

La rete idrografica è limitatamente sviluppata su tutta l'area, fino alle propaggini estreme, chiaro indice di elevata permeabilità dei suoli. La rete idrografica tributaria dell'asta principale del fosso di Pratolungo presente in destra idraulica risulta marcatamente più sviluppata della corrispondente rete idrografica tributaria presente in sinistra idraulica.

Dal confronto dei dati omologhi riportati nei due elenchi risalta evidente la sostanziale invarianza delle caratteristiche topografiche e morfometriche salienti dei due bacini idrografici passando dalla confluenza nel Fiume Aniene alla SEZIONE DI PROGETTO a monte del G.R.A. .

2.2 Caratteri idrogeologici e culturali

I suoli del bacino del fosso di Pratolungo sono stati idrologicamente classificati in base alle informazioni tratte dagli studi geologici. Le formazioni presenti, espresse in percentuale della superficie totale del bacino, e le relative classi di permeabilità risultano:

Bacino del fosso di Pratolungo		Area %	Classe di permeabilità
Alto Bacino	calcarei e diaspri	10%	0,5
	sabbie gialle	15%	0,2
	piroclastici dell'apparato Vulcanico Sabatino	5%	0,4
	tufo lionato del Vulcano Laziale	5%	0,4
Medio Bacino	argille azzurre e marne grigie marine	20%	0,1
	tufi granulari e stratificati Vulcano Sabatino	5%	0,4
	pozzolane rosse del Vulcano Laziale	5%	0,4
Basso Bacino	pozzolane rosse del Vulcano Laziale	10%	0,4
	tufo lionato del Vulcano Laziale	5%	0,4
Intero Bacino	alluvioni di fondovalle sul fosso di Pratolungo e sugli affluenti	20%	0,8

La media pesata delle classi di permeabilità conduce ad un valore della parte permeabile *pp* del 40%, il che fa ascrivere il bacino idrografico in esame fra quelli da mediamente a poco permeabili.

Il 5% della superficie del bacino è coperto da bosco, il 10% è lasciato a pascolo ed il rimanente è coltivato a seminativo. La porzione del fondovalle a valle del G.R.A. è quasi totalmente urbanizzata, con insediamenti di tipo industriale e residenziale.

3 PORTATA DI PIENA DI PREFISSATA FREQUENZA PROBABILE

3.1 Generalità

Sono state prese a riferimento le seguenti Norme:

- D.M. LL.PP. 14/02/1997, pubblicato il 06/03/1997 sulla G.U. n° 54 - *Direttive tecniche per l'individuazione e per la perimetrazione da parte delle Regioni delle aree a rischio idrogeologico*;
- D.P.C.M. 29 settembre 1998, pubblicato il 05/01/1999 sulla G.U. n° 3 - *Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n° 180*,

Risultando l'area oggetto in esame nella **classe di rischio idrogeologico elevato R4**, per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socio-economiche, in sede di Progetto Definitivo si è deciso di intervenire con l'obiettivo di ridurre tale rischio abbassando la frequenza/probabilità di accadimento dell'evento di piena. Infatti attualmente, secondo quanto riportato nel P.A.I., l'area suddetta ricade in fascia A, la quale individua porzioni di territorio direttamente inondabili per eventi con $T_r = 50$ anni. Nello studio del Progetto Definitivo si è quindi scelto di analizzare gli eventi con tempi di ritorno superiore, nello specifico $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 anni, con l'obiettivo minimo di abbassare la classe di rischio facendo sì che l'area da salvaguardare non ricada più in fascia A.

Ipotizzando pari a circa 50 anni la durata tecnico-economica delle opere, al variare del valore di tempo di ritorno corrispondono le seguenti probabilità di pericolo P:

$T_r = 100$ anni	P = 39,5 %
$T_r = 200$ anni	P = 22,2 %
$T_r = 500$ anni	P = 9,5 %
$T_r = 1000$ anni	P = 4,9 %

I più recenti studi idrologico-idraulici effettuati sul fosso di Pratolungo sono stati realizzati dalla S.A.P.P.R.O. nel 1985 e dal prof. Renzo Remedia nel 2004 e sono riportati nei paragrafi immediatamente seguenti.

La trattazione dello studio Remedia si lascia preferire, sia in quanto più recente, sia perché giunge ai risultati dal confronto di varie consolidate procedure secondo quanto è metodologicamente doveroso in caso di mancanza di consistente informazione idrologica e/o idraulica diretta (serie di dati di portata, e/o di dati di altezza idrometrica, di elevata dimensione).

Infatti lungo l'asta del fosso di Pratolungo non sono mai state realizzate stazioni di misura della portata e solo in anni recenti (2005) è stato installato, all'altezza del GRA, un tele-idrometro gestito dall'Ufficio Idrografico della Regione Lazio per il controllo in tempo reale dei fenomeni di piena da deflusso.

La stima della portata massima e del volume di piena in corrispondenza della confluenza nell'Aniene ed all'altezza della SEZIONE DI PROGETTO è stata eseguita con riferimento a modelli matematici a parametri concentrati (*lumped model*). Le elaborazioni condotte ed i risultati conseguiti sono riportati nei successivi paragrafi.

3.2 Fosso di Pratolungo alla confluenza nel Fiume Aniene

3.2.1 Modelli a parametri concentrati fisicamente basati

3.2.1.1 Studi ed indagini pregressi

Studio S.A.P.P.R.O.

Nell'anno 1985 è stato redatto dalla S.A.P.P.R.O., per conto del Provveditorato alle Opere Pubbliche per il Lazio, lo studio idrologico-idraulico mirato all'acquisizione delle onde di piena e dei livelli di piena di prefissata frequenza probabile del Fiume Aniene e delle onde di piena dei suoi principali affluenti. La modellazione matematica nell'occasione adottata era costituita da:

- un modello afflusso-deflusso per la stima delle onde di piena basato sul bilancio idrologico;
- un modello di flusso in moto permanente gradualmente variato, per la definizione dei livelli di piena lungo l'asta del Fiume Aniene.

Relativamente al fosso di Pratolungo la valutazioni idrologiche condotte hanno portato alle stime riportate nella TABELLA I.

TABELLA I - Portate di piena al colmo del fosso di Pratolungo (Fonte S.A.P.P.R.O.)

Tempo di ritorno [anni]	Portata di picco [m ³ /s]
50	81,50
100	90,55
500	111,38

Perequando i dati di TABELLA I con la funzione

$$Q_c = a + b \log T_r$$

si consegue la relazione di stima:

$$Q_c = 30,5828 + 29,8659 \log T_r$$

caratterizzata da valore pari ad 1 dell'indice di determinazione r^2 .

Nella TABELLA II sono esposti i valori stimati con la precedente relazione che fanno riferimento ad un campo di variazione del tempo di ritorno T_r più dettagliato.

TABELLA II - Portate di piena al colmo del fosso di Pratolungo

Tempo di ritorno [anni]	Portata di picco [m ³ /s]
50	81,50
100	90,55
200	99,31
500	111,38
1000	120,18
2000	129,17

Nello studio condotto dalla S.A.P.P.R.O. per $T_r = 50$ anni sono state determinate due onde di piena del fosso di Pratolungo alla confluenza nel Fiume Aniene con modellazione afflusso-deflusso che fa riferimento a due distinte distribuzioni spazio-temporali delle piogge. Nella TABELLA III sono riportati gli elementi caratteristici delle due onde, unitamente ai valori del rapporto k tra portata stimata ai differenti tempi t e portata al colmo.

TABELLA III - Elementi caratteristici delle onde di piena del fosso di Pratolungo tratti dallo studio S.A.P.P.R.O.

Onda 1)			Onda 2)		
Tempo [ora]	Portata [m ³ /s]	k	Tempo [ora]	Portata [m ³ /s]	k
0	5	0,0588	0	5	0,0625
4	85	1	4	80	1
7	35	0,4188	8	35	0,4375
11	20	0,2353	15	5	0,0625
15	5	0,0588			

Studio del Prof. R. Remedia

Nell'anno 2004 è stato redatto dal Prof. R. Remedia, per conto del Dipartimento XII del Comune di Roma, lo studio idrologico ed idraulico propedeutico al progetto definitivo dell'Allargamento Tiburtina da *km 9+300* al *km 15+800*.

Lo studio prevede, in mancanza di misure idrologiche ed idrometriche dirette, la stima delle portate di piena con riferimento a più modelli idrologici basati sulla trasformazione afflussi-deflussi giustificando tale metodologia dall'arbitrarietà della scelta di un singolo modello matematico come il più idoneo alla formalizzazione del processo di trasformazione. Lo studio quindi svolge l'indagine idrologica ed idraulica ricorrendo all'applicazione delle procedure più consolidate nello scientifico dei piccoli bacini idrografici e, in particolare, a quelle:

- dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere,
- del metodo cinematico o Formula Razionale,
- del metodo *CN* del *SCS*.

Lo studio identifica come portata di progetto quella associata ad un tempo di ritorno $T_r = 200$ anni e come portata di verifica quella con $T_r = 500$ anni; considera, a seguito dei calcoli effettuati, sia il caso di tempo di corrivazione $t_c = 4$ ore che il caso di $t_c = 5$ ore e desume i parametri dei modelli, come ad esempio i coefficienti di deflusso, dalla bibliografia tecnica esistente.

Nella TABELLA IV sono esposti i valori stimati di portata di picco per progetto e verifica ottenuti dall'applicazioni delle diverse procedure adottate.

TABELLA IV - Picchi di piena del fosso di Pratolungo alla confluenza nel Fiume Aniene tratti dallo studio del Prof. G. Remedia

Tempo di ritorno	Procedura	Portata [m ³ /s]	
		4 [ore]	5 [ore]
T _r = 200 anni	A.B. Tevere	119,38	102,91
	FORM. RAZ	103,81	87,22
	CN SCS	102,23	92,49
T _r = 500 anni	A.B. Tevere	119,68	138,84
	FORM. RAZ	114,67	96,35
	CN SCS	115,61	117,32

Dal confronto dei valori stimati, lo studio assume le seguenti medie aritmetiche come riferimento nel prosieguo della trattazione:

		T _r = 200 anni	T _r = 500 anni
t _c = 4 ore	Q _c =	107,00 m ³ /s	121,00 m ³ /s
t _c = 5 ore	Q _c =	95,00 m ³ /s	112,00 m ³ /s

Nella redazione della relazione del progetto definitivo si è scelto di seguire lo stesso schema dello studio del Prof. R. Remedia perché ritenuto completo ed esaustivo, ma aggiornando i parametri dei modelli matematici in base allo studio geologico di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto dal Dott. P. Bersani.

3.2.1.2 Procedura proposta dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere

La procedura per la determinazione dell'entità della portata di piena massima istantanea proposta dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere è articolata nelle seguenti fasi:

Perimetrazione del bacino e stima dei parametri morfometrici

I risultati conseguiti sono riportati nella TABELLA V.

TABELLA V - Parametri morfometrici e topografici del bacino del fosso di Pratolungo

Sezione	Latitudine centroide [°]	Altezza media [m]	Superficie [km ²]	Lunghezza dell'asta [km]
Conf. Aniene	41,9775	198,00	73,953	19,00

Stima del tempo di corrivazione

Nel richiamato Studio S.A.P.P.R.O. il valore del tempo di corrivazione del fosso di Pratolungo venne stimato pari a: t_c = 4,0 ore

Valutato lo stesso con riferimento alla formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H'}}$$

si ottiene:

$$t_c = 5,32 \text{ ore.}$$

Infine, con riferimento alla relazione del Prof. Viparelli, si ha:

$$t_c = L / V = 17,287 / 3,6 = 4,80 \text{ ore.}$$

A seguito dei risultati conseguiti, nelle successive elaborazioni si è fatto riferimento sia al valore del tempo di corrivazione $t_c = 4 \text{ ore}$, sia al valore del tempo di corrivazione $t_c = 5 \text{ ore}$.

Calcolo, da interpolazione lineare dei dati tabellari indicati dall'Autorità di Bacino Fiume Tevere, dei valori Z/L e Z/Y

$$Z/L = 0,02501$$

$$Z/Y = 0,18761$$

Calcolo del valore del funzionale S_1

$$S_1 = 90 \frac{Z}{L} - 11,4 \frac{Z}{Y} = 0,11230$$

Stima della funzione $E[h_1]$

$$E[h_1] = 29(S_1 + 1) = 32,25656 \text{ mm}$$

Stima dell'altezza di pioggia puntuale

L'altezza di pioggia puntuale viene valutata con la relazione di stima

$$h_{d,T_r} = K_{T_r} E[h_1] d^{0,29}$$

con T_r , tempo di ritorno, e d , durata della pioggia immediatamente superiore al tempo di corrivazione. I valori di K_{T_r} sono indicati dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Per tempo di ritorno $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 anni si ha:

$T_r = 100 \text{ anni}$	$t_c = 4 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 2,376$	$h_{d,100} = 114,57 \text{ mm}$
	$t_c = 5 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 2,376$	$h_{d,100} = 122,23 \text{ mm}$
$T_r = 200 \text{ anni}$	$t_c = 4 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 2,7036$	$h_{d,200} = 130,36 \text{ mm}$
	$t_c = 5 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 2,7036$	$h_{d,200} = 139,08 \text{ mm}$
$T_r = 500 \text{ anni}$	$t_c = 4 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 3,1442$	$h_{d,500} = 151,61 \text{ mm}$
	$t_c = 5 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 3,1442$	$h_{d,500} = 161,74 \text{ mm}$
$T_r = 1000 \text{ anni}$	$t_c = 4 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 3,4793$	$h_{d,1000} = 167,77 \text{ mm}$
	$t_c = 5 \text{ ore}$	$K_{T_r} = 3,4793$	$h_{d,1000} = 178,98 \text{ mm}$

Stima del valore del coefficiente di ragguglio k_r dell'altezza di pioggia puntuale all'area del bacino

$$k_r = 1 - e^{-0,033 E[h_1] 1,1 t_c 0,25 - 0,033 E[h_1] 1,1 t_c 0,25 - 0,01 S + e}$$

con i valori precedentemente stimati si ottiene:

$$\begin{aligned} t_c = 4 \text{ ore} & \quad k_r = 0,90198 \\ t_c = 5 \text{ ore} & \quad k_r = 0,91087 \end{aligned}$$

Stima della portata di piena $Q_{c,Tr}$ di prefissata frequenza probabile

Il valore della portata di picco viene stimato con la formula cinematica

$$Q_{c,Tr} = \frac{h_{d,Tr} \cdot k_r \cdot k_d \cdot S}{3.6 t_c}$$

Come anticipato nel paragrafo 2.2, la parte permeabile del bacino, con riferimento agli studi geologici (prodotti piroclastici, calcari ed argille), è stata assunta, operando in questo a favore della sicurezza, pari a $pp = 40\%$. Ne conseguono i seguenti valori del coefficiente di deflusso $k_{d,100} = 0,37$, $k_{d,200} = 0,39$, $k_{d,500} = 0,41$, $k_{d,1000} = 0,43$, i quali valori sono stati stimati con riferimento al diagramma ed alla procedura indicati dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

Per i due differenti tempi di corrivazione, infine, si ottiene:

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,100} = 191,26 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,66 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,100} = 164,84 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,29 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 229,39 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,18 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 197,71 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,74 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 280,45 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,89 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 241,72 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,36 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 325,48 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 4,52 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 280,53 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,89 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

3.2.1.3 Formula Razionale

La stima del valore della portata di picco viene condotta anche con riferimento al metodo cinematico riconducibile alla Formula Razionale. Si ha:

$$Q_c = \frac{\psi \cdot \phi \cdot h \cdot S}{3.6 t_c}$$

con:

φ = coefficiente di deflusso assunto pari a 0,4;

ψ = coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area assunto pari a 0,90;

h = altezza di pioggia correlata al tempo di corrivazione.

Il valore del coefficiente di deflusso è stato definito in base al tipo di superficie con riferimento alla pubblicazione "Sistemazione dei corsi d'acqua" dei Proff. Luigi Da Deppo, Claudio Datei e Paolo Salandin, anno 2002. A pagina 177 sono riportati in tabella i diversi *range* di valori del coefficiente di deflusso al cambiare del tipo di superficie e per quelle di interesse (superfici erbose, boschi, terreni coltivati) si è calcolato un valore medio, arrotondato per eccesso a favore di sicurezza, pari a 0,4.

Nelle elaborazioni, il valore del coefficiente di ragguaglio del piovuto all'area è stato assunto pari a 0,90 poiché la stima dell'altezza di pioggia è stata effettuata con riferimento a relazioni dedotte da regionalizzazione.

Per la relazione di stima delle curve di possibilità climatica di prefissata frequenza probabile si è seguita la procedura riportata, per il bacino idrografico del Fiume Tevere, dal Quaderno Idrologico della stessa Autorità di Bacino¹. La stima dell'altezza di pioggia h data dalla relazione:

$$h = a t^b f(k, T_r)$$

$$f(k, T_r) = 1 - k \{0,45 + 0,799 \ln [- \ln (1 - 1/ T_r)]\}$$

Con riferimento al bacino idrografico del fosso di Pratolungo alla confluenza nell'Aniene si ha:

$$a = 35$$

$$k = 0,31$$

$$b = 0,22$$

Nella TABELLA VI sono riportate le curve di possibilità pluviometrica stimate per differenti valori del tempo di ritorno T_r .

TABELLA VI - Curve di possibilità pluviometrica

$T_r = 100 \text{ anni}$	$h = 70,00 t^{0,22}$
$T_r = 200 \text{ anni}$	$h = 76,03 t^{0,22}$
$T_r = 500 \text{ anni}$	$h = 83,98 t^{0,22}$
$T_r = 1000 \text{ anni}$	$h = 90,07 t^{0,22}$

Per i differenti valori del tempo di corrivazione si ha:

¹ Vedi: Autorità di Bacino del Fiume Tevere - *Regionalizzazione delle piogge con durata da 1 a 5 giorni e da 1 a 24 ore* - Quaderno Idrologico del Fiume Tevere - Anno I, n. 2, 1996

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,100} = 171,00 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,37 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,100} = 143,69 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 1,99 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 185,73 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,58 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 156,06 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,17 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 205,16 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,85 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 172,38 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,39 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 220,03 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,05 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 184,88 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,57 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

3.2.1.4 Metodo CN del SCS

La procedura di *calcolo del deflusso superficiale CN del SCS* per la stima della portata di piena al colmo considera i seguenti passi:

Definizione della classe di permeabilità del suolo:

I suoli del bacino del fosso di Pratolungo sono stati idrologicamente classificati in base alle informazioni tratte studi geologici. Le formazioni presenti, espresse in percentuale della superficie totale del bacino, il gruppo idrologico associato e la corrispondente stima del CN risultano:

			Gruppo idrologico	CN
Alto Bacino	calcari e diaspri	10%	A	35
	sabbie gialle	15%	C	74
	piroclastici dell'apparato Vulcanico Sabatino	5%	A	35
	tufo lionato del Vulcano Laziale	5%	D	80
Medio Bacino	argille azzurre e marne grigie marine	20%	D	80
	tufi granulari e stratificati Vulcano Sabatino	5%	B	64
	pozzolane rosse del Vulcano Laziale	5%	B	64
Basso Bacino	pozzolane rosse del Vulcano Laziale	10%	B	64
	tufo lionato del Vulcano Laziale	5%	D	80
Intero Bacino	alluvioni di fondovalle sul fosso di Pratolungo e sugli affluenti	20%	A	35

Definizione del valore CN

Ne consegue che, per *AMC II*, il valore medio ponderale di *CN* risulta di 60, a cui corrisponde, per *AMC I*, il valore *CN* = 40. Nel caso si adotta, operando in questo a favore di sicurezza, il valore *CN* = 60.

Stima del parametro S (infiltrazione potenziale)

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \cdot 25.4 = 169.33$$

Stima dell'altezza di pioggia efficace

$$h_e = \frac{(H_r - 0.2 \cdot S)^2}{H_r + 0.8 \cdot S}$$

Con riferimento alle stime di altezza di pioggia ricavate nel par. 3.2.1.2 per $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 anni si ha:

$T_r = 100$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,100} = 114,57$ mm	$h_e = 26,05$ mm	$h_{e,ragg} = 23,49$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,100} = 122,23$ mm	$h_e = 30,30$ mm	$h_{e,ragg} = 27,60$ mm
$T_r = 200$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,200} = 130,36$ mm	$h_e = 35,03$ mm	$h_{e,ragg} = 31,60$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,200} = 139,08$ mm	$h_e = 40,32$ mm	$h_{e,ragg} = 36,73$ mm
$T_r = 500$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,500} = 151,61$ mm	$h_e = 48,29$ mm	$h_{e,ragg} = 43,56$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,500} = 161,74$ mm	$h_e = 55,02$ mm	$h_{e,ragg} = 50,12$ mm
$T_r = 1000$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,1000} = 167,77$ mm	$h_e = 59,13$ mm	$h_{e,ragg} = 53,33$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,1000} = 178,98$ mm	$h_e = 66,97$ mm	$h_{e,ragg} = 61,00$ mm

Relazione di stima della portata di picco

$$Q_c = \frac{h_e \cdot A}{3.6 \cdot t_c}$$

I valori della portata di piena al colmo del fosso di Pratolungo risultano:

$t_c = 4$ ore	$Q_{c,100} = 117,52$ m ³ /s	$q = 1,63$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,100} = 110,43$ m ³ /s	$q = 1,53$ m ³ /s km ²
$t_c = 4$ ore	$Q_{c,200} = 158,04$ m ³ /s	$q = 2,19$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,200} = 146,97$ m ³ /s	$q = 2,04$ m ³ /s km ²
$t_c = 4$ ore	$Q_{c,500} = 217,88$ m ³ /s	$q = 3,02$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,500} = 200,55$ m ³ /s	$q = 2,78$ m ³ /s km ²
$t_c = 4$ ore	$Q_{c,1000} = 266,77$ m ³ /s	$q = 3,70$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,1000} = 244,11$ m ³ /s	$q = 3,39$ m ³ /s km ²

3.2.1.5 Riepilogo valori portate di piena del Fosso di Pratolungo alla confluenza nell'Aniene

Con riferimento alla sezione di chiusura del fosso di Pratolungo alla confluenza nel ricettore finale, il Fiume Aniene, ed a differenti procedure basate su modelli a parametri concentrati, sono state conseguite le stime di portata di piena per $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 *anni* i cui valori sono riportati nella TABELLA VII.

TABELLA VII - Portata di piena del fosso di Pratolungo alla confluenza nel Fiume Aniene

Tempo di ritorno	Procedura	Portata [m^3/s]	
		t_c	
		4 [ore]	5 [ore]
$T_r = 100$ <i>anni</i>	S.A.P.P.R.O.	90,55	--
	A.B. Tevere	191,26	164,84
	FORM. RAZ	171,00	143,69
	CN SCS	117,52	110,43
$T_r = 200$ <i>anni</i>	S.A.P.P.R.O.	99,31	--
	A.B. Tevere	229,39	197,71
	FORM. RAZ	185,73	156,06
	CN SCS	158,04	146,97
$T_r = 500$ <i>anni</i>	S.A.P.P.R.O.	111,38	--
	A.B. Tevere	280,45	241,72
	FORM. RAZ	205,16	172,38
	CN SCS	217,88	200,55
$T_r = 1000$ <i>anni</i>	S.A.P.P.R.O.	120,18	--
	A.B. Tevere	345,48	280,53
	FORM. RAZ	220,03	184,88
	CN SCS	273,21	244,11

3.3 Fosso di Pratolungo alla SEZIONE DI PROGETTO

3.3.1 Modelli a parametri concentrati fisicamente basati

3.3.1.1 Procedura proposta dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere

La procedura per la determinazione dell'entità della portata di piena di riferimento proposta dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere è articolata nelle seguenti fasi:

Perimetrazione del bacino e stima dei parametri morfometrici

I risultati conseguiti sono riportati nella TABELLA VIII

TABELLA VIII - Parametri morfometrici del bacino del fosso di Pratolungo

Sezione	Latitudine centroide [°]	Altezza media [m]	Superficie [km ²]	Lunghezza dell'asta [km]
SEZIONE DI PROGETTO	≈ 41,9775	196,50	67,47	16,76

Stima del tempo di corrivazione

Per valore del tempo di corrivazione del fosso di Pratolungo all'altezza della SEZIONE DI PROGETTO valutato con riferimento alla formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H'}}$$

si ottiene:

$$t_c = 4,96 \text{ ore.}$$

Con riferimento alla relazione del Prof. Viparelli, si ha:

$$t_c = L/V = 15,171 / 3,6 = 4,21 \text{ ore.}$$

A seguito dei risultati conseguiti, nelle successive elaborazioni verrà fatto riferimento sia al valore del tempo di corrivazione $t_c = 4 \text{ ore}$ che al valore del tempo di corrivazione $t_c = 5 \text{ ore}$.

