



CTG
Italcementi Group

Impianto idroelettrico di Olmo al Brembo
DIGA DI CASSIGLIO
APPESANTIMENTO CORPO DIGA
4 - Relazione idrologica (rev. 1)

Impianto idroelettrico di Olmo al Brembo
DIGA DI CASSIGLIO
APPESANTIMENTO CORPO DIGA
4 - Relazione idrologica (rev. 1)

- A. Premessa
- B. Calcolo della portata di piena allo sfioro degli anni '50
- C. Calcolo della portata di piena allo sfioro sulla base dei dati storici rilevati (metodo di Gumbel)
- D. Calcolo della portata di piena allo sfioro sulla base delle elaborazioni del Servizio Idrografico e Mareografico di Parma
- E. Confronto sui risultati dei calcoli della portata di piena allo sfioro
- F. Conclusioni




Diga di Cassiglio

Relazione idrologica

A. Premessa

La diga di Cassiglio, di proprietà dell'Italcementi S.p.A., è stata costruita nei primi anni '50, ed è situata nella media Valle Brembana, all'altezza di Olmo al Brembo. Lo sbarramento sottende un invaso di 11 Km², che riceve le acque del proprio bacino imbrifero (torrente Cassiglio) e quelle che ad esso sono convogliate dal torrente Stabina, nella valle confinante, tramite una presa ed un canale di derivazione, sboccante immediatamente a monte del manufatto in sponda orografica sinistra. Il bacino imbrifero ha una altezza massima di circa 1600 m.s.l.m., per una altezza allo sfioro di 626 m.s.l.m.

Si fa notare che nei calcoli seguenti:

1. non è stata considerata l'altezza della semionda generata dal vento sulla superficie del lago; essa, infatti, data la morfologia dell'invaso (stretto e non rettilineo) ed il modesto fetch, è ritenuta trascurabile;
2. si suppone disattivata, in caso di piena, la derivazione dal torrente Stabina.

Nei paragrafi seguenti vengono calcolate:

- a. la portata di piena sulla base dei dati ricavati nel corso degli anni dal monitoraggio dello sbarramento;
- b. la portata di piena allo sfioro partendo dal dato fornito dal Servizio Idrografico e Mareografico di Parma e considerando la presenza del bacino, che ha un effetto di attenuazione in corrispondenza della sezione vera e propria della diga.

Come verrà enunciato anche nelle conclusioni, data la piccolezza dell'invaso e data l'incertezza dei dati idrologici ufficiali, si preferisce tuttavia mantenere nei calcoli di stabilità il valore $Q=170 \text{ m}^3/\text{sec}$ proposto dal Servizio Idrografico.

B. Calcolo della portata di piena allo sfioro degli anni '50

Il calcolo fu effettuato avendo a disposizione i dati pluviometrici relativi al ventennio 1926-1945, di cui, nella relazione dell'epoca, si riporta solo l'elaborazione:

- precipitazione media annua 1803 mm
- numero medio dei giorni piovosi dell'anno 76
- precipitazione media giornaliera (riferita ai giorni piovosi) 24 mm
- precipitazione massima giornaliera 170 mm (ottobre 1937)

Si assunse prudenzialmente una precipitazione massima di 200 mm.

Il calcolo fu eseguito utilizzando due metodi, quello del Forti e quello del Giandotti-Visentini. Con il primo, si ottenne una portata di ingresso di $101 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre con il secondo $137 \text{ m}^3/\text{s}$: effettuando poi la media tra i due, risultò una portata in ingresso di $119 \text{ m}^3/\text{s}$. Nei calcoli, tenendo conto degli effetti della laminazione dovuta alla presenza del serbatoio, fu introdotto un valore di $100 \text{ m}^3/\text{s}$, valore della portata allo sfioro.

Si fa notare che in questi calcoli non si rapporta l'entità della portata di piena con un dato periodo di ritorno.

C. Calcolo della portata di piena allo sfioro sulla base dei dati storici rilevati (metodo di Gumbel)

Il calcolo si basa sulle registrazioni quarantennali (1959-1999) degli invasi della diga catalogati alla centrale di Olmo al Brembo. Prima dell'anno 1959, benchè lo sbarramento sia dell'anno 1951, non è stato possibile ottenere documentazione. La serie risulta comunque esaustiva per le calcolazioni statistiche descritte nel seguito, nelle tabelle 1 e 2 e nei grafici 1 e 2.

