

CONSORZIO BEALEROTTO MUSSI
DI MIGLIORAMENTO FONDARIO
associato al
Consorzio di irrigazione di II° grado del Pesio

PIANO STRAORDINARIO DI INTERVENTI NEL SETTORE IDRICO
 Legge n 205/2017 art. 1 comma 523

CODICE INTERVENTO: 526/4

CUP: D82B17000680001

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO DELL'APPROVVIGIONAMENTO ED AMMODERNAMENTO
 DEL SISTEMA D'IRRIGAZIONE DELLE AREE IRRIGUE SOTTESE ALL'INVASO PIANFEI,
 VOLTI AL RISPARMIO DELLE RISORSE IDRICHE, NEI COMUNI DI PIANFEI E CHIUSA PESIO

L'UFFICIO TECNICO CONSORTILE:



CONSORZIO DEL PESIO
 Consorzio di irrigazione di II° grado
 12084 MONDOVI - Via G. B. Cottolengo, 13
 Tel. +39(0174)42724 - email : info@consorziodelpesio.it
 pec : posta@pec.consorziodelpesio.it

**CONSORZIO IRRIGUO COMPENSORIO VALLI ELLERO,
 CORSAGLIA, CASOTTO**
 Consorzio di irrigazione di II° grado

12084 MONDOVI - Via G. B. Cottolengo, 13
 Tel. +39(0174)42724 - email : el.cor.ca@tiscali.it / pec : elcorca@pec.it



ASSOCIAZIONE IRRIGAZIONE EST SESIA
 28100 NOVARA - Via Negrini, 7
 Tel. +39(0321)675211 - Fax +39(0321)398458
 email : estsesia.pec@legalmail.it



**CONSORZIO DI BONIFICA DELLA
 BARAGGIA BIELLESE E VERCELLESE**
 13100 VERCELLI - Via Fratelli Bandiera, 16
 Tel. +39(0161)283811 - Fax +39(0161)257425
 email : segreteria@consorziobaraggia.it



(Dott. Ing. Domenico CASTELLI)

DIGA DI PIANFEI
 (Arch. SND N. 906/229)

DATA

MAGGIO 2019

SERIE:

RELAZIONI SPECIALISTICHE

AGGIORNAMENTO

ELABORATO:

ELABORATO N°

R.S. 3.2

**RELAZIONE IDROLOGICA E
 IDRAULICA**

ATTIVITÀ SPECIALISTICHE:

PROGETTO ESECUTIVO

ARCH. 10459E

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
 DELLA FASE PROGETTUALE:

(Dott. Ing. Massimo DEL GAUDIO)

MODIFICHE

Aggiornamento

REV. 01

21/02/2020

CONTROLLO

OPERATORE

CONTROLLO

APPROVAZIONE

Firma

GV

DC

DC

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	ANALISI IDROLOGICA: CALCOLO DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA PER ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO	2
2.1	CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO	9
2.1.1	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c	9
2.1.2	CALCOLO DELLA PORTATA CON IL METODO SCS-CN	9
2.1.3	CALCOLO DELLE PORTATE COL METODO RAZIONALE	15
2.1.4	RIEPILOGO DELLE ELABORAZIONI VOLTE ALLA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO	19
3.	NUOVE OPERE IN PROGETTO: OPERA DI PRESA E SCARICO DI FONDO.....	19
4.	VERIFICHE IDRAULICHE ORGANI DI REGOLAZIONE E DI SCARICO	22
4.1	VERIFICHE IDRAULICHE DEGLI ORGANI DI SCARICO	23
4.1.3	SCARICO DI FONDO	23
4.1.3.1	Perdite distribuite.....	24
4.1.3.2	Perdite di carico concentrate	25
4.1.3.3	Calcolo della portata dello scarico	25
4.2	ABACO DELLO SCARICO DI FONDO	26
4.3	SVUOTAMENTO DEL SERBATOIO	37
5.	VASCA DI DISSIPAZIONE SCARICO DI FONDO	43
6.	PORTATA DI PIENA DI RIFERIMENTO PER LA VERIFICA DELLE OPERE PROVVISORIALI..	46
6.1	VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA DI RIFERIMENTO.....	46
6.2	DESCRIZIONE DELLE OPERE PROVVISORIALI PREVISTE IN PROGETTO.....	49

1. PREMESSA

Le opere in progetto prevedono interventi di adeguamento dell'opera di presa e dello scarico di fondo dello sbarramento di terra di Pianfei, ubicato nel comune di Pianfei.

In particolare, è prevista la realizzazione di un nuovo edificio ubicato in sponda sinistra orografica della diga esistente e di una galleria lunga circa 145 metri avente diametro interno pari a 2,20 m in grado di ospitare le strutture idrauliche (condotte) atte ad esitare le portate irrigue e di scarico.

Da qui nasce, pertanto, l'esigenza di provvedere alle verifiche di carattere idraulico delle nuove opere nella loro nuova funzionalità e dalle normative vigenti.

Si evidenzia come dall'attuale fase esecutiva della progettazione siano stati stralciati gli interventi di adeguamento dello scarico superficiale previsti nella progettazione definitiva datata Luglio 2017 (oggetto di istruttoria tecnica da parte della Direzione Generale per le Dighe con propria relazione N. 23822 in data 24.10.2017) in quanto destinatari di diverso ed apposito finanziamento a valere sui fondi *FSC – 2014 – 2020 Piano Operativo Infrastrutture – Asse tematico D – Linea d'Azione D.4.*

Si osserva anche come dal presente progetto esecutivo si sia anche provveduto a stralciare, rispetto ai contenuti del progetto definitivo datato Luglio 2017 oggetto di istruttoria tecnica da parte della Direzione Generale per le Dighe con propria relazione N. 23822 in data 24.10.2017, la condotta primaria e la rete irrigua sottesa ora destinatari di apposito e distinto finanziamento concesso dal MIPAAF con D.M. 26314 in data 19.06.2019 a valere sui fondi *FSC 2014 – 2020 Piano Operativo Agricoltura - Sottopiano 2 “Interventi nel campo delle infrastrutture irrigue, bonifica idraulica, difesa delle esondazioni, bacini di accumulo e programmi collegati di assistenza tecnica e consulenza”.*

La presente relazione tratterà, quindi, solamente gli aspetti di verifica idraulica per quanto concerne lo scarico di fondo demandando quelli relativi allo scarico superficiale e quelli relativi alle opere irrigue alle rispettive progettazioni esecutive.

In particolare, la presente fase progettuale ottempera anche alla seguente prescrizione di cui alla relazione istruttoria N. 23822 in data 24.10.2017 precedentemente citata ove si osservava:

- *la relazione idrologica e la relazione idraulica devono essere sviluppate con il livello di approfondimento del progetto definitivo. Dovrà essere approfondita la caratterizzazione idrologica dell'area e dovranno essere meglio sviluppati i calcoli di dimensionamento e di verifica delle opere idrauliche in progetto. In particolare dovrà*

essere verificato il tempo di vuotamento del serbatoio nella nuova configurazione degli scarichi;

In tal senso si evidenzia che la presente relazione idrologica ed idraulica, a migliore fruibilità di lettura, è stata integrata con l'inserimento dell'ubicazione geografica delle stazioni di pioggia assunte per la caratterizzazione idrologica del territorio oggetto dell'intervento ed il dettaglio dei valori costituenti le serie meteorologiche nonché i loro parametri caratteristici.

Per quanto concerne le disposizioni del D.M. 24 giugno 2014, il calcolo della portata di massima piena è riferito ad un tempo di ritorno pari a 3.000 anni anziché 1.000 (con conseguente incremento della portata da 24 mc/s a 28 mc/s).

La presente stesura della relazione include anche le valutazioni idrologiche ed idrauliche necessarie al dimensionamento delle opere provvisorie a protezione della cantierizzazione della nuova torre di presa (capitolo 6).

La relazione idrologica è completata con il calcolo del nuovo tempo di svuotamento dell'invaso nella configurazione degli scarichi di progetto (capitolo 4.3).

2. ANALISI IDROLOGICA: CALCOLO DELLE CURVE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA PER ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO

Il presente capitolo è finalizzato alla determinazione della portata al colmo con tempo di ritorno assegnato alla sezione di imposta della diga di Pianfei, in cui sono disponibili le registrazioni pluviometriche delle precipitazioni intense rilevate nelle stazioni viciniori.

Le stazioni sono esterne al bacino, e nello specifico la stazione di Cuneo e Presa C.le Molline sono ubicate ad una distanza di circa 15 km mentre la stazione di Ormea è ubicata a una distanza di circa 30 km.

Codice stazione	Stazione	Quota [m slm]	X UTM [m]	Y UTM [m]	Numero anni disponibili con dati di precipitazione intensa
13036	Cuneo	536	384085	4916679	52
13081	Presa C.le Molline (Montaldo di Mondovì)	620	410559	4910707	45
13072	Ormea	730	412921	4888456	39

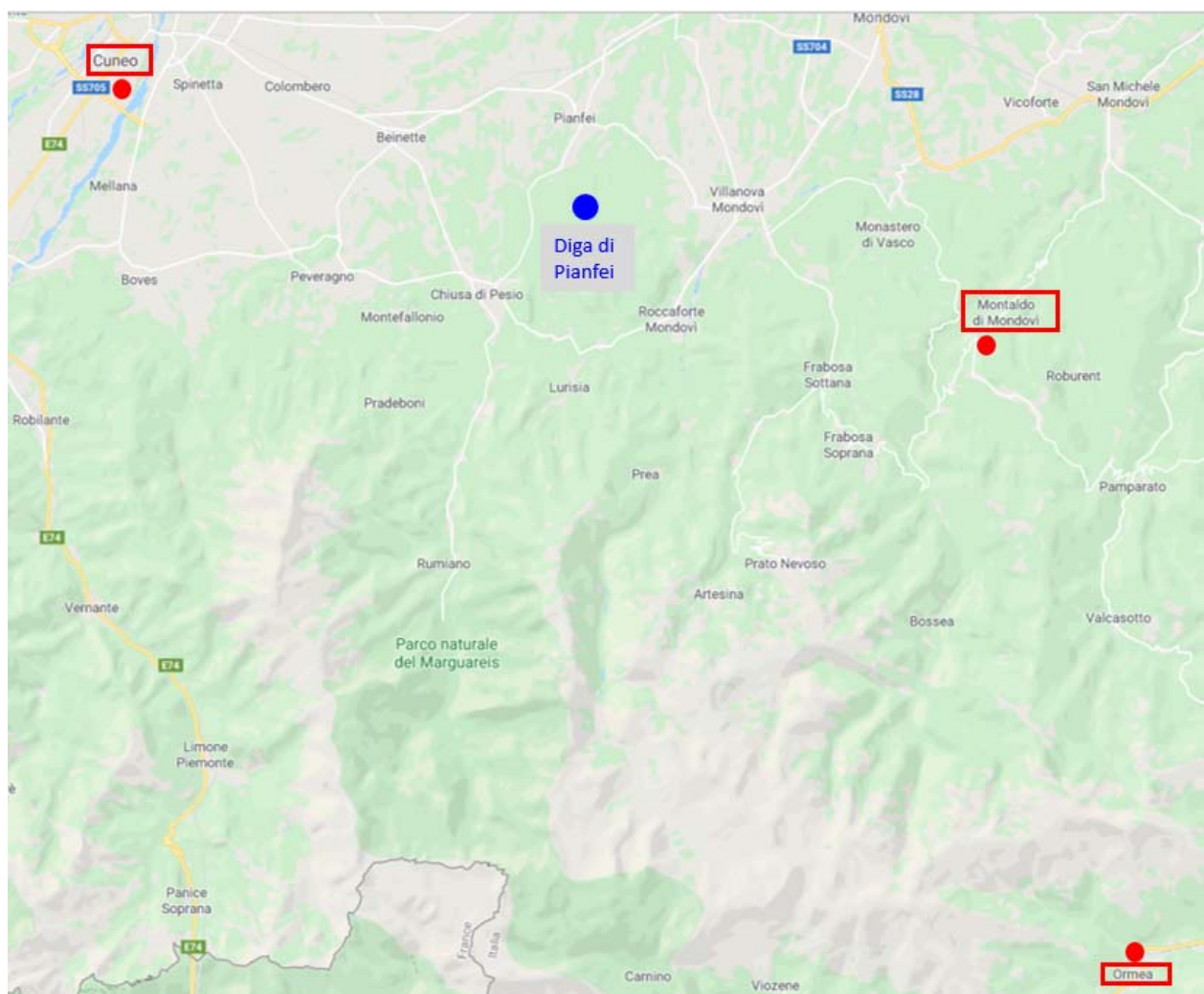
Tabella 1 - Anagrafica delle stazioni pluviometriche utilizzate.

Lo studio idrologico riguarda un'indagine sulle precipitazioni di breve durata e massima intensità per caratterizzare gli eventi gravosi nella loro intensità, durata e frequenza. Tramite

elaborazioni statistiche effettuate sulle registrazioni degli eventi gravosi, ricavati dagli Annali Idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico raccolti dalla Regione Piemonte nella pubblicazione Banca dati climatologica del Piemonte, si giunge a definire le curve di possibilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno.

Da tali curve si deduce l'altezza di precipitazione che si verifica sul bacino per una certa durata di pioggia e con un certo tempo di ritorno: in altre parole si valuta la quantità di pioggia in ingresso nel bacino. Una parte di questa pioggia, però, si perde per effetto di una serie di fenomeni idrologici ancor prima di arrivare alla rete idrografica.

Le stazioni esaminate sono particolarmente significative per l'area in esame perché dotate di una serie storica delle osservazioni orarie particolarmente estesa. Sono state calcolate le curve di possibilità pluviometrica per ogni stazione in parola e quindi applicando si è valutata l'altezza di precipitazione media areale per il bacino sotteso dalla diga di Pianfei.



Nelle seguenti tabelle sono riportati i dati registrati nelle stazioni considerate che saranno utilizzati per le elaborazioni idrologiche.

Serie delle altezze di precipitazioni intense registrate alla stazione 13036 - Cuneo										
Anno	Durata 1h		Durata 3h		Durata 6h		Durata 12h		Durata 24h	
	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]
1933	17 nov.	59.8	17 nov.	61.4	17 nov.	66.8	17 nov.	81.6	16 nov.	108
1934	26 ago.	15	26 ago.	23.8	26 ago.	35.2	26 ago.	50	26 ago.	79.6
1935	3 ago.	35.4	3 ago.	38.8	14 ott.	44.6	13 ott.	54.2	13 ott.	56
1936	18 giu.	46.2	18 giu.	72.4	18 giu.	72.4	18 giu.	72.4	10 mag.	116.8
1937	10 set.	41.4	10 set.	49.6	10 set.	50	10 set.	60.4	21 set.	89
1938	9 lug.	17.2	10 set.	24	9 set.	36.6	9 set.	51.6	9 set.	71.6
1939	20 giu.	25	23 ago.	28	23 ago.	34	2 mag.	45	1 mag.	52.6
1940	21 giu.	22	29 nov.	26.6	30 apr.	32.4	30 apr.	42.2	30 apr.	48
1941	9 lug.	14.4	29 set.	22.8	29 set.	38	2 ott.	57	2 ott.	78.4
1943	6 ott.	26	6 ott.	46.4	6 ott.	90	6 ott.	110	6 ott.	113.2
1944	28 lug.	17	17 apr.	34.4	17 apr.	41	6 ott.	57.6	6 ott.	61.8
1945	31 lug.	28.2	31 lug.	32	31 lug.	32	31 lug.	39.6	30 ott.	53.6
1946	18 apr.	36.6	18 apr.	37.6	18 apr.	37.6	9 mar.	52.6	9 mar.	71
1947	20 giu.	30	27 ago.	38.6	27 ago.	39.8	25 set.	58	25 set.	85
1948	30 giu.	50	30 giu.	56	30 giu.	59	4 mag.	68	3 mag.	125
1949	16 set.	18	2 mag.	34	2 mag.	46	1 mag.	74	1 mag.	114
1950	14 set.	25.6	14 set.	26.8	25 feb.	34	25 feb.	43	21 apr.	58.4
1951	16 lug.	31.6	16 lug.	47.4	16 lug.	62	16 lug.	66	7 nov.	71
1952	2 giu.	23.8	2 giu.	24.4	23 ago.	26	23 ago.	45	23 ago.	48
1953	13 giu.	84	13 giu.	101	13 giu.	113	13 giu.	120	8 giu.	126
1954	12 lug.	17	12 lug.	31	12 lug.	60	12 lug.	91	12 lug.	96
1955	26 lug.	18	26 lug.	18	27 ago.	32	21 ott.	43	21 ott.	43
1956	8 lug.	28	8 lug.	28	25 set.	34	25 set.	36.5	24 set.	55
1957	1 gen.	20	1 giu.	27	1 gen.	37	9 nov.	58	9 nov.	81
1958		17	31 ago.	24	13 nov.	41	13 nov.	60	12 nov.	111
1959	25 set.	44.4	25 set.	45.4	1 dic.	54.4	1 dic.	89.6	1 dic.	136.6
1960	8 giu.	26.4	8 giu.	34.4	18 apr.	45.4	18 apr.	71.2	17 apr.	116.6
1961	10 giu.	23.4	10 giu.	34.2	10 giu.	38	23 apr.	41.4	11 nov.	73.6
1962	8 ott.	20	7 ott.	26	7 ott.	39.4	17 apr.	45.6	17 apr.	76.8
1963	19 set.	25.4	19 set.	34.2	19 set.	35.6	19 set.	38.8	19 set.	61.2
1964	7 lug.	29	15 giu.	51	15 giu.	55.4	15 giu.	55.4	28 ott.	85
1965	8 giu.	20.8	8 giu.	24.2	8 giu.	24.8	8 giu.	24.8	30 set.	43.2
1966	11 lug.	36.6	8 giu.	31	8 giu.	31	8 ott.	35	8 ott.	58
1967	9 giu.	34.8	9 giu.	37.6	5 ago.	65.2	5 ago.	80.2	5 ago.	81.4
1968	27 ago.	40.6	27 ago.	48.4	27 ago.	49.4	8 dic.	52	2 dic.	72.6
1969	6 ago.	34.6	6 ago.	38.2	30 set.	54.4	30 set.	57.4	5 mag.	78
1970	27 giu.	15.6	13 nov.	19	13 nov.	28.4	13 nov.	43	13 nov.	57.4
1971	11 mag.	17	11 mag.	27	11 mag.	38	11 mag.	44	20 mar.	75
1972	6 mag.	26	2 set.	36	2 set.	40	27 lug.	46	15 set.	56

1973	29 mag.	20	29 mag.	48	29 mag.	62.4	18 set.	88	17 set.	111.4
1975	10 ott.	29	15 set.	33.4	15 set.	48.4	3 mag.	66.2	3 mag.	89.6
1976	9 giu.	18.8	19 lug.	32.2	8 mag.	50	8 mag.	78	25 ott.	103
1977	12 gen.	25.2	12 gen.	28.8	30 ago.	36.6	30 ago.	43.4	30 ago.	59.2
1978	15 apr.	9.2	6 apr.	18	6 apr.	33.6	6 apr.	59	6 apr.	91.2
1979	13 lug.	13.6	27 giu.	35	2 lug.	37.8	10 ott.	41.6	10 ott.	57.8
1980	18 ago.	28.6	18 ago.	28.8	27 ago.	32.2	27 ago.	53	27 ago.	75
1981	3 set.	22	3 set.	34	3 set.	44.6	3 set.	63.6	3 set.	78
1982	16 lug.	23.8	16 lug.	23.8	28 nov.	27.6	28 nov.	45	28 nov.	65.4
1983	18 giu.	22.2	18 giu.	30	18 giu.	45	18 giu.	86.4	18 giu.	156.4
1984	15 set.	35.4	15 set.	45	15 set.	45	19 set.	53.4	18 set.	90.6
1985	14 set.	12.8	16 set.	17.6	11 mag.	19.6	11 mag.	33.8	11 mag.	44.6
1986	3 lug.	19.6	28 apr.	28	28 apr.	41.8	28 apr.	51.8	28 apr.	67.4