Calcolo, da interpolazione tabellare dei dati indicati dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere dei valori Z/L e Z/Y

$$Z/L = 0,02501$$

$$Z/Y = 0,18761$$

Calcolo del valore del funzionale S_1

$$S_1 = 90 \frac{Z}{L} - 11.4 \frac{Z}{Y} = 0.11230$$

Stima della funzione $E[h_1]$

$$E[h_1] = 29(S_1 + 1) = 32,25656 \text{ mm}$$

Stima dell'altezza di pioggia puntuale

L'altezza di pioggia puntuale viene stimata con la relazione

$$h_{d,Tr} = K_{Tr} E[h_1] d^{0,29}$$

con T_r , tempo di ritorno, e d , durata della pioggia immediatamente superiore al tempo di corrivazione. I valori di K_{Tr} sono indicati dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Per tempo di ritorno $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 anni si ha:

$T_r = 100$ anni	$t_c = 4$ ore	$K_{Tr} = 2,376$	$h_{d,100} = 114,57$ mm
	$t_c = 5$ ore	$K_{Tr} = 2,376$	$h_{d,100} = 122,23$ mm
$T_r = 200$ anni	$t_c = 4$ ore	$K_{Tr} = 2,7036$	$h_{d,200} = 130,36$ mm
	$t_c = 5$ ore	$K_{Tr} = 2,7036$	$h_{d,200} = 139,08$ mm
$T_r = 500$ anni	$t_c = 4$ ore	$K_{Tr} = 3,1442$	$h_{d,500} = 151,61$ mm
	$t_c = 5$ ore	$K_{Tr} = 3,1442$	$h_{d,500} = 161,74$ mm
$T_r = 1000$ anni	$t_c = 4$ ore	$K_{Tr} = 3,4793$	$h_{d,1000} = 167,77$ mm
	$t_c = 5$ ore	$K_{Tr} = 3,4793$	$h_{d,1000} = 178,98$ mm

Stima del valore del coefficiente di ragguglio k_r dell'altezza di pioggia puntuale all'area del bacino

$$k_r = 1 - e^{-0,033 E[h_1] 1,1 t_c 0,25} - 0,033 E[h_1] 1,1 t_c 0,25 - 0,01 S} + e$$

con i valori stimati si ottiene:

$$t_c = 4 \text{ ore} \quad k_r = 0,90632$$

$$t_c = 5 \text{ ore} \quad k_r = 0,91481$$

Stima della portata di piena $Q_{c,Tr}$ di prefissata frequenza probabile

Il valore della portata di picco viene stimato con la formula cinematica.

$$Q_{c,Tr} = \frac{h_{d,Tr} \cdot k_r \cdot k_d \cdot S}{3,6 t_c}$$

In analogia a quanto esposto nel paragrafo precedente, la parte permeabile del bacino è stata assunta pari a $pp = 40\%$. Ne conseguono i seguenti valori del coefficiente di deflusso $k_{d,100} = 0,37$, $k_{d,200} = 0,39$, $k_{d,500} = 0,41$, $k_{d,1000} = 0,43$, i quali valori sono stati stimati con riferimento al diagramma ed alla procedura indicati dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere.

Per i due differenti tempi di corrivazione si ottiene:

$t_c = 4$ ore	$Q_{c,100} = 180,01 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,67 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,100} = 155,07 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,30 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 215,90 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,20 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 185,99 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,76 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 263,96 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,91 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 227,40 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,37 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 306,34 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 4,54 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 263,91 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,91 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

3.3.1.2 Formula Razionale

La stima del valore della portata di picco viene condotta anche con riferimento al metodo cinematico riconducibile alla Formula Razionale. Si ha:

$$Q_c = \frac{\psi \cdot \varphi \cdot h \cdot S}{3.6t_c}$$

con:

φ = coefficiente di deflusso, assunto pari a 0,4;

ψ = coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area, assunto pari a 0,90;

h = altezza di pioggia correlata al tempo di corrivazione.

Il valore del coefficiente di deflusso è stato definito con lo stesso criterio del paragrafo precedente pari a 0,4.

Nelle elaborazioni, il valore del coefficiente di ragguaglio del piovuto all'area è stato assunto pari a 0,90 poiché la stima dell'altezza di pioggia è stata effettuata con riferimento a relazioni dedotte da regionalizzazione.

Per la relazione di stima delle curve di possibilità climatica di prefissata frequenza probabile si è seguita la procedura riportata, per il bacino idrografico del Fiume Tevere, dal Quaderno Idrologico della stessa Autorità di Bacino². La stima dell'altezza di pioggia h è data dalla relazione:

$$h = a t^b f(k, T_r)$$

$$f(k, T_r) = 1 - k \{0,45 + 0,799 \ln [- \ln (1 - 1/T_r)]\}$$

Con riferimento ancora al bacino idrografico del fosso di Pratolungo alla confluenza nell'Aniene si ha:

$$a = 35$$

$$k = 0,31$$

$$b = 0,22$$

Nella TABELLA IX sono di nuovo riportate, per comodità d'impiego, le curve di possibilità pluviometrica stimate per differenti valori del tempo di ritorno T_r .

TABELLA IX - Curve di possibilità pluviometrica

$T_r = 100 \text{ anni}$	$h = 70,00 t^{0,22}$
$T_r = 200 \text{ anni}$	$h = 76,03 t^{0,22}$

² Vedi: Autorità di Bacino Fiume Tevere - Regionalizzazione delle piogge con durata da 1 a 5 giorni e da 1 a 24 ore - Quaderno Idrologico del Fiume Tevere - Anno I, n. 2, 1996

$T_r = 500 \text{ anni}$	$h = 83,98 t^{0,22}$
$T_r = 1000 \text{ anni}$	$h = 90,07 t^{0,22}$

Per i differenti valori del tempo di corrivazione si ha:

$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,100} = 160,18 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,37 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,100} = 134,59 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 1,99 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 173,98 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,58 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,200} = 146,18 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,17 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 192,17 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,85 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,500} = 161,47 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,39 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 4 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 206,10 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 3,05 \text{ m}^3/\text{s km}^2$
$t_c = 5 \text{ ore}$	$Q_{c,1000} = 173,18 \text{ m}^3/\text{s}$	$q = 2,57 \text{ m}^3/\text{s km}^2$

3.3.1.3 Metodo CN del SCS

La procedura di calcolo del deflusso superficiale *CN* del *SCS* per la stima della portata di piena al colmo considera i seguenti passi:

Definizione della classe di permeabilità del suolo:

Analogamente a quanto esposto nel paragrafo precedente sono state assunte le seguenti ipotesi:

			Gruppo idrologico	CN
Alto Bacino	calcarei e diaspri	10%	A	35
	sabbie gialle	15%	C	74
	piroclastici dell'apparato Vulcanico Sabatino	5%	A	35
	tufo lionato del Vulcano Laziale	5%	D	80
Medio Bacino	argille azzurre e marne grigie marine	20%	D	80
	tufi granulari e stratificati Vulcano Sabatino	5%	B	64
	pozzolane rosse del Vulcano Laziale	5%	B	64
Basso Bacino	pozzolane rosse del Vulcano Laziale	10%	B	64
	tufo lionato del Vulcano Laziale	5%	D	80
Intero Bacino	alluvioni di fondovalle sul fosso di Pratolungo e sugli affluenti	20%	A	35

Definizione del valore CN

Ne consegue che, per *AMC II*, il valore medio ponderale di *CN* risulta di 60, a cui corrisponde, per *AMC I*, il valore *CN* = 40. Nel caso si adotta, operando in questo a favore di sicurezza, il valore *CN* = 60.

Stima del parametro S (infiltrazione potenziale)

$$S = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \cdot 25.4 = 169.33$$

Stima dell'altezza di pioggia efficace

$$h_e = \frac{(H_r - 0.2 \cdot S)^2}{H_r + 0.8 \cdot S}$$

Con riferimento alle stime di altezza di pioggia puntuale ricavate nel paragrafo 3.3.1.1 per $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 anni si ha:

$T_r = 100$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,100} = 114,57$ mm	$h_e = 26,05$ mm	$h_{e,ragg} = 23,61$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,100} = 122,23$ mm	$h_e = 30,30$ mm	$h_{e,ragg} = 27,72$ mm
$T_r = 200$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,200} = 130,36$ mm	$h_e = 35,03$ mm	$h_{e,ragg} = 31,75$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,200} = 139,08$ mm	$h_e = 40,32$ mm	$h_{e,ragg} = 36,89$ mm
$T_r = 500$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,500} = 151,61$ mm	$h_e = 48,29$ mm	$h_{e,ragg} = 43,77$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,500} = 161,74$ mm	$h_e = 55,02$ mm	$h_{e,ragg} = 50,33$ mm
$T_r = 1000$ anni	$t_c = 4$ ore	$H_{r,1000} = 167,77$ mm	$h_e = 59,13$ mm	$h_{e,ragg} = 53,59$ mm
	$t_c = 5$ ore	$H_{r,1000} = 178,98$ mm	$h_e = 66,97$ mm	$h_{e,ragg} = 61,26$ mm

Relazione di stima della portata di picco

$$Q_c = \frac{h_e \cdot A}{3.6 \cdot t_c}$$

I valori della portata di piena al colmo del fosso di Pratolungo risultano:

$t_c = 4$ ore	$Q_{c,100} = 110,61$ m ³ /s	$q = 1,64$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,100} = 103,89$ m ³ /s	$q = 1,54$ m ³ /s km ²
$t_c = 4$ ore	$Q_{c,200} = 148,75$ m ³ /s	$q = 2,20$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,200} = 156,81$ m ³ /s	$q = 2,05$ m ³ /s km ²
$t_c = 4$ ore	$Q_{c,500} = 220,40$ m ³ /s	$q = 3,04$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,500} = 192,51$ m ³ /s	$q = 2,80$ m ³ /s km ²
$t_c = 4$ ore	$Q_{c,1000} = 254,51$ m ³ /s	$q = 3,72$ m ³ /s km ²
$t_c = 5$ ore	$Q_{c,1000} = 222,24$ m ³ /s	$q = 3,40$ m ³ /s km ²

3.3.1.4 Riepilogo valori portata di piena del Fosso di Pratolungo alla SEZIONE DI PROGETTO

Con riferimento alla chiusura del bacino idrografico del fosso di Pratolungo alla SEZIONE DI PROGETTO ed a differenti procedure basate su modelli a parametri concentrati, sono state conseguite le stime di portata di piena per $T_r = 100, 200, 500$ e 1000 anni, i cui valori sono riportati nella TABELLA X.

TABELLA X - Portata di piena del fosso di Pratolungo alla SEZIONE DI PROGETTO

Tempo di ritorno	Procedura	Portata [m ³ /s]	
		4 [ore]	5 [ore]
<i>T_r = 100 anni</i>	A.B. Tevere	180,01	155,07
	FORM. RAZ	160,18	134,59
	CN SCS	110,61	103,89
<i>T_r = 200 anni</i>	A.B. Tevere	215,90	185,99
	FORM. RAZ	173,98	149,18
	CN SCS	148,75	138,26
<i>T_r = 500 anni</i>	A.B. Tevere	263,96	227,40
	FORM. RAZ	192,17	161,47
	CN SCS	205,07	188,67
<i>T_r = 1000 anni</i>	A.B. Tevere	306,34	263,91
	FORM. RAZ	206,10	173,18
	CN SCS	251,08	229,08

4 PORTATE DI PIENA

4.1 Portate di piena di interesse

Si è scelto di utilizzare come portate di piena di riferimento per le successive elaborazioni la media dei valori risultanti dall'applicazione delle 3 procedure descritte nei paragrafi precedenti.

Nella TABELLA XI, ad esempio per $T_r = 100$ anni, sono riportati a confronto i valori delle portate di piena al colmo effettuate con riferimento a differenti modelli di stima.

TABELLA XI - Stime del valore della portata al colmo Q_c del fosso di Pratolungo per $T_r = 100$ anni

SEZIONE DI PROGETTO

Critério	$t_c = 4$ ore	$t_c = 5$ ore
A.B. Tevere	180,01	155,07
Formula Razionale	160,18	134,59
CN	110,61	103,89
MEDIA	150,26	131,18

Per tempo di ritorno $T_r = 100$ anni, nelle successive elaborazioni verrà fatto riferimento ai seguenti valori di picco della portata di piena del fosso di Pratolungo alla SEZIONE DI PROGETTO:

$t_c = 4$ ore	$Q_c = 155 \text{ m}^3/\text{s}$
$t_c = 5$ ore	$Q_c = 135 \text{ m}^3/\text{s}$

Le corrispondenti stime, ottenute con procedimento analogo a quello appena illustrato e sempre alla SEZIONE DI PROGETTO, ad altri tempi di ritorno di interesse sono indicate nel seguito:

		$T_r = 200$ anni	$T_r = 500$ anni	$T_r = 1000$ anni
$t_c = 4$ ore	$Q_c =$	$180 \text{ m}^3/\text{s}$	$225 \text{ m}^3/\text{s}$	$255 \text{ m}^3/\text{s}$
$t_c = 5$ ore	$Q_c =$	$160 \text{ m}^3/\text{s}$	$195 \text{ m}^3/\text{s}$	$225 \text{ m}^3/\text{s}$

4.2 Portata di piena per evento estremo

In considerazione del fatto che le caratteristiche strutturali del rilevato arginale non ammettono tracimazione, se non a rischio della stabilità dell'opera, in assenza di specifici indirizzi da parte delle autorità competenti, viene assunto cautelativamente come portata di riferimento per il possibile evento estremo un valore di **310 m^3/s** ricavato arrotondando per eccesso la massima portata di piena con tempo di ritorno $T_r = 1000$ anni, cioè quella calcolata seguendo la procedura per la determinazione dell'entità della portata di massima piena istantanea proposta dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere e riportata in TABELLA X al punto 3.3.1.4.

Tale portata è stata adottata per la verifica dello sfioratore del manufatto di regolazione affinché si potesse accertare che, nella più sfavorevole combinazione di eventi ipotizzabili, il livello di massimo invaso raggiunto fosse almeno 1,50 m al di sotto della quota di coronamento del rilevato arginale.

5 ONDE DI PIENA PER PORTATE AL COLMO STIMATE CON MODELLI A PARAMETRI CONCENTRATI IN CORRISPONDENZA DELLA SEZIONE DI PROGETTO

Per le successive elaborazioni, mirate alla determinazione della capacità degli invasi di laminazione, necessita l'acquisizione dell'onda di piena nella sua compiutezza. La mancanza per il fosso di Pratolungo di dati diretti di detta natura richiede il ricorso a formulazioni fisicamente basate reperibili nella letteratura tecnica. Nello specifico, tenuto conto anche degli idrogrammi di piena indicati dalla S.A.P.P.R.O., viene fatto riferimento alle relazioni indicate da Gregorig, secondo il quale la morfometria dell'onda di piena può essere attendibilmente resa dall'applicazione delle seguenti relazioni di stima:

- $0 \leq t \leq t_c$

$$Q(t) = Q_c \operatorname{sen}^2 [(t \pi)/(2 t_c)]$$

- $t \geq t_c$

$$Q(t) = Q_c \exp [-1,386 (t/t_c - 1)]$$

per $t = 2 t_c$ il valore della portata $Q(t)$ si riduce ad $1/4$ di Q_c .

Le onde di piena formalizzate secondo Gregorig sono caratterizzate da permanenza k della portata al colmo pari a 0 ore. Il che non contrasta con gli indirizzi in tema indicati dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere. Infatti, nell'Allegato al P.A.I. "Procedura per la definizione dell'idrogramma di progetto della piena di riferimento, Capitolo II, Costruzione dell'idrogramma", l'Autorità di Bacino del Fiume Tevere considera prescrive che "in mancanza di dati sperimentali

- per piccoli bacini ($S \leq 100 \text{ km}^2$) si possono assumere $k = 0$ e $Q_o = 0$ ottenendo un diagramma $Q(t)$ che passa per l'origine degli assi, raggiunge il valore massimo in un solo istante e quindi decresce."

Benché risulti il bacino idrografico del fosso di Pratolungo compreso nella classe dei piccoli bacini, stante la mancanza di dati di piena rilevati, in via cautelativa, operando a favore della sicurezza ed assumendo quindi pari a $k = 0,5$ ore la durata della persistenza del valore della portata di picco, l'onda di piena derivata dalla formulazione di Gregorig è data dalle seguenti relazioni:

- $0 \leq t \leq t_c$

$$Q(t) = Q_c \operatorname{sen}^2 [(t \pi)/(2 t_c)]$$

- $t_c \leq t \leq t_c + k$

$$Q(t) = \operatorname{cost} = Q_c$$

- $t \geq t_c + k$

$$Q(t) = Q_c \exp [-1,386 (t/(t_c + k) - 1)]$$

L'ultima delle tre precedenti relazioni, valida per tempi successivi alla *fase di stanca*, rende la curva rappresentativa della fase di esaurimento dell'onda di piena tutta dominante l'analoga curva della fase di esaurimento ottenibile adottando la relazione $Q(t) = Q_c \exp [-1,386 (t/t_c - 1)]$. Ne consegue un incremento dei volumi di piena privo di motivazione fisica e tecnica. Il problema rilevato viene correntemente risolto stimando con la relazione $Q(t) = Q_c \exp [-1,386 (t/t_c - 1)]$ i valori delle portate in assenza del fenomeno della permanenza del colmo di piena ed associando successivamente a dette stime, con semplice traslazione dell'asse dei tempi, i tempi $t = t + k$.

A titolo esemplificativo, considerata la portata al colmo associabile a $T_r = 100$ anni, integrando le tre relazioni di Gregorig rispetto al tempo, le relazioni di stima dei deflussi corrispondenti alle ipotizzate onde di piena risultano:

$$V_1(0 \Rightarrow t_c) = Q_c \int_0^{t_c} \sin^2\left(\frac{\pi \cdot t}{2t_c}\right) dt = 0.5 \cdot Q_c \cdot t_c$$

$$V_2(t_c \Rightarrow t_c + k) = Q_c \cdot k$$

$$V_3(t_c + k \Rightarrow t) = Q_c \int_{t_c}^t \exp\left[-1.386\left(\frac{t}{t_c} - 1\right)\right] dt = -1.386^{-1} \cdot Q_c \cdot t_c \cdot e^{1.386} \cdot \left[\exp\left(-1.386\frac{t}{t_c}\right) - \exp(-1.386)\right]$$

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2 + V_3$$

Nelle FIGURE 5.1 e 5.2 sono riportati i diagrammi delle due onde di piena con $T_r = 100$ anni.

FIGURA 5.1 - $T_r = 100$ anni - $t_c = 4$ ore - Portata al colmo $Q_c = 155 \text{ m}^3/\text{s}$

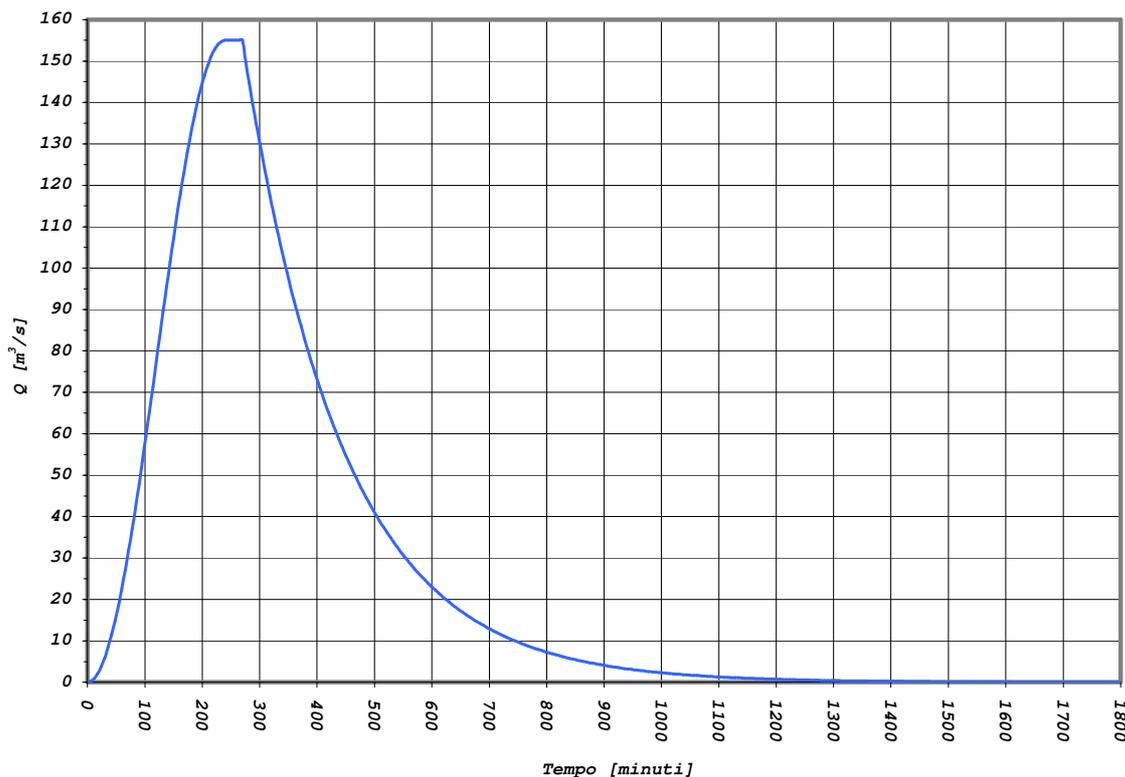
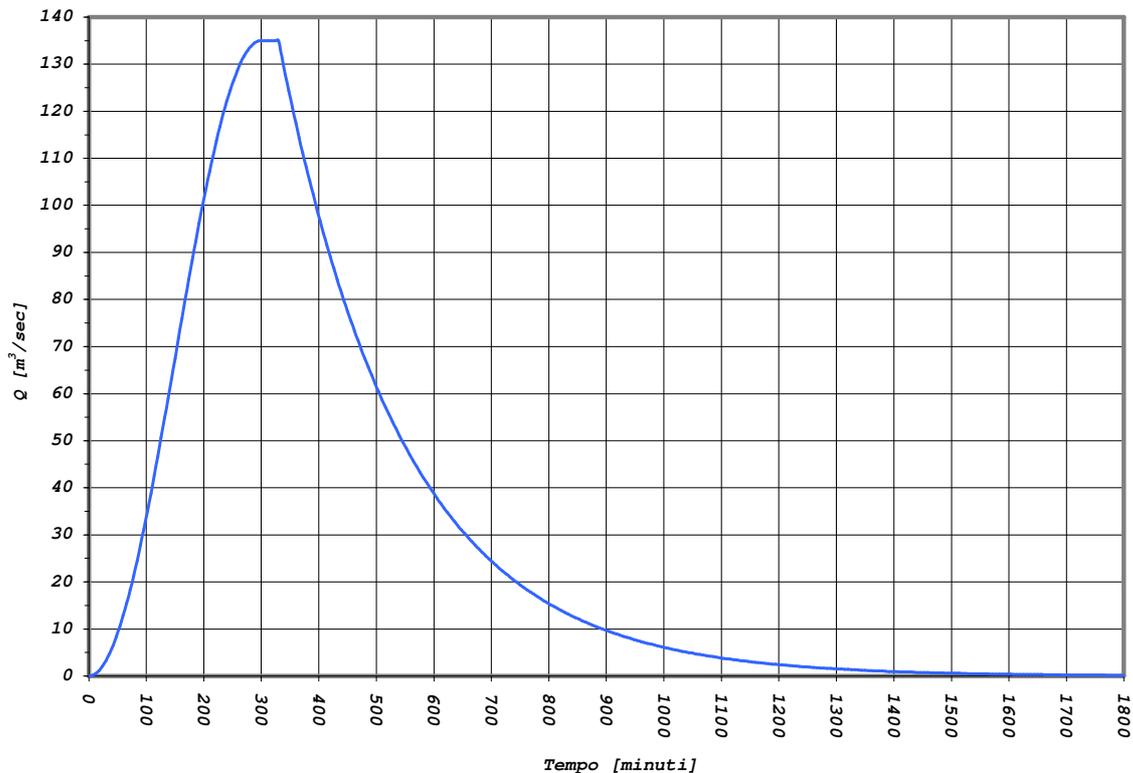


FIGURA 5.2 - $T_r = 100$ anni - $t_c = 5$ ore - Portata al colmo $Q_c = 135 \text{ m}^3/\text{s}$



Con riferimento allo scenario - **permanenza del colmo per $k = 0,5$ ore** - per tempo di ritorno $T_r = 100$ anni sono stati stimati i volumi di piena, i valori dei quali sono riportati nella TABELLA XII.

TABELLA XII - Volumi delle onde di piena secondo Gregorig con permanenza del colmo per $k = 0,5$ ore

$T_r = 100$ anni - $t_c = 4$ ore - Portata al colmo $Q_c = 155 \text{ m}^3/\text{s}$

tempo [ora]	V_1 [m^3]	V_2 [m^3]	V_3 [m^3]	V_{tot} [m^3]	Q_i (*) [m^3/s]
4,00	1.143.900	0	0	1.143.900	--
4,50	1.143.900	279.000	0	1.422.900	--
12,50	1.143.900	279.000	1.480.187	2.903.087	10,00

(*) Q_i , portata fluente nell'alveo al tempo t^*

$T_r = 100$ anni - $t_c = 5$ ore - Portata al colmo $Q_c = 135 \text{ m}^3/\text{s}$

tempo [ora]	V_1 [m^3]	V_2 [m^3]	V_3 [m^3]	V_{tot} [m^3]	Q_i (*) [m^3/s]
5,00	1.239.300	0	0	1.239.300	--
5,50	1.239.300	243.000	0	1.482.300	--
15,00	1.239.300	243.000	1.601.363	3.083.663	10,00

(*) Q_i , portata fluente nell'alveo al tempo t^*

6 STUDIO DEL COMPORTAMENTO IDRAULICO

A monte della confluenza del fosso di Pratolungo nel Fiume Aniene è presente un'ampia valle caratterizzata da pendenza longitudinale estremamente bassa. In questa, in occasione delle piene del Fiume Aniene, si manifestavano, prima della recente realizzazione in sponda destra di un argine longitudinale insormontabile, vaste inondazioni da rigurgito che rimontavano la valle ben oltre il G.R.A.. Al fine di consentire l'allontanamento delle acque provenienti dal fosso in caso di contemporanea piena del Fiume Aniene, è stato anche realizzato un impianto idrovoro con capacità di emungimento di $10,5 \text{ m}^3/\text{s}$, la quale sarà elevata a $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ con appositi lavori di potenziamento, in fase di appalto a cura della Regione Lazio.

