



REGIONE PIEMONTE

Direzione Trasporti

Settore navigazione interna e merci

*IMPIANTO IDROELETTRICO DI
PORTO DELLA TORRE*

Costruzione conca di navigazione

PROGETTO ESECUTIVO

Relazione idrometrica e idraulica



CONSORZIO DEL TICINO

20121 MILANO – CORSO DI PORTA NUOVA, 18

TELEFONO 02 29004722 – TELEFAX 02 29004733

E-MAIL: conticino@tin.it

Divisione Generazione ed Energy Management

Area di Business Energie Rinnovabili

Ingegneria Civile idraulica - Milano

Viale Edison, 18 20099 Sesto S. Giovanni (Mi)

Tel. 02 23202465 – Fax. 02 23202477

RI-prog. def. rev01.doc
20.05.2004

SOMMARIO

| | |
|--|-----------|
| 1) INTRODUZIONE | 2 |
| 2) IDROMETRIA | 4 |
| 2.1 LIVELLI DI MINIMA E MASSIMA NAVIGAZIONE | 4 |
| 2.2 IMBARCAZIONE TIPO | 6 |
| 2.2 CARATTERISTICHE IDRAULICHE DEI MANDRACCHI | 7 |
| 3) PROCESSI IDRAULICI NELLA VASCA DELLA CONCA | 12 |
| 3.1 SISTEMA DI ALIMENTAZIONE | 12 |
| 3.2 RIEMPIMENTO | 13 |
| 3.3 SVUOTAMENTO | 16 |
| 3.4 RISULTATO DEI CALCOLI IDRAULICI | 16 |
| 4) RIFERIMENTI | 26 |

1) INTRODUZIONE

La presente relazione idrometrica e idraulica si applica al progetto redatto per la costruzione di una conca di navigazione, che supererà, nell'impianto idroelettrico di Porto della Torre di proprietà dell'ENEL spa, l'omonimo sbarramento sul fiume Ticino.

La conca sarà costruita in sponda destra, oltre la spalla dello sbarramento, in un'area ora destinata al deposito dei panconi d'emergenza.

La costruzione della conca si inserisce nel progetto delle regioni Piemonte e Lombardia, di ripristinare la navigabilità del fiume Ticino, dalla sua uscita dal Verbano fino all'inizio del canale industriale dell'Enel. Questo progetto prevede oltre la costruzione della conca di Porto della Torre il completamento e l'adeguamento di altre conche annesse ad opere di ritenuta, regolazione e derivazione esistenti in questo tratto di fiume.

La conca è stata progettata tenendo conto delle caratteristiche delle conche esistenti e soprattutto, sulla dimensione dell'imbarcazione tipo da utilizzare sulla via navigabile individuata, dalle Regioni interessate, in un natante di tipo "Peniche" di 25 m di lunghezza e 5 metri di larghezza.

L'opera in progetto ha le seguenti caratteristiche principali:

- lunghezza utile 30.50 m
- larghezza utile 10.00 m
- quota soglia di monte 189.55 m s.l.m.
- quota soglia di valle 182.60 m s.l.m.
- quota fondo vasca 182.40 m s.l.m.
- quota della sommità delle pareti 194.00 m s.l.m.
- profondità utile (sulla soglia di monte) 1.80 m
- quota di massima navigazione a monte 192.50 m s.l.m.
(coincide con la massima ritenuta dello sbarramento)
- quota di minima navigazione a valle 185.91 m s.l.m. circa
(livello min. di valle che si verifica per più di
10 gg l'anno);
- altezza libera di navigazione 4.00 m circa

Di seguito sono riportate: alcune valutazioni sull'idrometria del f. Ticino in relazione alla regolazione eseguita dallo sbarramento di Porto della Torre; il dimensionamento degli acquedotti

di alimentazione della conca in relazione alla geometria della vasca e al tipo di funzionamento della stessa, effettuato sulla base delle indicazioni riportate sulla “ Normativa per la redazione dei progetti di via navigabile” del 1991, proposta da Consiglio Superiore dei LL.PP.

2) IDROMETRIA

Le condizioni idrometriche che interessano la conca di navigazione sono ovviamente determinate oltre che dall'idrometria del fiume Ticino, dal tipo di esercizio idraulico, e in particolare dalle quote del pelo liquido dell'invaso, originate dallo sbarramento di Porto della Torre.

Il disciplinare di concessione dell'impianto idroelettrico definisce due quote di massimo invasore:

- invernale (4 mesi) a 192.50 m s.l.m.,
- estiva (8 mesi) a 191.35 m s.l.m..