I passi effettuati sono i seguenti:

1. Si sono trovati i massimi livelli di invaso annuali (tab1 - col2)
2. In base a questi valori si può calcolare, secondo la formula sotto riportata, la portata corrispondente (tab1 - col3).

$$Q = \mu * l * h * \sqrt{2 * g * h} \quad [m^3/s]$$

con	$\mu = 0,45$	coefficiente di deflusso
	$l = 20,1 \text{ m}$	larghezza ciglio sfiorante
	$h =$	altezza di invaso sulla soglia
	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	accelerazione di gravità

3. Poiché non è possibile sapere con certezza se e quanto fosse funzionante lo scarico di fondo, a favore di sicurezza (in quanto questa assunzione rischia solo di sopravvalutare la portata totale effluente) si è considerata la paratoia dello stesso aperta al 100%. In base quindi al livello di invaso, si è trovata la portata corrispondente dell'organo di scarico (tab1 - col4).

$$Q = \mu * A * \sqrt{2 * g * h} \quad [m^3/s]$$

con	$\mu = 0,80$	coefficiente di efflusso
	$A = 1,8 * 1,8 \text{ m}^2$	dimensioni scarico di fondo
	$h =$	carico sul baricentro della vena effluente
	$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	accelerazione di gravità

4. Si sono sommate i due contributi (portata sfiorante + portata dello scarico di fondo), ricavando così la portata totale massima annuale (tab1 - col5).
5. Con la nota formula di Gumbel, riportata in allegato 1, si sono trovate le portate (tab2 - col2) corrispondenti ad un determinato periodo di ritorno (tab2 - col1).
6. Le colonne 3 e 4 della tabella 2 riportano la teorica altezza di soglia ed il franco dall'intradosso della passerella sul coronamento diga che si raggiungerebbero (sempre in corrispondenza ad un determinato periodo di ritorno) in caso di fuori servizio dello scarico di fondo. Come si può notare, il franco residuo con la portata di piena millenaria è di 1,52 m.

I grafici 1 e 2 illustrano sinteticamente i risultati del calcolo.

anno	invaso	Q _{invaso}	Q _{scarico}	Q _{totale}
	m	mc/s	mc/s	mc/s
col. 1	col. 2	col. 3	col. 4	col. 5
1959	626,90	34,21	42,50	76,70
1960	626,00	0,00	41,08	41,08
1961	626,00	0,00	41,08	41,08
1962	626,00	0,00	41,08	41,08
1963	626,00	0,00	41,08	41,08
1964	626,15	2,33	41,32	43,64
1965	626,30	6,58	41,55	48,14
1966	626,20	3,58	41,40	44,98
1967	626,20	3,58	41,40	44,98
1968	626,10	1,27	41,24	42,50
1969	626,15	2,33	41,32	43,64
1970	626,08	0,91	41,20	42,11
1971	626,10	1,27	41,24	42,50
1972	626,10	1,27	41,24	42,50
1973	626,20	3,58	41,40	44,98
1974	626,20	3,58	41,40	44,98
1975	626,10	1,27	41,24	42,50
1976	626,20	3,58	41,40	44,98
1977	626,10	1,27	41,24	42,50
1978	626,10	1,27	41,24	42,50
1979	626,06	0,59	41,17	41,76
1980	626,20	3,58	41,40	44,98
1981	626,15	2,33	41,32	43,64
1982	626,10	1,27	41,24	42,50
1983	626,10	1,27	41,24	42,50
1984	626,10	1,27	41,24	42,50
1985	626,15	2,33	41,32	43,64
1986	626,10	1,27	41,24	42,50
1987	626,40	10,14	41,71	51,85
1988	626,15	2,33	41,32	43,64
1989	626,10	1,27	41,24	42,50
1990	626,27	5,62	41,51	47,13
1991	626,20	3,58	41,40	44,98
1992	626,22	4,13	41,43	45,56
1993	626,19	3,32	41,38	44,70
1994	626,31	6,92	41,57	48,49
1995	626,38	9,38	41,68	51,07
1996	626,21	3,86	41,41	45,27
1997	626,23	4,42	41,44	45,86
1998	626,19	3,32	41,38	44,70
1999	626,22	4,13	41,43	45,56
media				44,97
scarto				5,58
u				42,46
α				0,23