Serie delle altezze di precipitazioni intense registrate alla stazione 13081 - Presa C.le Molline (Montaldo di Mondovì)										
Anno	Durata 1h		Durata 3h		Durata 6h		Durata 12h		Durata 24h	
	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]
1939	24 feb.	27	24 feb.	43	24 mag.	63	24 feb.	78.4	24 feb.	105
1940	11 giu.	16	17 mag.	28	17 mag.	46	17 mag.	64	17 mag.	70
1941	9 lug.	19.6	29 set.	35	29 set.	70	29 set.	107	29 set.	120
1942	1 ago.	36	1 ago.	43	16 giu.	44	19 giu.	70	19 giu.	84
1943	28 ago.	23.8	19 nov.	37.4	19 nov.	40.4	10 mar.	62.8	9 mar.	89.2
1944	5 ago.	48.4	5 ago.	54	26 ott.	68	25 ott.	105.4	25 ott.	163
1945	30 ott.	17	30 ott.	27	30 ott.	43	30 ott.	65.6	29 ott.	87
1946	23 giu.	12.6	7 lug.	21.6	9 mar.	31.4	9 mar.	55	9 apr.	86.4
1947	23 ago.	29	23 ago.	35.4	23 ago.	44.4	25 set.	72.6	25 set.	109.4
1948	13 set.	52	4 set.	77	4 set.	102.4	4 set.	108	4 set.	112
1949	24 giu.	64	24 giu.	76	24 giu.	83	24 giu.	84.2	1 mag.	105
1950	12 ago.	42.6	12 ago.	46.4	12 ago.	75.2	12 ago.	76	21 apr.	86
1951	11 lug.	24.2	13 mag.	34	8 nov.	40.4	8 nov.	58	7 nov.	81.4
1952	20 giu.	37	20 giu.	50	20 giu.	50	20 giu.	50.8	20 giu.	58
1953	11 set.	32.4	11 set.	43.4	11 set.	55.4	8 giu.	84.8	8 giu.	130.6
1954	12 lug.	22.4	12 lug.	58.8	12 lug.	70.6	12 lug.	136.4	12 lug.	150
1955	29 lug.	20.2	21 ago.	39.8	21 ago.	43.6	21 ago.	50.8	21 ott.	71.2
1956	27 lug.	18	13 nov.	29.8	20 mar.	35.2	22 mar.	53.4	1 nov.	72.4
1957	1 dic.	20	1 dic.	43	1 dic.	63	1 dic.	86.6	1 gen.	109
1958	13 gen.	21.8	13 gen.	36.8	13 gen.	46.8	13 nov.	61	12 nov.	101
1959	18 set.	37	1 dic.	44.6	1 dic.	64.6	1 dic.	99.6	1 dic.	146.4
1960	8 ago.	25	18 apr.	33	18 apr.	60	17 apr.	93	17 apr.	145
1961	10 giu.	18.2	10 giu.	24.4	23 apr.	38	23 apr.	45.8	23 apr.	79.4
1962	28 feb.	24.8	18 apr.	49	18 apr.	70	7 nov.	122	7 nov.	170
1963	6 apr.	33.2	3 gen.	37.4	15 mag.	38	15 mag.	50.8	15 mag.	97.4
1964	24 giu.	30	24 giu.	39.6	24 giu.	39.6	30 mar.	46	30 mar.	64.8
1965	13 mar.	12.6	29 gen.	14.6	25 set.	18.4	30 set.	29	30 set.	55.4
1966	15 set.	20.6	20 mar.	52.4	20 mar.	53	13 feb.	58	13 feb.	65

1967	8 giu.	19	27 dic.	31	27 dic.	36.4	8 giu.	44.6	8 giu.	53.8
1968	24 feb.	31	2 nov.	64	2 nov.	98	1 nov.	134	1 nov.	170
1969	17 ago.	36	17 ago.	41	19 set.	52.6	19 set.	53.6	5 mag.	64
1970	8 ago.	60	8 ago.	72.8	8 ago.	76.2	8 ago.	76.6	8 ago.	76.6
1971	20 lug.	35	20 lug.	36	13 set.	58	9 nov.	64	9 nov.	89
1972	13 lug.	29.8	13 lug.	30.6	5 set.	41.6	5 set.	60	14 set.	74.6
1974	25 ago.	14.8	24 apr.	24.2	30 apr.	24.6	30 apr.	35.2	29 apr.	66.4
1975	9 ott.	11.6	9 ott.	27.6	11 mar.	45	24 ago.	75.2	24 ago.	123.2
1976	8 lug.	36.2	8 lug.	46.2	12 set.	57.2	12 set.	84.2	25 ott.	103
1979	7 ago.	35.2	10 set.	36.6	18 ago.	56.4	18 ago.	93.8	18 ago.	111.8
1980	16 ago.	17.6	16 ago.	31.4	16 ago.	44.4	3 set.	71	3 set.	92.2
1981	9 ago.	29	9 ago.	38.6	3 set.	54.6	31 mar.	87.8	31 mar.	145.8
1982	23 mag.	31	28 lug.	47.4	28 lug.	71.4	8 nov.	83.2	8 nov.	103.6
1983	11 ago.	26.2	11 ago.	39.2	11 ago.	51.2	24 ago.	75	18 giu.	120
1984	24 ago.	36	24 ago.	41.2	19 set.	60	9 ago.	106	8 ago.	140.4
1985	3 giu.	20.4	3 giu.	20.8	2 mar.	30	13 mag.	42.8	12 mag.	69.6
1986	29 mag.	14.6	25 set.	24	2 nov.	42	2 nov.	58.2	2 nov.	60.6

Serie delle altezze di precipitazioni intense registrate alla stazione 13072 - Ormea										
Anno	1h		3h		6h		12h		24h	
	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]	[dd/mm]	[mm]
1934	13 lug.	23.2	5 nov.	29.4	5 nov.	52.4	5 nov.	82.8	14 nov.	101.4
1935	12 mag.	22.2	17 nov.	35.4	17 nov.	57.4	26 dic.	72.6	25 dic.	95
1936	13 nov.	18.5	12 nov.	39.5	12 nov.	60.5	6 nov.	65.4	25 mar.	90.2
1937	29 ott.	28	28 ott.	53	28 ott.	80	28 ott.	100	28 ott.	101.4
1938	10 set.	33	10 set.	53	9 set.	58.6	9 set.	73	9 set.	134.4
1939	5 ago.	16	4 nov.	26	4 nov.	45	4 nov.	65	3 nov.	111.4
1941	29 set.	55	29 set.	96	29 set.	158	29 set.	283	29 set.	300.6
1942	28 ott.	34	28 ott.	39	28 ott.	47	28 ott.	53	27 ott.	71
1943	21 mag.	28	21 mag.	34	16 dic.	44.2	16 dic.	77.6	15 dic.	103
1944	8 lug.	25	8 lug.	44	8 lug.	71.2	8 lug.	71.2	8 lug.	76
1948	4 set.	20	4 set.	49	4 set.	76	4 set.	82	3 set.	102
1949	20 nov.	14	20 nov.	25	19 nov.	39	19 nov.	74	19 nov.	137
1951	29 giu.	13.6	8 nov.	29	8 nov.	49	8 nov.	76	7 nov.	112
1952	9 lug.	21	21 ott.	29	21 ott.	48.6	19 nov.	80	19 nov.	107.6
1953	18 ago.	28.2	18 ago.	39.2	8 giu.	56	8 giu.	80.4	8 giu.	103.2
1954	28 nov.	26.9	28 nov.	80.6	28 nov.	125	28 nov.	171.2	28 nov.	198.4
1955	8 mag.	18.6	20 giu.	29	20 giu.	35	2 feb.	46.6	2 feb.	86
1956	24 set.	19.4	24 set.	32.2	22 mar.	55.2	21 mar.	86.8	21 mar.	109.6
1957	13 giu.	19	12 dic.	38	12 dic.	59	12 dic.	106	12 dic.	150.8
1958	8 ago.	29	1 ott.	37	30 set.	51.2	30 set.	56.8	30 set.	57.4
1959	20 ott.	20	20 ott.	48	20 ott.	80	19 ott.	130	19 ott.	166
1960	4 ago.	25	16 set.	31.6	14 ott.	41.8	14 ott.	56.4	16 set.	67.6
1961	6 ott.	28	6 ott.	39	6 ott.	45	12 nov.	55	11 nov.	98
1962	20 giu.	21.6	7 nov.	48.2	7 nov.	53.6	7 nov.	102	7 nov.	156

1963	12 giu.	17.2	15 mag.	28	15 mag.	41	15 apr.	59	15 mag.	95.4
1964	28 lug.	23.4	28 lug.	37.2	2 apr.	42	2 apr.	50	28 ott.	56.2
1965	28 giu.	27	28 giu.	27	1 ott.	39.6	1 ott.	67.6	30 set.	100.8
1966	15 ott.	18.4	20 apr.	30	20 apr.	31	20 apr.	55	5 dic.	81.4
1968	2 nov.	15	2 nov.	44.8	2 nov.	57.2	2 nov.	93.6	1 nov.	138.2
1969	30 set.	18	5 mag.	35	5 mag.	57	5 mag.	72	5 mag.	87
1970	14 nov.	32	14 nov.	46	13 nov.	54	13 nov.	81	13 nov.	88
1971	11 mag.	25	9 nov.	40	9 nov.	80	9 nov.	102	9 nov.	140
1972	15 gen.	23.8	5 set.	28	5 set.	39.8	19 feb.	49.8	19 feb.	99.6
1973	17 set.	22	24 dic.	40	13 ott.	60	24 dic.	93	24 dic.	149
1974	19 nov.	16.4	18 nov.	21.8	18 nov.	35.6	18 nov.	43.8	2 feb.	65.4
1975	11 giu.	11	11 giu.	24.6	11 giu.	42.2	11 giu.	58	11 giu.	61
1976	27 ago.	21	12 ott.	51.2	12 ott.	71.2	12 ott.	114	12 ott.	130.6
1984	4 ott.	25	4 ott.	43.4	4 ott.	75.4	4 ott.	82.6	19 mag.	87.2
1985	13 mag.	19.4	13 mag.	27.6	13 mag.	54	13 mag.	75.8	12 mag.	109

Le serie storiche dei dati di precipitazione di durata compresa tra una e 24 ore di ogni stazione sono state sottoposte a regolarizzazione probabilistica al fine di determinare le curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 20, 100, 200, 500, 1.000 e 3.000.

Di seguito sono elencati per sommi capi i passi effettuati per regolarizzare le serie temporali riferite a durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, così come rappresentati nelle tabelle precedenti, al fine di determinare successivamente le curve di possibilità pluviometrica.

Ogni serie temporale deve essere ordinata in senso crescente per poter calcolare la frequenza cumulata relativa.

Per ogni serie si calcolano i momenti del primo e secondo ordine ed i parametri caratteristici della distribuzione di Gumbel. Di seguito si riportano le formule utilizzate relativamente calcolo dei principali parametri statistici.

$$\bar{h}_t = \frac{\sum_{i=1}^N h_{i,t}}{N}$$

$$\sigma_{(N-1)_t} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (h_{i,t} - \bar{h}_t)^2}{N-1}}$$

$$u_t = \bar{h}_t - 0.45 \cdot \sigma_{(N-1)_t}$$

$$\alpha_t = \frac{1.283}{\sigma_{(N-1)_t}}$$

Dalla definizione di tempo di ritorno (T) si può calcolare il valore di altezza massima di precipitazione in funzione di T con la seguente formula:

$$h_{i, \max_i} = u_i - \frac{1}{\alpha_i} \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

dove u_i e α_i sono i parametri della distribuzione di Gumbel per ogni serie adattata.

Noti i valori di $h_{i, \max}$ in funzione di del tempo di ritorno T calcolati per le durate dell'evento di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, è possibile determinare i parametri caratteristici a ed n dell'equazione generale della curva di possibilità pluviometrica che è del tipo:

$$h(t) = a \cdot t^n$$

Specializzando l'equazione considerata secondo le ipotesi della distribuzione di Gumbel si può scrivere la relazione che esprime l'altezza h in funzione della durata e del tempo di ritorno:

$$h(t) = a_\mu \cdot (1 + V \cdot K_T) \cdot t^n$$

Dove a_μ ed n possono essere stimati mediante una regressione lineare tra le trasformate logaritmiche delle medie di $h(t)$ e delle loro durate corrispondenti, V è il coefficiente di variazione (dato dal rapporto σ/μ) e K_T è il fattore di frequenza funzione del tempo di ritorno T .

Il coefficiente di variazione può essere stimato come media dei coefficienti di variazione V_i corrispondenti alle diverse durate mediante la:

$$V = \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k V_i^2}$$

dove k indica il numero di durate disponibili.

Il fattore di frequenza per la distribuzione di probabilità di Gumbel è definito come:

- Parametro caratteristico a :

Tempo di ritorno	a [mm]
20	45.11
50	52.49
100	58.02
200	63.53
500	70.79
1000	76.28
3000	84.98

- Parametro caratteristico n :

Tempo di ritorno	n
20	0.406
50	0.404
100	0.403
200	0.401
500	0.399
1000	0.398
3000	0.397

2.1 CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO

2.1.1 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c

Il tempo di corrivazione è stato calcolato con la formula di Giandotti, la cui espressione è la seguente:

$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot H^{0.5}}$$

dove:

A [km²] area del bacino;

H [m] altitudine media sulla sezione di chiusura

L [km] lunghezza dell'asta principale.

Il tempo di corrivazione assume il valore di 0.64 ore.

2.1.2 CALCOLO DELLA PORTATA CON IL METODO SCS-CN

Definito il tempo di ritorno dell'evento meteorologico considerato nonché l'entità della pioggia attesa in funzione della durata della stessa, si sono configurati i criteri scelti per la definizione della modalità di formazione dei deflussi.

Il metodo per il calcolo della portata di piena è quello del Soil Conservation Service. Il metodo consente sia la semplice determinazione del volume della piena o della portata al colmo, sia la completa ricostruzione dell'idrogramma di piena. La determinazione del volume di piena si fonda sull'ipotesi che sia sempre valida la seguente relazione in cui tutte le grandezze sono espresse in mm:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

dove:

V = volume di deflusso

P_n = precipitazione netta

W = invaso del suolo

S = valore minimo dell'invaso del suolo (il volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo)

La precipitazione netta si ottiene sottraendo alla precipitazione totale le perdite iniziali I_a dovute all'immagazzinamento superficiale. La precipitazione netta si ripartisce completamente tra il volume di deflusso superficiale V e l'invaso del suolo:

$$P_n = V + W$$

Con semplici passaggi dalle due relazioni soprascritte si ottiene:

$$V = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

Poiché le perdite iniziali possono essere correlate all'invaso massimo del suolo:

$$I_a = 0,2S$$

e tenendo conto che $P_n = P - I_a$ si ottiene l'espressione utilizzata per calcolare V :

$$V = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Il calcolo di V presuppone oltre alla conoscenza della precipitazione totale P , la stima del massimo invaso S del suolo. La valutazione di S avviene mediante relazione:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

in cui figura il parametro CN , curve number, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il coefficiente CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima sulla base di valori tabellati in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale.

La valutazione di S viene condotta mediante la seguente relazione:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

in cui figura un parametro CN , denominato *curve number*, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori

riportati in apposite tabelle (reperibili in letteratura), in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La stima del CN presuppone, inizialmente, la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati in letteratura; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei corrispondenti valori di S stimati per le singole aree omogenee.

Per la stima del CN si distinguono i seguenti quattro gruppi idrologici denominati A, B, C e D.

- Gruppo A: Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Si tratta di sabbie o ghiaie profonde molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è elevata.
- Gruppo B: Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenati e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.
- Gruppo C: Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio-fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica è bassa.
- Gruppo D: Suoli a elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Gruppi idrologici

Destinazione	Sistemazione	Condizione idrica	A	B	C	D
Incolto			77	86	91	94
Coltivazione in filari	Rittochino	Povera	72	81	88	91
		Buona	67	78	85	89
	Girapoggio	Povera	70	79	84	88
		Buona	65	75	82	86
	Terrazzato	Povera	66	74	80	82
		Buona	62	71	78	81
	Rittochino	Povera	65	76	84	88
		Buona	63	75	83	87
	Girapoggio	Povera	63	74	82	85
		Buona	61	73	81	84
Cereali da granella	Terrazzato	Povera	61	72	79	82
		Buona	59	70	78	81
	Rittochino	Povera	66	77	85	89
		Buona	58	72	81	85
	Girapoggio	Povera	64	75	83	85
		Buona	55	69	78	83
	Terrazzato	Povera	63	73	80	83
		Buona	51	67	76	80
	Prato permanente	Buona	30	58	71	78
		Povera	45	66	77	83
Boschi		Discreta	36	60	73	79
		Buona	25	55	70	77
Strade sterrate			74	84	90	92
Superfici impermeabili e superfici d'acqua			100	100	100	100

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC) e a tal fine va precisato che i valori di CN riportati si riferiscono a condizioni medie del parametro AMC denominate AMCII.

La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta nei cinque giorni precedenti l'evento in esame che consente di definire la condizione di umidità antecedente l'evento (AMCI, AMCII, AMCIII).

Definizione delle condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMC)

Periodo vegetativo	Riposo vegetativo	AMC
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 35 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento minore di 13 mm	I
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 35 e 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento tra 13 e 28 mm	II
Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 53 mm	Altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 28 mm	III

Nel caso in cui si ricada nella condizione *AMCI* (secca) o in quella *AMCIII* (umida) devono essere utilizzati i valori di *CN* riportati nella tabella seguente.

Valori di CN per le condizioni AMCI, AMCII e AMCIII

<i>CN per AMCI</i>	<i>CN per AMCII</i>	<i>CN per AMCIII</i>
100	100	100
87	95	98
78	90	96
70	85	94
63	80	91
57	75	88
51	70	85
45	65	82
40	60	78
35	55	74
31	50	70
26	45	65
22	40	60
18	35	55
15	30	50
12	25	43
9	20	37
6	15	30
4	10	22
2	5	13

In alternativa i valori di *CN* devono essere corretti utilizzando i fattori *FI* e *FIII*, rispettivamente per la condizione secca e per quella umida, aventi le seguenti espressioni:

$$FI = 0,3 + 0,00636 \, CN$$

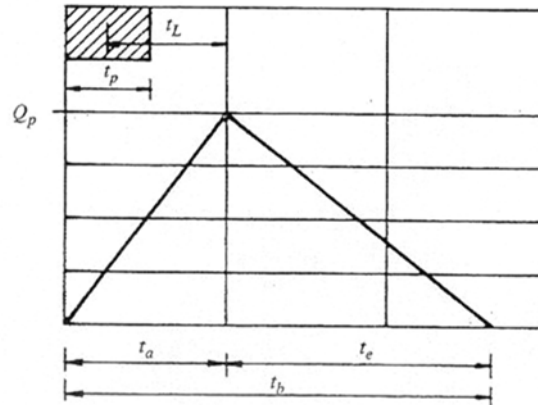
valida per valori di $20 \leq CN \leq 95$, e:

$$FIII = 3,4212 - 1,1999 \log CN$$

valida in tutto il campo dei valori di *CN* ($5 \leq CN \leq 100$)

Dalla teoria dell'idrogramma triangolare derivano le valutazioni circa la costruzione dell'idrogramma del corso d'acqua in studio.

L'idrogramma di base è riportato nella seguente figura.



Noto il volume V è possibile calcolare la portata Q_p considerando un idrogramma appropriato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) e una di esaurimento t_e (tempo di esaurimento).

Esprimendo il volume di deflusso V in mm, il tempo t_a in ore, l'area A del bacino in Km^2 si ottiene:

$$Q_p = 0,208 \frac{VA}{t_a}$$

La determinazione di t_a nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata t_p e indicando con t_r il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dell'idrogramma e il picco dell'idrogramma triangolare) si effettua con la relazione:

$$t_a = 0,5 t_p + t_r$$

Il valore del CN è stato stimato come media ponderale dei corrispondenti valori di S relativi alle aree di utilizzo del suolo utilizzando la classificazione dell'uso del suolo Image2000&CorineLandCover2000 CLC2000, resa disponibile da APAT. Dall'analisi condotta risulta che per il bacino in parola il valore del parametro CN, in condizioni di umidità antecedenti all'evento di tipo II ossia nell'ipotesi che l'altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento sia compresa tra 35 e 55 mm, vale circa 83. Cautelativamente per le verifiche di sicurezza si trasformato il valore di CN_{AMCII} nel valore che compete alla condizione $AMCIII$ (l'altezza di precipitazione caduta nei cinque giorni precedenti l'evento maggiore di 55 mm) ben più gravose che assume quindi il valore di 93.