Le opere realizzate a difesa dalle inondazioni da piene dell'Aniene, comunque, non hanno compiutamente risolto il problema degli allagamenti della bassa valle del fosso di Pratolungo. Infatti, le piene da deflusso proprio, prodotte da afflussi pluviometrici diretti sul bacino idrografico drenato, non sono convogliabili dall'alveo del fosso, la cui capacità massima, allo stato attuale, è valutabile in prima approssimazione nell'ordine dei $10 \text{ m}^3/\text{s}$, valore lontano dalla portata di piena caratteristica del fosso di Pratolungo. Ne è causa la presenza di un ponticello di epoca romana, attraversamento del fosso della antica via Tiburtina Valeria.

Con lo scopo di acquisire una migliore conoscenza del comportamento idraulico del fosso di Pratolungo al variare delle condizioni di deflusso proprie e di quelle del Fiume Aniene e di verificare l'eventuale alterazione di detto comportamento idraulico a seguito della realizzazione dell'opera in progetto, in fase di Progetto Definitivo sono state effettuate alcune simulazioni con il codice di calcolo HEC-RAS sulla base delle sezioni rilevate, per la cui esatta collocazione si rimanda alla Planimetria di rilievo, delle indagini e delle interferenze. Di seguito si illustrano caso per caso le ipotesi di calcolo e i risultati delle simulazioni condotte in sede di progetto definitivo.

6.1 Simulazioni

6.1.1 *Massima portata scaricabile*

In condizioni di piena del Fiume Aniene, la portata massima scaricabile nel fosso a valle della realizzanda opera deve essere minore o al più pari alla capacità di emungimento dell'impianto idrovoro sito alla confluenza tra i due corsi d'acqua. In condizioni di "magra" del Fiume Aniene, cioè ad impianto idrovoro non attivo, la portata massima scaricabile è vincolata da quella massima transitabile al di sotto del ponticello di epoca romana dell'antica Via Tiburtina Valeria. Lo studio del tratto terminale del fosso, ipotizzando condizioni di moto permanente, ha dimostrato che all'altezza del ponticello romano passano nel fosso circa $15 \text{ m}^3/\text{s}$ in corrente lenta o $18 \text{ m}^3/\text{s}$ in corrente veloce (si veda l'Allegato A). Nel grafico è anche riportato l'andamento del pelo libero per una portata di $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$, pari alla portata di emungimento dell'impianto idrovoro a potenziamento realizzato.

6.1.2 Portata di $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ – ante operam

Si ipotizza transitante nel fosso una portata di $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e si confrontano gli andamenti del pelo libero ottenuti (si veda l'Allegato B) nel caso di:

- piena del Fiume Aniene ed impianto idrovoro azionato, il che si traduce idraulicamente nel fissare la quota del pelo libero a $20,50 \text{ m s.m.}$ in corrispondenza della sezione 6;
- “magra” del Fiume Aniene ed impianto idrovoro non in funzione, il che si traduce idraulicamente in condizioni di efflusso libero del fosso in corrispondenza della confluenza nel fiume.

Si osserva che, pur cambiando la condizione al contorno di valle, i profili di corrente sono differenti a valle ma si raccordano all'altezza del G.R.A. e coincidono perfettamente a monte dello stesso G.R.A. .

6.1.3 Portata di $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ – post operam

Si ipotizza transitante nel fosso una portata di $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e si considera ormai realizzata l'opera di regolazione in progetto. Come nel caso *ante operam*, si osserva che al variare della condizione al contorno di valle (Fiume Aniene in piena o no) i due profili di corrente, a valle differenti, si raccordano all'altezza del G.R.A. (si veda l'Allegato C). Si sottolinea inoltre che dal confronto tra i profili di corrente nelle sezioni adiacenti a quella di imposta dell'opera non emerge alcun sostanziale cambiamento tra la situazione *ante operam* e quella *post operam*: fluenti in alveo $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$, la presenza dell'opera non modifica le condizioni di deflusso preesistenti alla sua realizzazione.

6.1.4 Verifica al ponte di Via Marco Simone

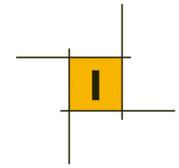
Si è infine verificata la capacità idraulica del fosso in corrispondenza del ponte di Via Marco Simone imponendo che vi transiti il colmo della piena massima centennale, arrotondata per eccesso a $160 \text{ m}^3/\text{s}$ (si veda l'Allegato D). Come era prevedibile a partire dai risultati di precedenti studi, tale portata eccede la capacità idraulica del fosso, producendo l'inondazione della campagna limitrofa a monte del ponte di Via Marco Simone. Si è quindi ricercato il valore di portata in grado di transitare al di sotto del ponte suddetto e si è osservato che (si veda l'Allegato D):

- una portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$ vi transita a pelo libero mentre
- una portata di $80 \text{ m}^3/\text{s}$ vi defluisce sotto battente.

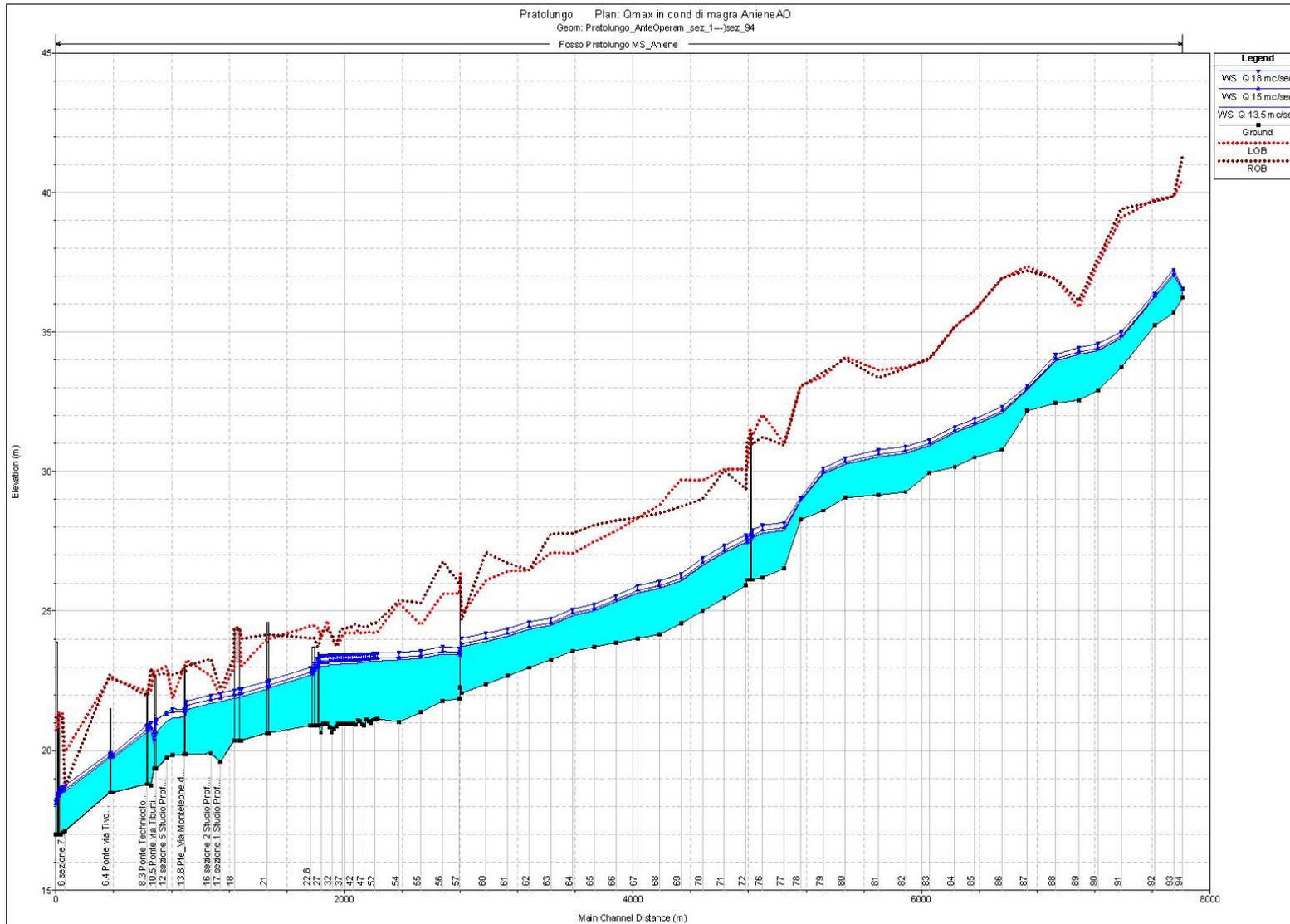
Si è poi ipotizzato di poter ampliare la luce del ponte di Via Marco Simone e si è osservato che a parità di portata non si verifica più l'inondazione da rigurgito della campagna limitrofa al fosso a monte di detto ponte (si veda l'Allegato E).

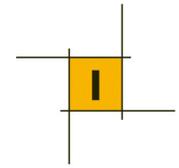
6.1.5 Allegati grafici al capitolo

Nelle seguenti pagine si riportano gli allegati grafici cui si è fatto riferimento nel presente capitolo.