Tabella 1

T	Q	h_{soglia}	franco
anni	mc/s	m	m
col. 1	col. 2	col. 3	col. 4
50	59,42	1,30	1,70
100	62,46	1,34	1,66
150	64,23	1,37	1,63
200	65,48	1,38	1,62
250	66,45	1,40	1,60
300	67,25	1,41	1,59
350	67,92	1,42	1,58
400	68,50	1,42	1,58
450	69,01	1,43	1,57
500	69,47	1,44	1,56
550	69,88	1,44	1,56
600	70,26	1,45	1,55
650	70,61	1,45	1,55
700	70,93	1,46	1,54
750	71,23	1,46	1,54
800	71,51	1,47	1,53
850	71,78	1,47	1,53
900	72,03	1,47	1,53
950	72,26	1,48	1,52
1000	72,48	1,48	1,52

$$Q(T) = u - 1/\alpha * \ln[\ln(T/(T-1))]$$

Tabella 2

Portate in funzione del periodo di ritorno

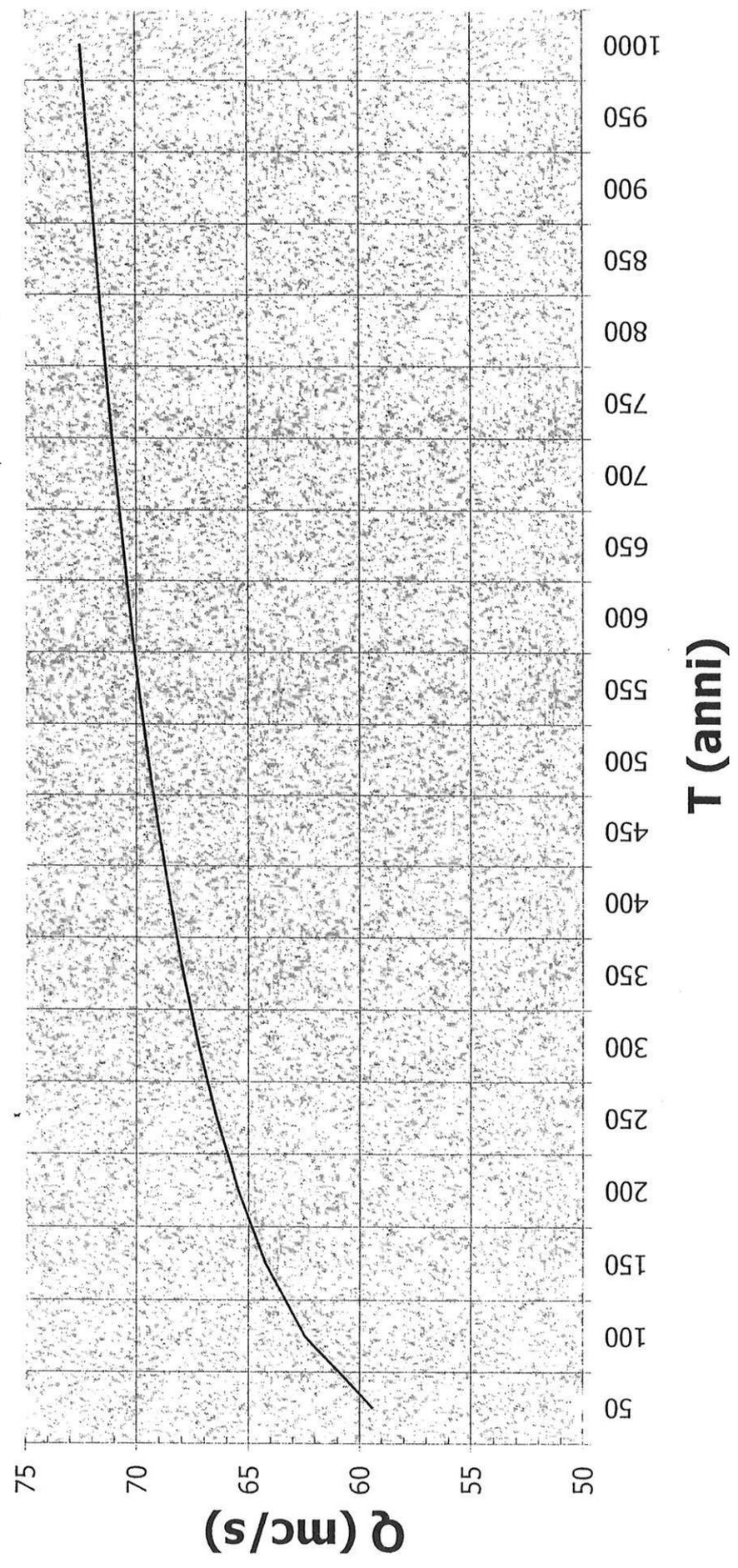


Grafico 1

Franco in funzione del periodo di ritorno (a scarico di fondo chiuso)

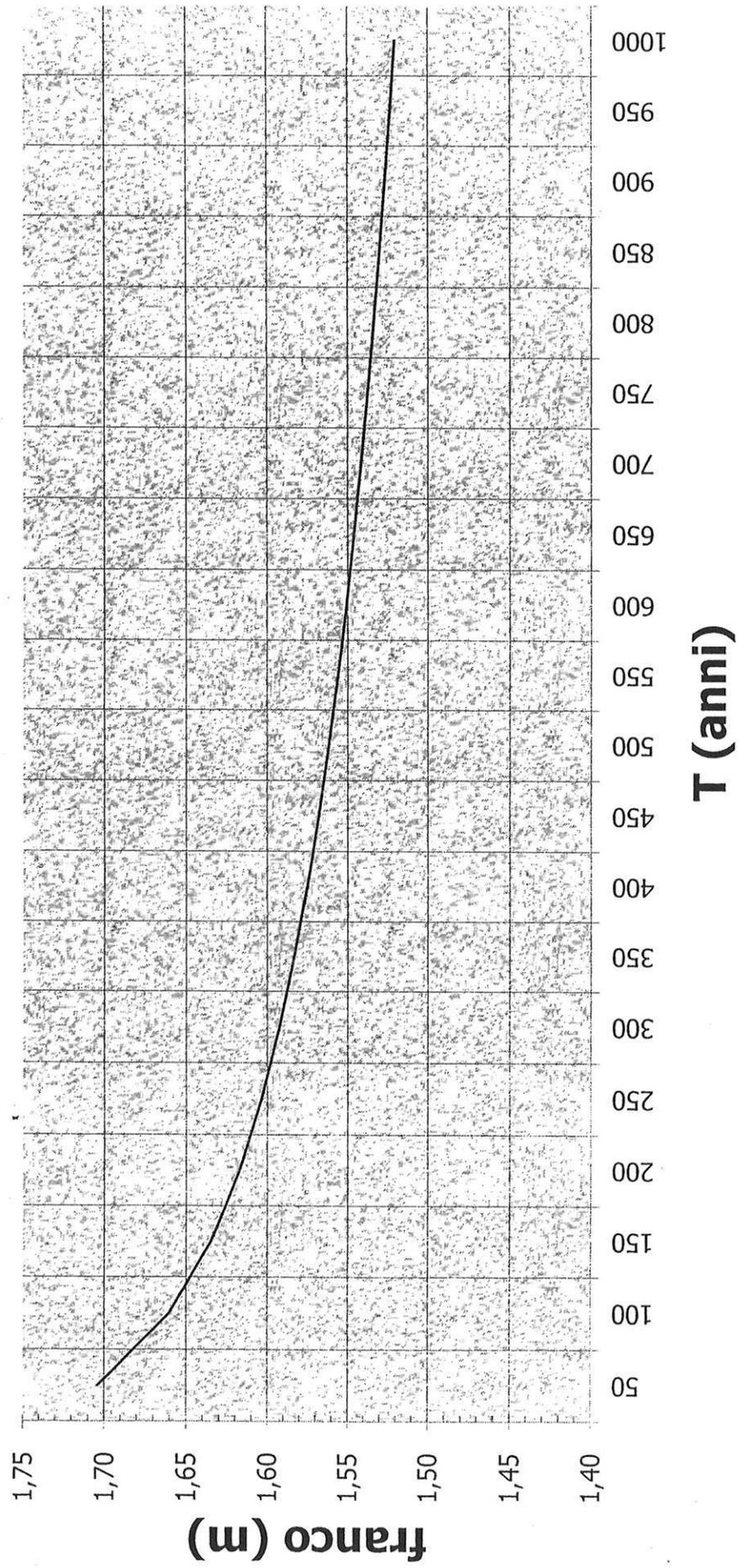


Grafico 2

D. Calcolo della portata di piena allo sfioro sulla base dell'elaborazioni del Servizio Idrografico e Mareografico di Parma