Essendo stata determinata la curva di probabilità pluviometrica corrispondente ai tempi di ritorno di 20, 501 100, 200, 500, 1000 e 3000 anni è possibile calcolare la precipitazione critica per il bacino, che è quella avente una durata pari al tempo di corrvazione.

Tempo di ritorno	Q(tc)
Tr 20	11
Tr 50	14
Tr 100	16
Tr 200	19
Tr 500	22
Tr 1000	24
Tr 3000	28

2.1.3 CALCOLO DELLE PORTATE COL METODO RAZIONALE

Per la determinazione del valore della portata si è fatto riferimento al metodo razionale. La formula razionale è così strutturata:

$$Q_{\max} = \frac{\varphi \cdot 10^6 \cdot S \cdot h}{3600 \cdot t_c}$$

Il coefficiente φ , di difficile determinazione, è funzione della copertura del suolo, della geomorfologia del medesimo e di ulteriori parametri che ne condizionano il valore.

Associando all'espressione di h il valore rappresentato per il tempo di ritorno prefissato si ottiene la correlazione fra la frequenza dell'evento e la portata ad esso correlata.

La determinazione del coefficiente φ è stato condotto per ogni bacino relazionando diversi valori di φ i quali ne condizionano l'entità finale risultante.

La determinazione del coefficiente di ruscellamento è piuttosto empirica e basata forzatamente sull'ipotesi che detto coefficiente rimanga costante nel tempo e nello spazio nonché sull'esistenza di un rapporto lineare tra la pioggia caduta nel bacino e la portata di deflusso.

In virtù di questa semplificazione, peraltro costituente via obbligata laddove manchino stazioni idrometriche i cui dati di deflusso possano venire relazionati con gli afflussi meteorici in un dato intervallo di tempo, si può procedere correlando il coefficiente di ruscellamento con una serie di parametri caratteristici del bacino in esame.

La definizione analitica del coefficiente di ruscellamento che è stata adottata pertanto è la seguente, che qui proponiamo:

$$\varphi = \varphi_{A,t} \cdot \varphi_i \cdot \varphi_p \cdot \varphi_c \cdot \varphi_e$$

dove:

$\varphi_{A,t}$ = coefficiente dipendente dall'estensione dell'area e del tempo di durata della pioggia

φ_i = coefficiente funzione della pendenza del terreno

φ_p = coefficiente dipendente dalla permeabilità del sottosuolo

- φ_c = coefficiente dipendente dalla copertura vegetale
- φ_e = coefficiente dipendente dalla evapotraspirazione.

Il coefficiente di ruscellamento definito come prodotto dei diversi coefficienti ora elencati tiene conto di molteplici fattori che influiscono, ciascuno a suo modo, sulla relazione tra afflussi meteorici e deflussi.

Così facendo il valore definitivo risulta da considerazioni di ordine idrologico ($\varphi_{A,t}$), geologico (φ_p), morfologico (φ_i) e dall'analisi del tipo di copertura vegetale esistente.

- Coefficiente $\varphi_{A,t}$

Come dimostrato negli studi condotti su dimensionamento e verifica della rete fognaria di Milano, il coefficiente di ruscellamento decresce con l'estendersi dell'area per una pioggia di durata t_p e, a parità di area, decresce per durate di pioggia crescenti.

La relazione proposta per fornire un'espressione numerica di quanto sostenuto è la seguente:

$$\varphi_{A,t} = \frac{t_p}{t_p + 0,118 + 0,00014 \cdot S} \cdot \frac{2385 + 97 \cdot t_p}{S + 2385 + 97 \cdot t_p}$$

- Coefficiente φ_i

Il ruscellamento è funzione anche della pendenza del terreno in quanto, a parità delle altre condizioni, l'irregolarità del terreno, intesa come presenza sommata di effetti di invaso e velo idrico, si fa molto meno sentire per terreni a forte pendenza mentre per terreni pianeggianti trattiene fortemente l'acqua.

Il calcolo φ_i è stato eseguito con la seguente formula:

$$\varphi_i = \frac{i\% + 1}{i\% + 3}$$

- Coefficiente φ_p

Per il calcolo di questo coefficiente, che tiene debito conto della permeabilità teorica del sottosuolo, si è fatto riferimento allo studio geologico dell'area sottesa supportato dalle pubblicazioni a cura di C.S.I. Piemonte - Regione Piemonte - Settore prevenzione del rischio geologico, meteorologico e sismico.

Ciascuna area di competenza del singolo bacino è caratterizzata da un proprio coefficiente di ruscellamento legato alla tipologia di sottosuolo che la contraddistingue.

Forniremo in seguito un elenco di valori proposti per il coefficiente di ruscellamento in funzione del tipo litologico attraversato.

Calcolate le aree di pertinenza dei vari tipi, l'espressione di φ_p è data dalla relazione

$$\varphi_p = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

dove:

φ_i = coefficienti di ruscellamento relativi alla litologia incontrata

A_i = aree dei singoli tipi litologici.

Da studi sperimentali sulla permeabilità del sottosuolo sono stati ricavati i seguenti valori numerici del coefficiente φ_p , correlati in maniera opportuna a determinate caratteristiche geologiche.

Nella seguente tabella vengono esposti i dati risultanti.

Tipo Geologico	φ_p
Gneiss, dioriti, gabbrodioriti	1
calcari, sieniti	0,98
Graniti porfirici	0,96
Porfidi caolinizzati ferrettizzati	
Depositi morenici, terreni alluvionali	0,92
alterati, argillosi	0,88
Sabbie, morene recenti	0,80
Alluvioni recenti	

Il passo successivo è basato sulla determinazione della superficie del tipo litologico, delle sue caratteristiche salienti e, infine, sull'attribuzione del valore più opportuno del coefficiente di ruscellamento.

* Coefficiente φ_c

Al pari della struttura geologica anche la copertura superficiale riveste notevole importanza nello stabilire quale percentuale di afflusso meteorico giunge ad alimentare la rete idrografica.

Analogamente a quanto sviluppato nel calcolo del coefficiente φ_p , per determinare φ_c si è provveduto a definire le aree superficiali in funzione del tipo di copertura, assegnando valori medi probabili del coefficiente φ_c .

L'espressione analitica di φ_c è fornita dalla seguente relazione:

$$\varphi_c = \frac{\sum_{i=1}^k A_i \cdot \varphi_{c_i}}{\sum_{i=1}^k A_i}$$

I valori medi assegnati al coefficiente φ_c in funzione della copertura sono riportati in tabella:

Tipo di Copertura	Coefficiente φ_c
Aree urbane	0,90
Terreni sterili	0,80
Pascoli	0,75
Prati	0,72
Seminativi	0,70
Risaie	0,70
Colture speciali	0,70
Frutteti	0,68
Vigneti	0,68
Boschi	0,65
Ghiacciai	0,00

* Coefficiente φ_e

L'evapotraspirazione è un fenomeno assai importante quando si vuole calcolare il coefficiente di ruscellamento medio annuo di un dato bacino.

Viceversa, esso diventa trascurabile per eventi la cui durata è di poche ore, in modo particolare durante forti temporali, quando la temperatura si abbassa a valori sotto la media del periodo.

Pertanto, essendo quest'ultima situazione del tutto simile al caso in esame, facendo riferimento ai testi consultati, il valore suggerito per il coefficiente è:

$$\varphi_e = 1$$

Riferendoci a quanto esposto sinora, calcolati i valori parziali del coefficiente di ruscellamento, attraverso la formula razionale si giunge a definire l'entità della portata di dimensionamento la cui frequenza di non superamento è determinata dalla curva di possibilità climatica utilizzata.

In considerazione delle analisi svolte si è assunto per il coefficiente φ un valore di 0.75. I

Tempo di ritorno	Q(tc)
Tr 20	13
Tr 50	16
Tr 100	17
Tr 200	19
Tr 500	21
Tr 1000	23
Tr 3000	25

2.1.4 RIEPILOGO DELLE ELABORAZIONI VOLTE ALLA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA PER ASSOCIATO TEMPO DI RITORNO

Il confronto dei risultati ottenuti applicando le due diverse metodologie proposte ha permesso di verificare che le variazioni percentuali tra i valori calcolati applicando metodi che si appoggiano a due diverse ipotesi di lavoro sono un buon viatico per poter giudicare attendibili i valori proposti.

Occorre precisare che il metodo SCS-CN è stato utilizzato nelle condizioni più gravose di umidità antecedente all'evento (condizioni AMCIII). In tal modo si è voluto dare particolare enfasi alla calamitosità dell'evento considerato in relazione anche all'importanza dell'opera.

I valori assunti per la portata di piena per assegnato tempo di ritorno è pari al massimo tra i due valori calcolati così come indicato nella tabella sottostante.

TR [anno]	SCS-CN [a] [m³/s]	M.R. [b] [m³/s]	$100 \frac{[a]-[b]}{[a]}$	Portata di piena di progetto
20	11	13	-18.2	13
50	14	16	-14.3	16
100	16	17	-6.3	17
200	19	19	0.0	19
500	22	21	4.5	22
1000	24	23	4.2	24
3000	28	25	10.7	28

3. NUOVE OPERE IN PROGETTO: OPERA DI PRESA E SCARICO DI FONDO

Il progetto prevede la realizzazione di una nuova opera di presa e di scarico dell'invaso Pianfei (Figura 1). L'opera prevista è costituita da una torre che consentirà di conseguire il duplice beneficio di migliorare l'efficienza idraulica dello scarico di fondo, introducendo inoltre un doppio sezionamento dello stesso attualmente inesistente, e di realizzare l'opera di derivazione a servizio di un comprensorio irriguo di circa 200 ha.

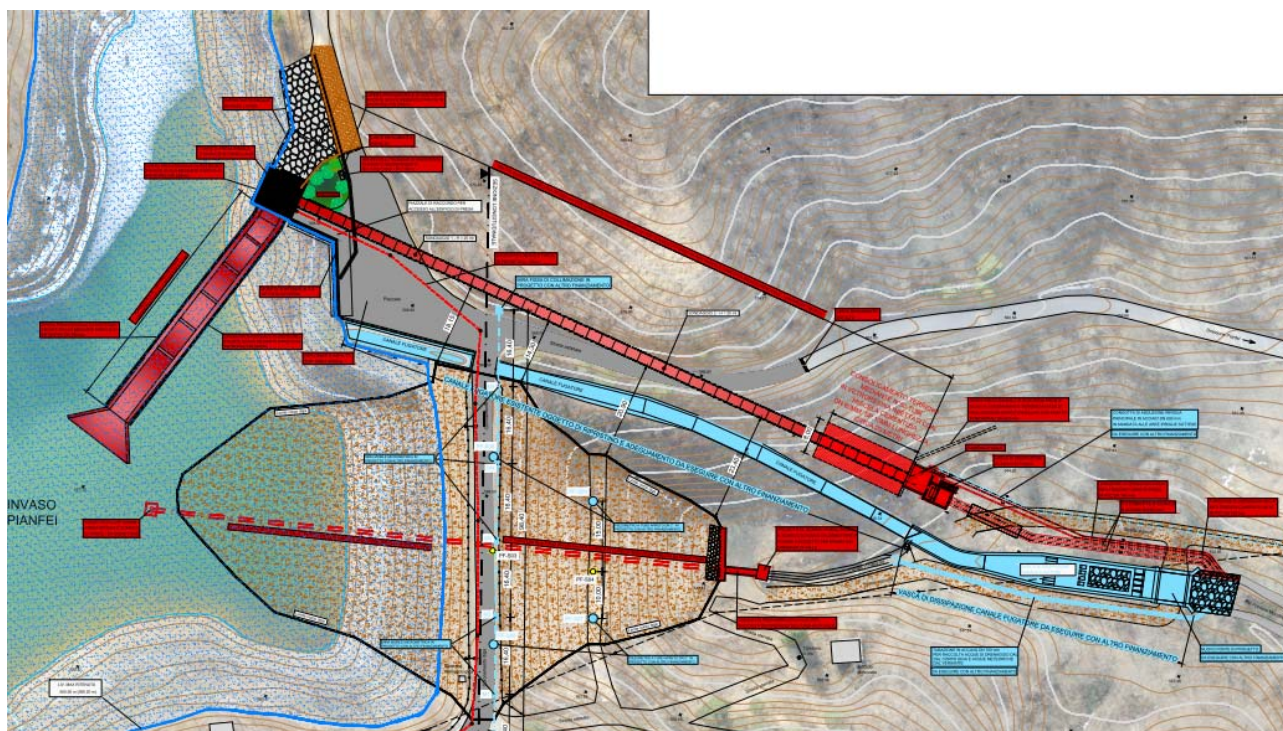


Figura 1 – Planimetria con individuazione delle opere in progetto

La torre, alta circa 25 m con pianta quadrata avente lato esterno di 8.10 m, avrà la duplice funzione di opera di derivazione e di scarico di fondo.

La torre sarà realizzata in prossimità della sponda naturale dell'invaso al di là del canale fuggatore. Lo spessore delle murature è previsto variabile in relazione alle azioni idrostatiche e alla componente idrodinamica indotta dalla tubazione in acciaio che va a formare l'opera di derivazione. I primi 17 metri circa di torre avranno uno spessore delle pareti pari a 0.80 m mentre i restanti avranno uno spessore di 0.60 m. Il locale di controllo, posto in sommità della torre di presa, sarà completamente rivestito in pietra naturale locale per tutta la parte emergente dal terreno ed il tetto sarà realizzato a capanna con orditura principale e secondaria in legname e copertura il laterizio. Nella Figura 2 sono riportate due sezioni trasversali della torre ove sono evidenziate le bocche di presa dell'opera di derivazione e l'imbocco dello scarico di fondo.

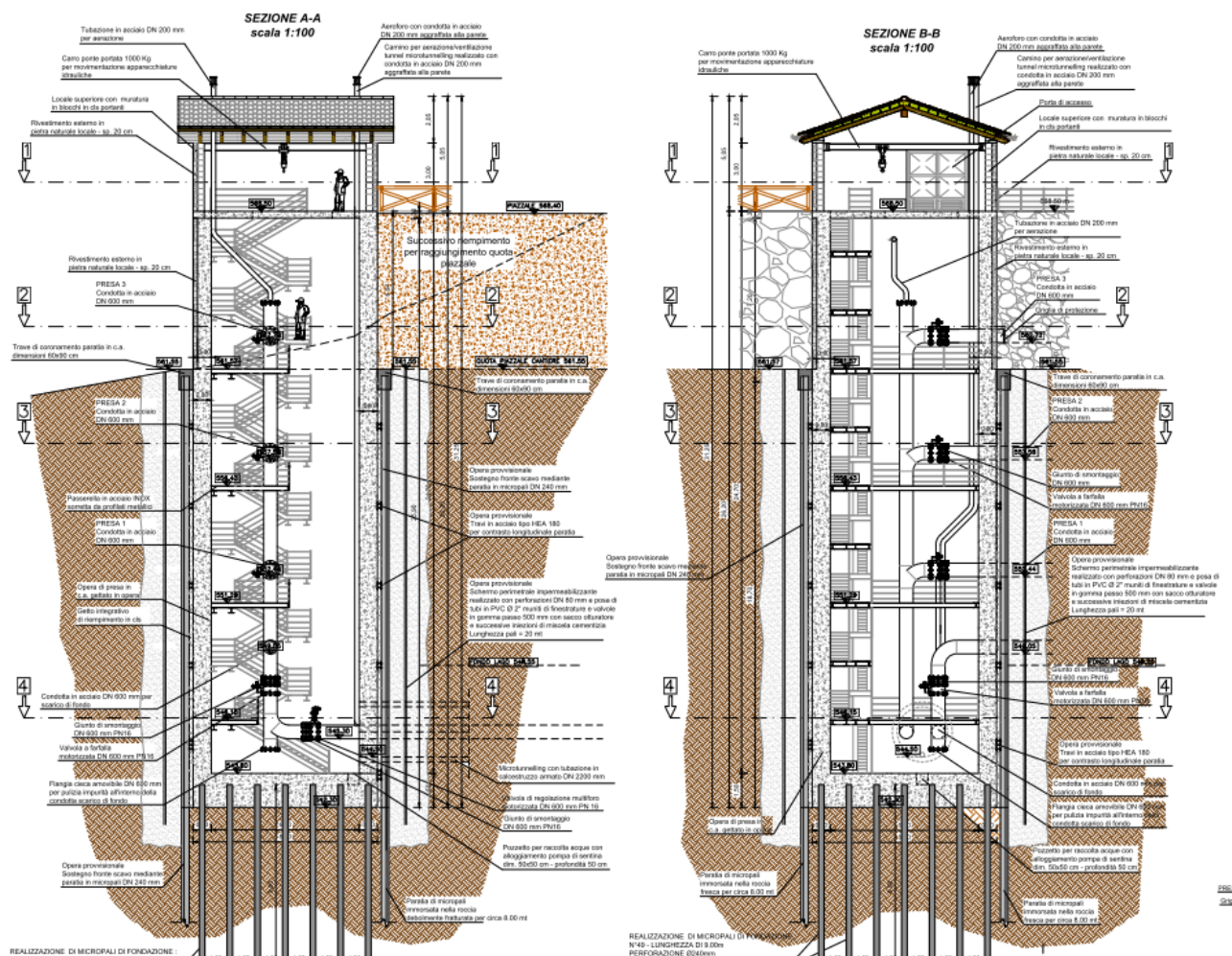


Figura 2 – Torre di presa irrigua e scarico di fondo

Le tre bocche di presa sono previste rispettivamente alle quote di 552.44, 557.58 e 562.72 m s.l.m.m. Le tre prese poste a quote differenti consentiranno di veicolare al comprensorio irriguo acqua avente una temperatura ottimale per le colture in quanto, derivando dalla bocca più prossima al livello di invaso presente al momento, si va ad interrompere la stratificazione termica.

L'imbocco dello scarico di fondo è previsto a quota 549.05 m s.l.m.m. e sarà sezionato mediante l'inserimento di due valvole DN 600 mm. La prima a farfalla a presidio della seconda, del tipo multiforo, cui è demandata la modulazione della portata effluente. Entrambi i sezionamenti saranno motorizzati e comandabili sia localmente che dalla camera di manovra in sommità.

4. VERIFICHE IDRAULICHE ORGANI DI REGOLAZIONE E DI SCARICO

Vengono nel seguito riportate le verifiche idrauliche riferite allo scarico dell'invaso per le quale si è fatto riferimento alle "Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)" approvate con D.M. 26 giugno 2014.

L'opera di sbarramento è caratterizzata da una diga del tipo in terra omogenea, ad andamento planimetrico rettilineo, con pendenza del paramento di valle pari ad 1/2 e pendenza del paramento di monte variabile da 1/3 ad 1/4.

Le principali caratteristiche dell'invaso e dello sbarramento, così come risultanti dal certificato di collaudo del 16.07.1969, nonché dai sopralluoghi e dalle rilevazioni eseguite, sono le seguenti:

- quota del coronamento: 568,00 m s.l.m.m.;
- sviluppo del coronamento: 81,40 m;
- larghezza coronamento: 5,00 m;
- altezza diga: 20,00 m (calcolata come differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del punto più depresso dei paramenti);
- quota massima di regolazione: 565,40 m s.l.m.m.;
- quota di massimo invasore (rivalutata al deflusso della portata con tempo di ritorno 3000 anni): 566,20 m s.l.m.m.;
- franco: 1.80 m;
- pendenza del paramento di valle: 1/2;
- pendenza del paramento di monte: 1/3 ÷ 1/4;
- area del bacino imbrifero diretto: 1,01 km²;
- superficie dello specchio liquido: 0,11 km²;
- volume totale d'invasore: 544314 m³.

Lo scarico di superficie è costituito da uno sfioratore a larga soglia di lunghezza pari a 22,7 m, al quale segue un canale fuggatore a sezione trapezia delle seguenti dimensioni:

- tratto iniziale, in asse al coronamento – sezione n. 1: m 3,2 x 4,6 x 2,4 (b x B x h), pendenza 2%;
- tratto a valle del ponticello stradale di accesso al coronamento – sezione n. 2: m 3,0 x 4,2 x 1,5 (b x B x h), pendenza 2%;

- circa 30 m a valle del suddetto ponticello il canale fugatore presenta una sezione di larghezza pari a circa 3,0 m per un'altezza di circa 1,0 m, con pendenze molto elevate dell'ordine del 30%.