In questi ultimi anni l'Enel ha ottenuto di esercire lo sbarramento, in periodi di portate ordinarie, a una quota costante di 192.50 m s.l.m..

La quota del pelo dell'acqua a valle dello sbarramento sarà funzione delle portate trascinanti dello sbarramento del Panperduto, situato a circa 1,5 km a valle di Porto della Torre.

Nella relazione tecnica che accompagna il progetto dello sbarramento: "Variante del 24 settembre 1951 al progetto giugno 1941", sono state inoltre definite, per la piena straordinaria di 5000 m³/sec., le quote del pelo libero a monte e a valle che sono rispettivamente di 192,39 m s.l.m. e 190,76 m s.l.m..

Per la progettazione della conca appare subito evidente che è di fondamentale importanza la conoscenza dei valori delle portate e ancora di più dei livelli idrici associati ad esse, che si instaurano nel Ticino, a monte e a valle dello sbarramento e da questi, trarne i valori estremi entro i quali si dovrà garantire il funzionamento della conca.

Per la definizione di questi valori, si è effettuata un'analisi statistica in termini di escursione e di frequenza dei livelli idrici di monte e di valle, su un campione di dati giornalieri relativi al periodo 1/1/1997 e 30/11/2003 che di seguito riportiamo.

2.1 Livelli di minima e massima navigazione

I limiti di esercizio della conca sono definiti dai livelli minimi e massimi della via navigabile, associati alla probabilità che questi possano essere superati.

L'operatività della conca dovrà svolgersi per un certo periodo di tempo, entro questi limiti.

Per le vie d'acqua della rete che fa capo al fiume Po, è comune fare riferimento ad una disponibilità del 95%, che corrisponde ad assumere come livelli estremi, quelli associati alle portate Q_{10} e Q_{355} .

Si assumono cioè i livelli che statisticamente, si sono verificati più di 10 giorni l'anno e sono

stati disponibili per 355 giorni.

Per la determinazione di questi valori, è stato utilizzato come si è precedentemente citato, un campione di dati di livelli giornalieri, registrati a monte e a valle dello sbarramento di Porto della Torre e che sono stati parzialmente correlati alle portate del fiume Ticino.

I grafici più avanti riportati, mostrano:

- l'andamento dei livelli a monte e a valle dello sbarramento e l'andamento delle portate nel fiume Ticino;
- la scala delle durate dei livelli di monte rapportata a 365 giorni;
- la scala delle durate dei livelli di valle rapportata a 365 giorni.

Dai grafici appare quanto segue:

- il livello di valle disponibile per almeno 355 gg/anno è posto alla 185.91 m s.l.m.;
- il livello di valle che si è verificato per almeno 10 gg/anno è posto alla 187.27 m s.l.m.;
- il livello di monte disponibile per almeno 355 gg/anno è posto alla 191.36 m s.l.m.; (a questo proposito si può osservare che l'abbassamento del livello del pelo liquido di monte, che si osserva dal campione di dati considerato, non è tanto dovuto a obblighi di disciplinare, ma ad un'esercizio dello sbarramento volto a garantire, in occasione di portate particolarmente elevate, un maggior facilità di flusso nel tratto di fiume compreso fra la Miorina e lo sbarramento stesso, la quota minima di invaso 191,25 m s.l.m. si è, infatti, verificata con una portata, sicuramente eccezionale, di circa 2525 m³/sec).
- il livello di monte che si è verificato per almeno 10 gg/anno è posto alla 192.52 m s.l.m..

Dal campione di dati preso in considerazione abbiamo estrapolato le portate del fiume Ticino associabili ai livelli di valle a 355 gg/anno e 10 gg/anno che sono rispettivamente di circa: 125 m³/sec. e 970 m³/sec..

Dagli annali idrologici pubblicati dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Parma per il fiume Ticino alla Miorina per il periodo compreso fra il 1921 e 1983 si ricava:

- portata media annua 295 m³/sec;
- durata delle portate a 10 gg/anno: 907 m³/sec;
- durata delle portate a 355 gg/anno: 86 m³/sec.

Tali dati ci sembrano abbastanza congruenti con i dati del campione, considerando soprattutto i maggiori apporti relativi bacino imbrifero residuo che si chiude a Porto della Torre posto a circa 6 km a valle della Miorina.