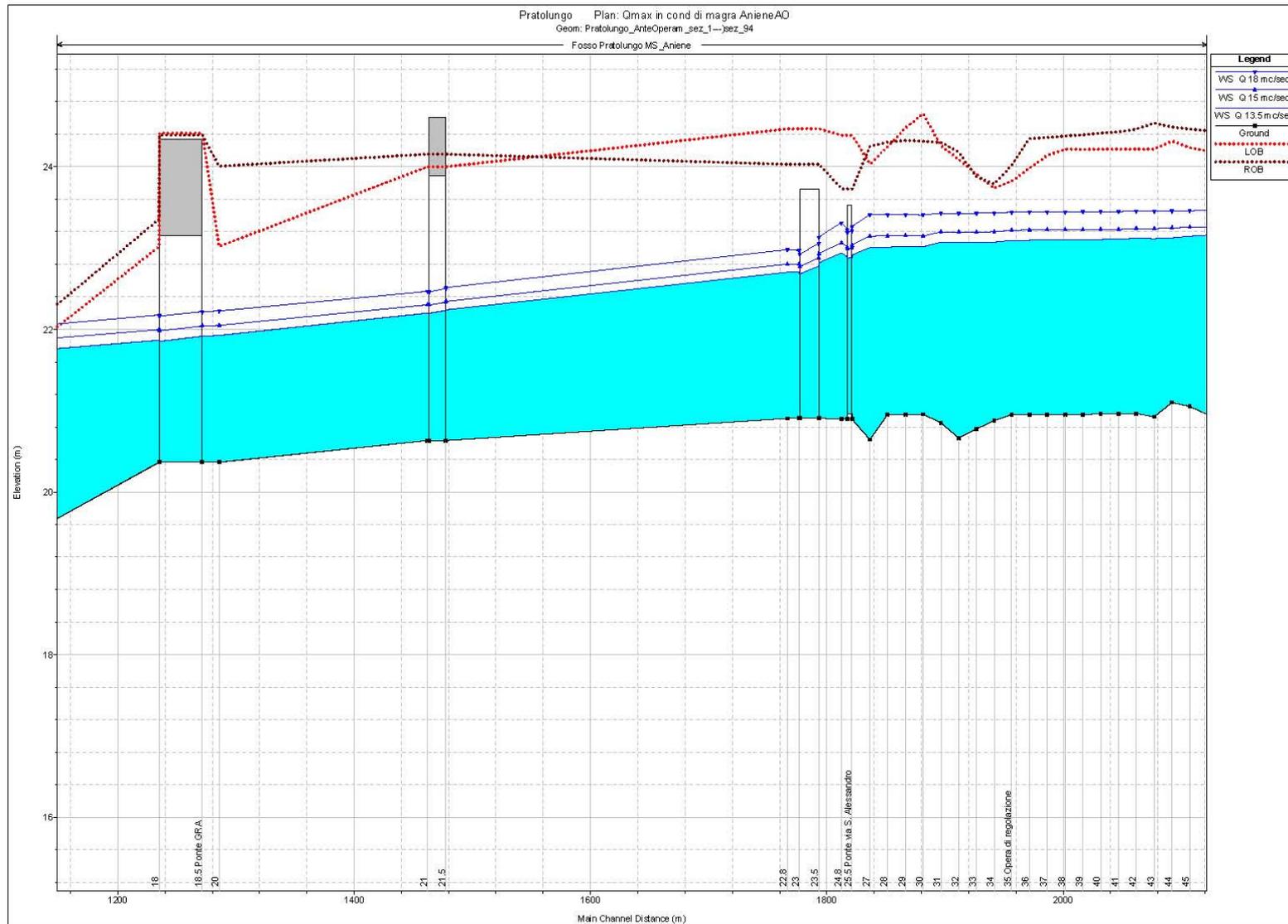


ALLEGATO A

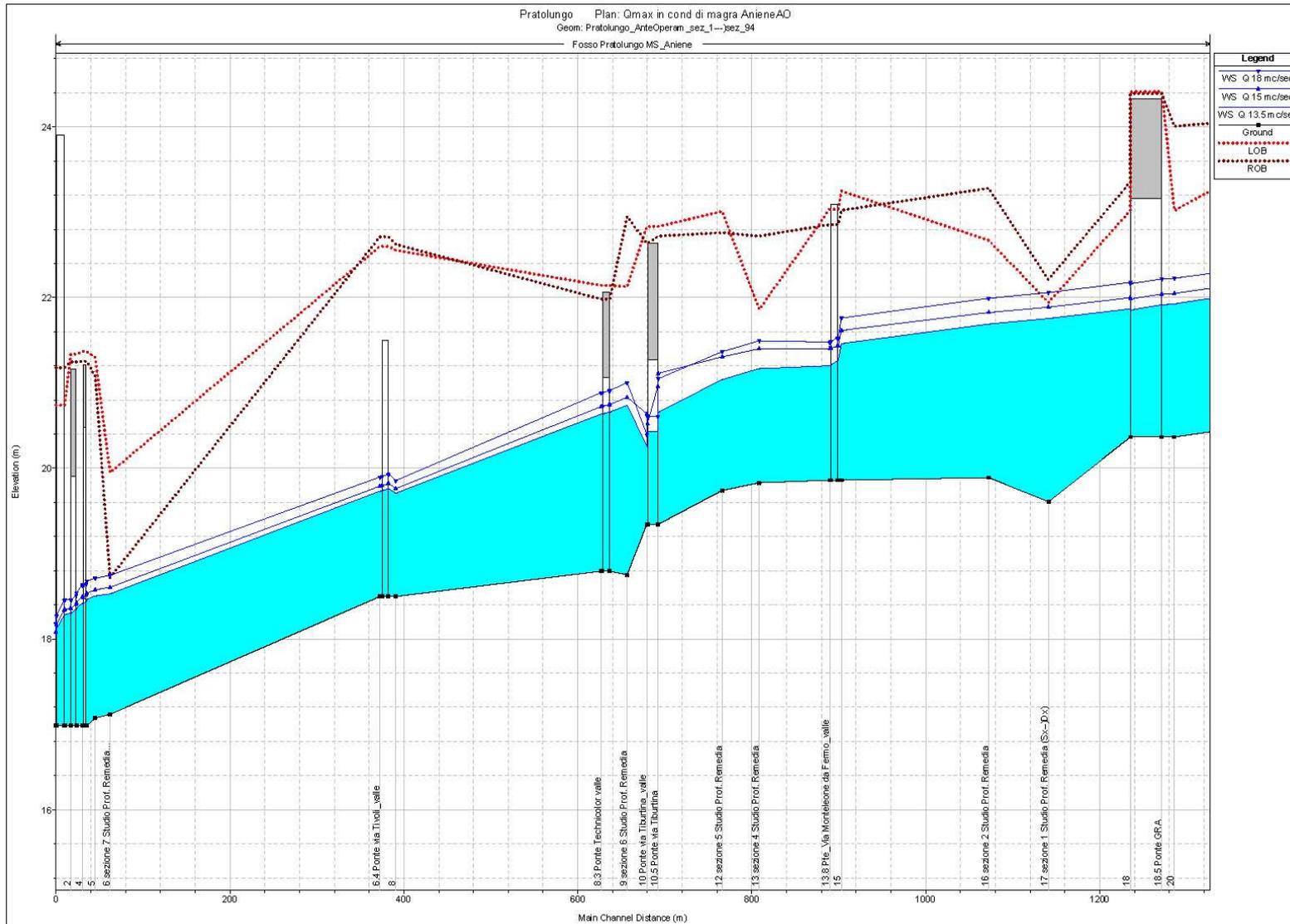


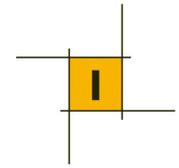


ALLEGATO A

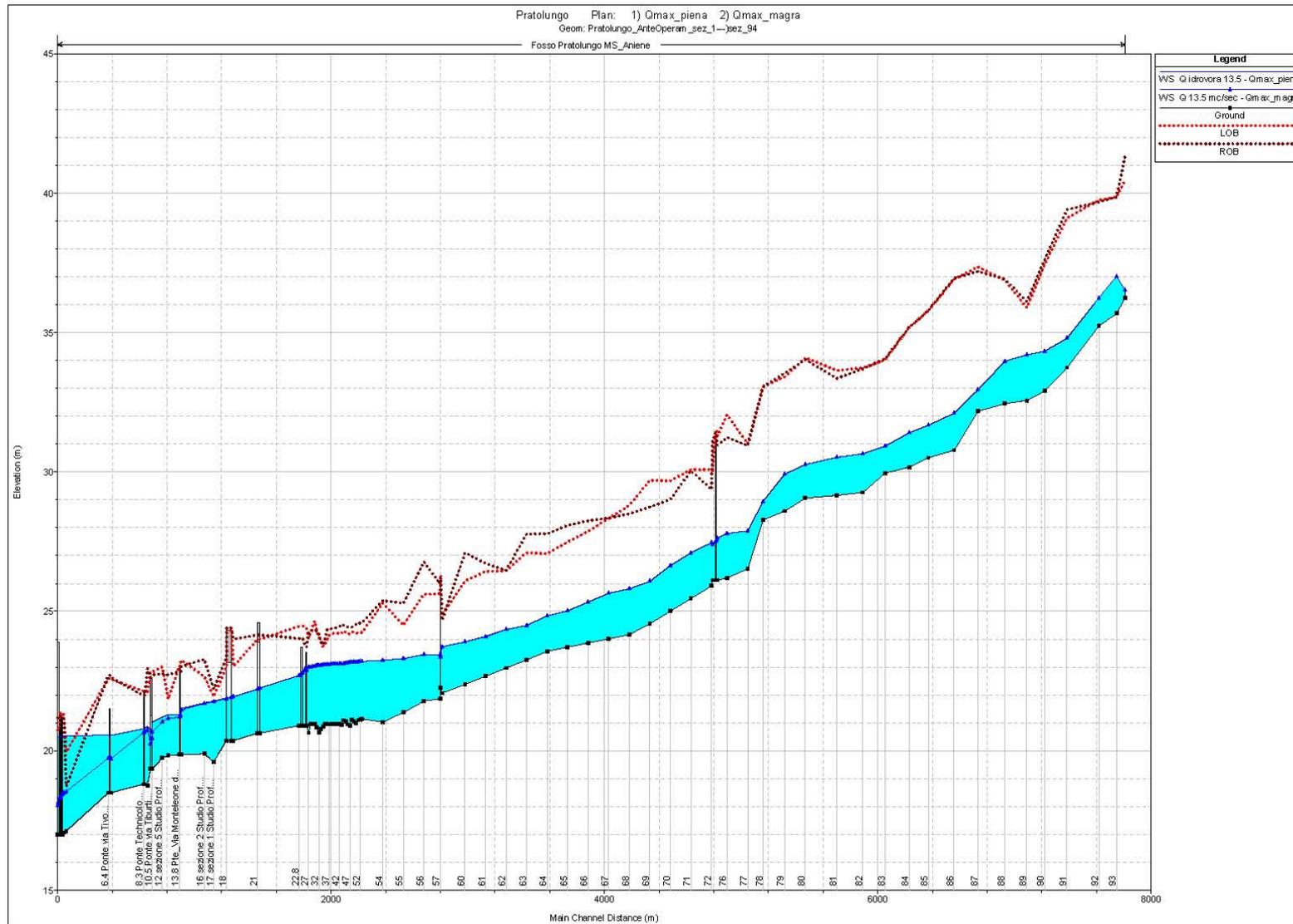


ALLEGATO A

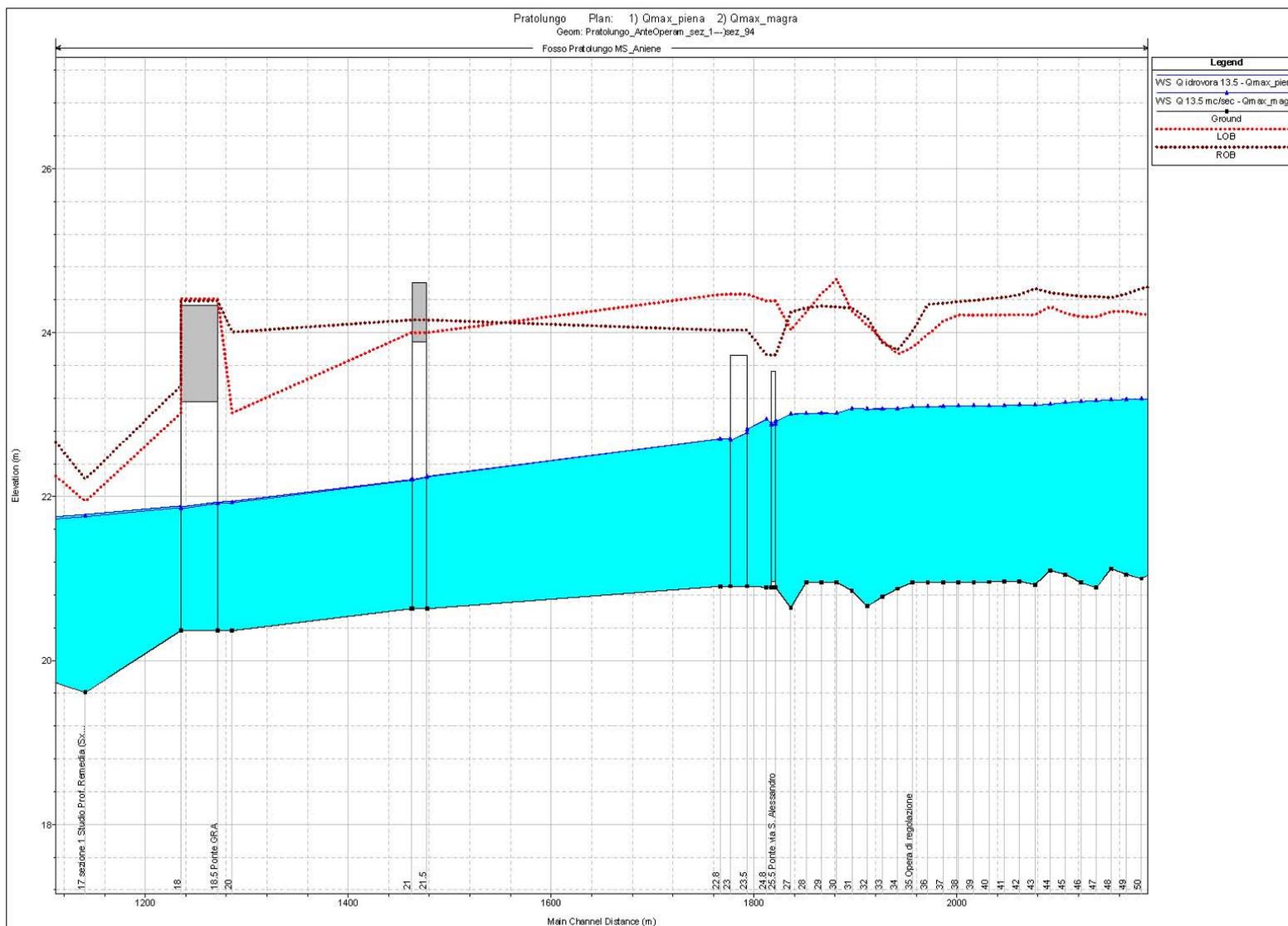


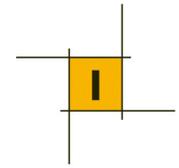


ALLEGATO B

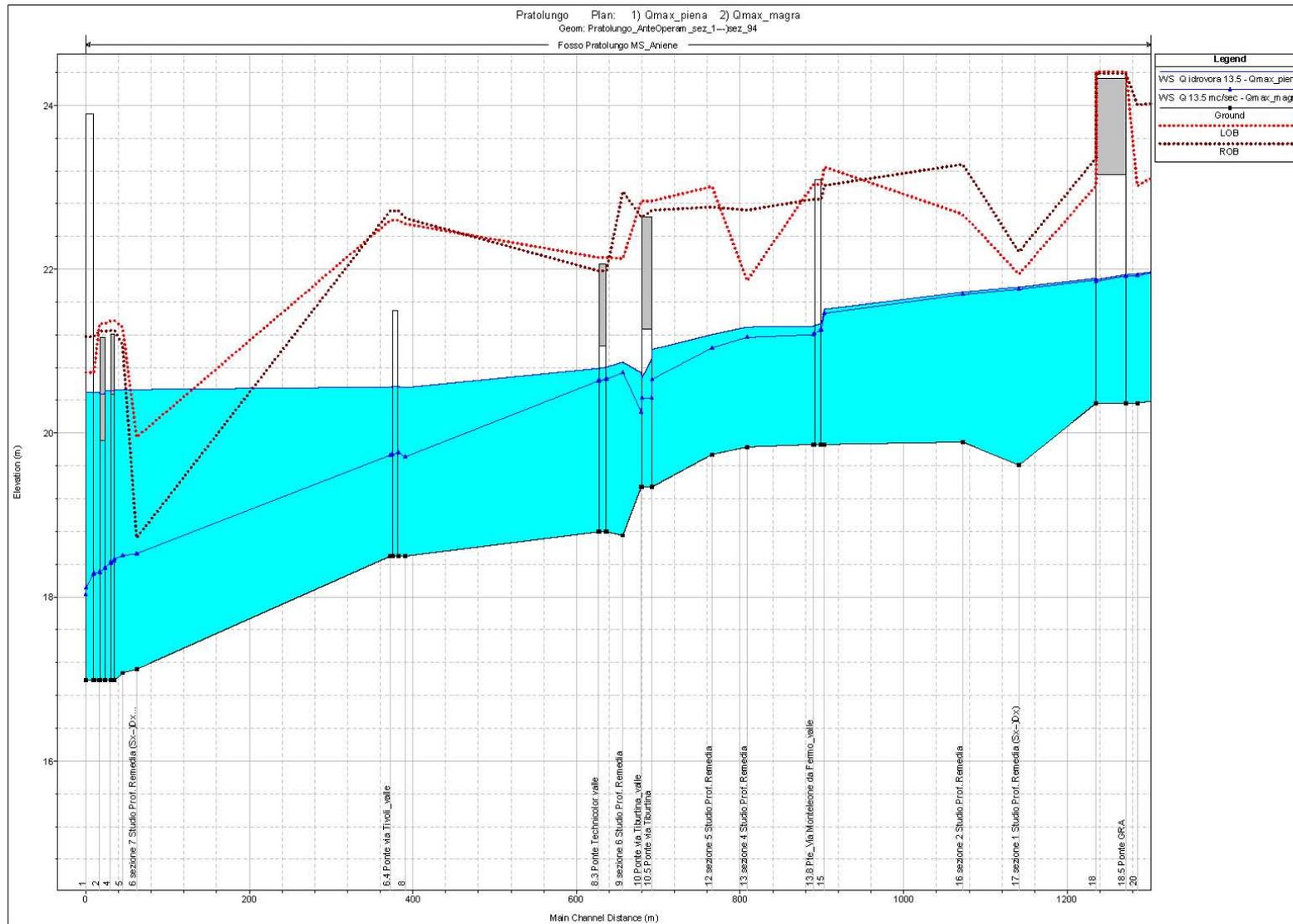


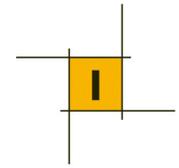
ALLEGATO B



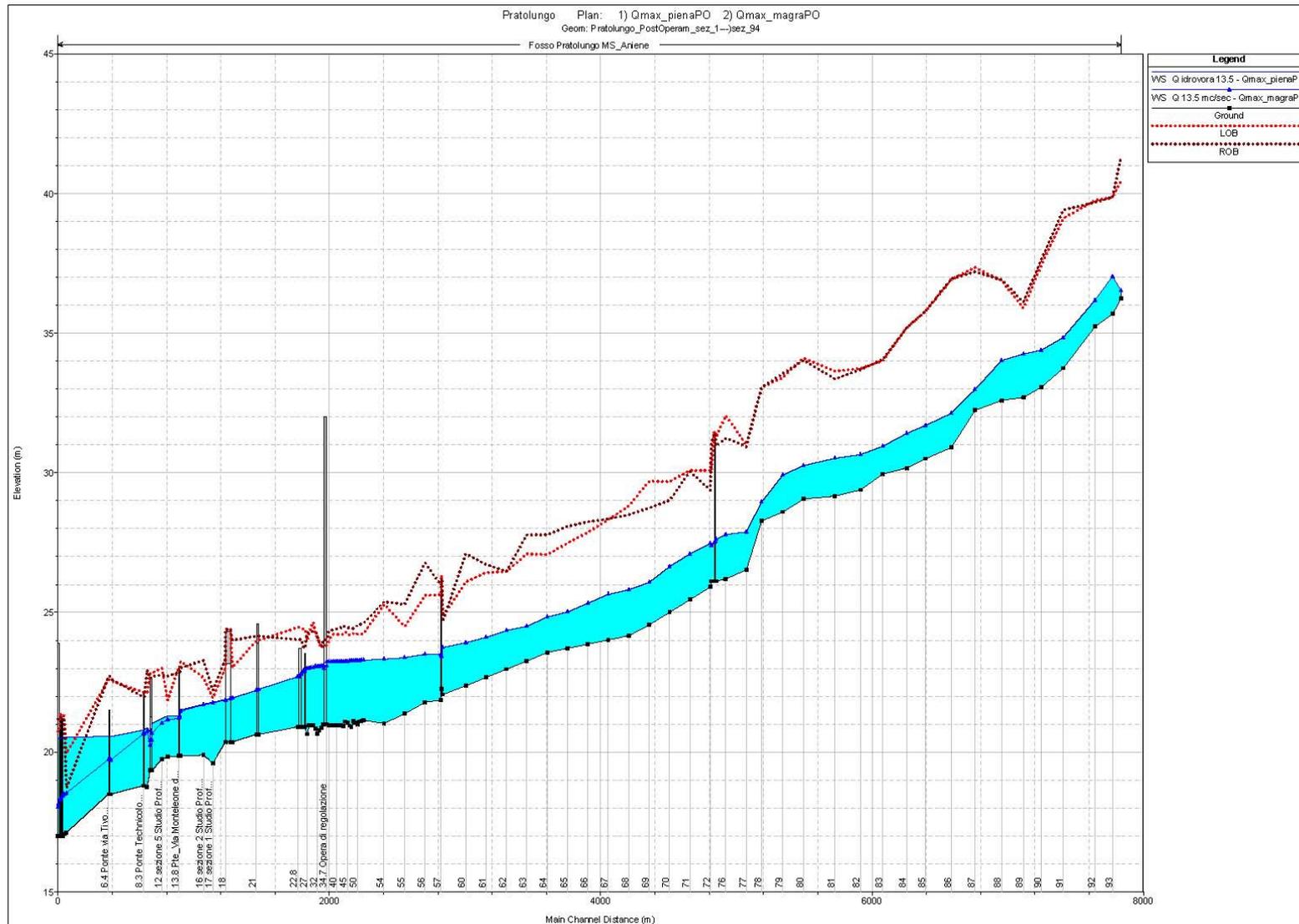


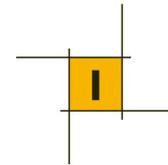
ALLEGATO B



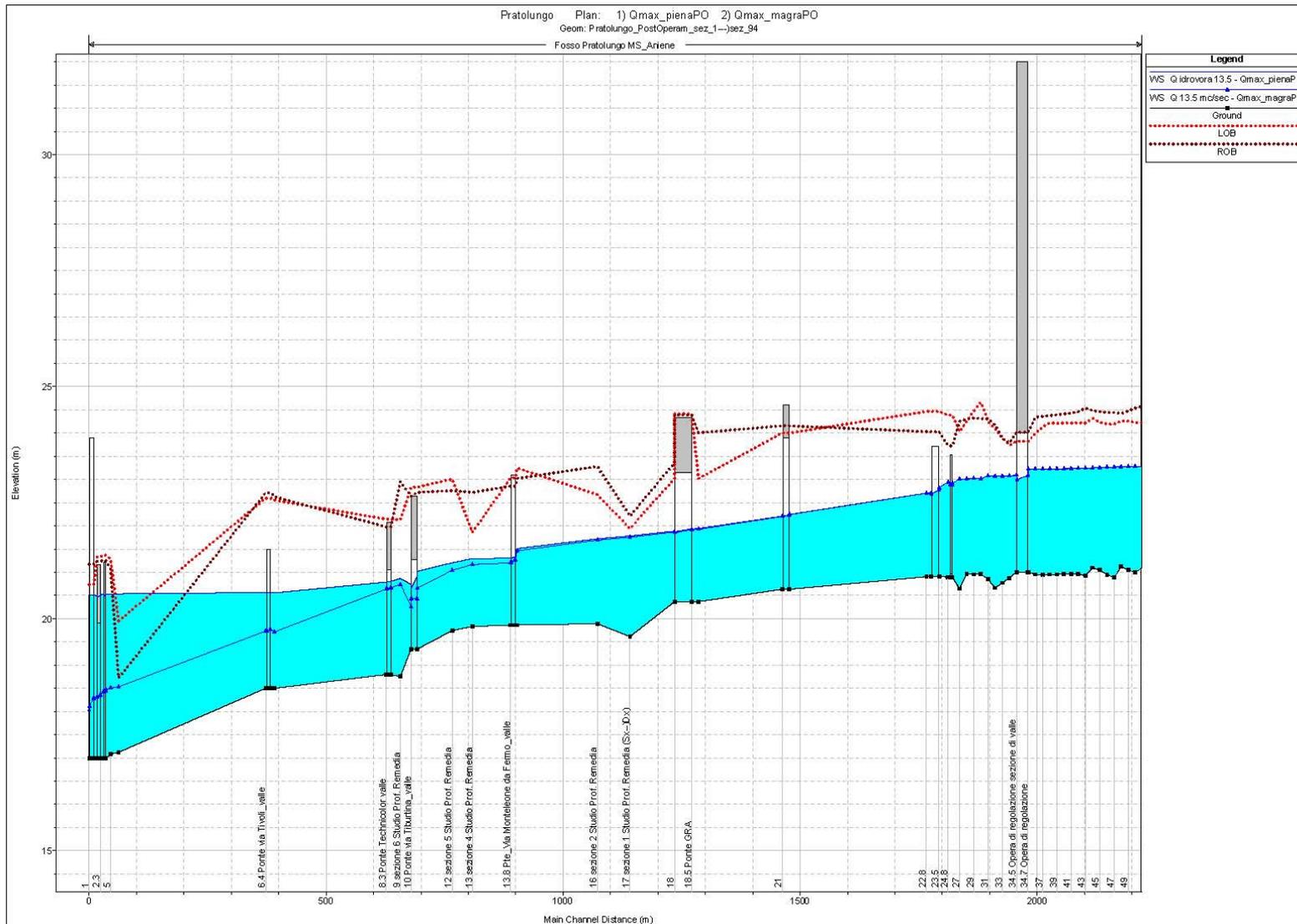


ALLEGATO C

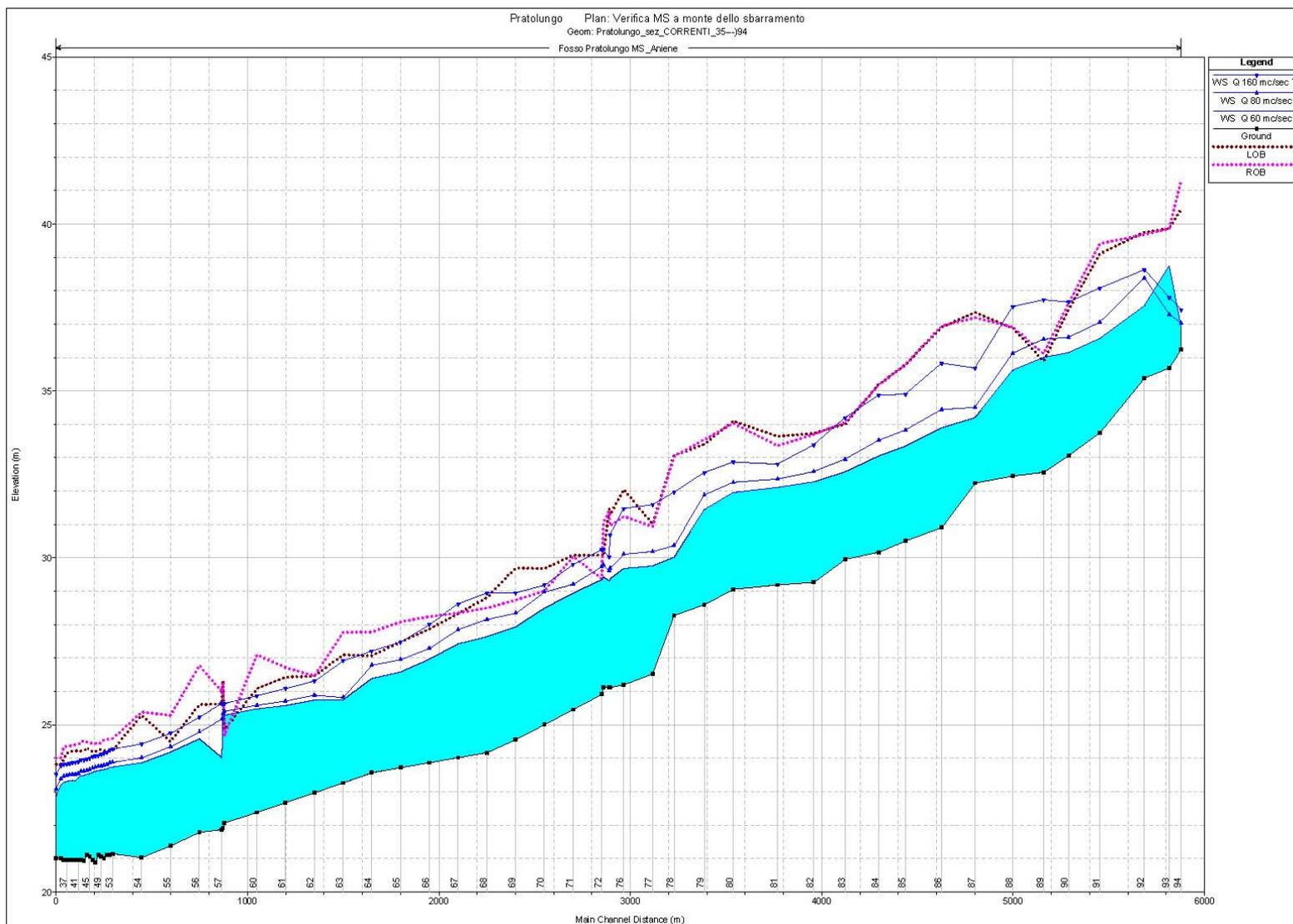




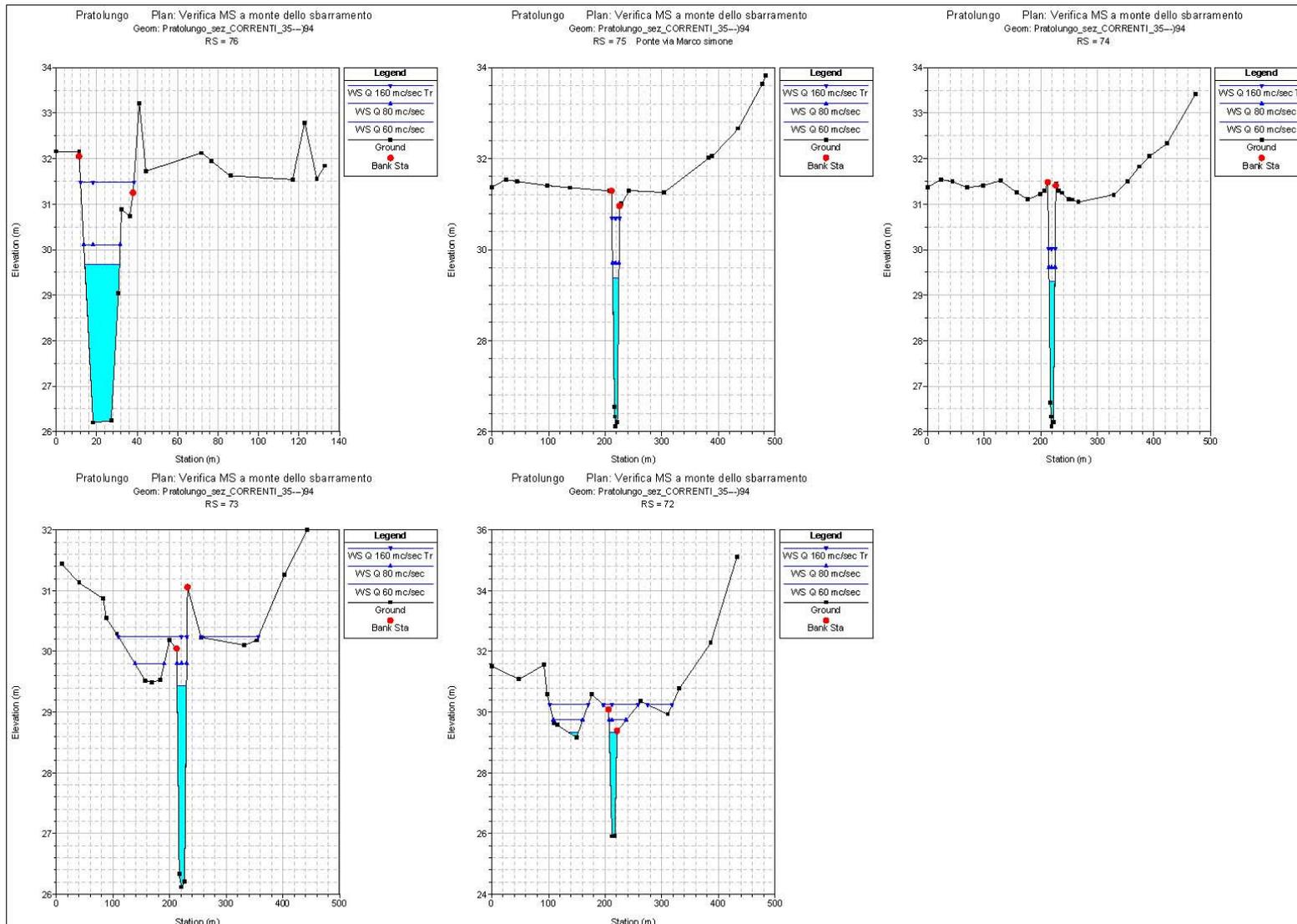
ALLEGATO C



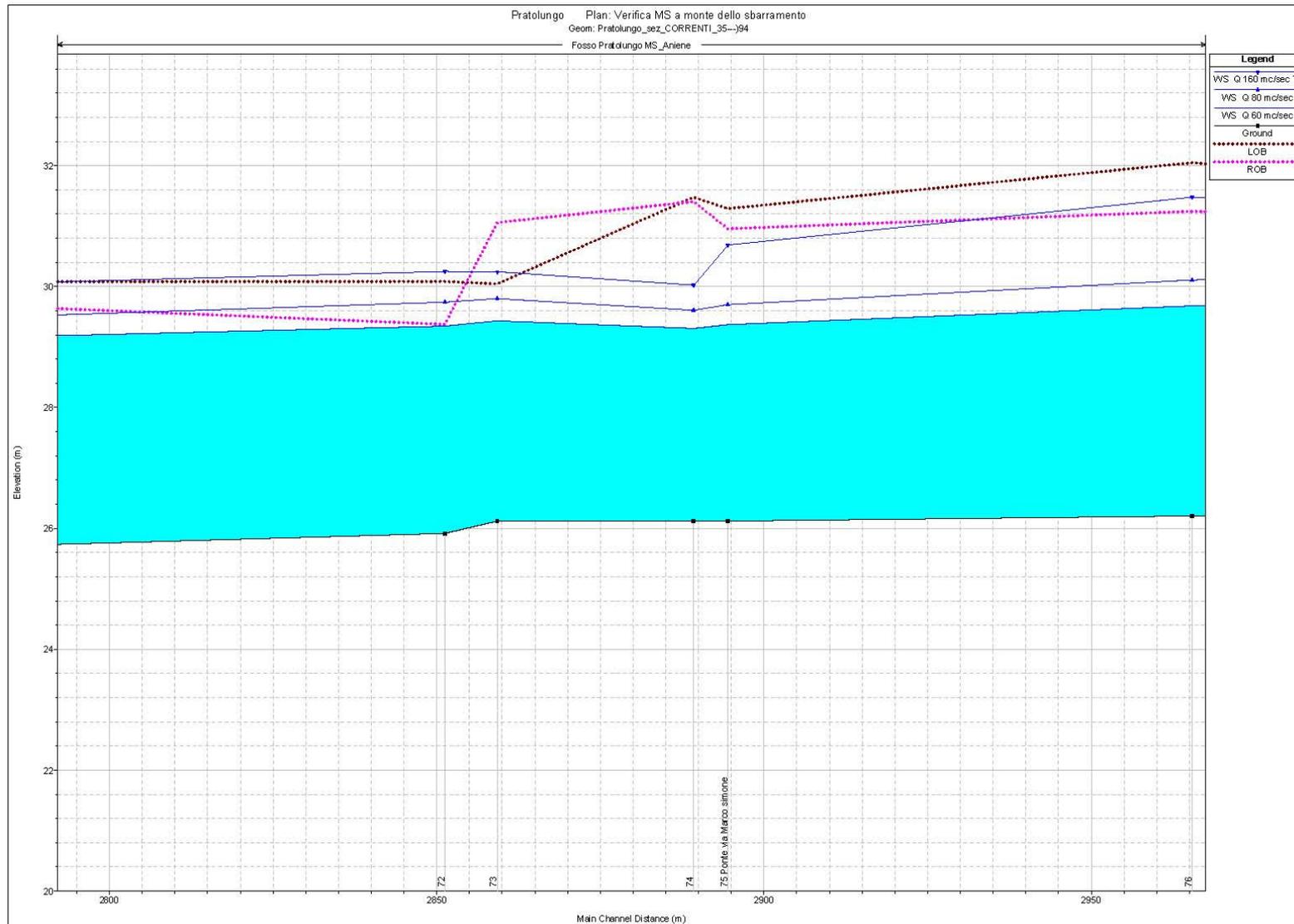
ALLEGATO D



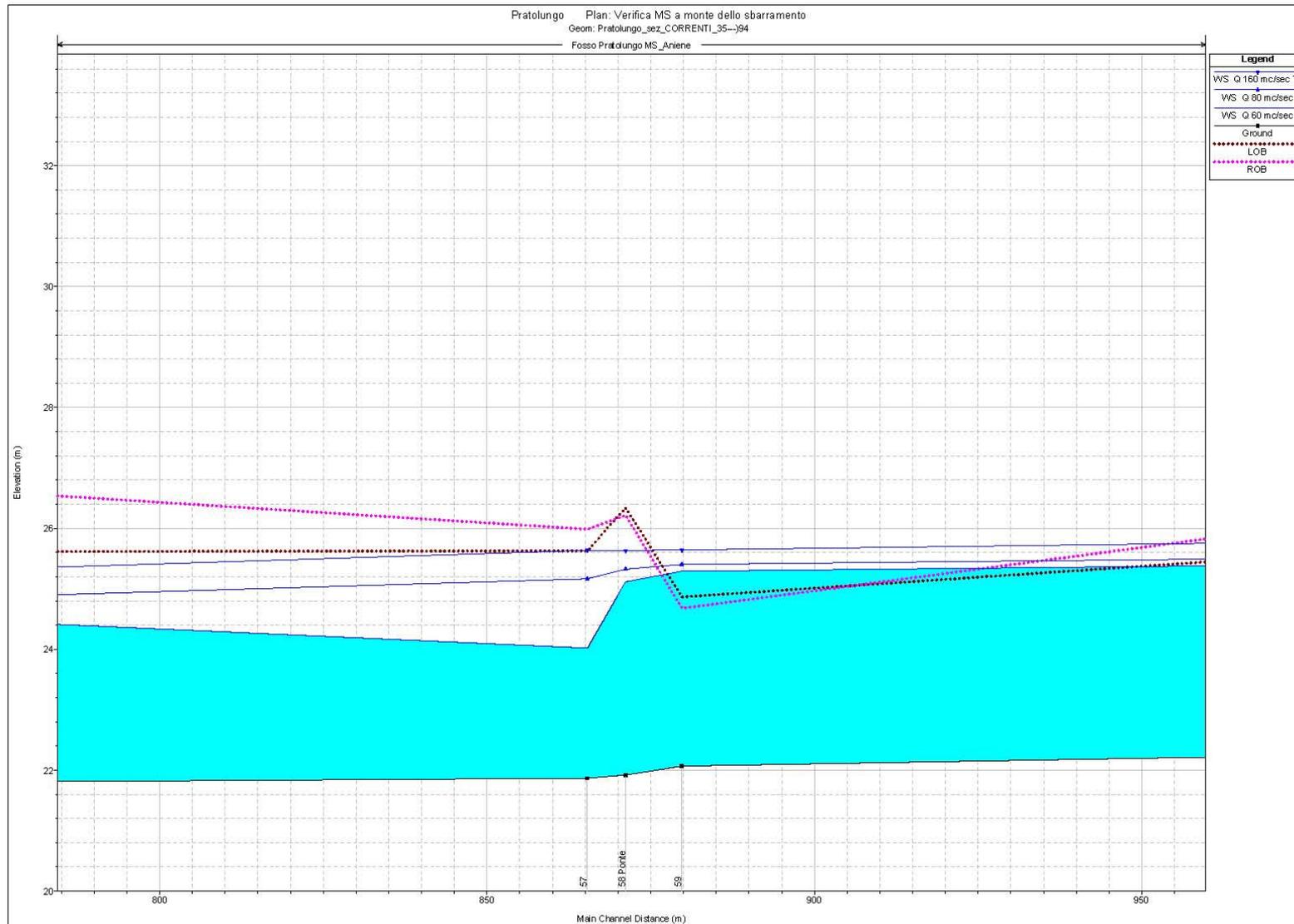
ALLEGATO D



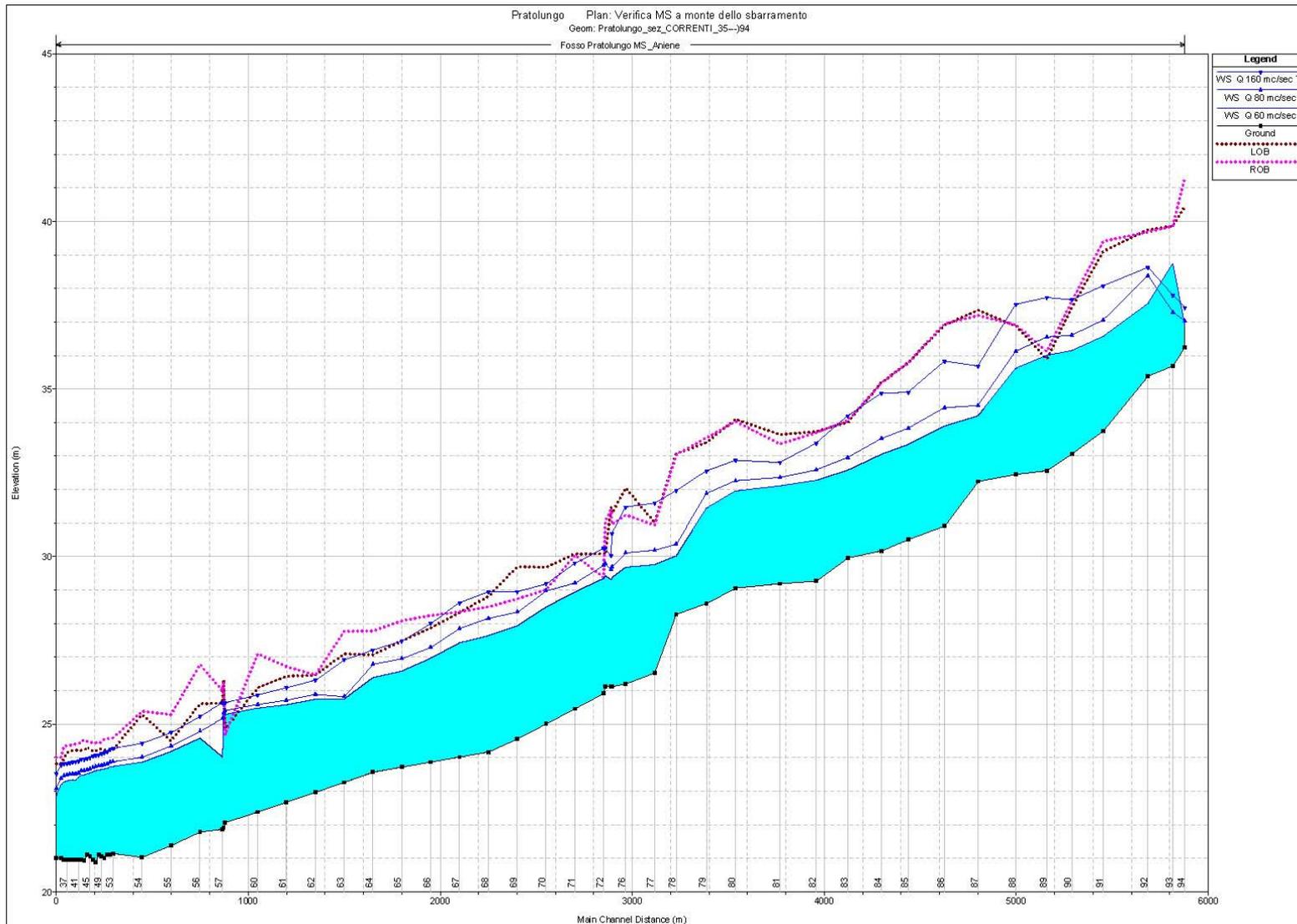
ALLEGATO D



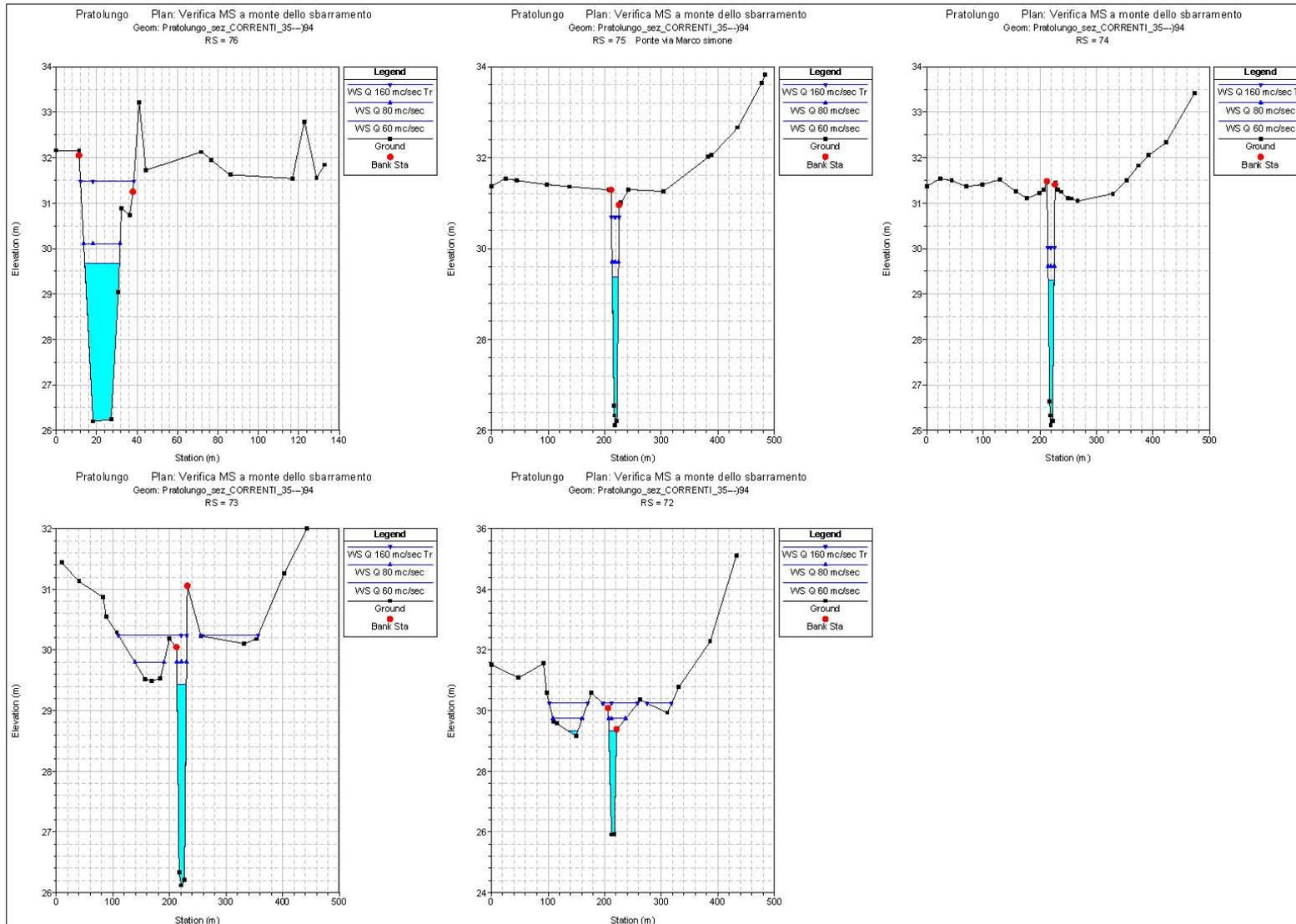
ALLEGATO D



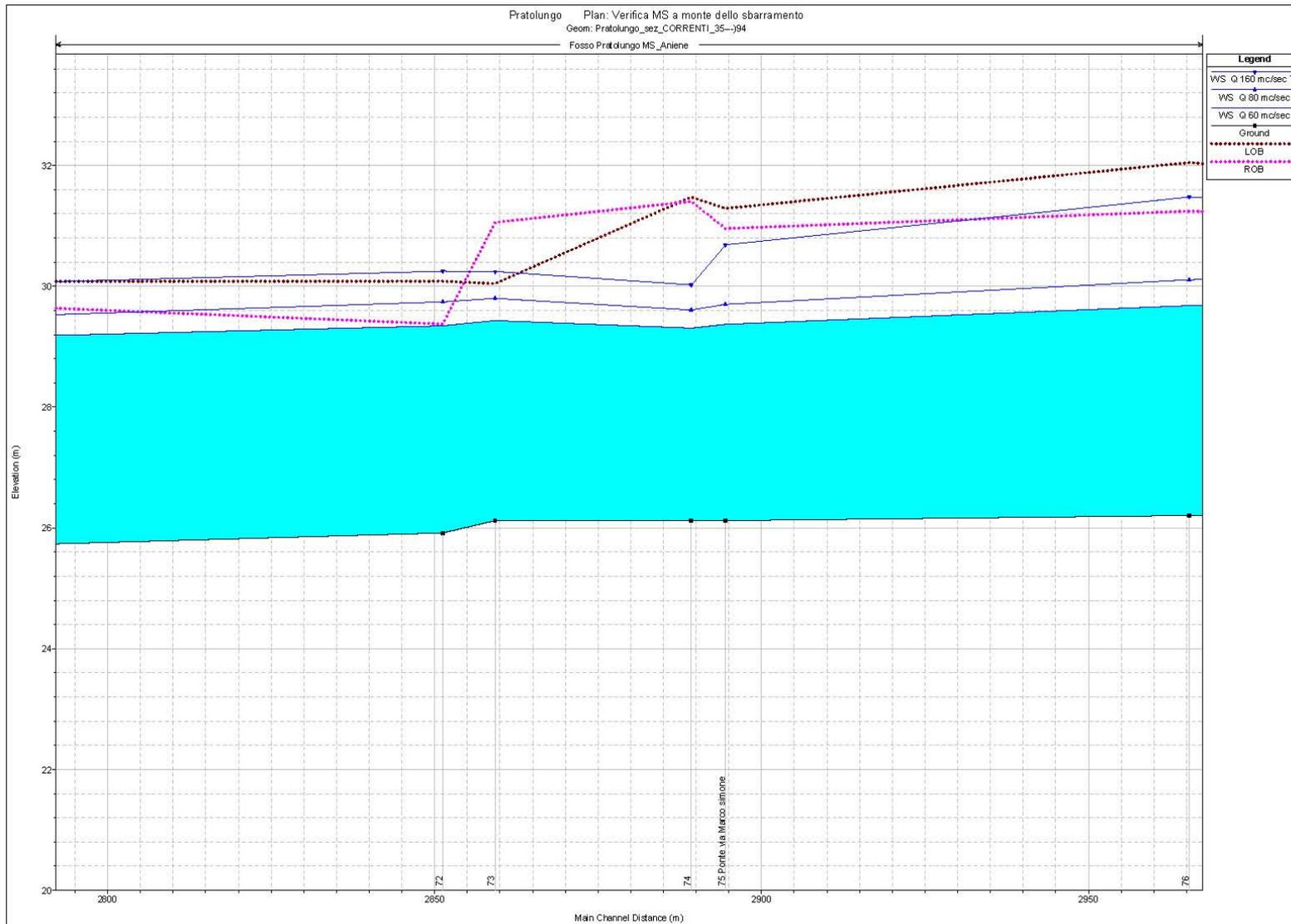
ALLEGATO E



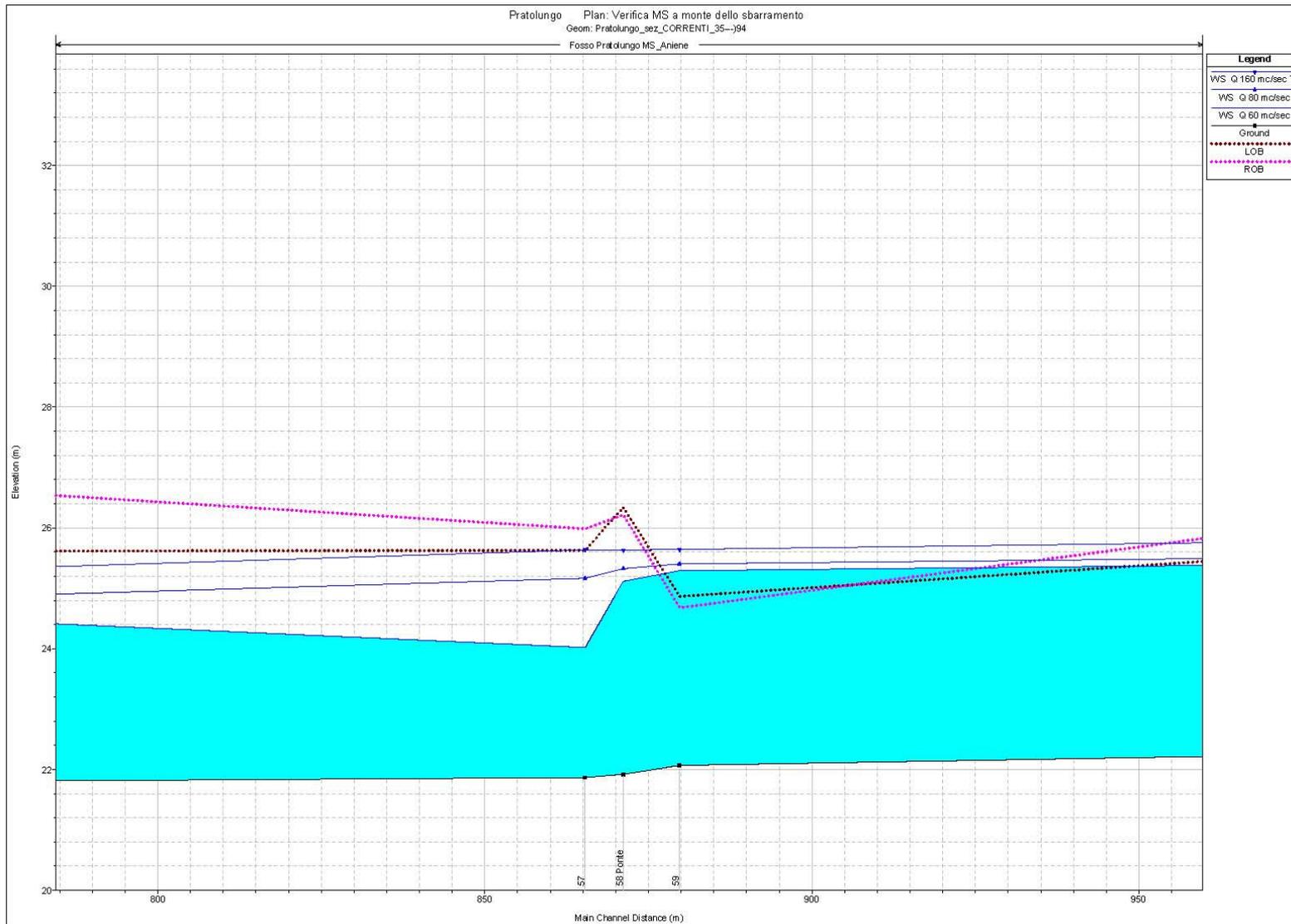
ALLEGATO E



ALLEGATO E



ALLEGATO E



7 LAMINAZIONE DELLE ONDE DI PIENA

La valutazione della capacità di laminazione della vasca in progetto viene condotta per mezzo di simulazioni numeriche per portate con tempi di ritorno $Tr = 100, 200, 500$ e 1000 *anni*, fissata la potenzialità massima di portata del fosso di Pratolungo fino al recapito nel Fiume Aniene, a gravità o con sollevamento meccanico.

7.1 Ipotesi di calcolo

Con riferimento all'equazione della conservazione della massa, si può scrivere:

$$Q_a - Q_e = dU/dt$$

nella quale:

Q_a è la portata affluente all'invaso nell'intervallo temporale infinitesimo dt ;

Q_e è la portata effluente dall'invaso nell'intervallo temporale infinitesimo dt ;

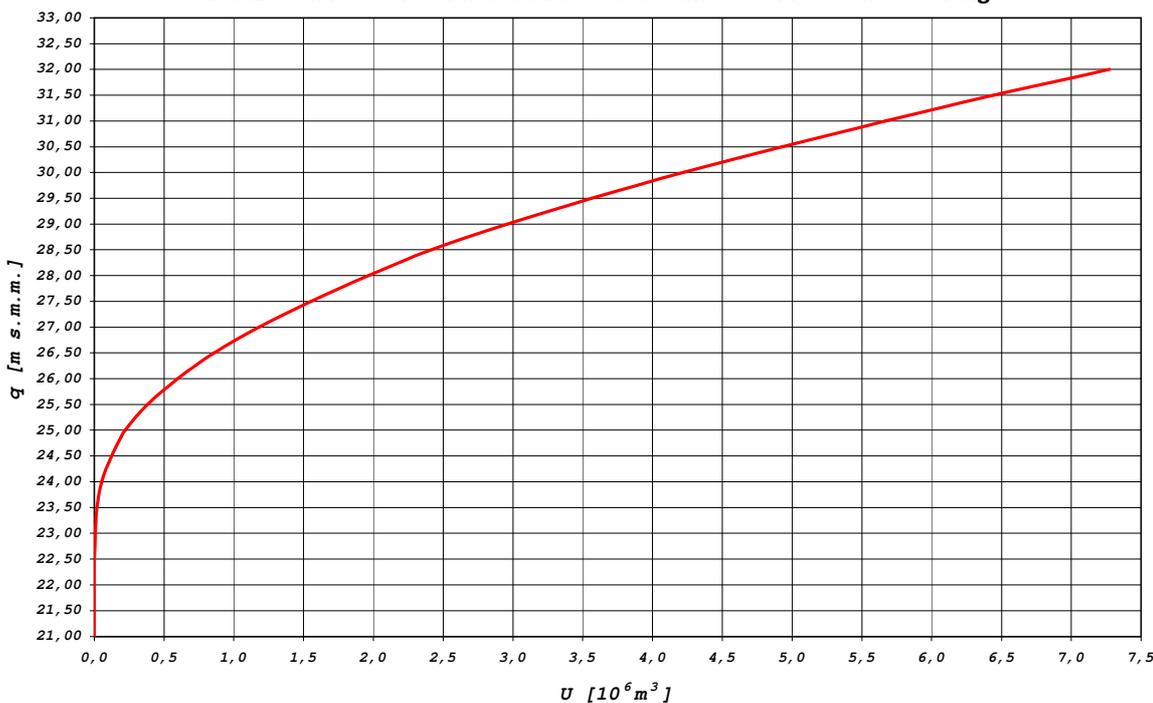
dU è la variazione infinitesima del volume invasato nell'intervallo temporale infinitesimo dt .

Noti:

- la curva dei volumi, rilevata su base topografica ed espressa dalla relazione $U = U(q)$, con q quota in *m s.m.m.* (si veda la FIGURA 7.1),
- l'onda di piena entrante $Q_a(t)$ e
- la legge delle portate in uscita dall'invaso $Q_e[q(t)]$,

l'equazione differenziale ordinaria della continuità idraulica può essere integrata numericamente alle differenze finite con metodo esplicito.

FIGURA 7.1 - Curva dei volumi della vasca di accumulo del fosso di Pratolungo



Come descritto più dettagliatamente nelle relazioni allegare al progetto, l'opera di sbarramento è costituita da un argine in terra di altezza massima di 12 m e lunghezza di circa 400 m; all'interno dell'argine, per una lunghezza di circa 50 m è inserita l'opera di regolazione in calcestruzzo dotata di 2 luci di fondo larghe 2 m e alte 3 m ciascuna, presidiate da paratoie per la regolazione e chiusura; l'opera è anche dotata di sfioratore a soglia libera costituito da 4 luci di 12 m ciascuna.

Per il calcolo della portata istantanea rilasciata $Q(t)$ dallo sfioratore si è ricorsi alla nota equazione valida per stramazzi a vena accompagnata:

$$Q(t) = \mu l [q(t) - 28,50] \sqrt{2 * 9,81 [q(t) - 28,50]}$$

dove:

μ è il coefficiente di deflusso, posto costante e pari a 0,48;

l è la lunghezza complessiva della soglia sfiorante, pari a 48,00 m;

$q(t)$ è la quota d'invaso al tempo t .

Si sottolinea che le seguenti simulazioni sono effettuate assumendo che, a vantaggio di sicurezza, il Fiume Aniene sia in piena contemporaneamente al fosso di Pratolungo e che quindi sia stato azionato l'impianto idrovoro sito alla confluenza tra i due corsi d'acqua.