Come già riportato, gli interventi di consolidamento ed adeguamento dello scarico di superficie e del canale fugatore sono oggetto di progettazione distinta e separata finanziata a valere sui fondi *FSC – 2014 – 2020 Piano Operativo Infrastrutture – Asse tematico D – Linea d'Azione D.4.* e, conseguentemente, qui non trattati.

4.1 VERIFICHE IDRAULICHE DEGLI ORGANI DI SCARICO

Nel presente capitolo vengono riportati i calcoli idraulici di verifica dello scarico di superficie esistente e del nuovo scarico di fondo in progetto.

Definite le dimensioni e determinate la capacità di esitare le portate del nuovo scarico di fondo si è potuto stimare il tempo di vuotatura del serbatoio.

4.1.3 SCARICO DI FONDO

Lo scarico di fondo, come si può desumere dall'analisi degli elaborati grafici allegati alla documentazione progettuale, è stato schematizzato come indicato nella figura seguente:

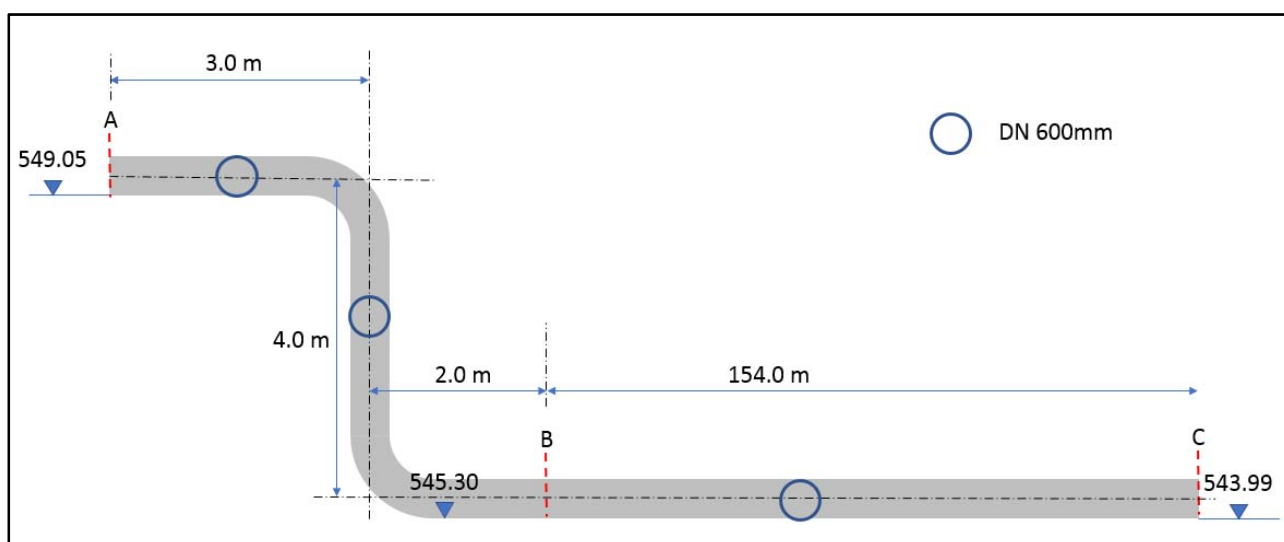


Figura 3 - Schema dello scarico di fondo in progetto

Per il dimensionamento e la verifica dello scarico di fondo si è applicato il teorema di Bernoulli tra la sezione di imbocco e quella della vena affluente a pelo libero in condizioni di totale apertura del dispositivo di regolazione delle portate installato in corrispondenza della sezione B, ottenendo la seguente relazione:

$$Q = \mu A \sqrt{2g \cdot (H - \Delta h_{AC})}$$

dove Q è la portata effluente, μ è il coefficiente di efflusso pari a 0,82 (si ha contrazione della vena affluente altrimenti, nel caso in cui non si abbia, è posto pari a 1), A è l'area della sezione, H è il carico a monte dell'imbocco rispetto al baricentro della sezione ristretta e $H - \Delta h_{AC}$ sono le perdite di carico complessive.

Il termine Δh_{AC} comprende sia le perdite distribuite Δh_d che quelle concentrate.

4.1.3.1 Perdite distribuite

Le perdite distribuite lungo il percorso sono state valutate adottando la formula di Chézy:

$$V_c = \chi \sqrt{R_j}$$

dove V_c è la velocità media nel condotto che precede la paratoia.

L'indice di resistenza χ è stato valutato secondo Gauckler– Strickler con l'usuale formula:

$$\chi = K_s \cdot R^{1/6}$$

considerando $K_s = 85 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ (valore scelto tenendo presente che la corrente può trasportare materiali solidi).

Le perdite distribuite totali, facendo riferimento alla Figura 3, valgono quindi:

$$\Delta h_d = Q^2 \left(\frac{L}{A^2 \cdot R^{4/3} \cdot K_s^2} \right)$$

in cui L è la lunghezza totale della condotta dello scarico di fondo pari a 163,0 m ed avente le seguenti caratteristiche idrauliche:

	Lunghezza [m]	Area [m²]	Contorno bagnato [m]	Raggio idraulico [m]
Tubo DN 600	163,00	0,283	1.885	0,150

e quindi:

$$\Delta h_d = Q^2 \left(\frac{163,00}{0,283^2 \cdot 0,150^{4/3} \cdot 85^2} \right) = 3,541 \cdot Q^2 (m)$$

4.1.3.2 Perdite di carico concentrate

La valutazione delle perdite di carico concentrate nei tratti interessati da singolarità sono state calcolate utilizzando le seguenti espressioni determinate in base alla geometria dell'opera ed alla conseguente configurazione della corrente:

- Perdite concentrate all'imbocco dello scarico:

$$\Delta h_{AB,i} = K_1 \frac{V_1^2}{2g}$$

con $K_1 = 1.20$ dove $V_1 = \frac{Q}{A}$ (Q = portata allo scarico e A sezione della condotta dello scarico di fondo)

- Perdite concentrate per effetto delle 2 curve a 90°:

$$\Delta h_{AB,90^\circ} = 2 \cdot K_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

con $K_2 = 0.16$ (r/D=2.5, $\vartheta = 90^\circ$)

- Perdite concentrate valvola di regolazione:

$$\Delta h_B = K_3 \frac{V_3^2}{2g}$$

con $K_3 = 0.5$

- Perdite concentrate per sbocco libero:

$$\Delta h_C = K_4 \frac{V_4^2}{2g}$$

con $K_4 = 1.0$

Le perdite di carico concentrate totali risultano dalla somma delle componenti testè elencate, ottenendo quindi la seguente espressione:

$$\Delta h_c = \Delta h_{AB,i} + \Delta h_{AB,90^\circ} + \Delta h_B + \Delta h_C = (1.2 + 2 \cdot 0.16 + 0.5 + 1.0) \frac{Q^2}{2 \cdot 9.81 \cdot 0.283} = 0.544 \cdot Q^2$$

4.1.3.3 Calcolo della portata dello scarico

Sostituendo i valori precedentemente trovati, che esprimono l'entità delle perdite di carico concentrate e distribuite in funzione della portata esitata dalla tubazione, nella relazione di partenza dedotta dall'applicazione del teorema di Bernoulli, si ottiene l'equazione della portata dello scarico di fondo in funzione del carico idraulico dato dal livello idrico dell'invaso.

L'equazione:

$$Q = \mu \cdot A \sqrt{2g \cdot (H - \Delta h_{AD})}$$

può, quindi, essere scritta come:

$$Q = 0.82 \cdot 0.283 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81 \cdot [H - (0.544 \cdot Q^2 + 3.541 \cdot Q^2)]} \cong 0,446 \cdot \sqrt{H} \quad (m^3/s)$$

Da questa equazione si ricavano le portate corrispondenti alle quote di massimo invaso e di massima regolazione:

- **Quota di massimo invaso**

La quota di massimo invaso è pari a 566,20 m s.l.m. alla quale corrisponde un carico idraulico sull'asse tubo (quota sbocco asse tubo 544,29 m s.l.m.m.) di circa 21.91 m:

A tale valore del carico corrisponde una portata esitata di:

$$Q = 0,446 \cdot \sqrt{21.91} \cong 2,09 \text{ m}^3/s$$

Quota massima di regolazione

La quota di massima regolazione è di 565,40 m s.l.m. cui corrisponde un carico idraulico sull'asse tubo di 21.11 m. La portata esitata alla quota in parola è pari a:

$$Q = 0,446 \cdot \sqrt{21.11} \cong 2,05 \text{ m}^3/s$$

4.2 ABACO DELLO SCARICO DI FONDO

L'abaco dello scarico di fondo è stato calcolato generalizzando la formula determinata nel capitolo precedente relativo al dimensionamento dello scarico medesimo.

L'equazione generale, che lega la portata affluente al grado di apertura della valvola di regolazione, può essere riscritta nel caso specifico come indicato di seguito:

$$Q = \sqrt{\frac{H}{\frac{1}{2g\mu^2(\omega A)^2} + \Delta h_d + \Delta h_c}}$$

dove con ω si è indicata la percentuale di apertura della valvola di regolazione e con H il valore del carico idraulico corrispondente al livello dell'invaso riferito all'asse della condotta nella sezione di sbocco.

Nelle tabelle a seguire sono riportate le portate esitate dallo scarico al variare della percentuale di apertura della valvola di regolazione in funzione del livello dell'invaso.

Livello invaso Q m s.l.m.m.	Carico idraulico H m	Percentuale di apertura della valvola di regolazione									
		0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50
544.29	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
544.39	0.10	0.016	0.032	0.047	0.060	0.072	0.083	0.092	0.100	0.107	0.113
544.49	0.20	0.023	0.045	0.066	0.085	0.102	0.117	0.130	0.141	0.151	0.159
544.59	0.30	0.028	0.055	0.081	0.104	0.125	0.143	0.159	0.173	0.185	0.195
544.69	0.40	0.032	0.064	0.093	0.120	0.144	0.165	0.184	0.200	0.214	0.225
544.79	0.50	0.036	0.071	0.104	0.134	0.161	0.185	0.206	0.223	0.239	0.252
544.89	0.60	0.040	0.078	0.114	0.147	0.177	0.203	0.225	0.245	0.262	0.276
544.99	0.70	0.043	0.084	0.123	0.159	0.191	0.219	0.243	0.264	0.283	0.298
545.09	0.80	0.046	0.090	0.132	0.170	0.204	0.234	0.260	0.283	0.302	0.319
545.19	0.90	0.048	0.095	0.140	0.180	0.216	0.248	0.276	0.300	0.320	0.338
545.29	1.00	0.051	0.101	0.147	0.190	0.228	0.262	0.291	0.316	0.338	0.356
545.39	1.10	0.054	0.105	0.154	0.199	0.239	0.274	0.305	0.331	0.354	0.374
545.49	1.20	0.056	0.110	0.161	0.208	0.250	0.286	0.319	0.346	0.370	0.390
545.59	1.30	0.058	0.115	0.168	0.216	0.260	0.298	0.332	0.360	0.385	0.406
545.69	1.40	0.060	0.119	0.174	0.224	0.270	0.309	0.344	0.374	0.400	0.422
545.79	1.50	0.063	0.123	0.180	0.232	0.279	0.320	0.356	0.387	0.414	0.436
545.89	1.60	0.065	0.127	0.186	0.240	0.288	0.331	0.368	0.400	0.427	0.451
545.99	1.70	0.067	0.131	0.192	0.247	0.297	0.341	0.379	0.412	0.440	0.465
546.09	1.80	0.069	0.135	0.197	0.255	0.306	0.351	0.390	0.424	0.453	0.478
546.19	1.90	0.070	0.139	0.203	0.261	0.314	0.360	0.401	0.436	0.466	0.491
546.29	2.00	0.072	0.142	0.208	0.268	0.322	0.370	0.411	0.447	0.478	0.504
546.39	2.10	0.074	0.146	0.213	0.275	0.330	0.379	0.421	0.458	0.489	0.516
546.49	2.20	0.076	0.149	0.218	0.281	0.338	0.388	0.431	0.469	0.501	0.528
546.59	2.30	0.077	0.152	0.223	0.288	0.346	0.397	0.441	0.479	0.512	0.540
546.69	2.40	0.079	0.156	0.228	0.294	0.353	0.405	0.451	0.490	0.523	0.552
546.79	2.50	0.081	0.159	0.233	0.300	0.360	0.414	0.460	0.500	0.534	0.563
546.89	2.60	0.082	0.162	0.237	0.306	0.367	0.422	0.469	0.510	0.545	0.574
546.99	2.70	0.084	0.165	0.242	0.312	0.374	0.430	0.478	0.519	0.555	0.585
547.09	2.80	0.085	0.168	0.246	0.317	0.381	0.438	0.487	0.529	0.565	0.596
547.19	2.90	0.087	0.171	0.250	0.323	0.388	0.445	0.495	0.538	0.575	0.607
547.29	3.00	0.088	0.174	0.255	0.329	0.395	0.453	0.504	0.547	0.585	0.617
547.39	3.10	0.090	0.177	0.259	0.334	0.401	0.460	0.512	0.556	0.595	0.627
547.49	3.20	0.091	0.180	0.263	0.339	0.408	0.468	0.520	0.565	0.604	0.637
547.59	3.30	0.093	0.183	0.267	0.345	0.414	0.475	0.528	0.574	0.614	0.647
547.69	3.40	0.094	0.185	0.271	0.350	0.420	0.482	0.536	0.583	0.623	0.657
547.79	3.50	0.096	0.188	0.275	0.355	0.426	0.489	0.544	0.591	0.632	0.667
547.89	3.60	0.097	0.191	0.279	0.360	0.432	0.496	0.552	0.600	0.641	0.676
547.99	3.70	0.098	0.193	0.283	0.365	0.438	0.503	0.559	0.608	0.650	0.685
548.09	3.80	0.100	0.196	0.287	0.370	0.444	0.510	0.567	0.616	0.658	0.695
548.19	3.90	0.101	0.199	0.290	0.375	0.450	0.516	0.574	0.624	0.667	0.704
548.29	4.00	0.102	0.201	0.294	0.379	0.456	0.523	0.582	0.632	0.675	0.713
548.39	4.10	0.103	0.204	0.298	0.384	0.461	0.530	0.589	0.640	0.684	0.721
548.49	4.20	0.105	0.206	0.301	0.389	0.467	0.536	0.596	0.648	0.692	0.730

548.59	4.30	0.106	0.209	0.305	0.393	0.473	0.542	0.603	0.655	0.700	0.739
548.69	4.40	0.107	0.211	0.309	0.398	0.478	0.549	0.610	0.663	0.708	0.747
548.79	4.50	0.108	0.213	0.312	0.402	0.483	0.555	0.617	0.670	0.716	0.756
548.89	4.60	0.110	0.216	0.315	0.407	0.489	0.561	0.624	0.678	0.724	0.764
548.99	4.70	0.111	0.218	0.319	0.411	0.494	0.567	0.630	0.685	0.732	0.772
549.09	4.80	0.112	0.220	0.322	0.416	0.499	0.573	0.637	0.692	0.740	0.781
549.19	4.90	0.113	0.223	0.326	0.420	0.504	0.579	0.644	0.700	0.748	0.789
549.29	5.00	0.114	0.225	0.329	0.424	0.510	0.585	0.650	0.707	0.755	0.797
549.39	5.10	0.115	0.227	0.332	0.428	0.515	0.591	0.657	0.714	0.763	0.805
549.49	5.20	0.116	0.229	0.335	0.433	0.520	0.596	0.663	0.721	0.770	0.812
549.59	5.30	0.118	0.231	0.339	0.437	0.525	0.602	0.669	0.728	0.777	0.820
549.69	5.40	0.119	0.234	0.342	0.441	0.530	0.608	0.676	0.734	0.785	0.828
549.79	5.50	0.120	0.236	0.345	0.445	0.534	0.613	0.682	0.741	0.792	0.836
549.89	5.60	0.121	0.238	0.348	0.449	0.539	0.619	0.688	0.748	0.799	0.843
549.99	5.70	0.122	0.240	0.351	0.453	0.544	0.624	0.694	0.755	0.806	0.851
550.09	5.80	0.123	0.242	0.354	0.457	0.549	0.630	0.700	0.761	0.813	0.858
550.19	5.90	0.124	0.244	0.357	0.461	0.554	0.635	0.706	0.768	0.820	0.865
550.29	6.00	0.125	0.246	0.360	0.465	0.558	0.641	0.712	0.774	0.827	0.873
550.39	6.10	0.126	0.248	0.363	0.469	0.563	0.646	0.718	0.781	0.834	0.880
550.49	6.20	0.127	0.250	0.366	0.472	0.567	0.651	0.724	0.787	0.841	0.887
550.59	6.30	0.128	0.252	0.369	0.476	0.572	0.656	0.730	0.793	0.848	0.894
550.69	6.40	0.129	0.254	0.372	0.480	0.577	0.662	0.736	0.800	0.854	0.901
550.79	6.50	0.130	0.256	0.375	0.484	0.581	0.667	0.741	0.806	0.861	0.908
550.89	6.60	0.131	0.258	0.378	0.487	0.585	0.672	0.747	0.812	0.868	0.915
550.99	6.70	0.132	0.260	0.381	0.491	0.590	0.677	0.753	0.818	0.874	0.922
551.09	6.80	0.133	0.262	0.384	0.495	0.594	0.682	0.758	0.824	0.881	0.929
551.19	6.90	0.134	0.264	0.386	0.498	0.599	0.687	0.764	0.830	0.887	0.936
551.29	7.00	0.135	0.266	0.389	0.502	0.603	0.692	0.769	0.836	0.894	0.943
551.39	7.10	0.136	0.268	0.392	0.505	0.607	0.697	0.775	0.842	0.900	0.949
551.49	7.20	0.137	0.270	0.395	0.509	0.611	0.702	0.780	0.848	0.906	0.956
551.59	7.30	0.138	0.272	0.397	0.513	0.616	0.707	0.786	0.854	0.912	0.963
551.69	7.40	0.139	0.274	0.400	0.516	0.620	0.711	0.791	0.860	0.919	0.969
551.79	7.50	0.140	0.275	0.403	0.520	0.624	0.716	0.796	0.866	0.925	0.976
551.89	7.60	0.141	0.277	0.405	0.523	0.628	0.721	0.802	0.871	0.931	0.982
551.99	7.70	0.142	0.279	0.408	0.526	0.632	0.726	0.807	0.877	0.937	0.989
552.09	7.80	0.143	0.281	0.411	0.530	0.636	0.730	0.812	0.883	0.943	0.995
552.19	7.90	0.144	0.283	0.413	0.533	0.641	0.735	0.817	0.888	0.949	1.001
552.29	8.00	0.144	0.284	0.416	0.537	0.645	0.740	0.822	0.894	0.955	1.008
552.39	8.10	0.145	0.286	0.419	0.540	0.649	0.744	0.828	0.899	0.961	1.014
552.49	8.20	0.146	0.288	0.421	0.543	0.653	0.749	0.833	0.905	0.967	1.020
552.59	8.30	0.147	0.290	0.424	0.547	0.657	0.753	0.838	0.911	0.973	1.026
552.69	8.40	0.148	0.291	0.426	0.550	0.660	0.758	0.843	0.916	0.979	1.033
552.79	8.50	0.149	0.293	0.429	0.553	0.664	0.762	0.848	0.921	0.985	1.039
552.89	8.60	0.150	0.295	0.431	0.556	0.668	0.767	0.853	0.927	0.990	1.045
552.99	8.70	0.151	0.297	0.434	0.560	0.672	0.771	0.858	0.932	0.996	1.051
553.09	8.80	0.152	0.298	0.436	0.563	0.676	0.776	0.863	0.938	1.002	1.057