Dal campione di dati elaborati risulta inoltre che:

- il livello minimo a valle dello sbarramento è stato misurato a quota 185.59 m s.l.m.;
- il massimo livello a valle dello sbarramento è stato misurato a quota 189.00 m s.l.m.;
- i livelli di monte sono piuttosto costanti ed hanno un'oscillazione massima di circa 1.32 m compreso fra le quote 192.55 e 191.25 m s.l.m.; (vi è per altro da osservare che per circa 240 gg/anno il livello di monte ha oscillazioni contenute fra un delta di 12 cm che si colloca fra la quota 192.52 e 192.40).

In conclusione riassumiamo quali sono le principali caratteristiche idrometriche del fiume che influiscono sulla conca:

- massimo livello di navigabilità a monte (H_{10gg}): 192.50 m s.l.m.;
- minimo livello di navigabilità a monte (H_{355gg}): 191.36 m s.l.m.;
- massimo livello di navigabilità a valle (H_{10gg}): 187.27 m s.l.m.;
- minimo livello di navigabilità a valle (H_{355gg}): 185.91 m s.l.m.;

I tratti di fiume in prossimità della conca, in particolare quello di valle richiederanno un adeguamento altimetrico del fondo per garantire la navigazione dei natanti con franchi adeguati.

2.2 Imbarcazione tipo

Data la varietà e la particolarità delle conche di navigazioni esistenti, e al particolare valore ambientale del tratto di fiume interessato al progetto di recupero della navigabilità, le Regioni coinvolte, hanno escluso l'apertura della via navigabile, alla navigazione da diporto e da turismo più generalizzata. Affideranno, infatti, la gestione della navigazione ad un unico armatore, che svolgerà il servizio utilizzando un natante tipo, attualmente in fase di studio, ma che dovrebbe avere le seguenti dimensioni:

- lunghezza: 25,00 m;
- larghezza: 5,00 m;
- pescaggio: da definire;

Per la conca in progetto ricordiamo che il massimo ingombro fuori acqua del natante tipo dovrà essere inferiore a 4,00 m.

Per la determinazione della profondità della vasca della conca, vista l'incertezza che ancora persiste nella individuazione del natante tipo, si è fatto riferimento alla "Normativa per la redazione dei progetti di vie navigabile" che riferendosi alle conche inserite nelle idrovie di

classe IV (la più vicina alla nostra), richiede una profondità minima di 3,50 m, su tutta la vasca, rispetto al livello delle più basse acque navigabili che il progetto pone alla quota 185,91 m s.l.m.. Pertanto il fondo della vasca è stato previsto alla quota di 182,40 m s.l.m..

Tale quota, consentirebbe di avere un franco di navigazione di circa 2,20 m se riferita ad un tipo di imbarcazione denominata Peniche, normalmente in uso in vie navigabili simili a quella in progetto, che avrebbe dimensioni appena maggiori del natante tipo, e fino a m 1,30 di pescaggio massimo.

Per maggior completezza d'informazione si allega una tabella riportante le caratteristiche delle imbarcazioni più comunemente usate per la navigazione sulle acque interne.

| Tipo di imbarcazione | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------------------------------|---|----------------------------|
| Caratteristiche fisiche | Peniche | Pontone e/o House Boat | Motoscafo, barca a motore, gommone | Barca a remi, canoa |
| Lunghezza | 30 ÷ 50 m | 6.00 ÷ 9.00 m | Molto variabile | Molto variabile |
| Larghezza | 6.00 ÷ 7.00 m | Fino a 3,50 m | Molto variabile | Molto variabile |
| Ingombro fuori acqua | 4.20 ÷ 4.50 m | 1.80 ÷ 2.50 m | Molto variabile | Molto variabile |
| Pescaggio | 1.10 ÷ 1.30 m | almeno 0.30 m | Molto variabile | Molto variabile |

2.2 Caratteristiche idrauliche dei mandracchi

Il tracciato planimetrico dei mandracchi è stato eseguito cercando di ottimizzare l'andamento delle sponde e del fiume Ticino.

Il mandracchio di monte si spinge verso nord per circa 70 m dall'attuale spalla destra dello sbarramento.

Avrà il lato sinistro aperto verso il fiume e il destro costituito da un diaframma di calcestruzzo armato con sommità alla 194,00 m s.l.m.

La platea, in pietrame posato a secco, sarà costruita alla quota 189.15 m s.l.m.: inferiore di 20 cm dalla platea dell'avanconca e di 40 cm, dalla soglia della conca.

L'esecuzione del mandracchio in progetto comporterà un modesto intervento di scavo per costruire un'adeguata via di accesso ai natanti.