Si ipotizza inoltre che il bacino idrografico residuo del fosso di Pratolungo, compreso tra l'opera in progetto e la confluenza col Fiume Aniene, esaurisca circa $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ di capacità di emungimento dei $13,5 \text{ m}^3/\text{s}$ dell'impianto idrovoro già potenziato, permettendo in corrispondenza dell'opera di rilasciare una portata limite di $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

7.2 Simulazioni

Negli allegati grafici le piene, i cui idrogrammi sono stati utilizzati per le simulazioni, sono identificate con un "codice" costruito con le caratteristiche salienti delle piene stesse secondo il seguente paradigma:

$$\text{piena "T}_r / t_c / Q_{\text{max}} / k \text{"}$$

dove si è indicato con:

- T_r il tempo di ritorno della piena, espresso in *anni*;
- t_c il tempo di corrvazione posto pari alla durata della precipitazione causa della piena, espresso in *ore*;
- Q_{max} la portata di picco della piena, espressa in m^3/s ;
- k la durata della fase di stanca della piena, espressa in *ore*.

Si osserva inoltre che a parità di tempo di ritorno, l'idrogramma con $t_c = 4 \text{ ore}$ presenta una portata di picco più elevata ma un volume complessivo di piena minore rispetto a quello corrispondente con $t_c = 5 \text{ ore}$.

7.2.1 Piene di interesse

Nelle simulazioni delle piene di progetto e verifica si assume che all'arrivo dell'onda di piena la vasca sia vuota, condizione di esercizio di gran lunga la più frequente fra tutte le altre per il tipo di opera in progetto.

Si è scelto poi di verificare il comportamento dell'opera in caso di:

- possibilità di rilasciare a valle dell'opera una portata al massimo pari a quella limite di $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (CASO 1);

- impossibilità di rilasciare portata dalle luci a quota alveo, ad esempio per un guasto sopravvenuto alle paratoie piane o per condizioni di particolare criticità idraulica temporaneamente esistenti nel tratto di fosso a valle dell'opera in progetto (CASO 2).

Nel CASO 1, inizialmente parte della portata idrica in arrivo nella sezione di imposta del manufatto di regolazione viene esitata a valle attraverso le due luci inferiori mentre l'aliquota rimanente si invasa. Questo funzionamento a pelo libero termina allorché la portata in uscita dalla vasca raggiunge il valore limite di $10 \text{ m}^3/\text{s}$: affinché tale valore non venga superato si interviene azionando le paratoie, passando così ad un funzionamento a battente delle luci, ed il progressivo aumento del battente con l'innalzamento del livello idrico nella vasca viene compensato con un'opportuna e graduale regolazione dell'apertura delle paratoie.

Il livello idrico nella vasca di laminazione continua a salire fino a raggiungere quota $28,50 \text{ m s.m.m.}$, quando inizia lo sfioro automatico dalle soglie libere; le simulazioni, i cui grafici sono riportati nell'Allegato F, mostrano a questo punto due diversi comportamenti:

- nel caso delle portate con tempo di ritorno pari a 100 anni , la portata idrica esitata a valle per livelli idrici superiori ai $28,50 \text{ m s.m.m.}$, composta per una parte da quella uscente dalle luci inferiori e per l'altra da quella sfiorata, rimane pari al valore limite prefissato;
- nel caso delle portate con tempi di ritorno superiori ($200, 500$ e 1000 anni), la portata idrica esitata supera i $10 \text{ m}^3/\text{s}$ fino a toccare, nel caso peggiore, i $84,2 \text{ m}^3/\text{s}$ circa con un livello di invaso di circa $29,35 \text{ m s.m.m.}$. In tali casi si prevedono a valle dell'opera più o meno ampi fenomeni di esondazione del fosso e per salvaguardare l'incolumità e la salute dei cittadini si seguiranno tutte le prescrizioni necessarie e adottate in collaborazione con il Dipartimento della Protezione Civile.