553.19	8.90	0.152	0.300	0.439	0.566	0.680	0.780	0.868	0.943	1.008	1.063
553.29	9.00	0.153	0.302	0.441	0.569	0.684	0.785	0.872	0.948	1.013	1.069
553.39	9.10	0.154	0.303	0.444	0.572	0.687	0.789	0.877	0.953	1.019	1.075
553.49	9.20	0.155	0.305	0.446	0.575	0.691	0.793	0.882	0.959	1.024	1.081
553.59	9.30	0.156	0.307	0.449	0.578	0.695	0.798	0.887	0.964	1.030	1.087
553.69	9.40	0.157	0.308	0.451	0.582	0.699	0.802	0.892	0.969	1.035	1.092
553.79	9.50	0.157	0.310	0.453	0.585	0.702	0.806	0.896	0.974	1.041	1.098
553.89	9.60	0.158	0.312	0.456	0.588	0.706	0.810	0.901	0.979	1.046	1.104
553.99	9.70	0.159	0.313	0.458	0.591	0.710	0.815	0.906	0.984	1.052	1.110
554.09	9.80	0.160	0.315	0.460	0.594	0.713	0.819	0.910	0.989	1.057	1.115
554.19	9.90	0.161	0.316	0.463	0.597	0.717	0.823	0.915	0.994	1.063	1.121
554.29	10.00	0.162	0.318	0.465	0.600	0.721	0.827	0.920	0.999	1.068	1.127
554.39	10.10	0.162	0.320	0.467	0.603	0.724	0.831	0.924	1.004	1.073	1.132
554.49	10.20	0.163	0.321	0.470	0.606	0.728	0.835	0.929	1.009	1.079	1.138
554.59	10.30	0.164	0.323	0.472	0.609	0.731	0.839	0.933	1.014	1.084	1.143
554.69	10.40	0.165	0.324	0.474	0.612	0.735	0.843	0.938	1.019	1.089	1.149
554.79	10.50	0.165	0.326	0.477	0.615	0.738	0.847	0.942	1.024	1.094	1.154
554.89	10.60	0.166	0.327	0.479	0.618	0.742	0.851	0.947	1.029	1.100	1.160
554.99	10.70	0.167	0.329	0.481	0.621	0.745	0.855	0.951	1.034	1.105	1.165
555.09	10.80	0.168	0.330	0.483	0.623	0.749	0.859	0.956	1.039	1.110	1.171
555.19	10.90	0.169	0.332	0.486	0.626	0.752	0.863	0.960	1.043	1.115	1.176
555.29	11.00	0.169	0.333	0.488	0.629	0.756	0.867	0.964	1.048	1.120	1.182
555.39	11.10	0.170	0.335	0.490	0.632	0.759	0.871	0.969	1.053	1.125	1.187
555.49	11.20	0.171	0.337	0.492	0.635	0.763	0.875	0.973	1.058	1.130	1.192
555.59	11.30	0.172	0.338	0.494	0.638	0.766	0.879	0.978	1.062	1.135	1.198
555.69	11.40	0.172	0.340	0.497	0.640	0.769	0.883	0.982	1.067	1.140	1.203
555.79	11.50	0.173	0.341	0.499	0.643	0.773	0.887	0.986	1.072	1.145	1.208
555.89	11.60	0.174	0.342	0.501	0.646	0.776	0.891	0.990	1.076	1.150	1.213
555.99	11.70	0.175	0.344	0.503	0.649	0.779	0.895	0.995	1.081	1.155	1.219
556.09	11.80	0.175	0.345	0.505	0.652	0.783	0.898	0.999	1.086	1.160	1.224
556.19	11.90	0.176	0.347	0.507	0.654	0.786	0.902	1.003	1.090	1.165	1.229
556.29	12.00	0.177	0.348	0.510	0.657	0.789	0.906	1.007	1.095	1.170	1.234
556.39	12.10	0.178	0.350	0.512	0.660	0.793	0.910	1.012	1.099	1.175	1.239
556.49	12.20	0.178	0.351	0.514	0.663	0.796	0.913	1.016	1.104	1.180	1.244
556.59	12.30	0.179	0.353	0.516	0.665	0.799	0.917	1.020	1.108	1.184	1.250
556.69	12.40	0.180	0.354	0.518	0.668	0.802	0.921	1.024	1.113	1.189	1.255
556.79	12.50	0.181	0.356	0.520	0.671	0.806	0.925	1.028	1.117	1.194	1.260
556.89	12.60	0.181	0.357	0.522	0.673	0.809	0.928	1.032	1.122	1.199	1.265
556.99	12.70	0.182	0.358	0.524	0.676	0.812	0.932	1.036	1.126	1.204	1.270
557.09	12.80	0.183	0.360	0.526	0.679	0.815	0.936	1.040	1.131	1.208	1.275
557.19	12.90	0.183	0.361	0.528	0.681	0.818	0.939	1.044	1.135	1.213	1.280
557.29	13.00	0.184	0.363	0.530	0.684	0.822	0.943	1.048	1.140	1.218	1.285
557.39	13.10	0.185	0.364	0.532	0.687	0.825	0.947	1.053	1.144	1.222	1.290
557.49	13.20	0.186	0.365	0.534	0.689	0.828	0.950	1.057	1.148	1.227	1.294
557.59	13.30	0.186	0.367	0.536	0.692	0.831	0.954	1.061	1.153	1.232	1.299
557.69	13.40	0.187	0.368	0.538	0.694	0.834	0.957	1.064	1.157	1.236	1.304

557.79	13.50	0.188	0.369	0.540	0.697	0.837	0.961	1.068	1.161	1.241	1.309
557.89	13.60	0.188	0.371	0.542	0.700	0.840	0.964	1.072	1.166	1.245	1.314
557.99	13.70	0.189	0.372	0.544	0.702	0.843	0.968	1.076	1.170	1.250	1.319
558.09	13.80	0.190	0.374	0.546	0.705	0.847	0.972	1.080	1.174	1.255	1.324
558.19	13.90	0.190	0.375	0.548	0.707	0.850	0.975	1.084	1.178	1.259	1.328
558.29	14.00	0.191	0.376	0.550	0.710	0.853	0.979	1.088	1.183	1.264	1.333
558.39	14.10	0.192	0.378	0.552	0.712	0.856	0.982	1.092	1.187	1.268	1.338
558.49	14.20	0.192	0.379	0.554	0.715	0.859	0.986	1.096	1.191	1.273	1.343
558.59	14.30	0.193	0.380	0.556	0.717	0.862	0.989	1.100	1.195	1.277	1.347
558.69	14.40	0.194	0.382	0.558	0.720	0.865	0.992	1.103	1.199	1.282	1.352
558.79	14.50	0.194	0.383	0.560	0.722	0.868	0.996	1.107	1.203	1.286	1.357
558.89	14.60	0.195	0.384	0.562	0.725	0.871	0.999	1.111	1.208	1.290	1.361
558.99	14.70	0.196	0.386	0.564	0.727	0.874	1.003	1.115	1.212	1.295	1.366
559.09	14.80	0.196	0.387	0.566	0.730	0.877	1.006	1.119	1.216	1.299	1.371
559.19	14.90	0.197	0.388	0.568	0.732	0.880	1.010	1.122	1.220	1.304	1.375
559.29	15.00	0.198	0.389	0.570	0.735	0.883	1.013	1.126	1.224	1.308	1.380
559.39	15.10	0.198	0.391	0.572	0.737	0.886	1.016	1.130	1.228	1.312	1.384
559.49	15.20	0.199	0.392	0.573	0.740	0.888	1.020	1.134	1.232	1.317	1.389
559.59	15.30	0.200	0.393	0.575	0.742	0.891	1.023	1.137	1.236	1.321	1.394
559.69	15.40	0.200	0.395	0.577	0.744	0.894	1.026	1.141	1.240	1.325	1.398
559.79	15.50	0.201	0.396	0.579	0.747	0.897	1.030	1.145	1.244	1.330	1.403
559.89	15.60	0.202	0.397	0.581	0.749	0.900	1.033	1.149	1.248	1.334	1.407
559.99	15.70	0.202	0.398	0.583	0.752	0.903	1.036	1.152	1.252	1.338	1.412
560.09	15.80	0.203	0.400	0.585	0.754	0.906	1.040	1.156	1.256	1.342	1.416
560.19	15.90	0.204	0.401	0.586	0.756	0.909	1.043	1.160	1.260	1.347	1.421
	16.00	0.204	0.402	0.588	0.759	0.912	1.046	1.163	1.264	1.351	1.425
560.39	16.10	0.205	0.403	0.590	0.761	0.914	1.049	1.167	1.268	1.355	1.430
560.49	16.20	0.206	0.405	0.592	0.764	0.917	1.053	1.170	1.272	1.359	1.434
560.59	16.30	0.206	0.406	0.594	0.766	0.920	1.056	1.174	1.276	1.363	1.438
560.69	16.40	0.207	0.407	0.596	0.768	0.923	1.059	1.178	1.280	1.368	1.443
560.79	16.50	0.207	0.408	0.597	0.771	0.926	1.062	1.181	1.284	1.372	1.447
560.89	16.60	0.208	0.410	0.599	0.773	0.928	1.066	1.185	1.288	1.376	1.452
560.99	16.70	0.209	0.411	0.601	0.775	0.931	1.069	1.188	1.292	1.380	1.456
561.09	16.80	0.209	0.412	0.603	0.778	0.934	1.072	1.192	1.295	1.384	1.460
561.19	16.90	0.210	0.413	0.605	0.780	0.937	1.075	1.195	1.299	1.388	1.465
561.29	17.00	0.211	0.415	0.606	0.782	0.940	1.078	1.199	1.303	1.392	1.469
561.39	17.10	0.211	0.416	0.608	0.784	0.942	1.081	1.203	1.307	1.397	1.473
561.49	17.20	0.212	0.417	0.610	0.787	0.945	1.085	1.206	1.311	1.401	1.478
561.59	17.30	0.212	0.418	0.612	0.789	0.948	1.088	1.210	1.315	1.405	1.482
561.69	17.40	0.213	0.419	0.614	0.791	0.951	1.091	1.213	1.318	1.409	1.486
561.79	17.50	0.214	0.421	0.615	0.794	0.953	1.094	1.216	1.322	1.413	1.490
561.89	17.60	0.214	0.422	0.617	0.796	0.956	1.097	1.220	1.326	1.417	1.495
561.99	17.70	0.215	0.423	0.619	0.798	0.959	1.100	1.223	1.330	1.421	1.499
562.09	17.80	0.215	0.424	0.621	0.800	0.961	1.103	1.227	1.333	1.425	1.503

562.19	17.90	0.216	0.425	0.622	0.803	0.964	1.106	1.230	1.337	1.429	1.507
562.29	18.00	0.217	0.427	0.624	0.805	0.967	1.110	1.234	1.341	1.433	1.512
562.39	18.10	0.217	0.428	0.626	0.807	0.970	1.113	1.237	1.345	1.437	1.516
562.49	18.20	0.218	0.429	0.627	0.809	0.972	1.116	1.241	1.348	1.441	1.520
562.59	18.30	0.218	0.430	0.629	0.811	0.975	1.119	1.244	1.352	1.445	1.524
562.69	18.40	0.219	0.431	0.631	0.814	0.978	1.122	1.247	1.356	1.449	1.528
562.79	18.50	0.220	0.432	0.633	0.816	0.980	1.125	1.251	1.359	1.453	1.532
562.89	18.60	0.220	0.434	0.634	0.818	0.983	1.128	1.254	1.363	1.457	1.537
562.99	18.70	0.221	0.435	0.636	0.820	0.985	1.131	1.258	1.367	1.460	1.541
563.09	18.80	0.221	0.436	0.638	0.823	0.988	1.134	1.261	1.370	1.464	1.545
563.19	18.90	0.222	0.437	0.639	0.825	0.991	1.137	1.264	1.374	1.468	1.549
563.29	19.00	0.223	0.438	0.641	0.827	0.993	1.140	1.268	1.378	1.472	1.553
563.39	19.10	0.223	0.439	0.643	0.829	0.996	1.143	1.271	1.381	1.476	1.557
563.49	19.20	0.224	0.441	0.644	0.831	0.999	1.146	1.274	1.385	1.480	1.561
563.59	19.30	0.224	0.442	0.646	0.833	1.001	1.149	1.278	1.388	1.484	1.565
563.69	19.40	0.225	0.443	0.648	0.836	1.004	1.152	1.281	1.392	1.488	1.569
563.79	19.50	0.226	0.444	0.649	0.838	1.006	1.155	1.284	1.396	1.491	1.573
563.89	19.60	0.226	0.445	0.651	0.840	1.009	1.158	1.287	1.399	1.495	1.577
563.99	19.70	0.227	0.446	0.653	0.842	1.011	1.161	1.291	1.403	1.499	1.581
564.09	19.80	0.227	0.447	0.654	0.844	1.014	1.164	1.294	1.406	1.503	1.585
564.19	19.90	0.228	0.449	0.656	0.846	1.017	1.167	1.297	1.410	1.507	1.589
564.29	20.00	0.228	0.450	0.658	0.848	1.019	1.170	1.300	1.413	1.510	1.593
564.39	20.10	0.229	0.451	0.659	0.850	1.022	1.173	1.304	1.417	1.514	1.597
564.49	20.20	0.230	0.452	0.661	0.853	1.024	1.175	1.307	1.420	1.518	1.601
564.59	20.30	0.230	0.453	0.663	0.855	1.027	1.178	1.310	1.424	1.522	1.605
564.69	20.40	0.231	0.454	0.664	0.857	1.029	1.181	1.313	1.427	1.525	1.609
564.79	20.50	0.231	0.455	0.666	0.859	1.032	1.184	1.317	1.431	1.529	1.613
564.89	20.60	0.232	0.456	0.668	0.861	1.034	1.187	1.320	1.434	1.533	1.617
564.99	20.70	0.232	0.457	0.669	0.863	1.037	1.190	1.323	1.438	1.537	1.621
565.09	20.80	0.233	0.459	0.671	0.865	1.039	1.193	1.326	1.441	1.540	1.625
565.19	20.90	0.233	0.460	0.672	0.867	1.042	1.196	1.329	1.445	1.544	1.629
565.29	21.00	0.234	0.461	0.674	0.869	1.044	1.198	1.333	1.448	1.548	1.633
565.39	21.10	0.235	0.462	0.676	0.871	1.047	1.201	1.336	1.452	1.551	1.637
565.49	21.20	0.235	0.463	0.677	0.873	1.049	1.204	1.339	1.455	1.555	1.640
565.59	21.30	0.236	0.464	0.679	0.875	1.052	1.207	1.342	1.459	1.559	1.644
565.69	21.40	0.236	0.465	0.680	0.878	1.054	1.210	1.345	1.462	1.562	1.648
565.79	21.50	0.237	0.466	0.682	0.880	1.057	1.213	1.348	1.465	1.566	1.652
565.89	21.60	0.237	0.467	0.684	0.882	1.059	1.215	1.352	1.469	1.570	1.656
565.99	21.70	0.238	0.468	0.685	0.884	1.062	1.218	1.355	1.472	1.573	1.660
566.09	21.80	0.238	0.469	0.687	0.886	1.064	1.221	1.358	1.476	1.577	1.663
566.19	21.90	0.239	0.471	0.688	0.888	1.066	1.224	1.361	1.479	1.580	1.667
566.29	22.00	0.240	0.472	0.690	0.890	1.069	1.227	1.364	1.482	1.584	1.671

Livello invaso Q m s.l.m.m.	Carico idraulico H m	Percentuale di apertura della valvola di regolazione									
		0.55	0.60	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00
544.29	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
544.39	0.10	0.118	0.122	0.126	0.129	0.132	0.134	0.136	0.138	0.140	0.141
544.49	0.20	0.166	0.173	0.178	0.182	0.186	0.190	0.192	0.195	0.197	0.199
544.59	0.30	0.204	0.211	0.218	0.223	0.228	0.232	0.236	0.239	0.242	0.244
544.69	0.40	0.235	0.244	0.251	0.258	0.263	0.268	0.272	0.276	0.279	0.282
544.79	0.50	0.263	0.273	0.281	0.288	0.294	0.300	0.304	0.308	0.312	0.315
544.89	0.60	0.288	0.299	0.308	0.316	0.322	0.328	0.333	0.338	0.342	0.345
544.99	0.70	0.311	0.323	0.333	0.341	0.348	0.355	0.360	0.365	0.369	0.373
545.09	0.80	0.333	0.345	0.356	0.365	0.372	0.379	0.385	0.390	0.395	0.399
545.19	0.90	0.353	0.366	0.377	0.387	0.395	0.402	0.408	0.414	0.419	0.423
545.29	1.00	0.372	0.386	0.397	0.408	0.416	0.424	0.430	0.436	0.441	0.446
545.39	1.10	0.390	0.405	0.417	0.427	0.437	0.445	0.451	0.457	0.463	0.467
545.49	1.20	0.408	0.423	0.435	0.446	0.456	0.464	0.472	0.478	0.483	0.488
545.59	1.30	0.424	0.440	0.453	0.465	0.475	0.483	0.491	0.497	0.503	0.508
545.69	1.40	0.440	0.456	0.470	0.482	0.493	0.501	0.509	0.516	0.522	0.527
545.79	1.50	0.456	0.472	0.487	0.499	0.510	0.519	0.527	0.534	0.540	0.546
545.89	1.60	0.471	0.488	0.503	0.516	0.527	0.536	0.544	0.552	0.558	0.564
545.99	1.70	0.485	0.503	0.518	0.531	0.543	0.553	0.561	0.569	0.575	0.581
546.09	1.80	0.499	0.518	0.533	0.547	0.558	0.569	0.577	0.585	0.592	0.598
546.19	1.90	0.513	0.532	0.548	0.562	0.574	0.584	0.593	0.601	0.608	0.614
546.29	2.00	0.526	0.546	0.562	0.576	0.589	0.599	0.609	0.617	0.624	0.630
546.39	2.10	0.539	0.559	0.576	0.591	0.603	0.614	0.624	0.632	0.639	0.646
546.49	2.20	0.552	0.572	0.590	0.605	0.617	0.629	0.638	0.647	0.654	0.661
546.59	2.30	0.564	0.585	0.603	0.618	0.631	0.643	0.653	0.662	0.669	0.676
546.69	2.40	0.577	0.598	0.616	0.631	0.645	0.657	0.667	0.676	0.684	0.691
546.79	2.50	0.588	0.610	0.628	0.644	0.658	0.670	0.681	0.690	0.698	0.705
546.89	2.60	0.600	0.622	0.641	0.657	0.671	0.683	0.694	0.703	0.712	0.719
546.99	2.70	0.612	0.634	0.653	0.670	0.684	0.696	0.707	0.717	0.725	0.732
547.09	2.80	0.623	0.646	0.665	0.682	0.697	0.709	0.720	0.730	0.738	0.746
547.19	2.90	0.634	0.657	0.677	0.694	0.709	0.722	0.733	0.743	0.751	0.759
547.29	3.00	0.645	0.668	0.688	0.706	0.721	0.734	0.746	0.756	0.764	0.772
547.39	3.10	0.655	0.679	0.700	0.718	0.733	0.746	0.758	0.768	0.777	0.785
547.49	3.20	0.666	0.690	0.711	0.729	0.745	0.758	0.770	0.780	0.789	0.797
547.59	3.30	0.676	0.701	0.722	0.740	0.756	0.770	0.782	0.792	0.802	0.810
547.69	3.40	0.686	0.711	0.733	0.752	0.768	0.782	0.794	0.804	0.814	0.822
547.79	3.50	0.696	0.722	0.744	0.762	0.779	0.793	0.805	0.816	0.826	0.834
547.89	3.60	0.706	0.732	0.754	0.773	0.790	0.804	0.817	0.828	0.837	0.846
547.99	3.70	0.716	0.742	0.765	0.784	0.801	0.815	0.828	0.839	0.849	0.857
548.09	3.80	0.725	0.752	0.775	0.794	0.811	0.826	0.839	0.850	0.860	0.869
548.19	3.90	0.735	0.762	0.785	0.805	0.822	0.837	0.850	0.861	0.871	0.880
548.29	4.00	0.744	0.772	0.795	0.815	0.833	0.848	0.861	0.872	0.883	0.891
548.39	4.10	0.754	0.781	0.805	0.825	0.843	0.858	0.872	0.883	0.893	0.903
548.49	4.20	0.763	0.791	0.815	0.835	0.853	0.869	0.882	0.894	0.904	0.913