D.1. Portata di piena di ingresso comunicata dal Servizio Idrografico e Mareografico di Parma

Con lettera n° 841 del 02.05.1996 (allegato 1) il Servizio Idrografico e Mareografico di Parma ci ha comunicato che la portata millenaria raggiunge i 170 m³/s, precisando tuttavia di non disporre di stazioni idrometrografiche per la misura di portata nelle sezioni fluviali interessate dall'opera.

D.2. Calcolo della portata di piena allo sfioro

E' stato ricostruito un possibile idrogramma di piena mediante la formulazione elaborata da Nash. L'unico dato disponibile per la taratura della funzione portate-tempo consiste nella $Q_{ing} = 170 \text{ m}^3/\text{s}$, ovvero il massimo della curva. Non è stato possibile reperire dati pluviometrici, per cui la precipitazione considerata è stata presa qualitativamente per analogia con altri bacini, variando l'intensità della pioggia fino ad ottenere la portata massima desiderata.

La costruzione dell'idrogramma si basa anche sulle caratteristiche del bacino, che vengono introdotte mediante i due parametri n e k: il loro valore è stato ottenuto considerando la formulazione derivata da quella di Mc Sparran:

$$n = 4.1 t_p/k_1 \quad e \quad k = t_p/(n-1) \quad [\text{h}] \quad \text{dove} \quad t_p [\text{h}] = 5.52 S^{0.208}/P^{0.447}$$

$$k_1 [\text{h}] = 3.34 S^{0.297}/P^{0.354}$$

con S (area bacino) in mi² (1 mi² = 2.59 km²) e P pendenza della retta di compenso $\approx (H_{max} - H_{min})/L$ in m/km

L'integrale della formula di Nash viene riscritto in termini discreti:

$$Q(m \Delta t) = \frac{S}{k\Gamma(n)} \sum_{i=1}^m e^{-\frac{i\Delta t}{k}} \left(\frac{i\Delta t}{k}\right)^{n-1} j_{m-i+1} \Delta t$$

con

m, i	indici relativi ad uno specifico Δt
r	indice relativo ad uno specifico Δt del diagramma degli afflussi efficaci sul bacino per i 9 intervalli orari considerati (è presente solo nella tabella)
Δt	intervallo di tempo considerato (1 [h])
j	valore degli afflussi efficaci [mm/h]
$\Gamma(n)$	(n-1)! funzione gamma
S	estensione del bacino [km ²]
k,n	parametri caratteristici del bacino
Q	portata di ingresso nel bacino [m ³ /s]

La tabella allegata 3 riporta il calcolo dell'idrogramma. Si fa notare che le colonne contrassegnate dall'indice $r = 1 \div 9$ rappresentano, a meno della superficie S , gli idrogrammi corrispondenti a ciascun impulso di pioggia considerato. Ovviamente tali idrogrammi sono diversi da zero solo per $i \geq r$, ovvero per istanti successivi all'impulso di pioggia considerato.

Dai risultati dal calcolo si può notare che all'impulso di pioggia massimo corrisponde una portata di ingresso massima, cioè gli effetti della pioggia si avvertono senza dilazioni di tempo sull'invaso sotteso dalla diga.

Il grafico 3 illustra l'andamento delle portate in funzione del tempo.

Il passo successivo è stato quello di calcolare la portata che effettivamente arriva allo scarico di superficie della diga. I risultati sono esplicitati nella tabella 4.

A tale proposito, si ipotizza che la precipitazione avvenga con la diga al limite dello sfioro (626 m.s.l.m.).