Nel CASO 2 invece la portata in arrivo alla sezione di imposta del manufatto di regolazione viene interamente invasata ed il livello idrico nella vasca di laminazione continua a salire fino a raggiungere i $28,50 \text{ m s.m.m.}$, quando inizia lo sfioro automatico; le simulazioni, i cui grafici sono riportati nell'Allegato G, mostrano come il livello idrico massimo raggiunto sia compreso tra $28,78 \text{ m s.m.m.}$ e $29,43 \text{ m s.m.m.}$, con conseguenti portate sfiorate pari rispettivamente a circa $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ e $91,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si osserva che anche per le piene con tempo di ritorno centennale viene sfiorata una portata massima superiore al valore limite di $10 \text{ m}^3/\text{s}$, in particolare di $15,0 \text{ m}^3/\text{s}$ con $t_c = 4 \text{ ore}$ e di $19,4 \text{ m}^3/\text{s}$ con $t_c = 5 \text{ ore}$.

7.2.2 Piena per evento estremo

Al fine di verificare la risposta dell'opera all'onda di piena per evento estremo, calcolata come esposto nel paragrafo 4.2, è stata effettuata una simulazione numerica sotto l'ipotesi, particolarmente gravosa, che all'arrivo dell'onda di piena per evento estremo la vasca di accumulo sia ancora piena a causa di un evento meteorico precedente (CASO 3); in tal modo si intende verificare nell'ottica di *worst case* il corretto dimensionamento dello sfioratore.

La portata in arrivo al manufatto di regolazione inizia subito a sfiorare fino a raggiungere i $218,7 \text{ m}^3/\text{s}$, pari ad un livello idrico nella vasca di accumulo di $30,16 \text{ m s.m.m.}$ (grafico riportato nell'Allegato H). Lo sfioratore

risulta perciò correttamente dimensionato e, secondo il risultato di questa simulazione, il suo buon funzionamento esclude la possibilità di collasso dell'opera per tracimazione mantenendo il massimo livello idrico raggiunto in occasione dell'evento estremo di crisi più di 1,50 m al di sotto della quota di coronamento del rilevato arginale.

La vasca di accumulo in progetto riesce, nonostante la particolare gravosità dell'evento idraulico ipotizzato, a ridurre di circa un terzo il picco di piena originario ed a ritardarlo di circa 1,5 ore, migliorando anche in quest'ultimo caso lo scenario ipotizzabile in caso di assenza dell'opera di regolazione.

7.2.3 Valori adottati

Nel progetto definitivo sono stati adottati i seguenti parametri.

Portata al colmo in entrata	310 m ³ /s
Portata al colmo in entrata	310 m ³ /s
Massimo livello d'invaso	30,10 m s.l.m. 30,16 m s.l.m.

In sede di approvazione del progetto definitivo, la Direzione Generale delle Dighe ha effettuato dei calcoli alternativi di verifica con riferimento all'idrogramma di piena stabilito dall'Ufficio regionale.

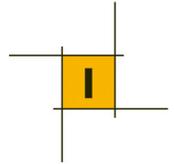
Di seguito si riportano i dati ricavati da questa verifica.

Portata al colmo in entrata	315 m ³ /s
Portata al colmo in entrata	229 m ³ /s
Massimo livello d'invaso	30,18 m s.l.m.

Tali dati sono stati considerati per il progetto esecutivo e per la realizzazione del modello fisico.

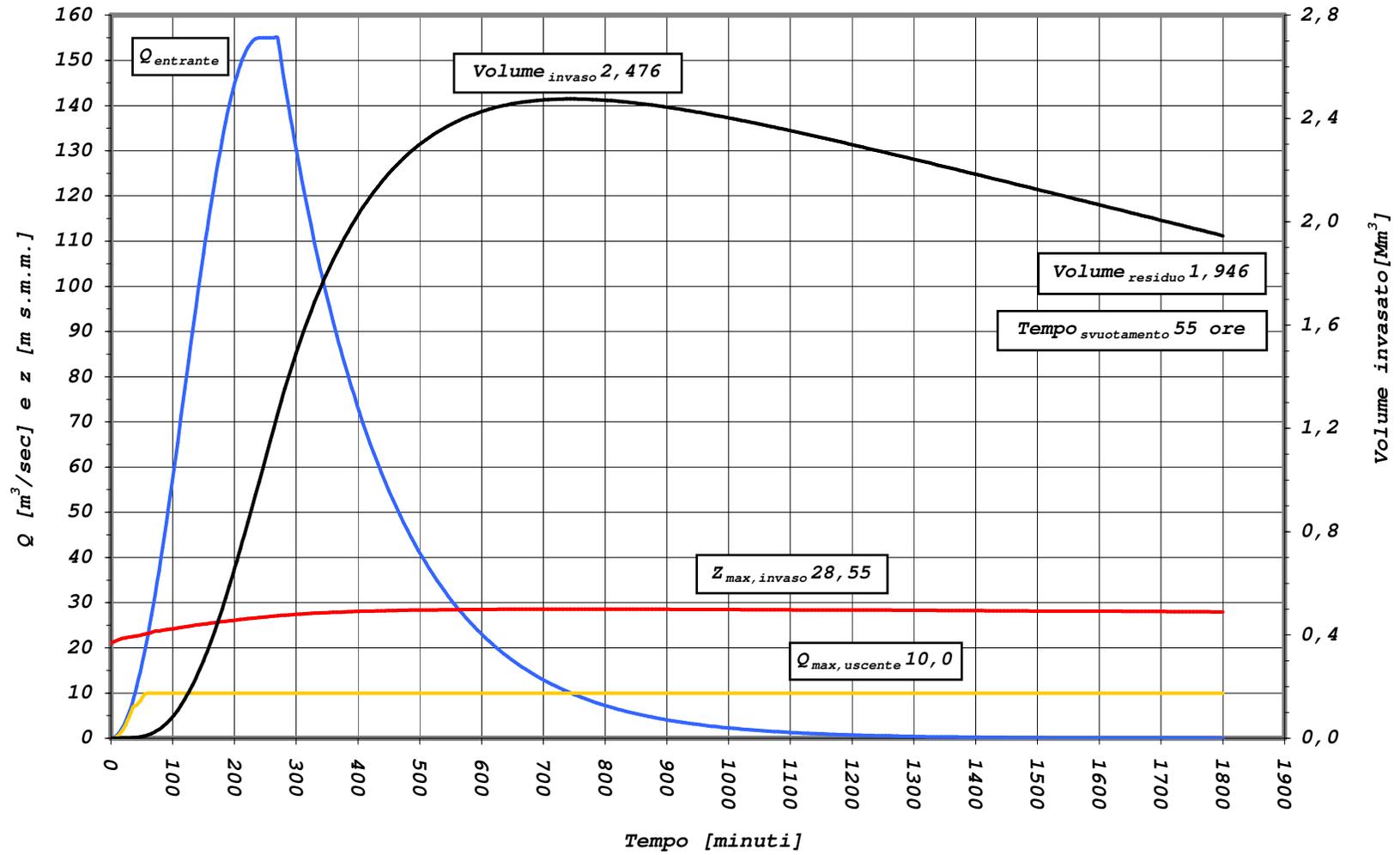
7.3 Allegati grafici al capitolo

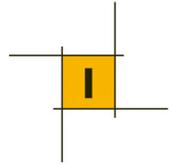
Nelle seguenti pagine si riportano gli allegati grafici cui si è fatto riferimento nel presente capitolo.