548.59	4.30	0.772	0.800	0.824	0.845	0.863	0.879	0.893	0.905	0.915	0.924
548.69	4.40	0.781	0.809	0.834	0.855	0.873	0.889	0.903	0.915	0.926	0.935
548.79	4.50	0.789	0.818	0.843	0.865	0.883	0.899	0.913	0.925	0.936	0.946
548.89	4.60	0.798	0.827	0.853	0.874	0.893	0.909	0.923	0.936	0.946	0.956
548.99	4.70	0.807	0.836	0.862	0.884	0.902	0.919	0.933	0.946	0.957	0.966
549.09	4.80	0.815	0.845	0.871	0.893	0.912	0.929	0.943	0.956	0.967	0.977
549.19	4.90	0.824	0.854	0.880	0.902	0.921	0.938	0.953	0.966	0.977	0.987
549.29	5.00	0.832	0.863	0.889	0.911	0.931	0.948	0.962	0.975	0.987	0.997
549.39	5.10	0.840	0.871	0.898	0.920	0.940	0.957	0.972	0.985	0.997	1.007
549.49	5.20	0.849	0.880	0.906	0.929	0.949	0.966	0.982	0.995	1.006	1.016
549.59	5.30	0.857	0.888	0.915	0.938	0.958	0.976	0.991	1.004	1.016	1.026
549.69	5.40	0.865	0.896	0.924	0.947	0.967	0.985	1.000	1.014	1.025	1.036
549.79	5.50	0.873	0.905	0.932	0.956	0.976	0.994	1.009	1.023	1.035	1.045
549.89	5.60	0.881	0.913	0.941	0.964	0.985	1.003	1.019	1.032	1.044	1.055
549.99	5.70	0.889	0.921	0.949	0.973	0.994	1.012	1.028	1.041	1.053	1.064
550.09	5.80	0.896	0.929	0.957	0.982	1.003	1.021	1.037	1.050	1.063	1.073
550.19	5.90	0.904	0.937	0.965	0.990	1.011	1.029	1.046	1.060	1.072	1.083
550.29	6.00	0.912	0.945	0.974	0.998	1.020	1.038	1.054	1.068	1.081	1.092
550.39	6.10	0.919	0.953	0.982	1.007	1.028	1.047	1.063	1.077	1.090	1.101
550.49	6.20	0.927	0.961	0.990	1.015	1.037	1.055	1.072	1.086	1.099	1.110
550.59	6.30	0.934	0.968	0.998	1.023	1.045	1.064	1.080	1.095	1.108	1.119
550.69	6.40	0.942	0.976	1.006	1.031	1.053	1.072	1.089	1.103	1.116	1.128
550.79	6.50	0.949	0.984	1.013	1.039	1.061	1.081	1.097	1.112	1.125	1.136
550.89	6.60	0.956	0.991	1.021	1.047	1.069	1.089	1.106	1.121	1.134	1.145
550.99	6.70	0.963	0.999	1.029	1.055	1.077	1.097	1.114	1.129	1.142	1.154
551.09	6.80	0.970	1.006	1.037	1.063	1.086	1.105	1.122	1.137	1.151	1.162
551.19	6.90	0.978	1.013	1.044	1.071	1.093	1.113	1.131	1.146	1.159	1.171
551.29	7.00	0.985	1.021	1.052	1.078	1.101	1.121	1.139	1.154	1.167	1.179
551.39	7.10	0.992	1.028	1.059	1.086	1.109	1.129	1.147	1.162	1.176	1.188
551.49	7.20	0.999	1.035	1.067	1.094	1.117	1.137	1.155	1.170	1.184	1.196
551.59	7.30	1.006	1.042	1.074	1.101	1.125	1.145	1.163	1.179	1.192	1.204
551.69	7.40	1.012	1.049	1.081	1.109	1.132	1.153	1.171	1.187	1.200	1.213
551.79	7.50	1.019	1.057	1.089	1.116	1.140	1.161	1.179	1.195	1.208	1.221
551.89	7.60	1.026	1.064	1.096	1.124	1.148	1.168	1.187	1.203	1.216	1.229
551.99	7.70	1.033	1.071	1.103	1.131	1.155	1.176	1.194	1.210	1.224	1.237
552.09	7.80	1.039	1.077	1.110	1.138	1.163	1.184	1.202	1.218	1.232	1.245
552.19	7.90	1.046	1.084	1.117	1.146	1.170	1.191	1.210	1.226	1.240	1.253
552.29	8.00	1.053	1.091	1.124	1.153	1.177	1.199	1.217	1.234	1.248	1.261
552.39	8.10	1.059	1.098	1.131	1.160	1.185	1.206	1.225	1.241	1.256	1.269
552.49	8.20	1.066	1.105	1.138	1.167	1.192	1.214	1.233	1.249	1.264	1.276
552.59	8.30	1.072	1.111	1.145	1.174	1.199	1.221	1.240	1.257	1.271	1.284
552.69	8.40	1.079	1.118	1.152	1.181	1.206	1.228	1.247	1.264	1.279	1.292
552.79	8.50	1.085	1.125	1.159	1.188	1.214	1.236	1.255	1.272	1.286	1.300
552.89	8.60	1.091	1.131	1.166	1.195	1.221	1.243	1.262	1.279	1.294	1.307
552.99	8.70	1.098	1.138	1.172	1.202	1.228	1.250	1.270	1.287	1.302	1.315
553.09	8.80	1.104	1.144	1.179	1.209	1.235	1.257	1.277	1.294	1.309	1.322

553.19	8.90	1.110	1.151	1.186	1.216	1.242	1.264	1.284	1.301	1.316	1.330
553.29	9.00	1.117	1.157	1.192	1.223	1.249	1.272	1.291	1.309	1.324	1.337
553.39	9.10	1.123	1.164	1.199	1.229	1.256	1.279	1.298	1.316	1.331	1.345
553.49	9.20	1.129	1.170	1.206	1.236	1.263	1.286	1.306	1.323	1.338	1.352
553.59	9.30	1.135	1.176	1.212	1.243	1.269	1.293	1.313	1.330	1.346	1.359
553.69	9.40	1.141	1.183	1.219	1.250	1.276	1.299	1.320	1.337	1.353	1.367
553.79	9.50	1.147	1.189	1.225	1.256	1.283	1.306	1.327	1.344	1.360	1.374
553.89	9.60	1.153	1.195	1.232	1.263	1.290	1.313	1.334	1.351	1.367	1.381
553.99	9.70	1.159	1.202	1.238	1.269	1.296	1.320	1.341	1.359	1.374	1.388
554.09	9.80	1.165	1.208	1.244	1.276	1.303	1.327	1.347	1.365	1.381	1.395
554.19	9.90	1.171	1.214	1.251	1.282	1.310	1.334	1.354	1.372	1.388	1.402
554.29	10.00	1.177	1.220	1.257	1.289	1.316	1.340	1.361	1.379	1.395	1.410
554.39	10.10	1.183	1.226	1.263	1.295	1.323	1.347	1.368	1.386	1.402	1.417
554.49	10.20	1.189	1.232	1.269	1.302	1.329	1.354	1.375	1.393	1.409	1.424
554.59	10.30	1.194	1.238	1.276	1.308	1.336	1.360	1.381	1.400	1.416	1.430
554.69	10.40	1.200	1.244	1.282	1.314	1.342	1.367	1.388	1.407	1.423	1.437
554.79	10.50	1.206	1.250	1.288	1.321	1.349	1.373	1.395	1.413	1.430	1.444
554.89	10.60	1.212	1.256	1.294	1.327	1.355	1.380	1.401	1.420	1.437	1.451
554.99	10.70	1.217	1.262	1.300	1.333	1.362	1.386	1.408	1.427	1.443	1.458
555.09	10.80	1.223	1.268	1.306	1.339	1.368	1.393	1.415	1.433	1.450	1.465
555.19	10.90	1.229	1.274	1.312	1.346	1.374	1.399	1.421	1.440	1.457	1.472
555.29	11.00	1.234	1.280	1.318	1.352	1.381	1.406	1.428	1.447	1.463	1.478
555.39	11.10	1.240	1.285	1.324	1.358	1.387	1.412	1.434	1.453	1.470	1.485
555.49	11.20	1.246	1.291	1.330	1.364	1.393	1.418	1.440	1.460	1.477	1.492
555.59	11.30	1.251	1.297	1.336	1.370	1.399	1.425	1.447	1.466	1.483	1.498
555.69	11.40	1.257	1.303	1.342	1.376	1.405	1.431	1.453	1.473	1.490	1.505
555.79	11.50	1.262	1.308	1.348	1.382	1.412	1.437	1.460	1.479	1.496	1.512
555.89	11.60	1.268	1.314	1.354	1.388	1.418	1.444	1.466	1.486	1.503	1.518
555.99	11.70	1.273	1.320	1.360	1.394	1.424	1.450	1.472	1.492	1.509	1.525
556.09	11.80	1.278	1.325	1.365	1.400	1.430	1.456	1.479	1.498	1.516	1.531
556.19	11.90	1.284	1.331	1.371	1.406	1.436	1.462	1.485	1.505	1.522	1.538
556.29	12.00	1.289	1.336	1.377	1.412	1.442	1.468	1.491	1.511	1.529	1.544
556.39	12.10	1.295	1.342	1.383	1.418	1.448	1.474	1.497	1.517	1.535	1.550
556.49	12.20	1.300	1.347	1.388	1.424	1.454	1.480	1.503	1.524	1.541	1.557
556.59	12.30	1.305	1.353	1.394	1.429	1.460	1.486	1.510	1.530	1.548	1.563
556.69	12.40	1.311	1.358	1.400	1.435	1.466	1.492	1.516	1.536	1.554	1.570
556.79	12.50	1.316	1.364	1.405	1.441	1.472	1.498	1.522	1.542	1.560	1.576
556.89	12.60	1.321	1.369	1.411	1.447	1.478	1.504	1.528	1.548	1.566	1.582
556.99	12.70	1.326	1.375	1.417	1.452	1.483	1.510	1.534	1.554	1.573	1.588
557.09	12.80	1.332	1.380	1.422	1.458	1.489	1.516	1.540	1.561	1.579	1.595
557.19	12.90	1.337	1.386	1.428	1.464	1.495	1.522	1.546	1.567	1.585	1.601
557.29	13.00	1.342	1.391	1.433	1.469	1.501	1.528	1.552	1.573	1.591	1.607
557.39	13.10	1.347	1.396	1.439	1.475	1.507	1.534	1.558	1.579	1.597	1.613
557.49	13.20	1.352	1.402	1.444	1.481	1.512	1.540	1.564	1.585	1.603	1.619
557.59	13.30	1.357	1.407	1.450	1.486	1.518	1.546	1.570	1.591	1.609	1.626
557.69	13.40	1.362	1.412	1.455	1.492	1.524	1.551	1.576	1.597	1.615	1.632

557.79	13.50	1.367	1.417	1.460	1.497	1.529	1.557	1.581	1.603	1.621	1.638
557.89	13.60	1.372	1.423	1.466	1.503	1.535	1.563	1.587	1.609	1.627	1.644
557.99	13.70	1.378	1.428	1.471	1.509	1.541	1.569	1.593	1.615	1.633	1.650
558.09	13.80	1.383	1.433	1.477	1.514	1.546	1.574	1.599	1.620	1.639	1.656
558.19	13.90	1.388	1.438	1.482	1.519	1.552	1.580	1.605	1.626	1.645	1.662
558.29	14.00	1.393	1.443	1.487	1.525	1.558	1.586	1.611	1.632	1.651	1.668
558.39	14.10	1.397	1.449	1.493	1.530	1.563	1.592	1.616	1.638	1.657	1.674
558.49	14.20	1.402	1.454	1.498	1.536	1.569	1.597	1.622	1.644	1.663	1.680
558.59	14.30	1.407	1.459	1.503	1.541	1.574	1.603	1.628	1.649	1.669	1.686
558.69	14.40	1.412	1.464	1.508	1.547	1.580	1.608	1.633	1.655	1.674	1.691
558.79	14.50	1.417	1.469	1.514	1.552	1.585	1.614	1.639	1.661	1.680	1.697
558.89	14.60	1.422	1.474	1.519	1.557	1.591	1.619	1.645	1.667	1.686	1.703
558.99	14.70	1.427	1.479	1.524	1.563	1.596	1.625	1.650	1.672	1.692	1.709
559.09	14.80	1.432	1.484	1.529	1.568	1.601	1.631	1.656	1.678	1.698	1.715
559.19	14.90	1.437	1.489	1.534	1.573	1.607	1.636	1.661	1.684	1.703	1.721
559.29	15.00	1.441	1.494	1.539	1.578	1.612	1.642	1.667	1.689	1.709	1.726
559.39	15.10	1.446	1.499	1.545	1.584	1.618	1.647	1.673	1.695	1.715	1.732
559.49	15.20	1.451	1.504	1.550	1.589	1.623	1.652	1.678	1.701	1.720	1.738
559.59	15.30	1.456	1.509	1.555	1.594	1.628	1.658	1.684	1.706	1.726	1.743
559.69	15.40	1.460	1.514	1.560	1.599	1.634	1.663	1.689	1.712	1.732	1.749
559.79	15.50	1.465	1.519	1.565	1.605	1.639	1.669	1.695	1.717	1.737	1.755
559.89	15.60	1.470	1.524	1.570	1.610	1.644	1.674	1.700	1.723	1.743	1.760
559.99	15.70	1.475	1.529	1.575	1.615	1.649	1.679	1.705	1.728	1.748	1.766
560.09	15.80	1.479	1.533	1.580	1.620	1.655	1.685	1.711	1.734	1.754	1.772
560.19	15.90	1.484	1.538	1.585	1.625	1.660	1.690	1.716	1.739	1.760	1.777
560.29	16.00	1.489	1.543	1.590	1.630	1.665	1.695	1.722	1.745	1.765	1.783
560.39	16.10	1.493	1.548	1.595	1.635	1.670	1.701	1.727	1.750	1.771	1.788
560.49	16.20	1.498	1.553	1.600	1.640	1.675	1.706	1.732	1.756	1.776	1.794
560.59	16.30	1.503	1.558	1.605	1.645	1.681	1.711	1.738	1.761	1.782	1.800
560.69	16.40	1.507	1.562	1.610	1.650	1.686	1.716	1.743	1.766	1.787	1.805
560.79	16.50	1.512	1.567	1.615	1.656	1.691	1.722	1.748	1.772	1.792	1.811
560.89	16.60	1.516	1.572	1.619	1.661	1.696	1.727	1.754	1.777	1.798	1.816
560.99	16.70	1.521	1.577	1.624	1.666	1.701	1.732	1.759	1.783	1.803	1.821
561.09	16.80	1.525	1.581	1.629	1.670	1.706	1.737	1.764	1.788	1.809	1.827
561.19	16.90	1.530	1.586	1.634	1.675	1.711	1.742	1.769	1.793	1.814	1.832
561.29	17.00	1.534	1.591	1.639	1.680	1.716	1.748	1.775	1.798	1.819	1.838
561.39	17.10	1.539	1.595	1.644	1.685	1.721	1.753	1.780	1.804	1.825	1.843
561.49	17.20	1.543	1.600	1.648	1.690	1.726	1.758	1.785	1.809	1.830	1.849
561.59	17.30	1.548	1.605	1.653	1.695	1.731	1.763	1.790	1.814	1.835	1.854
561.69	17.40	1.552	1.609	1.658	1.700	1.736	1.768	1.795	1.820	1.841	1.859
561.79	17.50	1.557	1.614	1.663	1.705	1.741	1.773	1.801	1.825	1.846	1.865
561.89	17.60	1.561	1.618	1.668	1.710	1.746	1.778	1.806	1.830	1.851	1.870
561.99	17.70	1.566	1.623	1.672	1.715	1.751	1.783	1.811	1.835	1.856	1.875
562.09	17.80	1.570	1.628	1.677	1.719	1.756	1.788	1.816	1.840	1.862	1.881
562.19	17.90	1.575	1.632	1.682	1.724	1.761	1.793	1.821	1.845	1.867	1.886
562.29	18.00	1.579	1.637	1.686	1.729	1.766	1.798	1.826	1.851	1.872	1.891

562.39	18.10	1.583	1.641	1.691	1.734	1.771	1.803	1.831	1.856	1.877	1.896
562.49	18.20	1.588	1.646	1.696	1.739	1.776	1.808	1.836	1.861	1.882	1.902
562.59	18.30	1.592	1.650	1.700	1.743	1.781	1.813	1.841	1.866	1.888	1.907
562.69	18.40	1.596	1.655	1.705	1.748	1.786	1.818	1.846	1.871	1.893	1.912
562.79	18.50	1.601	1.659	1.710	1.753	1.790	1.823	1.851	1.876	1.898	1.917
562.89	18.60	1.605	1.664	1.714	1.758	1.795	1.828	1.856	1.881	1.903	1.922
562.99	18.70	1.609	1.668	1.719	1.762	1.800	1.833	1.861	1.886	1.908	1.927
563.09	18.80	1.614	1.673	1.723	1.767	1.805	1.838	1.866	1.891	1.913	1.933
563.19	18.90	1.618	1.677	1.728	1.772	1.810	1.843	1.871	1.896	1.918	1.938
563.29	19.00	1.622	1.682	1.733	1.777	1.814	1.847	1.876	1.901	1.923	1.943
563.39	19.10	1.627	1.686	1.737	1.781	1.819	1.852	1.881	1.906	1.928	1.948
563.49	19.20	1.631	1.690	1.742	1.786	1.824	1.857	1.886	1.911	1.933	1.953
563.59	19.30	1.635	1.695	1.746	1.790	1.829	1.862	1.891	1.916	1.939	1.958
563.69	19.40	1.639	1.699	1.751	1.795	1.833	1.867	1.896	1.921	1.944	1.963
563.79	19.50	1.643	1.704	1.755	1.800	1.838	1.872	1.901	1.926	1.949	1.968
563.89	19.60	1.648	1.708	1.760	1.804	1.843	1.876	1.906	1.931	1.954	1.973
563.99	19.70	1.652	1.712	1.764	1.809	1.848	1.881	1.910	1.936	1.959	1.978
564.09	19.80	1.656	1.717	1.769	1.814	1.852	1.886	1.915	1.941	1.963	1.983
564.19	19.90	1.660	1.721	1.773	1.818	1.857	1.891	1.920	1.946	1.968	1.988
564.29	20.00	1.664	1.725	1.778	1.823	1.862	1.895	1.925	1.951	1.973	1.993
564.39	20.10	1.669	1.730	1.782	1.827	1.866	1.900	1.930	1.956	1.978	1.998
564.49	20.20	1.673	1.734	1.786	1.832	1.871	1.905	1.935	1.960	1.983	2.003
564.59	20.30	1.677	1.738	1.791	1.836	1.876	1.910	1.939	1.965	1.988	2.008
564.69	20.40	1.681	1.742	1.795	1.841	1.880	1.914	1.944	1.970	1.993	2.013
564.79	20.50	1.685	1.747	1.800	1.845	1.885	1.919	1.949	1.975	1.998	2.018
564.89	20.60	1.689	1.751	1.804	1.850	1.889	1.924	1.954	1.980	2.003	2.023
564.99	20.70	1.693	1.755	1.808	1.854	1.894	1.928	1.958	1.985	2.008	2.028
565.09	20.80	1.697	1.759	1.813	1.859	1.898	1.933	1.963	1.989	2.012	2.033
565.19	20.90	1.701	1.764	1.817	1.863	1.903	1.938	1.968	1.994	2.017	2.038
565.29	21.00	1.705	1.768	1.821	1.868	1.908	1.942	1.972	1.999	2.022	2.043
565.39	21.10	1.710	1.772	1.826	1.872	1.912	1.947	1.977	2.004	2.027	2.047
565.49	21.20	1.714	1.776	1.830	1.877	1.917	1.951	1.982	2.008	2.032	2.052
565.59	21.30	1.718	1.780	1.834	1.881	1.921	1.956	1.987	2.013	2.036	2.057
565.69	21.40	1.722	1.785	1.839	1.885	1.926	1.961	1.991	2.018	2.041	2.062
565.79	21.50	1.726	1.789	1.843	1.890	1.930	1.965	1.996	2.023	2.046	2.067
565.89	21.60	1.730	1.793	1.847	1.894	1.935	1.970	2.000	2.027	2.051	2.072
565.99	21.70	1.734	1.797	1.852	1.899	1.939	1.974	2.005	2.032	2.056	2.076
566.09	21.80	1.738	1.801	1.856	1.903	1.944	1.979	2.010	2.037	2.060	2.081
566.19	21.90	1.742	1.805	1.860	1.907	1.948	1.983	2.014	2.041	2.065	2.086
566.29	22.00	1.746	1.809	1.864	1.912	1.952	1.988	2.019	2.046	2.070	2.091

Nelle seguenti tabelle sono riportate le portate esitate dallo scarico rispettivamente nella condizione di livello invaso pari alla quota massima di regolazione ed alla quota di massimo invaso al variare del grado di apertura della valvola di regolazione.