Trascurando i transitori, il bilancio orario del bacino si può esprimere come:

$$V_{\text{ing}} = V_{\text{sf}} + V_{\text{inv}}$$

con:

V_{ing} = volume d'acqua in ingresso (ottenuto moltiplicando il valore della portata di piena dell'ora i per 3600 secondi)

V_{sf} = volume sfiorato in un'ora, funzione dell'altezza di soglia h

$$V_{\text{sf}} = 3600 * 40,06 * h^{3/2}$$

V_{inv} = volume invasato in un'ora, sempre funzione di h . Nell'intervallo h compreso tra 0 e 2,5 metri, tale relazione si può considerare lineare:

$$V_{\text{inv}} = 36250 * h$$

Risolvendo per tentativi tale equazione, si ottengono, per ogni intervallo orario i , i valori di h riportati nella colonna 5. La colonna Q_{sf} esprime, in m^3/s , la portata allo sfioro nell'intervallo i . Si riporta nell'ultima colonna la percentuale di portata allo sfioro rispetto a quella di ingresso.

La portata massima allo sfioro risulta essere pari a $151 \text{ m}^3/\text{s}$.

MODULARIO
P.C.M. - S.I.M. - 5*Presidenza del Consiglio dei Ministri*

PARMA

12/12/95

UFFICIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO

PARMA

Di.....

N° *SH**Risposta al Foglio del*

N°

AllegatiSpett.le CTG Italcementi
Via G. Camozzi, 124
24121 Bergamo
Alla c.a. dell'ing. Marco Pegoraro**OGGETTO:** Portate centennale, cinquecentennale e millenaria del torrente
Cassiglio alla sezione dello sbarramento di Cassiglioe p.c. Uff. Idr. del Po (sez. di Milano)
Via Marina 5, MilanoProv. OO.PP.
Via Marina 5, Milano

Con riferimento alla richiesta del 05.12.95 della C.T.G. S.p.A. si fa presente che questo Ufficio non dispone attualmente di stazioni idrometrografiche né per la misura di portata nelle sezioni fluviali indicate in oggetto.

Le serie storiche delle portate, disponibili per il passato, presentano periodi di osservazione troppo brevi per poter effettuare un'affidabile regolarizzazione delle portate al colmo o quantomeno per permettere di utilizzare soltanto tale metodo di calcolo.

Di conseguenza i valori delle portate di piena sono stati determinati tenendo conto sia di metodi diretti che indiretti e per analogia con le caratteristiche idrologiche di bacini simili.

Dalle elaborazioni di carattere statistico-probabilistico ed empirico si sono ricavati i seguenti valori:

Torrente Cassiglio alla sezione dello sbarramento di Cassiglio:**Bacino imbrifero direttamente sotteso: circa 11 kmq****Portata con tempo di ritorno centennale: 135 mc/s****Portata con tempo di ritorno cinquecentennale: 160 mc/s****Portata con tempo di ritorno millenario: 170 mc/s**

E' d'obbligo sottolineare che le elaborazioni di cui sopra sono il risultato delle attuali disponibilità di dati e conoscenze, che la carenza delle stesse per il periodo più recente, soprattutto per quanto riguarda i regimi delle portate, conducono a risultati non esenti da margini di incertezza.

Si raccomanda pertanto l'adozione di franchi e coefficienti di sicurezza sovradimensionati per tutte quelle opere, impianti o parte di essi che abbiano particolare attinenza con la pubblica incolumità, con particolare riguardo per quanto concerne il materiale trasportato in sospensione o in superficie dalla corrente, in special modo nel caso di gallerie o di copertura alvei.

IL DIRETTORE
Dott. Ing. LUIGI CIARMATORI

Idrogramma di Nash

Mc Sparran	
Hmax	1600 m
Hmin	626 m
L	4 Km
S	4,25 mi ²
tp	0,64
k1	0,73
	k 0,25
	n 3,57
	S 11 Km ^q