Il mandracchio di valle si sviluppa oltre all'attuale parco panconi di circa 70 m, il lato sinistro è completamente aperto verso il fiume, il destro, è costituito da un diaframma di calcestruzzo con

sommità a quota 190,00 m s.l.m..

Il fondo del fiume sarà scavato per consentire l'approccio dei natanti alla conca di navigazione con i dovuti margini di sicurezza; per gran parte del mandracchio il fondo sarà portato alla quota di 183.90 m s.l.m. a circa 2,00 m di profondità dalla quota di minima navigazione.

Il tratto più vicino alla conca, per una lunghezza di circa 10 m sarà raccordato alla soglia di valle, alla quota 182.40 m. s.l.m..

Questo tratto di mandracchio avrà il fondo protetto da pietrame di grossa pezzatura, per proteggerlo dai probabili fenomeni di erosione, provocati dallo scarico delle portate di svuotamento della conca di navigazione. Entrambi i mandracchi saranno dotati di passerelle galleggianti, complete di ormeggi per i natanti in attesa delle operazioni di concata.

Le quote di progetto del fondo sia dei mandracchi sia dell'avanconca, sono stati progettati in modo da rispettare la profondità minima del "rettangolo di navigazione" che deve essere almeno uguale alla immersione massima consentita, più un franco di sottochiglia di almeno 0,50 m.

Con riferimento al tipo di imbarcazione denominata Peniche, e al suo pescaggio massimo, di 1,35 m, i franchi di profondità, rispetto alle minime quote di navigazione in progetto, sono i seguenti:

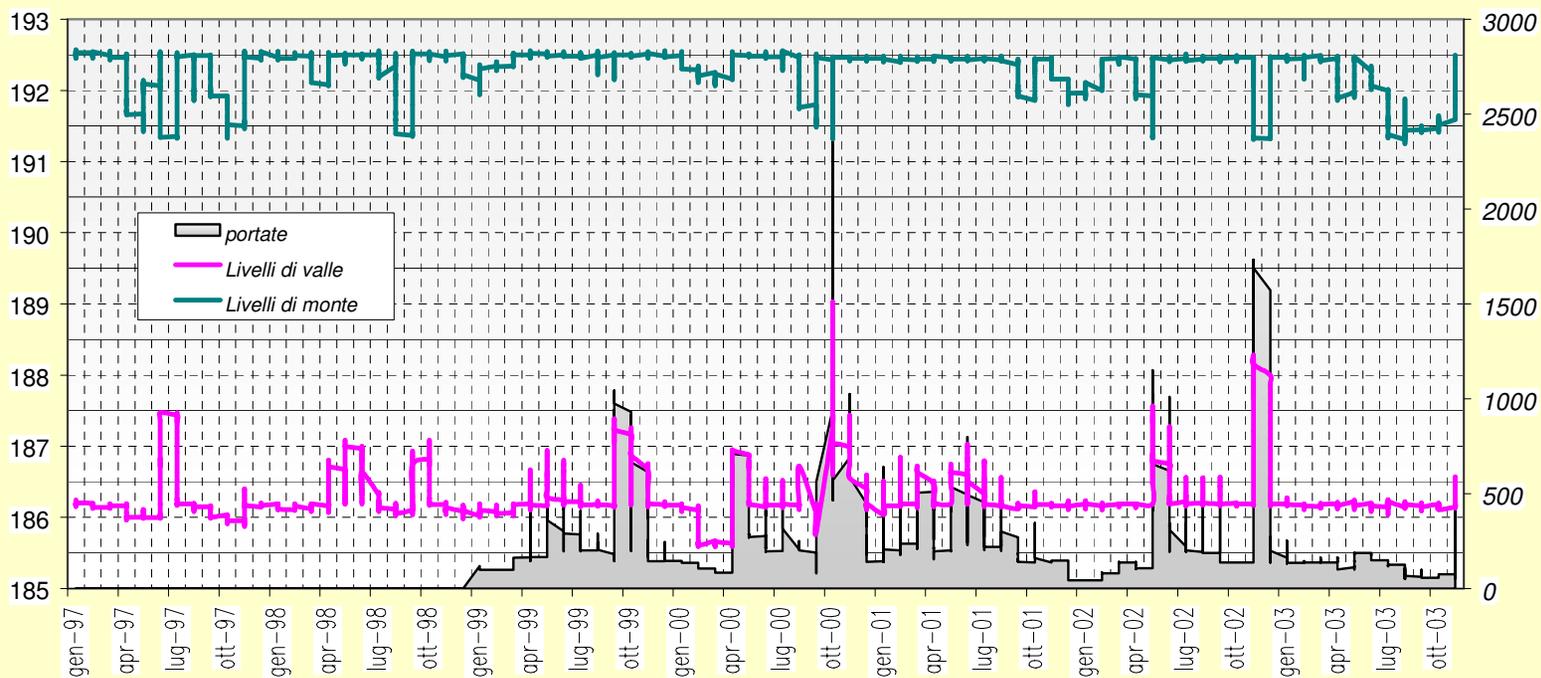
- a monte: mandracchio m 0,85; avanconca m 0,65 (si riduce a m 0,45 sulla soglia di tenuta inferiore della porta vinciana);
- a valle : mandracchio m 0.65;