Livello invaso Q m s.l.m.m.	Carico idraulico H m	Percentuale di apertura della valvola di regolazione									
		0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
565.40	21.11	0.235	0.462	0.676	0.872	1.047	1.202	1.336	1.452	1.552	1.637
566.20	21.91	0.239	0.471	0.688	0.888	1.067	1.224	1.361	1.479	1.581	1.668

Livello invaso Q m s.l.m.m.	Carico idraulico H m	Percentuale di apertura della valvola di regolazione									
		0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5
565.40	21.11	1.710	1.773	1.826	1.873	1.913	1.947	1.978	2.004	2.027	2.048
566.20	21.91	1.742	1.806	1.861	1.908	1.948	1.984	2.015	2.042	2.065	2.086

4.3 SVUOTAMENTO DEL SERBATOIO

Il Decreto 26 giugno 2014 nelle disposizioni di cui al capo C.1 richiede che gli scarichi a battente, nel loro insieme con esclusione dello scarico di esaurimento, debbano rendere possibile la vuotatura del 75% del volume d'invaso del serbatoio a partire dalla quota massima di regolazione in un periodo di tre giorni se la capacità del serbatoio è inferiore o uguale a 50 milioni di m³.

Il volume totale dell'invaso creato dalla Diga del Pianfei è di circa 544314 m³, per cui si procederà, di seguito, alla verifica della capacità dello scarico di fondo a garantire la vuotatura del 75% dell'invaso in tre giorni ossia 72 ore.

Lo svuotamento del serbatoio avviene in fasi successive in funzione dei livelli idrometrici, con deflusso del tipo sotto battente con la legge di efflusso determinata in precedenza, ossia:

$$Q = 0,446 \cdot \sqrt{H} \quad (m^3/s)$$

Lo svuotamento del serbatoio è stato calcolato integrando l'equazione di continuità:

$$\frac{Q_e(t) + Q_e(t + \Delta t)}{2} - \frac{Q_u(t) + Q_u(t + \Delta t)}{2} = \frac{W(t + \Delta t) - W(t)}{\Delta t}$$

dove con Q_e e Q_u si sono indicate le portate entranti ed uscenti dal serbatoio, espresse dalla legge di efflusso dello scarico di fondo, nonché la legge quota-volume determinata dall'analisi della

morfologia del bacino e ricavata dagli elaborati allegati al certificato di collaudo della diga in data 16.07.1969.

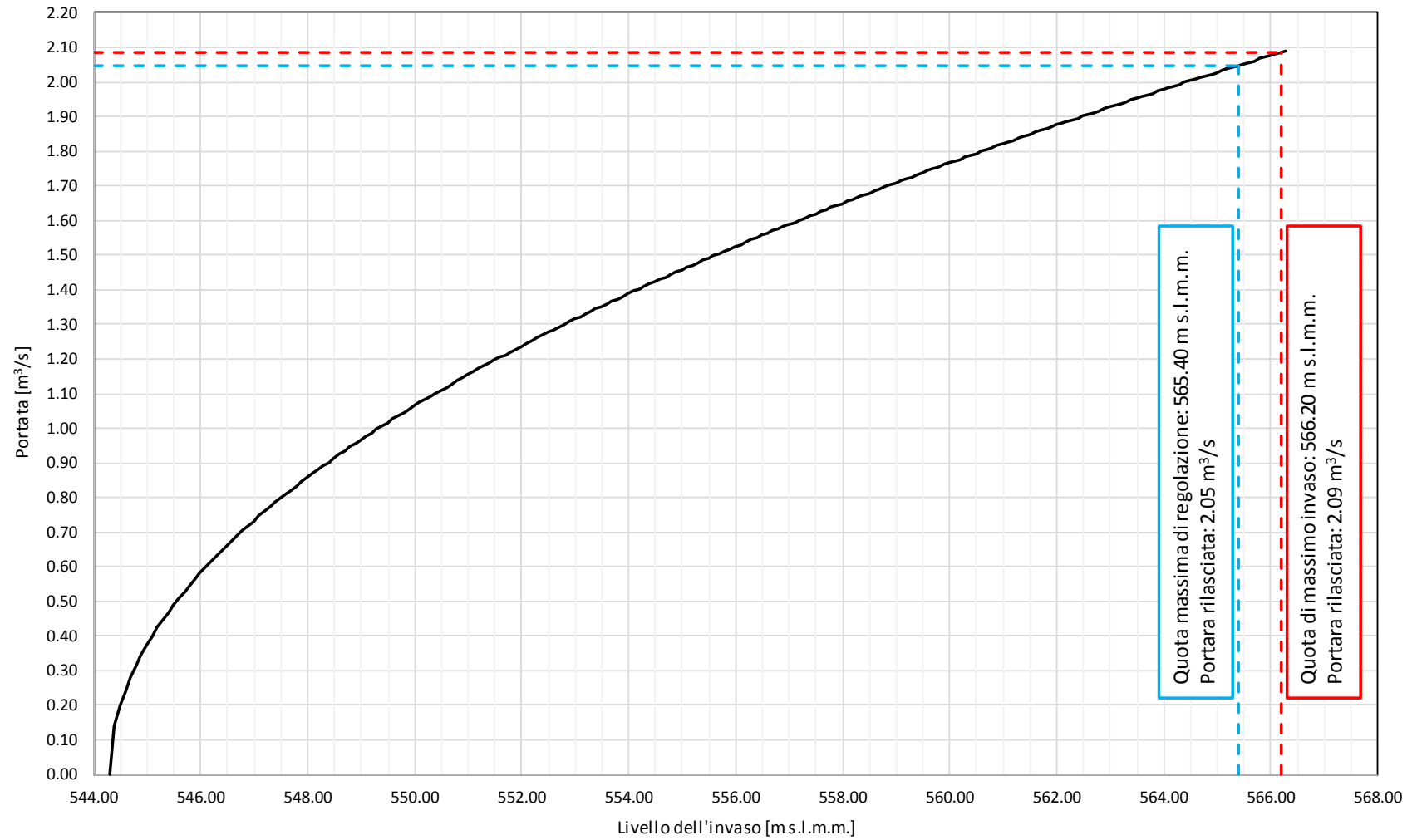
I tempi di svuotamento all'istante i -esimo si calcolano scrivendo l'equazione di continuità dell'invaso nella forma:

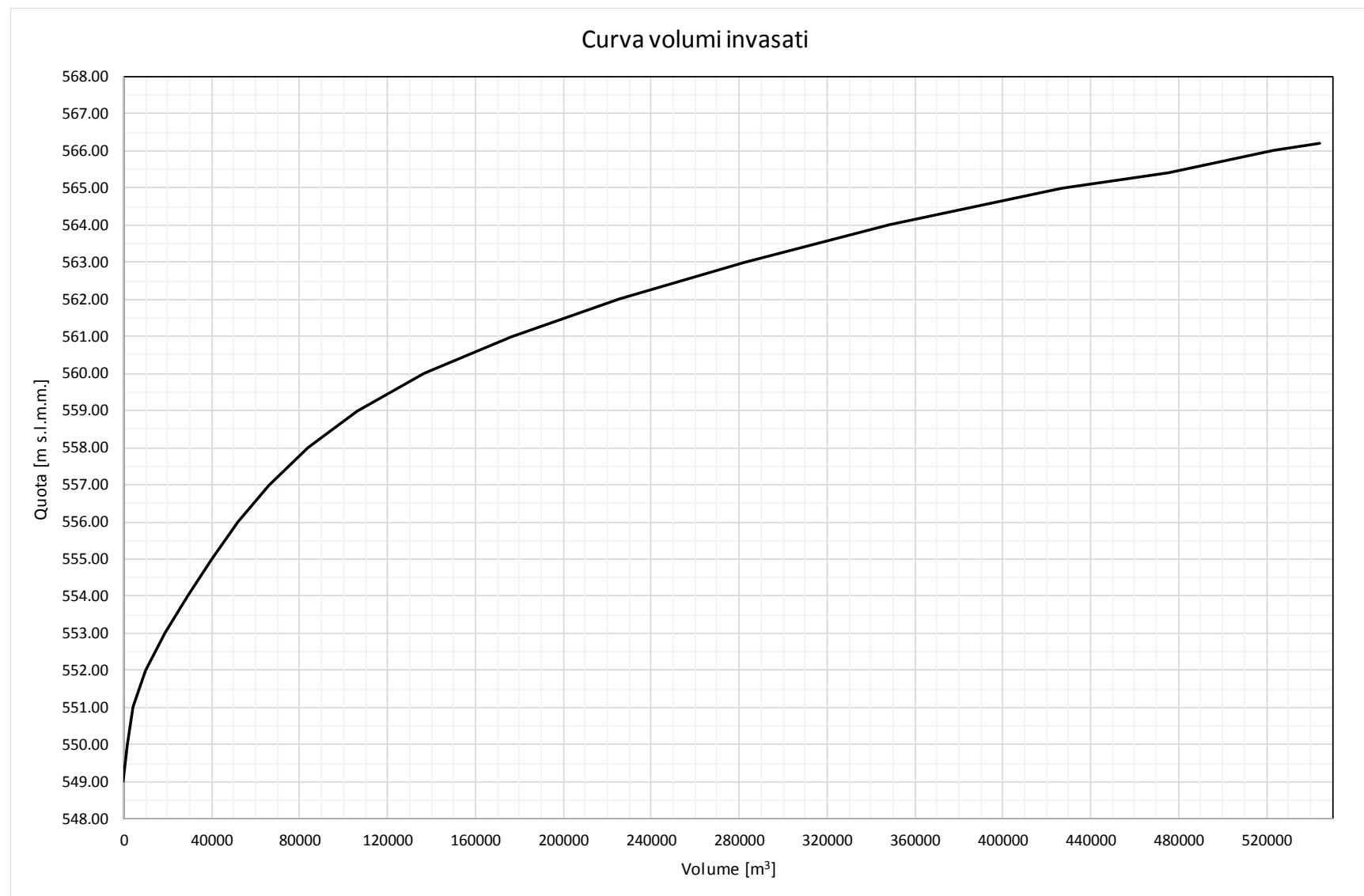
$$t_i = t_{i-1} + \frac{W_{i-1} - W_i}{(Q_{i-1} + Q_i) \cdot 0.5}$$

La risoluzione per via numerica dell'equazione di continuità ha permesso, così, di stimare il tempo necessario allo svuotamento del 75% dello stesso, pari a 55.53 ore quindi in meno di due giorni e mezzo, calcolato a partire dalla quota di massima regolazione e nella situazione per la quale si abbia l'apertura completa dello scarico di fondo.

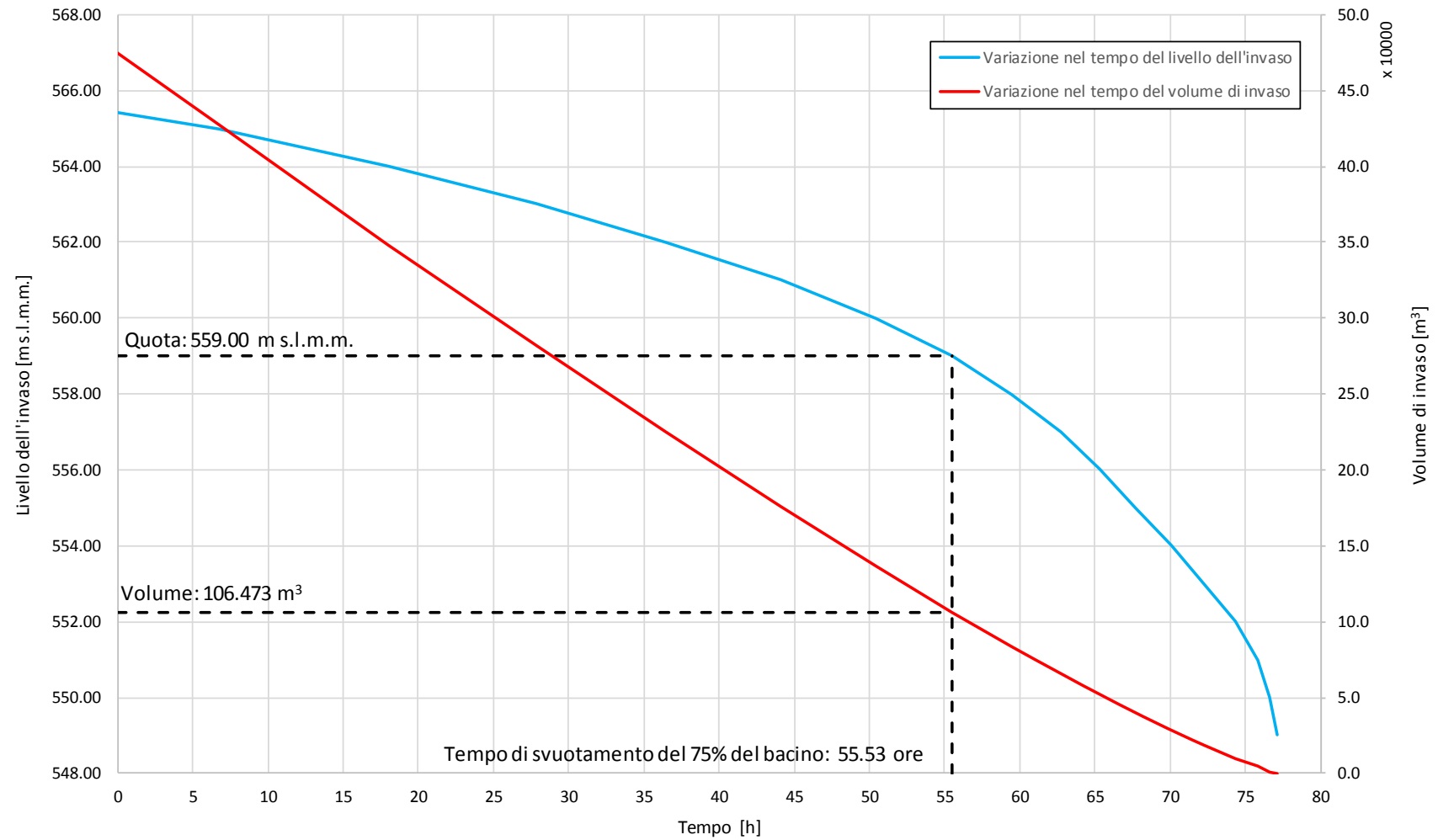
Nelle figure a seguire sono rappresentati i tempi di vuotatura del bacino nell'ipotesi di apertura completa dello scarico di fondo e la corrispondente scala di deflusso .

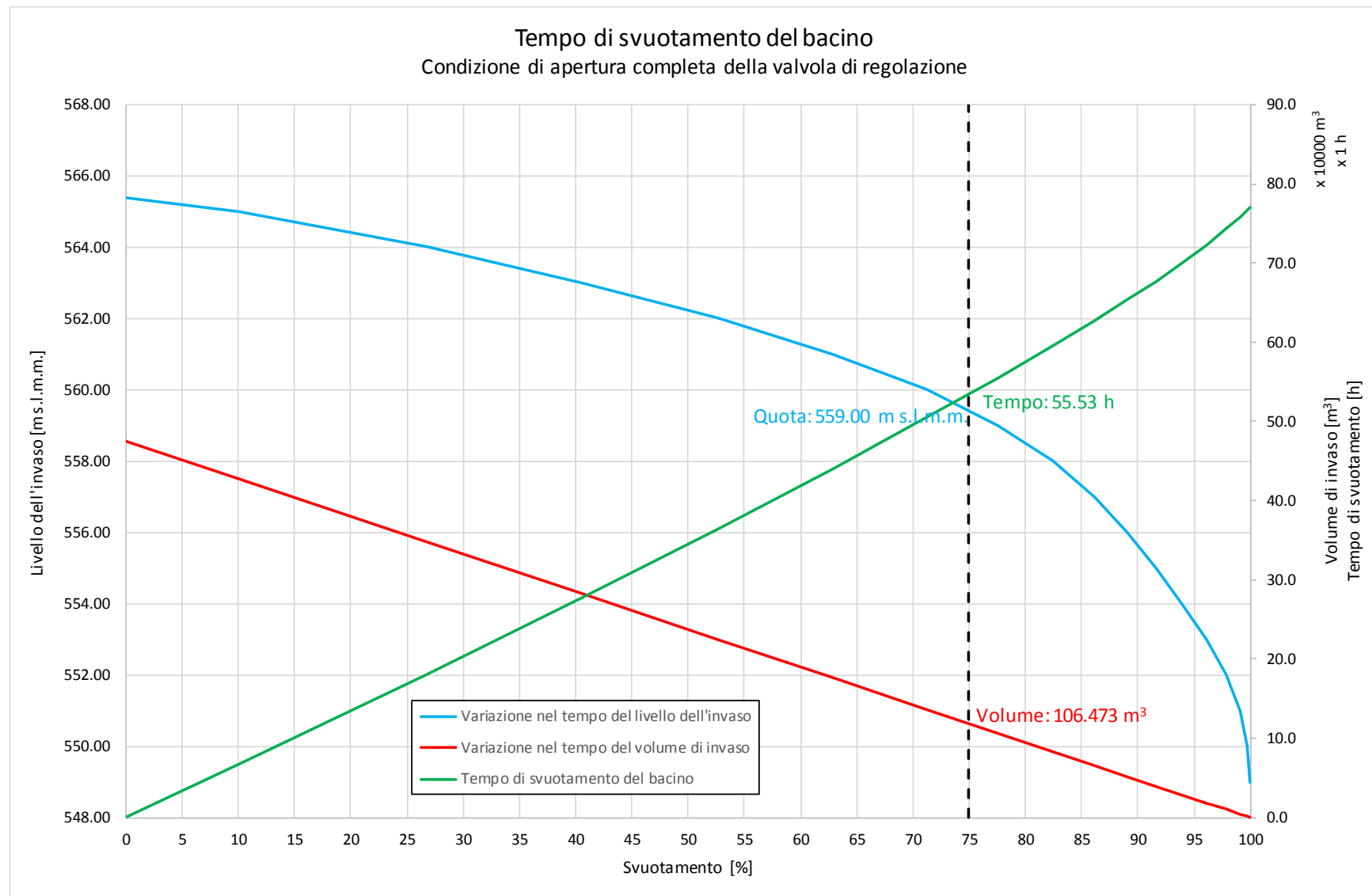
Scala delle portate dello scarico di fondo
Condizione di apertura completa della valvola di regolazione





Tempo di svuotamento del bacino Condizione di apertura completa della valvola di regolazione



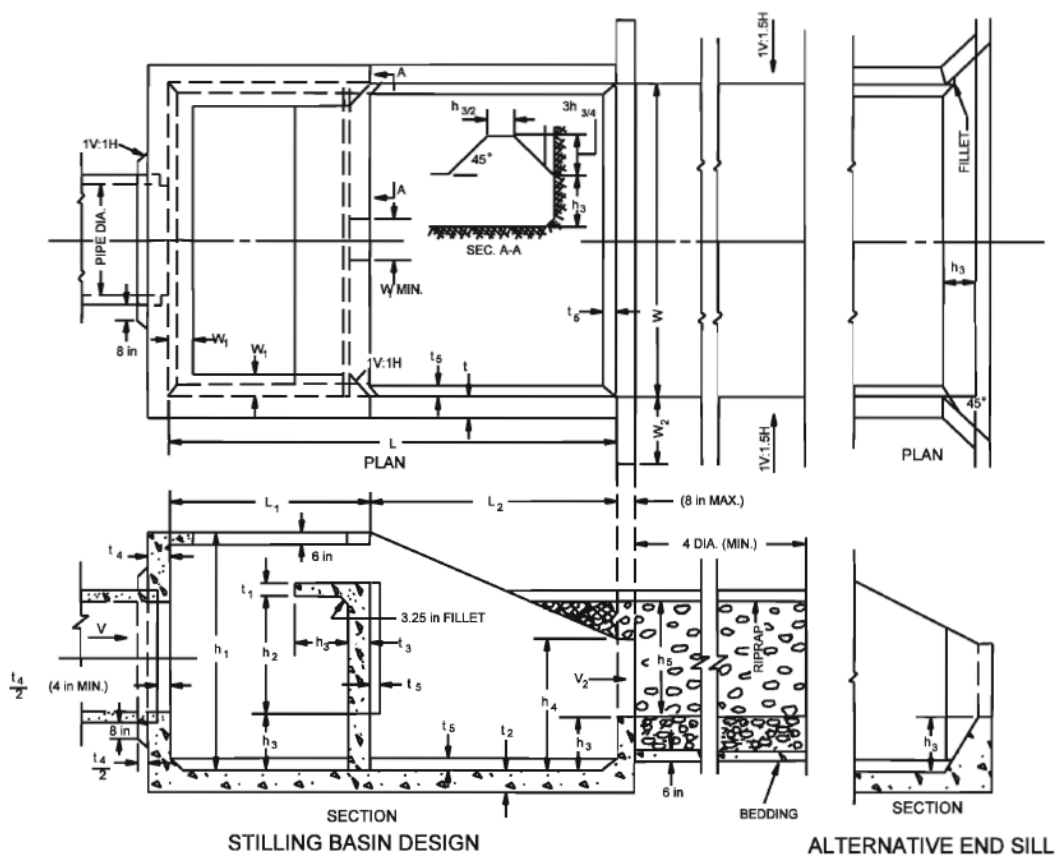


5. VASCA DI DISSIPAZIONE SCARICO DI FONDO

La vasca di dissipazione adottata fa riferimento alle specifiche della vasca di dissipazione Tipo VI sviluppata dallo U.S. Bureau of Reclamation (USBR).