F*I(n)/S	I(n)	F/S	h →		7	13,4	19,6	22,8	21	18	15,5	10,2	6	Q
			↓ i	r →										
2,58993	1,16671	2,21985	1	15,53896	1	2	3	4	5	6	7	8	9	47,48
0,27547	1,16671	0,23611	2	1,65275	29,74601									95,94
0,01397	1,16671	0,01198	3	0,08383	3,16383	43,50909								142,87
0,00052	1,16671	0,00045	4	0,00314	0,16048	4,62770								169,29
0,00002	1,16671	0,00001	5	0,00010	0,00601	0,23474	5,38324		46,61688					159,63
0,00000	1,16671	0,00000	6	0,00000	0,00019	0,00879	0,27306		4,95825	39,95733				138,10
0,00000	1,16671	0,00000	7	0,00000	0,00001	0,00028	0,01023		0,25150	4,24993	34,40770			118,92
0,00000	1,16671	0,00000	8	0,00000	0,00000	0,00001	0,00032		0,00942	0,21557	3,65966			81,06
0,00000	1,16671	0,00000	9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001		0,00030	0,00808	0,18563		13,31911	48,65
0,00000	1,16671	0,00000	10	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00001	0,00026	0,00695	0,12216	1,41664	4,72
0,00000	1,16671	0,00000	11	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00001	0,00022	0,00458	0,07186	0,23
0,00000	1,16671	0,00000	12	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00001	0,00015	0,00269	0,01
0,00000	1,16671	0,00000	13	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00009	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	14	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	15	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	16	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	17	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	18	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	19	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	20	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	21	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	22	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	23	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	24	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00
0,00000	1,16671	0,00000	25	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000		0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00