ALLEGATO F

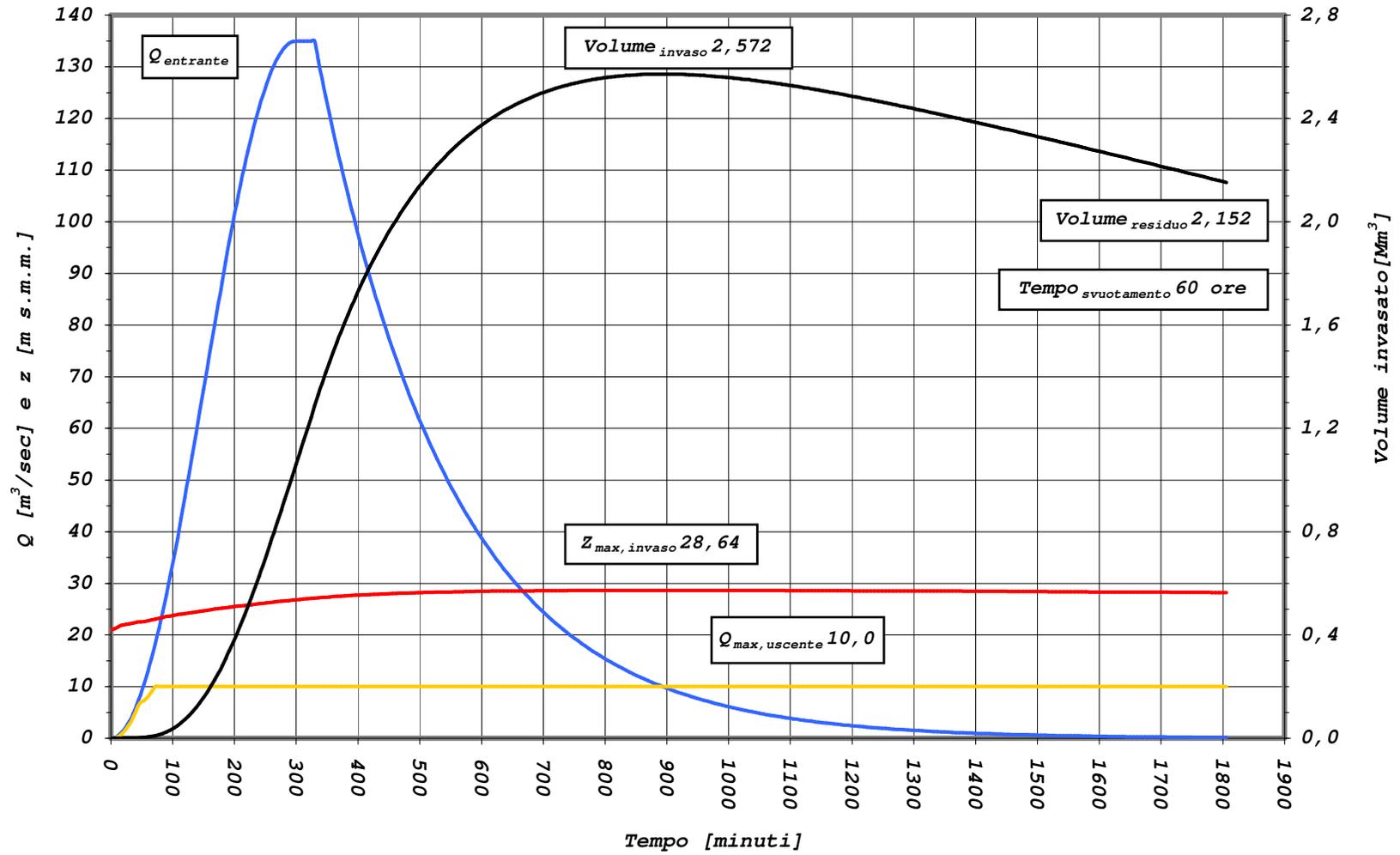
PIENA 100/4/155/0,5 - CASO 1

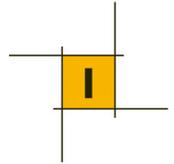




ALLEGATO F

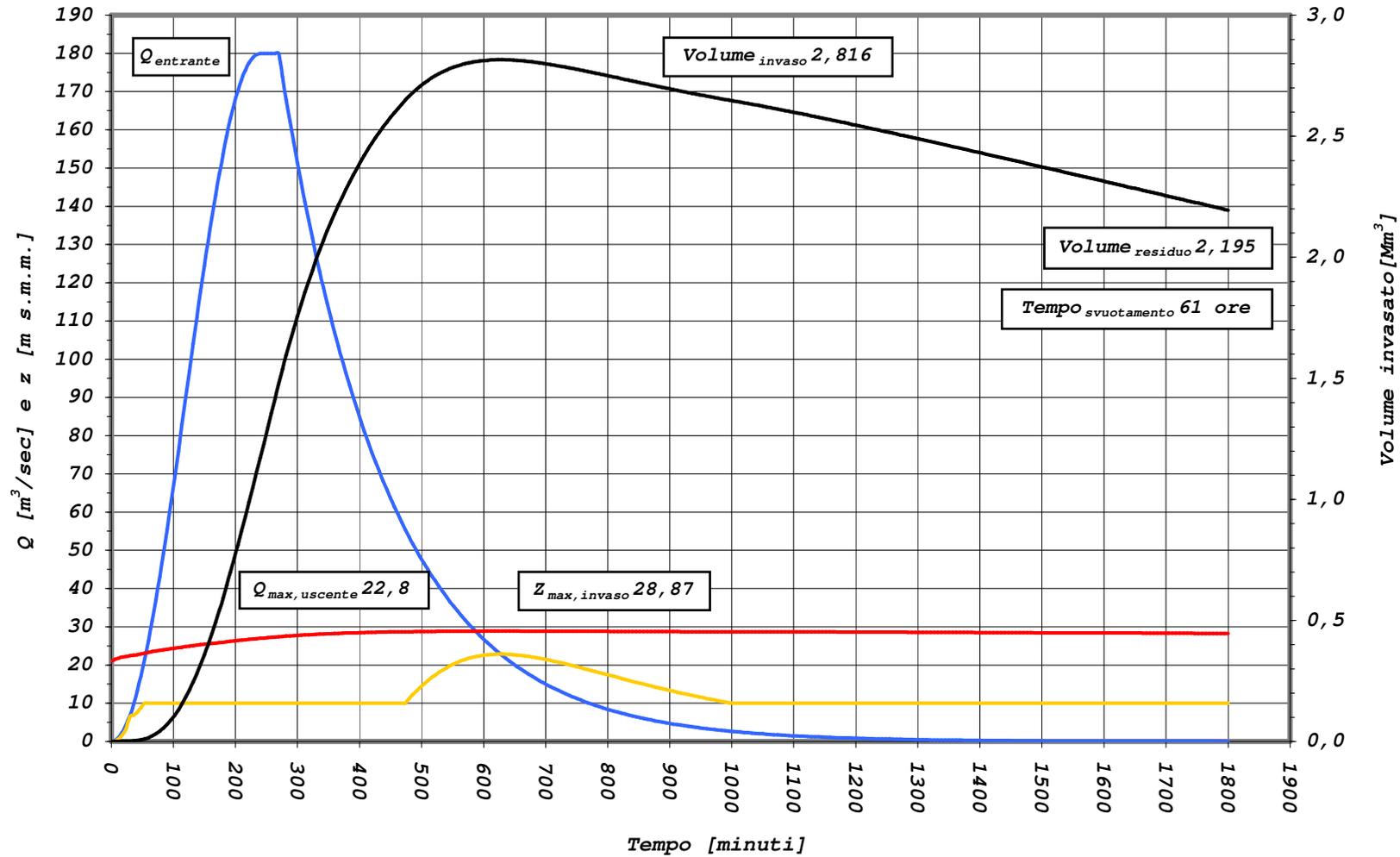
PIENA 100/5/135/0,5 - CASO 1

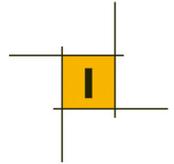




ALLEGATO F

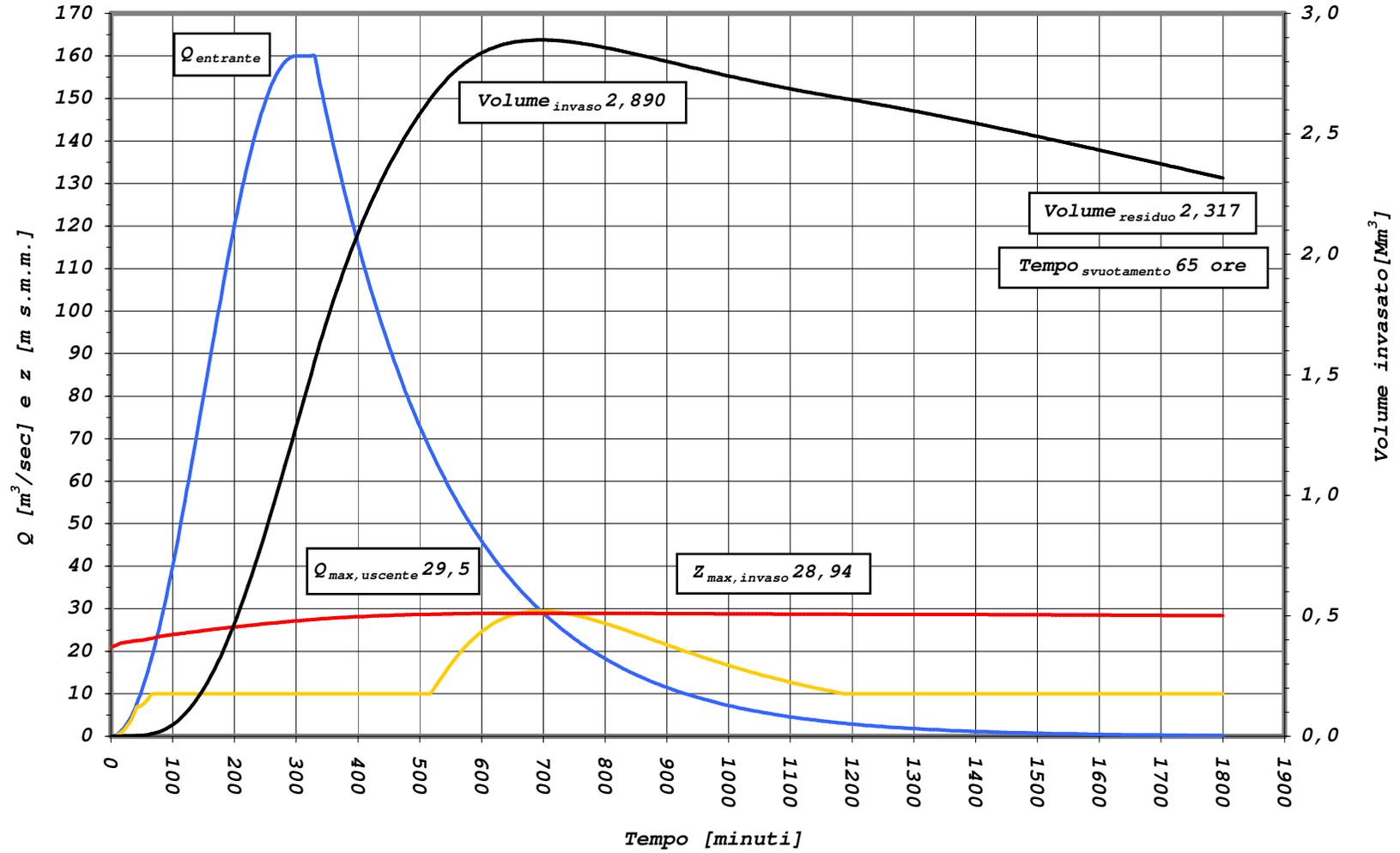
PIENA 200/4/180/0,5 - CASO 1

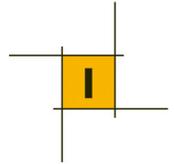




ALLEGATO F

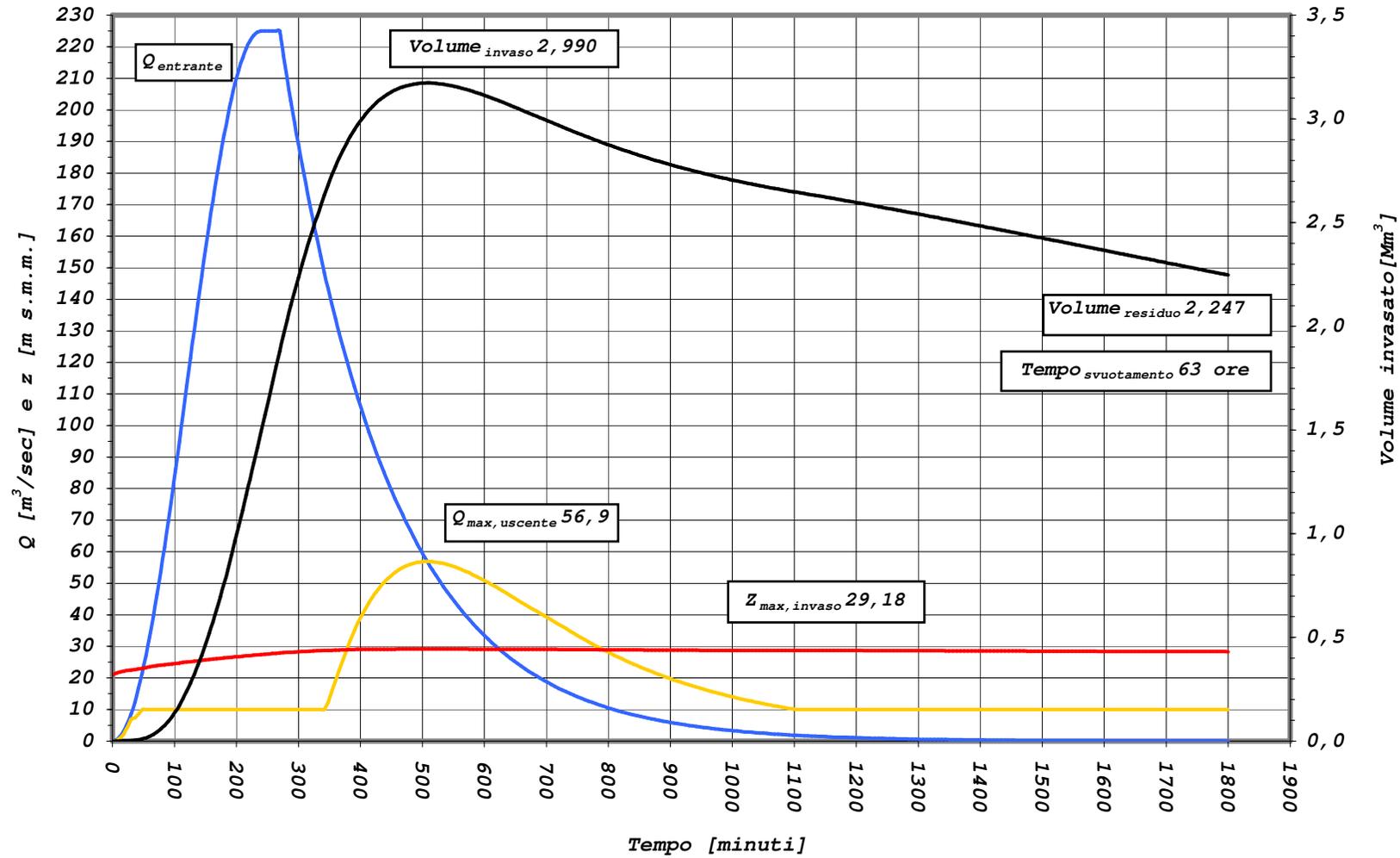
PIENA 200/5/160/0,5 - CASO 1

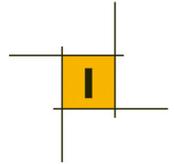




ALLEGATO F

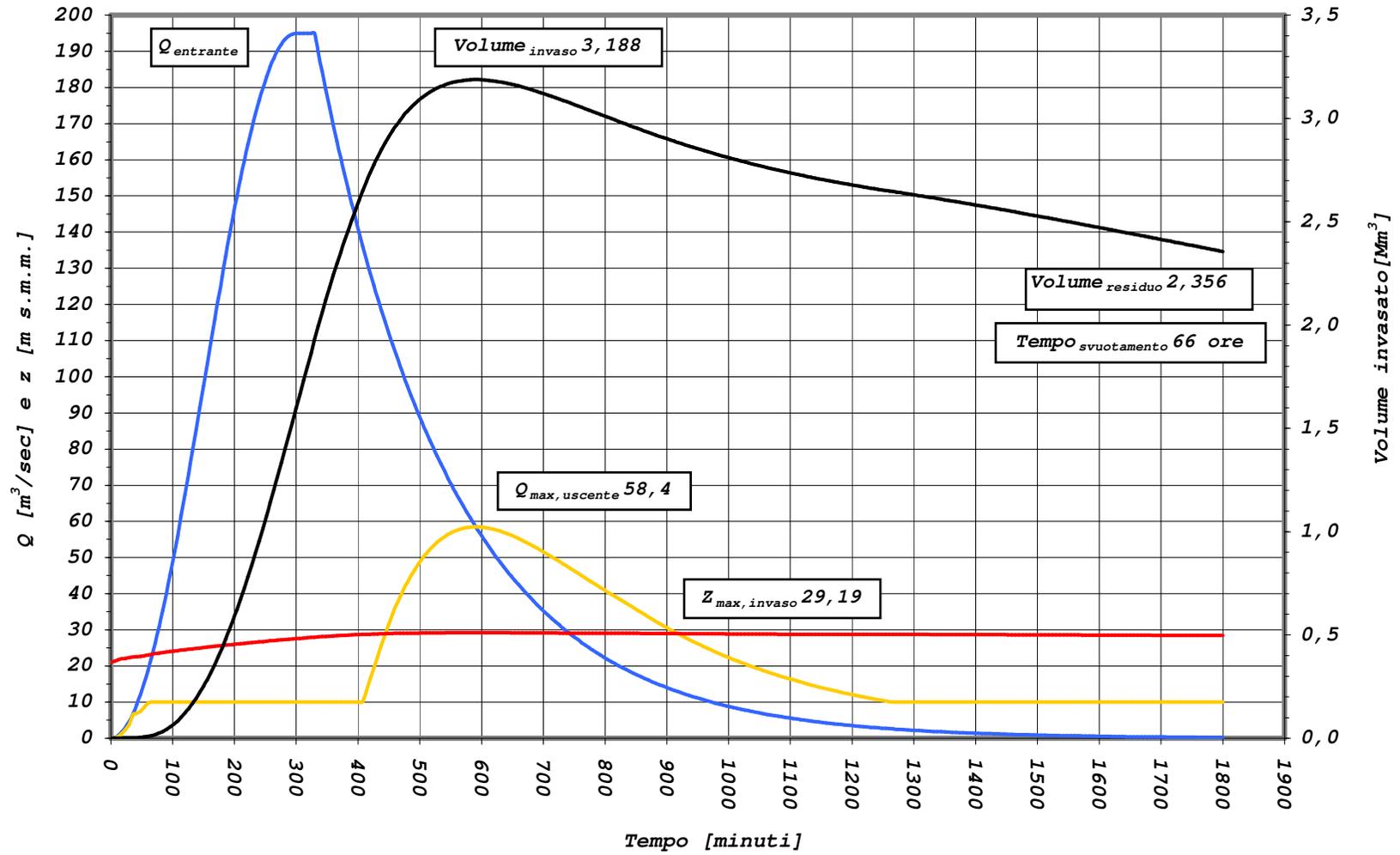
PIENA 500/4/225/0,5 - CASO 1

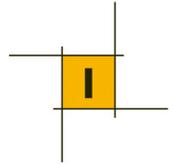




ALLEGATO F

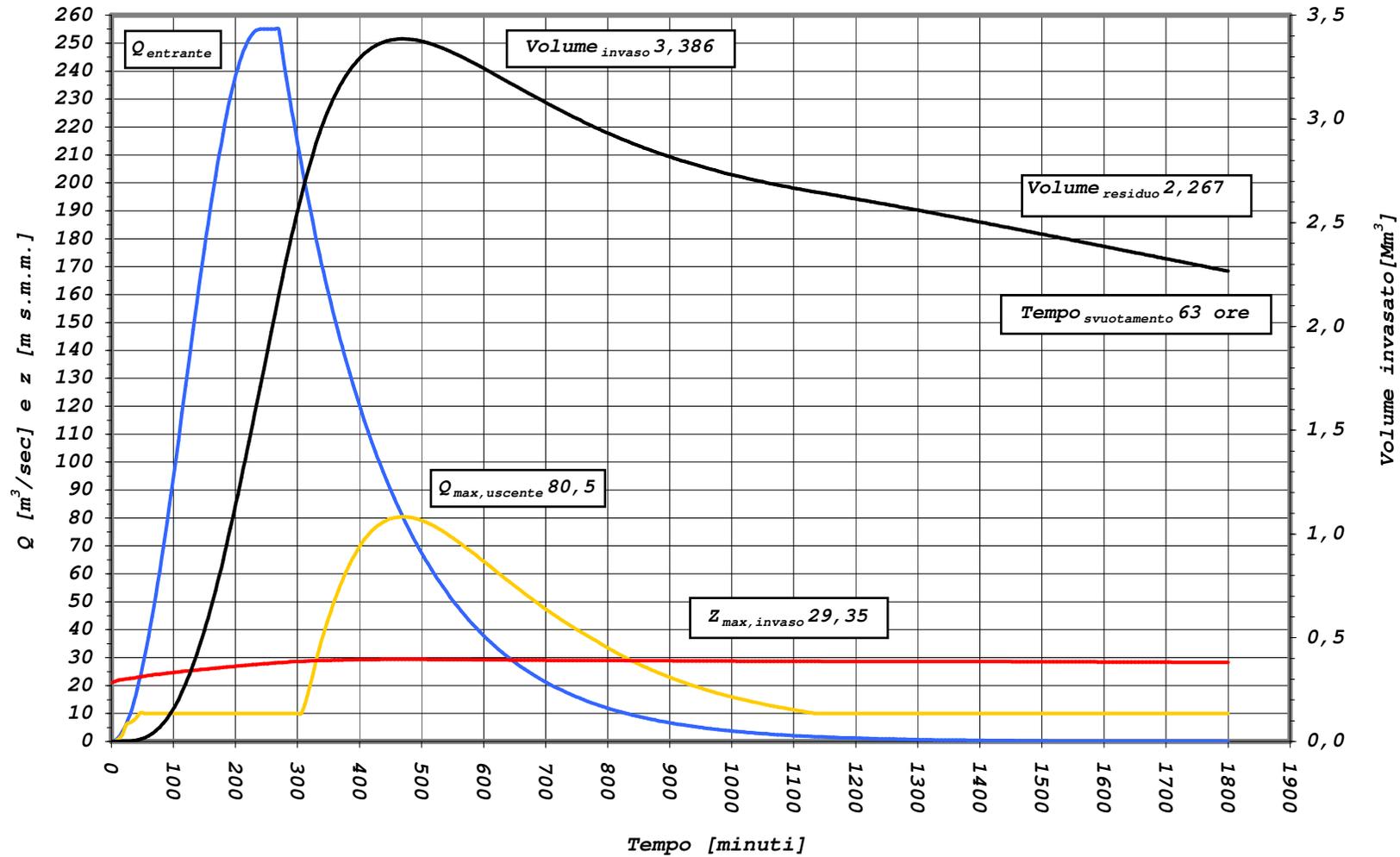
PIENA 500/5/195/0,5 - CASO 1

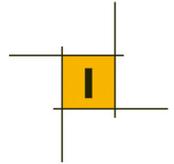




ALLEGATO F

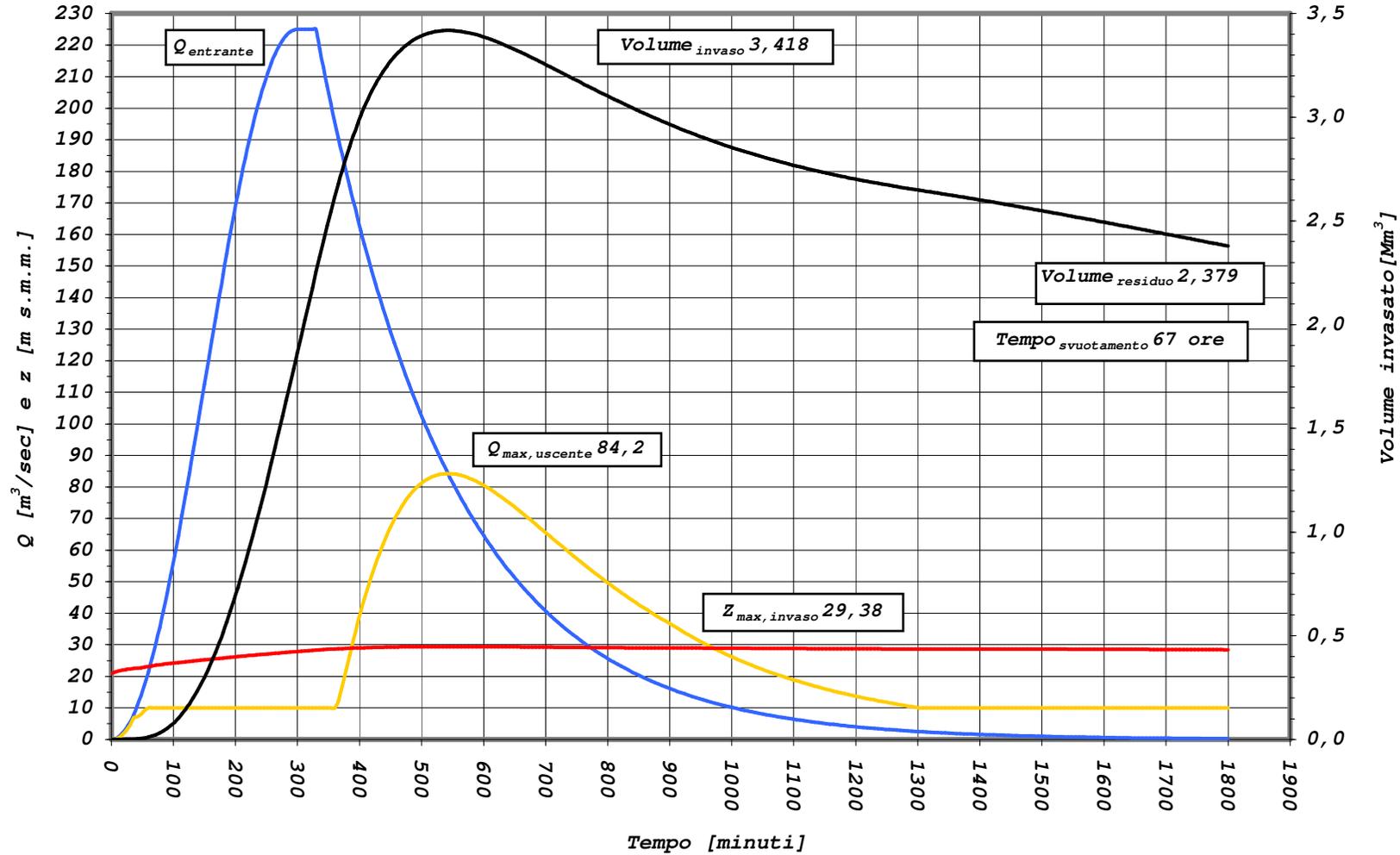
PIENA 1000/4/255/0,5 - CASO 1

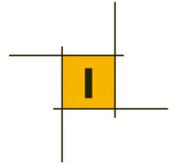




ALLEGATO F

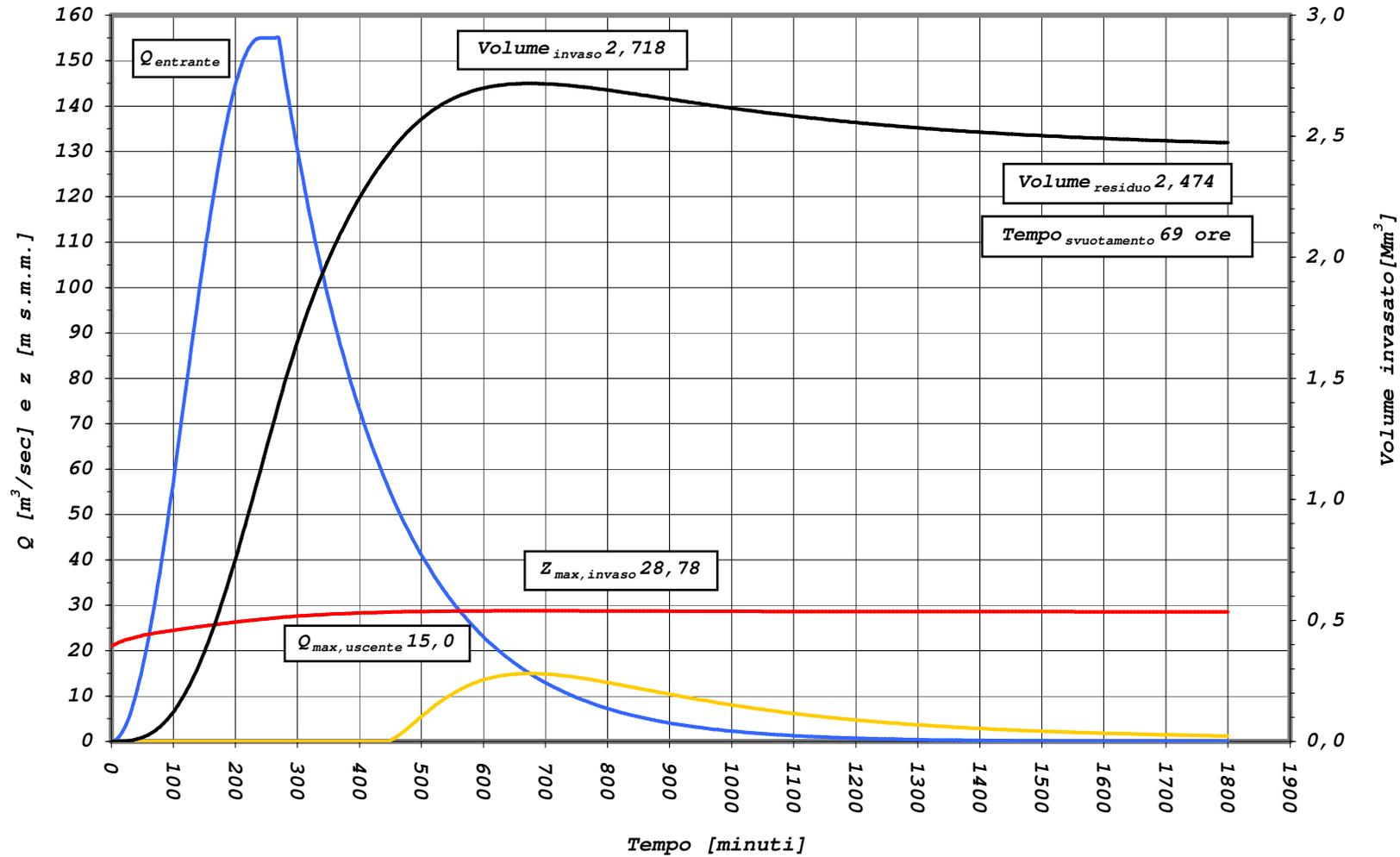
PIENA 1000/5/225/0,5 - CASO 1

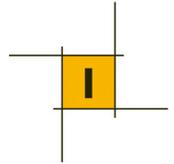




ALLEGATO G

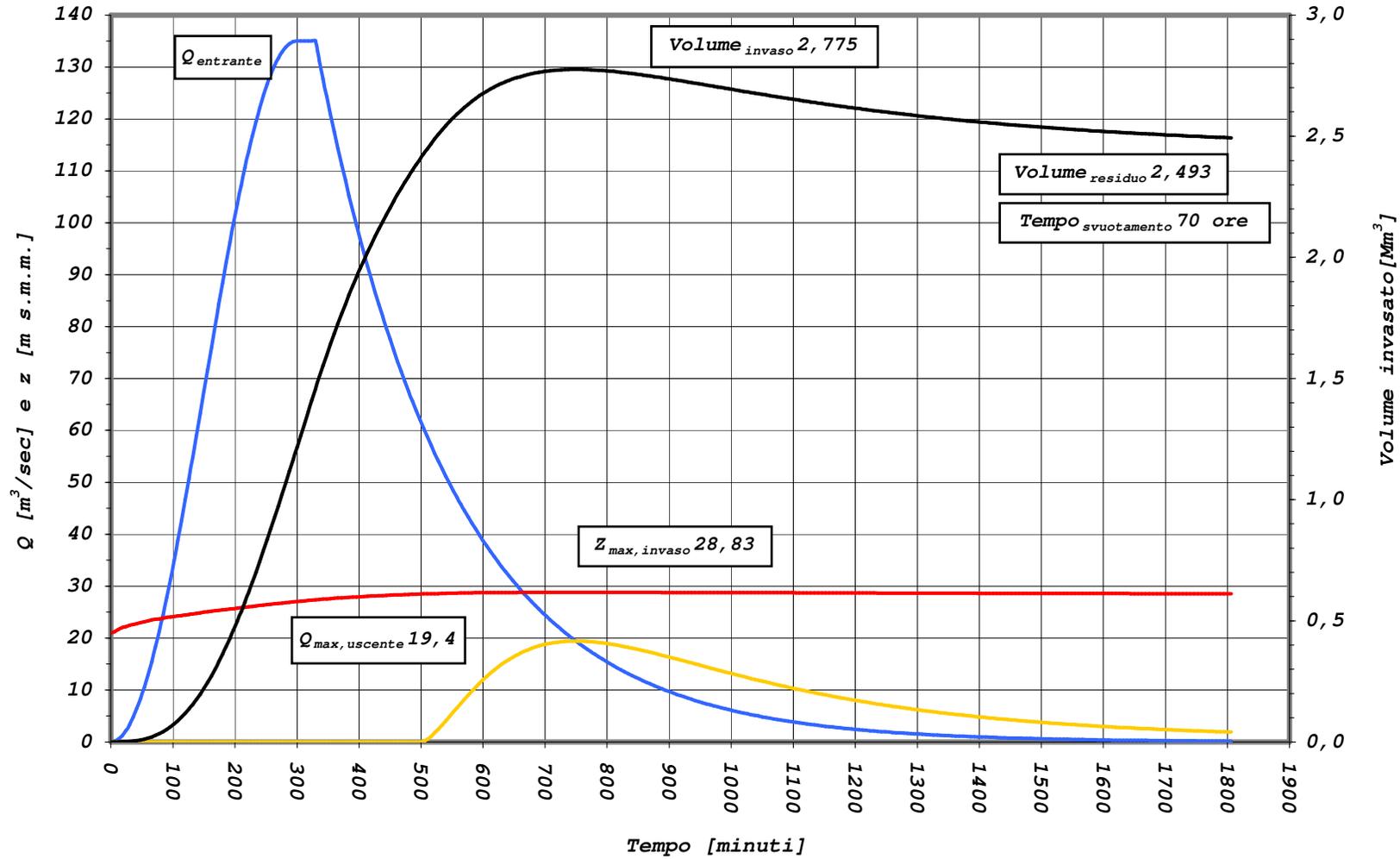
PIENA 100/4/155/0,5 - CASO 2

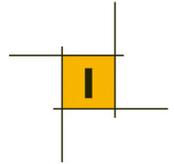




ALLEGATO G

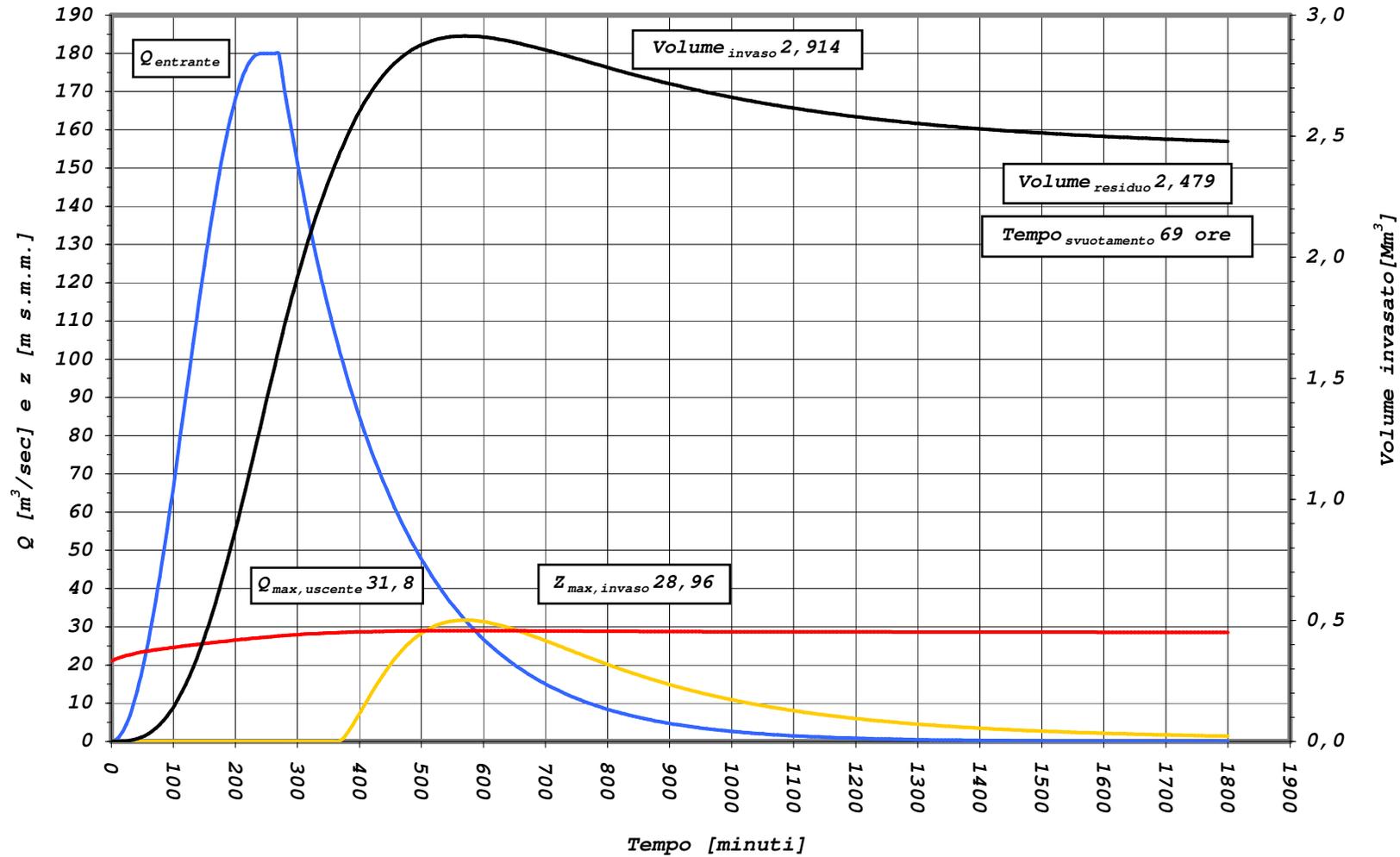
PIENA 100/5/135/0,5 - CASO 2

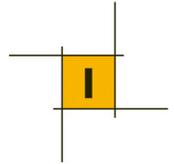




ALLEGATO G

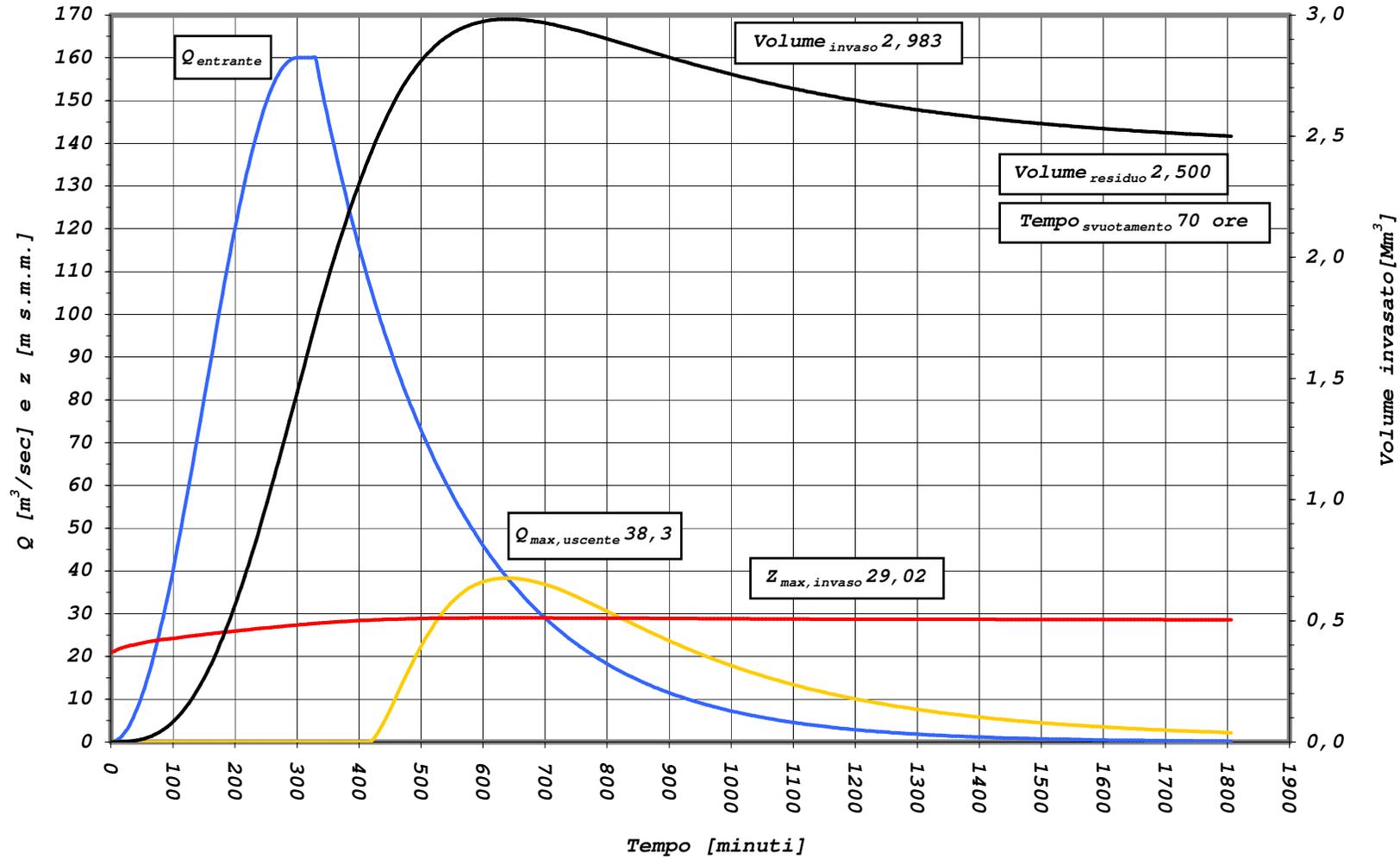
PIENA 200/4/180/0,5 - CASO 2

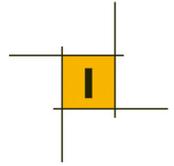




ALLEGATO G

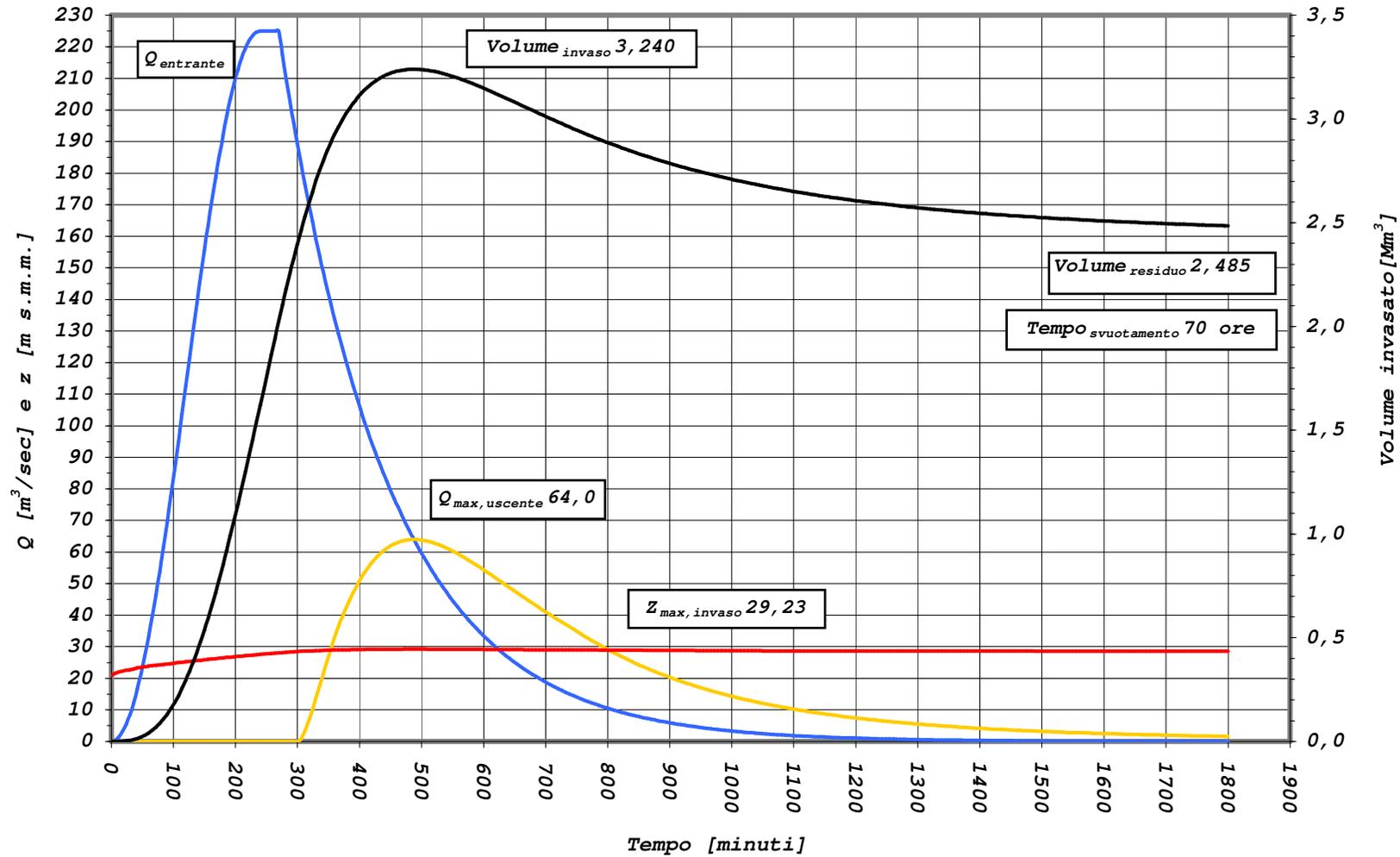
PIENA 200/5/160/0,5 - CASO 2

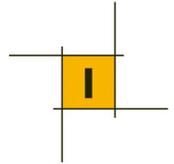




ALLEGATO G

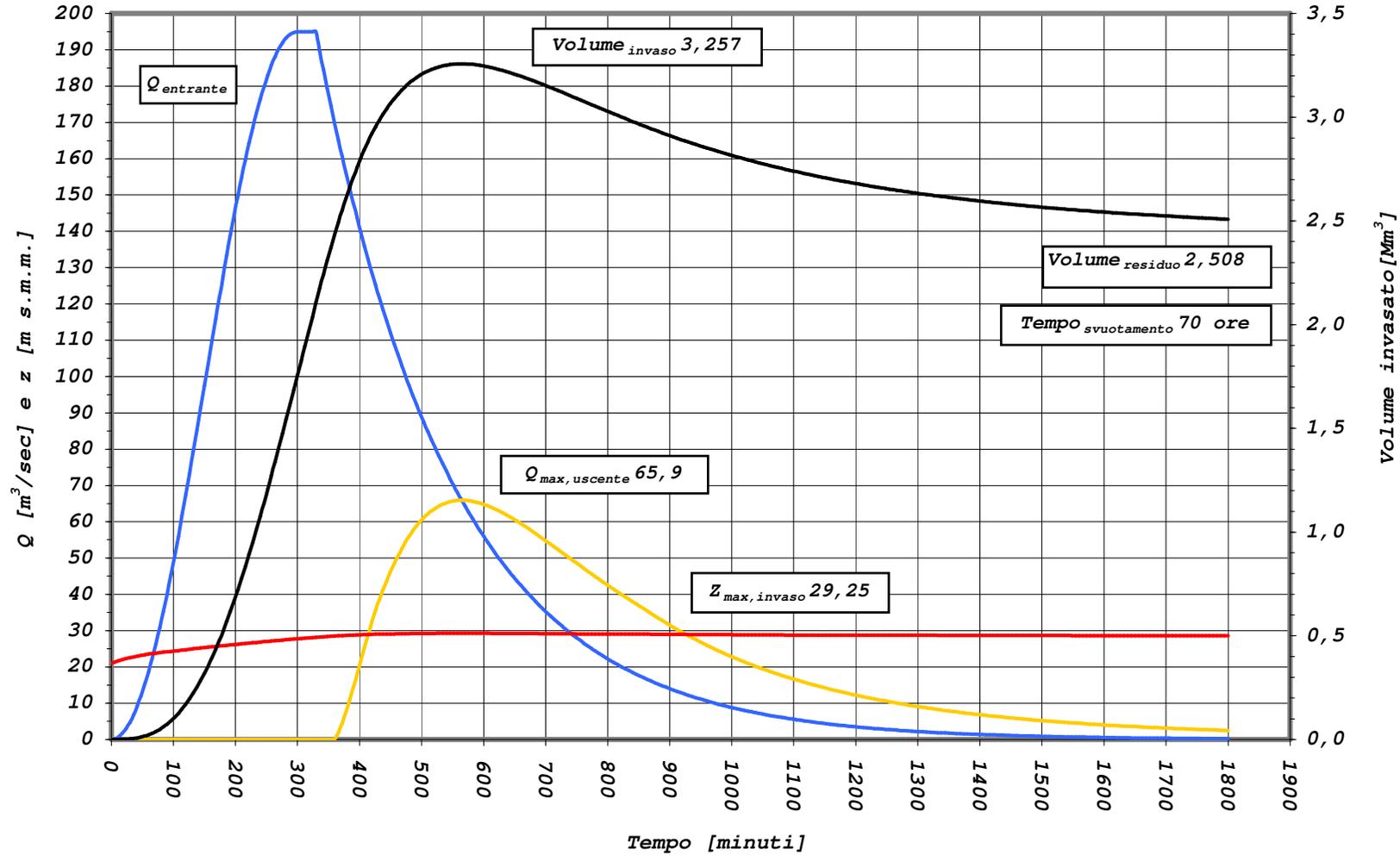
PIENA 500/4/225/0,5 - CASO 2

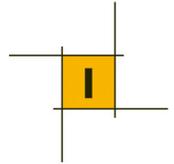




ALLEGATO G

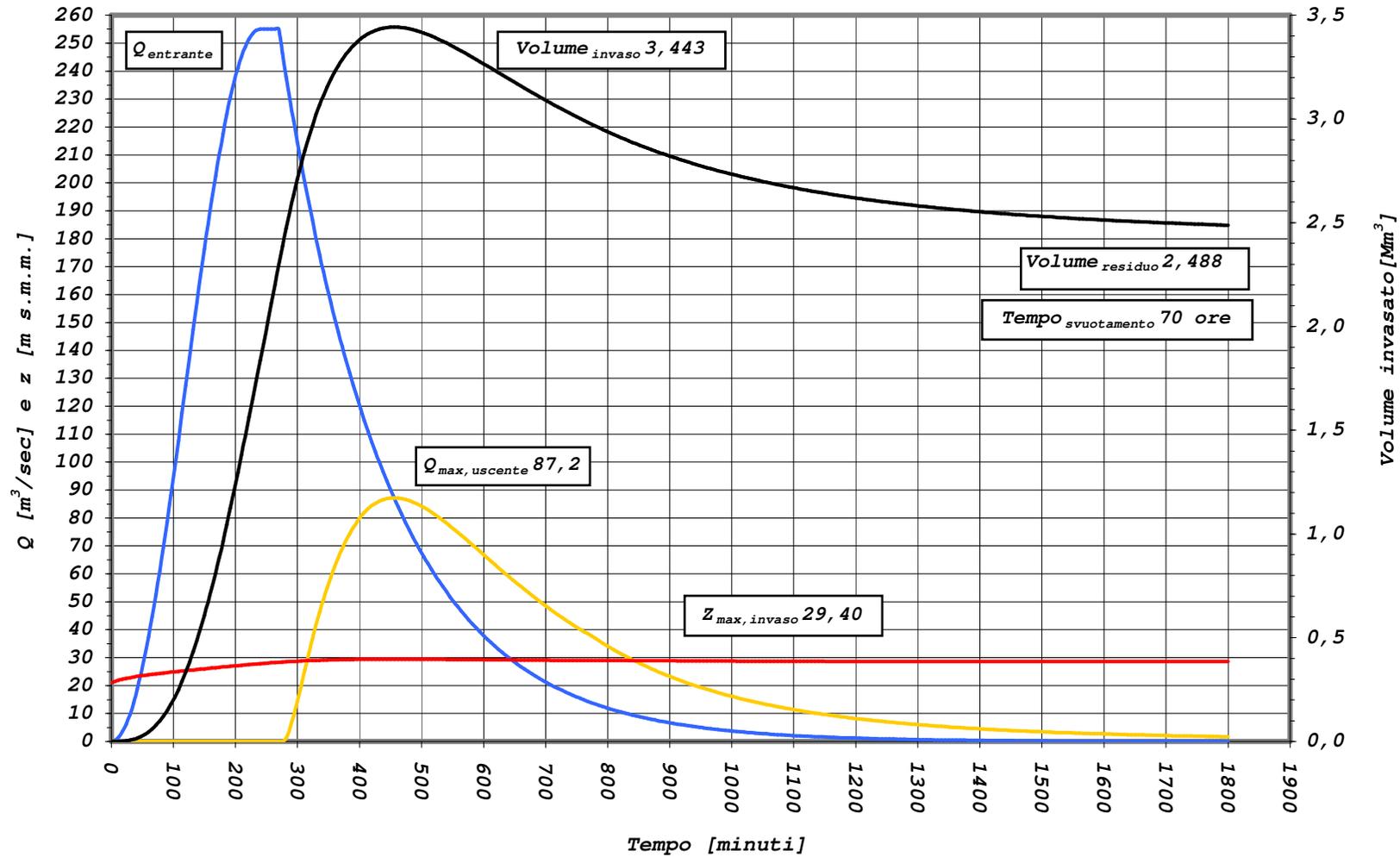
PIENA 500/5/195/0,5 - CASO 2

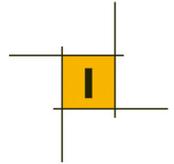




ALLEGATO G

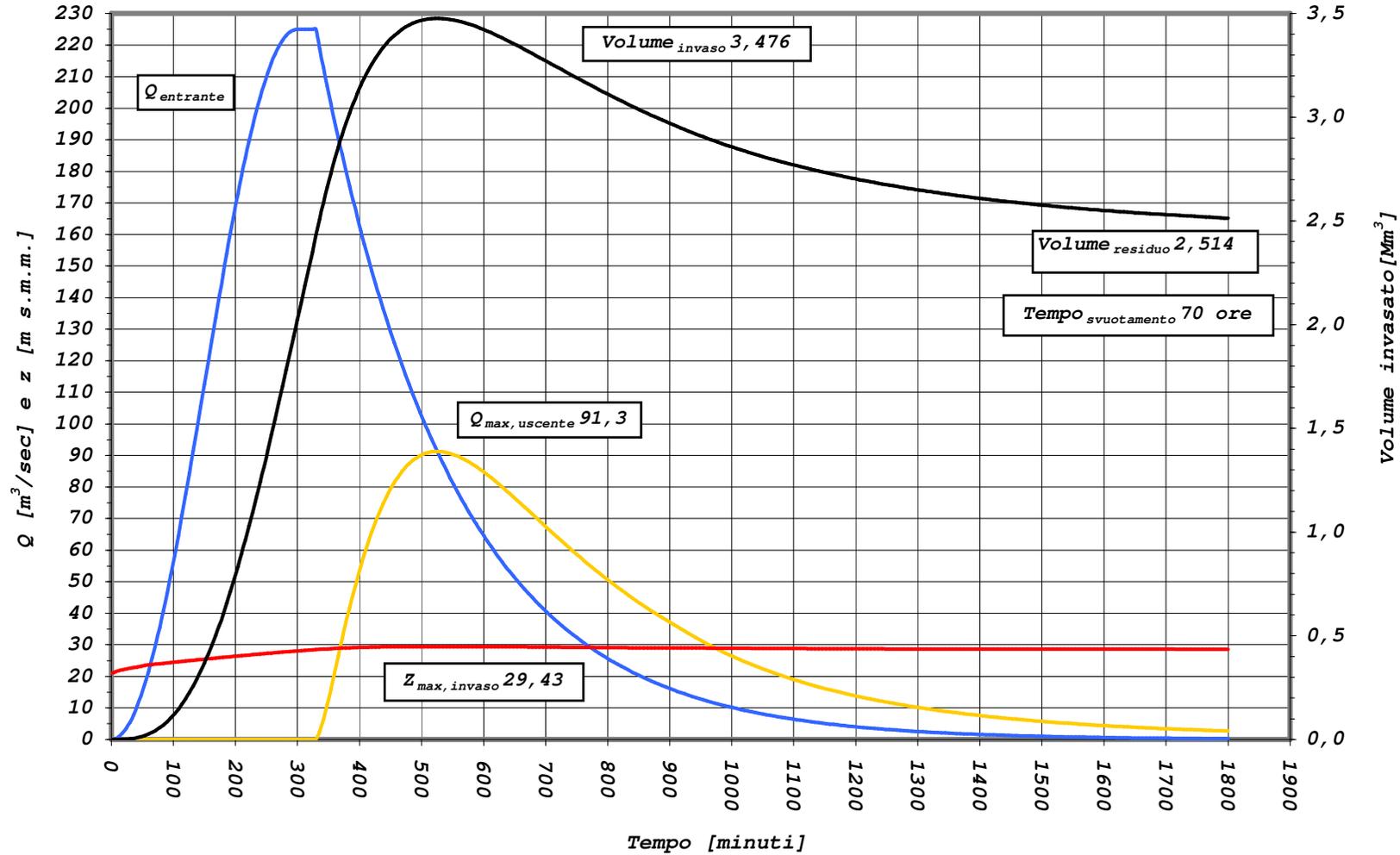
PIENA 1000/4/255/0,5 - CASO 2

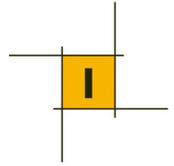




ALLEGATO G

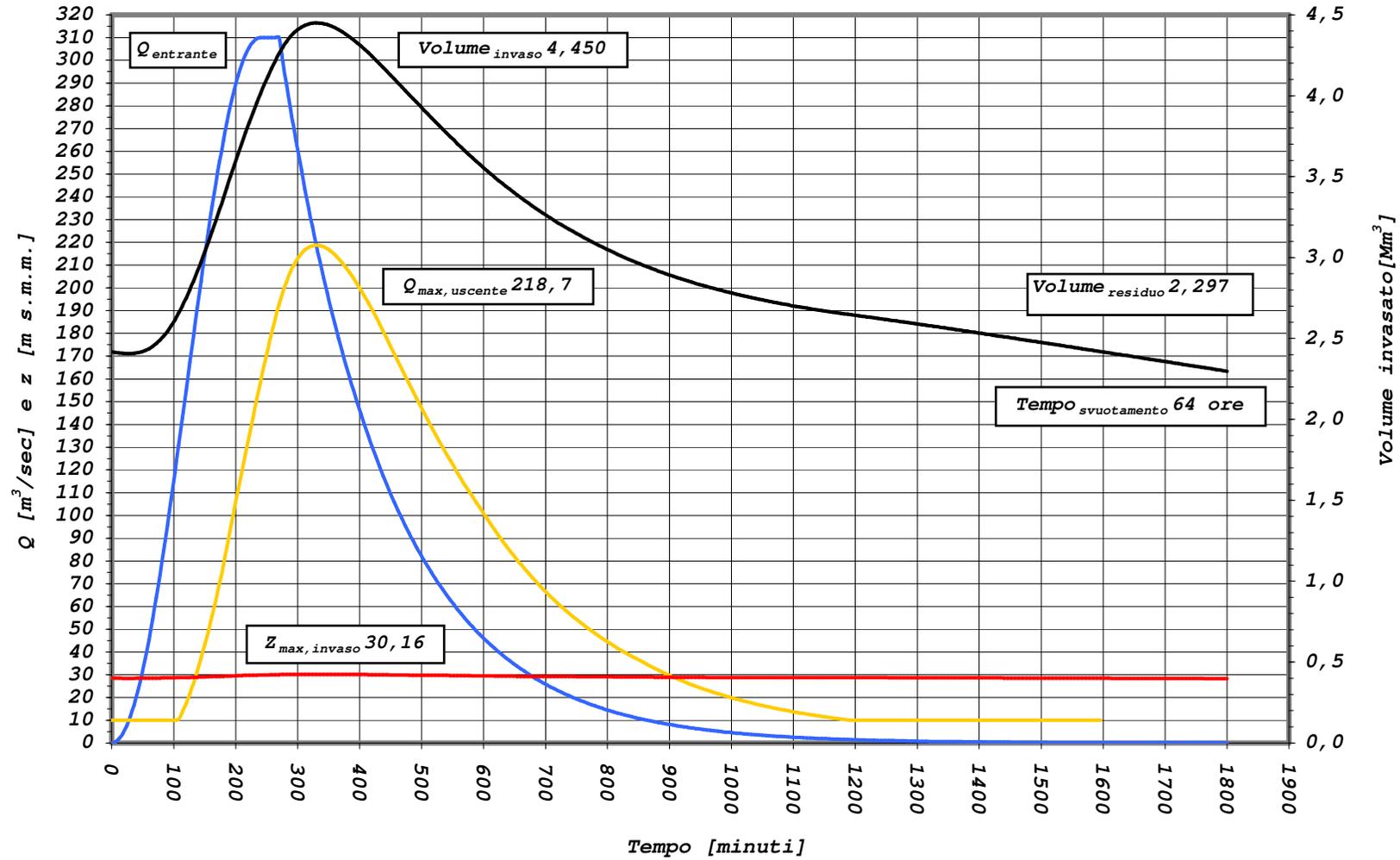
PIENA 1000/5/225/0,5 - CASO 2





ALLEGATO G

PIENA 1000/4/310/0,5 - CASO 3



8 CONCLUSIONI

Si riportano di seguito le tabelle sinottiche riassuntive del comportamento idraulico della vasca in progetto per i vari eventi ipotizzati, dove con Q_c si indica la portata di picco della piena di verifica, con Q_{max} la massima portata scaricata a valle dell'opera, con R_{picco} la riduzione percentuale del picco di piena ottenuta grazie alla laminazione, con V_{max} il volume della vasca utilizzato e con Z_{max} il livello idrico massimo corrispondente nella vasca.

TABELLA XIII - Simulazioni per luce di fondo operativa – CASO 1

T_r [anni]	Q_c [m^3/s]	$Q_{max,scaricata}$ [m^3/s]	R_{picco} %	$V_{max,invaso}$ [Mm^3]	$Z_{max,invaso}$ [m s.m.m.]
100	155	10,0	- 94	2,476	28,55
	135	10,0	- 93	2,572	28,64
200	180	22,8	- 87	2,816	28,87
	160	29,5	- 82	2,890	28,94
500	225	56,9	- 75	2,990	29,18
	195	58,4	- 70	3,188	29,19
1000	255	80,5	- 68	3,386	29,35
	225	84,2	- 63	3,418	29,38

TABELLA XIV - Simulazioni per luce di fondo non operativa – CASO 2

T_r [anni]	Q_c [m^3/s]	$Q_{max,scaricata}$ [m^3/s]	R_{picco} %	$V_{max,invaso}$ [Mm^3]	$Z_{max,invaso}$ [m s.m.m.]
100	155	15,0	- 90	2,718	28,78
	135	19,4	- 86	2,775	28,83
200	180	31,8	- 82	2,914	28,96
	160	38,3	- 76	2,983	29,02
500	225	64,0	- 72	3,240	29,23
	195	65,9	- 66	3,257	29,25
1000	255	87,2	- 66	3,443	29,40
	225	91,3	- 59	3,476	29,43

TABELLA XV - Simulazione per evento estremo – CASO 3

T_r [anni]	Q_c [m^3/s]	$Q_{max,scaricata}$ [m^3/s]	R_{picco} %	$V_{max,invaso}$ [Mm^3]	$Z_{max,invaso}$ [m s.m.m.]
1000	310	218,7	- 29	4,450	30,16