La vasca è contenuta in un struttura relativamente contenuta che non richiede un rigurgito a valle per funzionare correttamente.

Il calcolo dimensionale della vasca fa riferimento alla procedura standardizzata USBR che nella figura seguente definisce i parametri geometrici che dovranno essere calcolati.



USBR TYPE VI (IMPACT) DISSIPATOR

Il carico massimo cui si fa riferimento nel calcolo della vasca è dato dalla differenza tra la quota di massimo invaso (566.10 m s.l.m.m.) e la quota dell'asse della tubazione di scarico (544.11 m s.l.m.m.) pari a circa 22 m.

La portata massima considerata è stata determinata precedentemente ed è pari a 2.30 m³/s.

La pendenza media della condotta di scarico, lunga 220 m, è di 0.018.

Di seguito si riporta la procedura per il dimensionamento della vasca USBR Tipo VI.

Preliminare al dimensionamento è il calcolo della velocità di moto uniforme della portata di progetto a tubo pieno:

$$V_0 = \frac{Q}{A} = \frac{2.30}{0.3848} = 5.98 \text{ [m/s]}$$

Nota V_0 si calcola l'altezza equivalente della sezione:

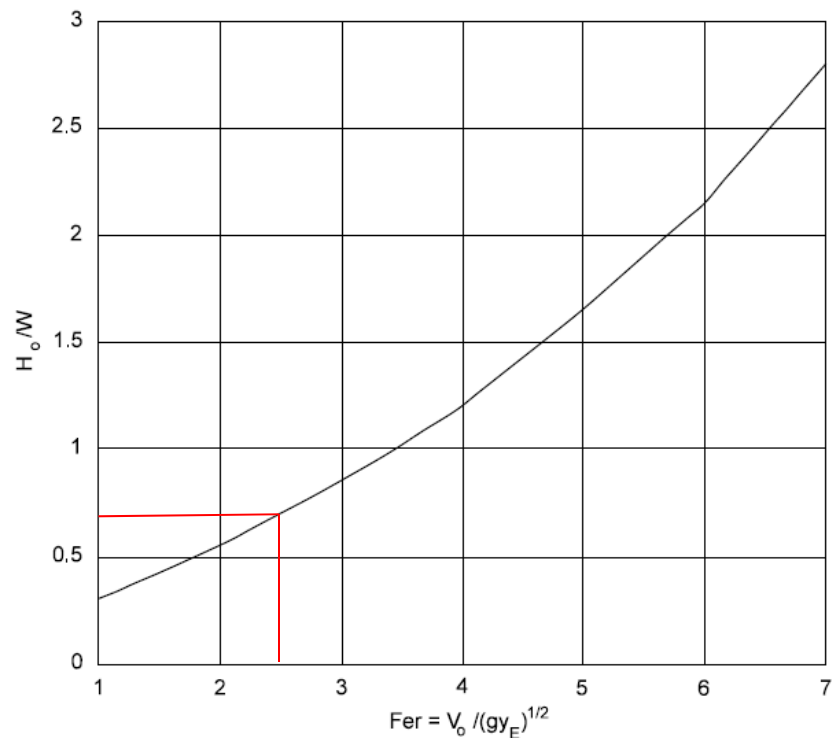
$$y_e = \sqrt{\frac{A}{2}} = \sqrt{\frac{0.3848}{2}} = 0.62 \text{ [m]}$$

Quindi si passa al calcolo del numero di Froude:

$$Fr = \frac{5.98}{\sqrt{9.81 \cdot 0.62}} = 2.42$$

Nota la velocità ed il numero di Froude è possibile calcolare il valore dell'energia H_0 che vale 2.44 [m]

Dal grafico riportato nella figura a seguire si determina in funzione del numero di Froude il valore del parametro H_0/W_B .



DESIGN CURVE FOR USBR TYPE VI DISSIPATOR

Assumendo un valore del Numero di Froude pari a circa 2.5 cautelativamente si considera per il parametro H_0/W_B il valore 0.8.

È quindi ora possibile determinare la larghezza W_B come prodotto dal il parametro 0.8 ed il valore calcolato di H_0 ed arrotondando al valore immediatamente superiore:

$$W_B = \frac{H_0}{0.8} = 3.05 [m] \cong 3.50 [m]$$

Noto il valore del parametro W_B è possibile determinare i valori degli altri parametri geometrici dai dati rappresentati nella seguente tabella fornita dall'USBR:

W_B	h_1	h_2	h_3	H_4	L	L_1	L_2
1.0	0.79	0.38	0.17	0.43	1.40	0.59	0.79
1.5	1.16	0.57	0.25	0.62	2.00	0.88	1.16
2.0	1.54	0.75	0.33	0.83	2.68	1.14	1.54
2.5	1.93	0.94	0.42	1.04	3.33	1.43	1.93
3.0	2.30	1.12	0.50	1.25	4.02	1.72	2.30
3.5	2.68	1.32	0.58	1.46	4.65	2.00	2.68
4.0	3.12	1.51	0.67	1.67	5.33	2.28	3.08
4.5	3.46	1.68	0.75	1.88	6.00	2.56	3.46
5.0	3.82	1.87	0.83	2.08	6.52	2.84	3.82
5.5	4.19	2.03	0.91	2.29	7.29	3.12	4.19
6.0	4.60	2.25	1.00	2.50	7.98	3.42	4.60

W_B	W_1	W_2	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
1.0	0.08	0.26	0.15	0.15	0.15	0.15	0.08
1.5	0.13	0.42	0.15	0.15	0.15	0.15	0.08
2.0	0.15	0.55	0.15	0.15	0.15	0.15	0.08
2.5	0.18	0.68	0.16	0.18	0.18	0.16	0.08
3.0	0.22	0.83	0.20	0.20	0.22	0.20	0.08
3.5	0.26	0.91	0.20	0.23	0.23	0.21	0.10
4.0	0.30	0.91	0.20	0.28	0.25	0.25	0.10
4.5	0.36	0.91	0.20	0.30	0.30	0.30	0.13
5.0	0.39	0.91	0.22	0.31	0.30	0.30	0.15
5.5	0.41	0.91	0.22	0.33	0.33	0.33	0.18
6.0	0.45	0.91	0.25	0.36	0.35	0.35	0.19

Riassumendo riferendosi alla figura della geometria della vasca Tipo VI i valori dei parametri, espressi in metri, che ne definiscono la geometria sono :

$W_B = 3.50$	
$h_1 = 2.68$	$W_1 = 0.26$
$h_2 = 1.32$	$W_2 = 0.91$
$h_3 = 0.58$	$t_1 = 0.20$
$H_4 = 1.46$	$t_2 = 0.23$
$L = 4.65$	$t_3 = 0.23$
$L_1 = 2.00$	$t_4 = 0.21$
$L_2 = 2.68$	$t_5 = 0.10$

6. PORTATA DI PIENA DI RIFERIMENTO PER LA VERIFICA DELLE OPERE PROVVISORIALI

6.1 VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA DI RIFERIMENTO

In merito alle opere provvisorie previste in alveo per l'esecuzione dei lavori si è proceduto alla determinazione della portata di piena di riferimento secondo le metodologie di calcolo prescritte dalla Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del fiume Po (deliberazione 11 maggio 1999), la quale stabilisce al paragrafo 4-8.3 – Condizioni fisiche di riferimento – che per le “fasi significative” di costruzione dell'opera, tenendo conto delle opere provvisorie eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso in piena rispetto alla condizione di opera realizzata [...], il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione, non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera.

Tale definizione richiama il concetto di “rischio idraulico”, cioè la probabilità composta di non superamento che un determinato evento caratterizzato da un tempo di ritorno assegnato, T , si manifesti nel corso di un periodo temporale prefissato, N . Lo sviluppo della formulazione di tempo di ritorno, associato alla probabilità composta per la quale l'evento si manifesti all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, porta alla seguente formulazione del rischio idraulico:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

dove:

- R : rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;
- T : tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);
- N : orizzonte temporale di riferimento (anni).

L'assunto della Direttiva sopracitata può essere interpretato nel modo seguente: il rischio idraulico associato all'interferenza prodotta dalle opere provvisorie nel periodo d'installazione del cantiere (periodo di costruzione dell'opera) deve essere uguale al rischio idraulico che l'evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell'opera.

Stabilite quindi le seguenti variabili:

- T: tempo di ritorno di progetto dell'opera (anni);
- V: durata dell'opera (anni);
- c: durata di costruzione (anni);
- T_{pr}: tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali (anni);

l'assunto precedente si trasforma nella seguente eguaglianza:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T_{pr}}\right)^c = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^V$$

dalla quale si ricava T_{pr}:

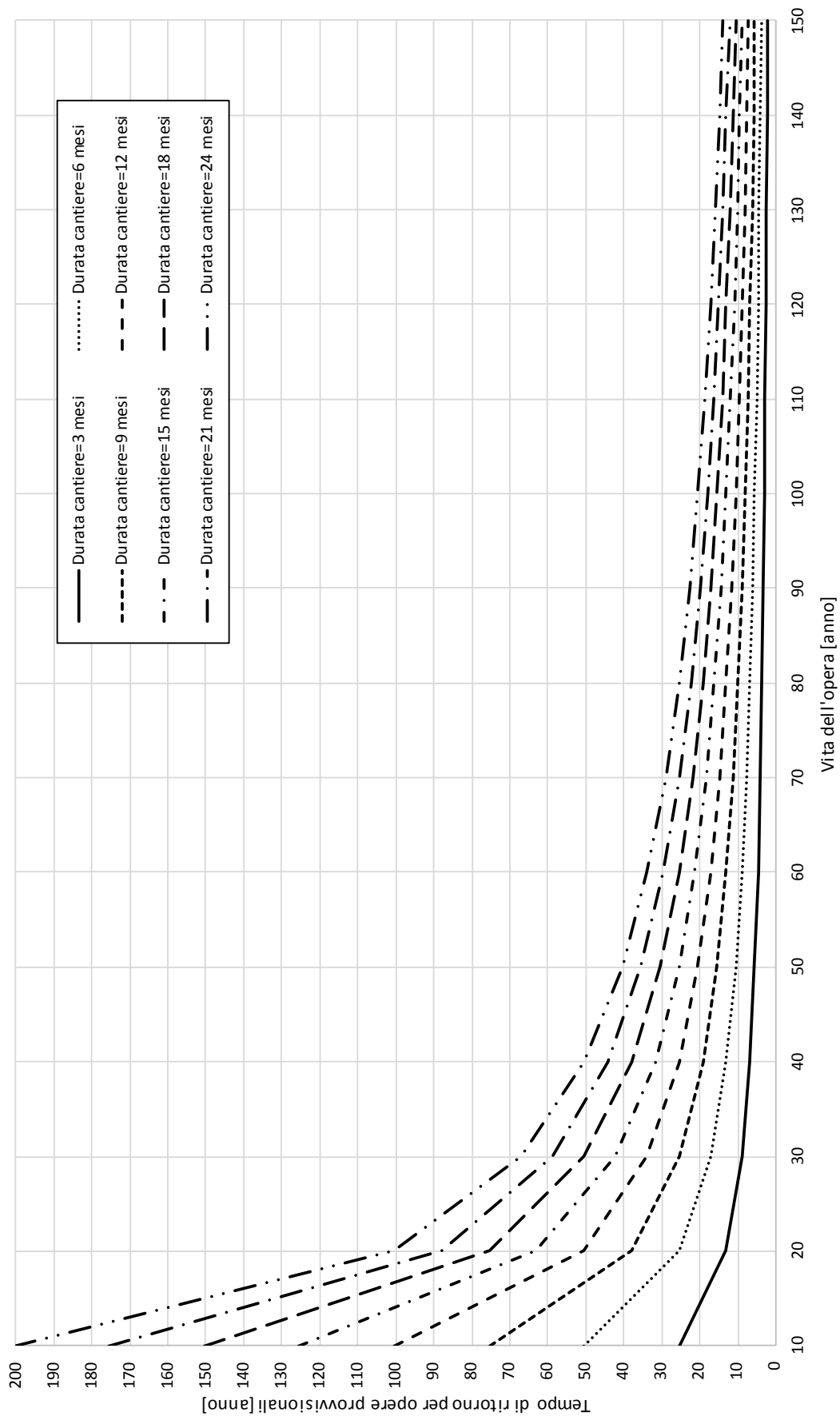
$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{\frac{V}{c}}}$$

Per il calcolo del tempo di ritorno della portata di riferimento per la verifica delle opere provvisionali sono stati assunti i seguenti valori di riferimento:

- il tempo di ritorno della piena utilizzata per il dimensionamento e la verifica dell'opera è stato assunto pari a **T = 20 anni**
- la vita dell'opera è stata assunta pari al periodo di riferimento per costruzione definito della relazione geotecnica e strutturale: **V = 100 anni**
- il tempo di installazione del cantiere è variabile in funzione degli effettivi tempi di lavorazione e si considera che possa interessare cautelativamente un periodo complessivo non superiore a: **c = 24 mesi**

Facendo variare V tra 10 e 150 anni con passo di 10 anni e assumendo per c valori variabili da 6 a 24 mesi con incrementi di tre mesi sono state costruite le curve di variazione di T_{pr} riportate nella seguente figura:

Variazione del tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali in funzione della vita dell'opera (V) e del tempo di costruzione (c) per un tempo di ritorno di progetto di 1000 anni



Come si può notare dal grafico su riportato, all'aumentare della vita dell'opera ed al diminuire del tempo di costruzione si riduce il tempo di ritorno richiesto per la verifica delle opere provvisionali, coerentemente con la struttura delle formulazioni statistiche utilizzate.

Considerando una vita utile dell'opera pari a 100 anni ed assumendo, cautelativamente, un tempo relativo alla presenza del cantiere in alveo di un massimo di 24 mesi (2 anni), risulta che il tempo di ritorno da assumere per la verifica delle opere provvisionali è di circa 20 anni.

La portata al colmo di piena corrispondente ad un tempo di ritorno di 20 anni ha un valore pari a $13 \text{ m}^3/\text{s}$.

6.2 DESCRIZIONE DELLE OPERE PROVVISORIALI PREVISTE IN PROGETTO

La valutazione della portata al colmo di piena di riferimento per le opere provvisionali ha consentito di caratterizzare le due fasi principali dei lavori previsti in progetto.

Le lavorazioni saranno articolate in due fasi principali che consentiranno di operare rispettivamente in condizioni di livello dell'invaso opportunamente limitato, per non interferire pesantemente con le attività da esso dipendenti, ed in condizioni di svasso completo.

Le lavorazioni che saranno effettuate nella **condizione di limitazione dell'invaso** prevedono la formazione di una serie di opere provvisionali di stabilizzazione a supporto della successiva realizzazione del microtunneling e della torre di presa.

La torre di presa che fungerà anche da pozzo di sbocco del microtunneling sarà scavata creando una zona di lavoro a quota 561.55 m s.l.m.m. mantenendo il livello massimo dell'invaso alla quota di 560.00 m s.l.m.m. con opportuna gestione dello scarico di fondo.

Dalla curva dei volumi invasati risulta che i volumi corrispondenti alle quote di riferimento citate sono i seguenti:

- quota piano di lavoro: 561.55 m s.l.m.m. cui corrisponde un volume di circa 177890 m^3
- quota del livello massimo dell'invaso ammissibile durante le lavorazioni: 560.00 m s.l.m.m. cui corrisponde un volume di circa 136685 m^3

La differenza tra i suddetti volumi è di 39645 m^3 , dividendo tale valore per la portata di piena di riferimento pari a $13 \text{ m}^3/\text{s}$ si ottiene un tempo di riempimento del volume calcolato pari a circa 50 minuti. Tale tempo sarà anche il tempo di allontanamento dalle aree delle lavorazioni del personale in sicurezza.

Nell'ipotesi in cui a personale allontanato il livello dell'invaso continui a crescere e che arrivi ad invadere lo scavo della torre o la torre in fase di costruzione non ci potrà essere rilascio incontrollato delle portate poiché il cronoprogramma delle fasi operative per la realizzazione del microtunneling è stato opportunamente scalato in modo tale che quest'ultimo arrivi allo sbocco nella torre solo quando la stessa sarà terminata alla quota finale di 568.20 m s.l.m.m.

Il coronamento della diga è a quota 568.00 m s.l.m.m.

Tale modalità operativa consentirà quindi di conseguire la sicurezza idraulica durante le fasi realizzative non solo rispetto alla portata di riferimento assunta per la progettazione/verifica delle opere provvisoriale pari a 20 anni ma anche rispetto alla portata millenaria.

Le lavorazioni che saranno effettuate nella **condizione di svaso** sono relative essenzialmente alla realizzazione del canale per l'opera di presa e per lo scarico di fondo.

L'opera provvisoriale prevista a protezione delle aree di lavoro è costituita da una tura in materiale sciolto ricavato dagli scavi avente larghezza sommitale di 4 metri e angolo con l'orizzontale di 32°. A monte la tura sarà protetta da una scogliera in massi lapidei e rivestita con telo impermeabile in PVC opportunamente risvoltato in fondazione.

La tura disposta circa perpendicolarmente all'asse principale del bacino ha uno sviluppo di 66 metri circa con quota sommitale a 553.50 m s.l.m.m.

E' previsto che il livello massimo che l'invaso potrà raggiungere sia pari a 552.50 m s.l.m.m. con opportuna gestione dello scarico di fondo.

Dalla curva dei volumi invasati risulta che i volumi corrispondenti alle quote di riferimento citate sono i seguenti:

- quota sommitale tura: 553.50 m s.l.m.m. cui corrisponde un volume di circa 24000 m³
- quota del livello massimo dell'invaso ammissibile durante le lavorazioni: 552.50 m s.l.m.m. cui corrisponde un volume di circa 16000 m³

Il tempo di riempimento del volume corrispondente a quota 552.50, riferito alla portata di piena di riferimenti di 13 m³/s, è pari a circa 20 minuti. Il tempo di riempimento del volume compreso tra la quota sommitale della tura, 24000 m³, e quello corrispondente al livello massimo di riempimento ammissibile 16000 m³ è pari a circa 10 minuti.

Un tempo pari a 20 minuti dovrà consentire l'allontanamento dalle aree delle lavorazioni del personale in completa sicurezza potendo disporre eventualmente di un margine prima della tracimazione della tura di 10 minuti.