Tabella 3

Idrogramma di Nash

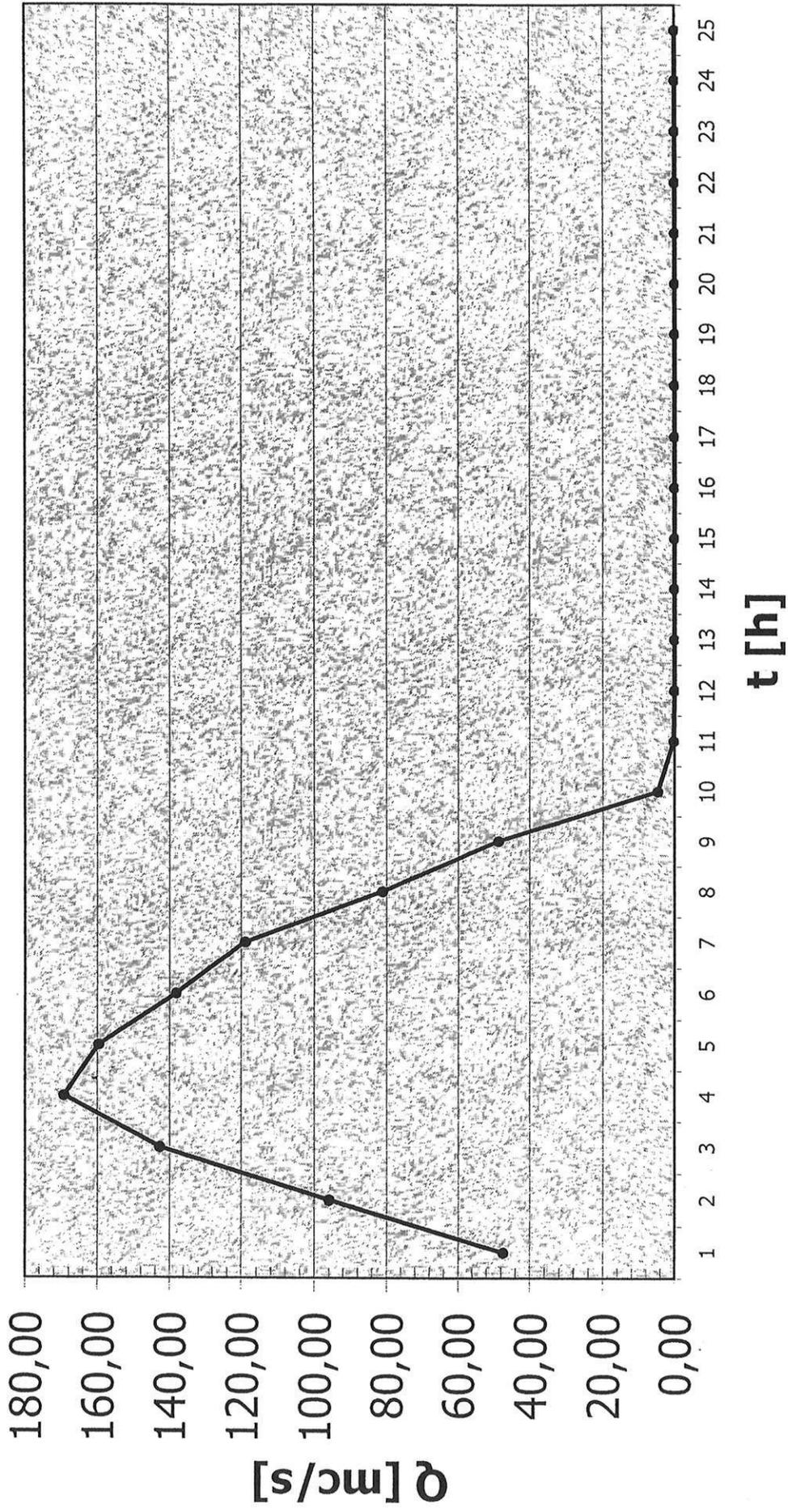


Grafico 3

t	Qing(t)	Δt	Ving	h	Vsf	Vinv	Vtot	Qsf	% sf/ing
[h]	[mc/s]	[s]	[mc]	[m]	[mc]	[mc]	[mc]	[mc/s]	
1	47,48	3600	170928	1,21	127744	43863	171606	35	0,75
2	95,94	3600	345384	1,59	289851	57638	347489	81	0,84
3	142,87	3600	514332	1,84	449197	66700	515897	125	0,87
4	169,29	3600	609444	1,96	542940	71050	613990	151	0,89
5	159,63	3600	574668	1,92	510372	69600	579972	142	0,89
6	138,10	3600	497160	1,82	434708	65975	500683	121	0,87
7	118,92	3600	428112	1,72	366918	62350	429268	102	0,86
8	81,06	3600	291816	1,49	238530	54013	292542	66	0,82
9	48,65	3600	175140	1,22	130937	44225	175162	36	0,75
10	4,72	3600	16992	0,37	3652	13413	17065	1	0,21
11	0,23	3600	828	0,03	2	1088	1089	0	0,00
12	0,01	3600	36	0,01	0	363	363	0	0,00

Tabella 4

E. Confronto sui risultati dei calcoli della portata di piena allo sfioro

Si riassumono le portate di piena allo sfioro calcolate ai paragrafi B, C e D.

Relazione idrologica 1951	100	m ³ /s
Portata di piena allo sfioro sulla base dei dati storici rilevati (metodo di Gumbel)	72	m ³ /s
Portata di piena allo sfioro sulla base dell'elaborazioni del Servizio Idrografico e Mareografico di Parma	151	m ³ /s

F. Conclusioni

Poichè il Servizio Idrografico e Mareografico di Parma non possiede misurazioni di portata nella sezione fluviale interessata, è ragionevole arguire che il dato trasmesso sia stato calcolato con estrema prudenza.

Nonostante la portata millenaria calcolata al punto C, basata su dati rilevati per un periodo di 40 anni, sia notevolmente inferiore, tuttavia, data la piccolezza dell'invaso e data l'incertezza dei dati idrologici ufficiali, si preferisce assumere nei calcoli di stabilità la portata indicata dal Servizio Idrografico e Mareografico di Parma.

I calcoli di stabilità sono stati quindi effettuati con $Q = 170 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con tale portata il livello max di invaso raggiunge quota 628,62 m.s.l.m. (ved. rel. n° 7).

Poichè il piano di coronamento attuale è a quota +629,30 m.s.l.m., il franco netto risulterebbe $f=0,68 \text{ m}$, inferiore a quello consentito dalla normativa. Per tale motivo si prevede l'innalzamento del piano di coronamento, e quindi anche della passerella, fino a quota 630,10 m.s.l.m. Il franco netto risulta così essere $f=1,48 \text{ m}$, e la vena sfiorante sulla sezione tracimabile ha un franco di 1,18 m rispetto all'intradosso della passerella. Si fa notare che la quota di sfioro e di max invaso non viene modificata (626,00 m.s.l.m.).

Lo schema alla pagina seguente ed i disegni allegati illustrano graficamente quanto sopra esposto.

sezione trascinabile