Dai valori riportati nelle precedenti tabelle di evince che l'opera di regolazione in progetto rispetta il valore limite di portata rilasciata a valle di $10,00 \text{ m}^3/\text{s}$ per il caso di funzionamento ordinario (CASO 1) con portate di piena con tempi di ritorno $T_r = 100 \text{ anni}$; le portate relative a tempi di ritorno superiori producono portate in uscita dall'opera di regolazione eccedenti detto valore limite, ma comunque con un abbattimento significativo rispetto ai corrispondenti colmi di piena originari, come evidente dagli elevati valori di R_{picco} .

Ne consegue che il livello di servizio per l'opera in progetto è ricondotto ad eventi di piena con $T_r = 100 \text{ anni}$, con un notevole miglioramento dello scenario *ante operam* in caso di piene con tempi di ritorno superiori.

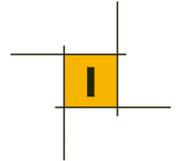
Si sottolinea che, vista la naturale morfologia del fosso in grado di veicolare al suo interno portate di varie decine di mc, in caso di auspicati ulteriori interventi a valle dell'opera in progetto finalizzati a migliorare le condizioni di deflusso nel tratto finale del fosso, come:

- un ulteriore potenziamento della portata di emungimento delle idrovore alla confluenza col Fiume Aniene;
- un aumento della portata convogliabile dall'alveo del fosso ottenuto per mezzo di interventi mirati su alcuni punti critici (ad esempio in corrispondenza di strettoie o ponti, come il ponticello romano sull'antica Via Tiburtina Valeria),

sarà possibile estendere la tutela dall'area soggetta a mitigazione del rischio idrogeologico riuscendo a proteggerla anche in caso di eventi di piena collegati a tempi di ritorno più elevati: se, per esempio, le condizioni di deflusso a valle dell'opera in progetto fossero tali da consentire il rilascio di una portata massima pari a $30 \text{ m}^3/\text{s}$, il livello di servizio dell'opera si innalzerebbe a portate con tempi di ritorno pari a 200 anni .

Ovviamente gli eventi ipotizzati rappresentano solo una schematizzazione utile per le verifiche e rappresentano l'involuppo delle infinite condizioni reali le quali potranno effettivamente verificarsi.

In realtà, vista la gamma delle variabili in gioco quali l'entità della portata massima di piena e il suo volume, l'eventuale livello idrico presente nella vasca a seguito di una precedente piena ancora non smaltita, le condizioni idrauliche del fosso a valle dell'opera in funzione del propagarsi dell'evento meteorico, le condizioni di piena del fiume Aniene, il modo migliore per gestire il sistema sarà tramite un opportuno sistema di monitoraggio in tempo reale dei livelli idrici presenti contemporaneamente nella vasca di accumulo in progetto e alla sezione in cui sono collocate le idrovore; ciò consentirebbe di manovrare opportunamente le paratoie del manufatto di regolazione al fine di modificare, a seconda della particolare distribuzione spazio-temporale dell'evento meteorico in corso, la portata rilasciata e quindi ottimizzare il funzionamento dell'opera.



Ad esempio nel caso in cui l'Aniene non fosse (ancora) in piena potrebbero essere rilasciate a valle dell'opera portate superiori a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, fino a $18 \text{ m}^3/\text{s}$, come evidente alle simulazioni; o, al contrario, nel caso in cui il tratto di fosso a valle dell'opera fosse già in piena potrebbe scegliersi chiudere temporaneamente le luci di fondo azzerando così la portata rilasciata.

Il monitoraggio e la regolazione potrà essere svolto da due operatori presenti contemporaneamente sull'opera in progetto e all'impianto idrovoro in collegamento radio e/o telefonico e potrebbe eventualmente essere automatizzato in seguito con un efficace sistema di telecontrollo.

Tra i possibili funzionamenti dell'opera si può pensare anche ad una chiusura temporanea delle luci di fondo, azzerando così la portata rilasciata, in caso di condizioni di particolare criticità nel tratto finale del fosso.