Si può considerare che il progetto rispetti anche queste indicazioni della normativa, in quanto la riduzione del franco di 5 cm sulla soglia della porta vinciana, si può ritenere come una imperfezione locale del fondo e come tale abbondantemente assorbita dal rimanente franco.

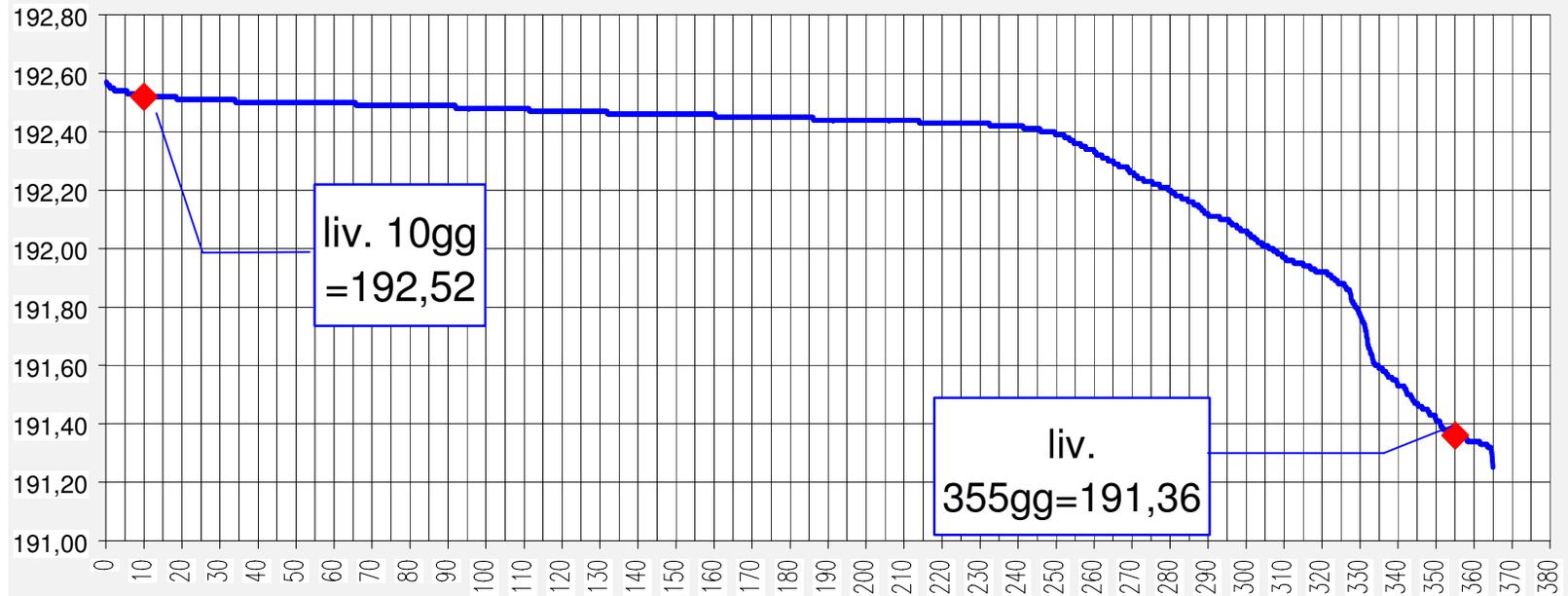
I tratti di fiume a monte e a valle, situati oltre i mandracchi, dovranno essere verificati altimetricamente, al fine di individuare un adeguato canale di navigazione per i natanti in movimento da e per la conca.

Queste verifiche sono escluse dal progetto in esame, ma dovranno essere effettuate per la progettazione dell'intera via navigabile.

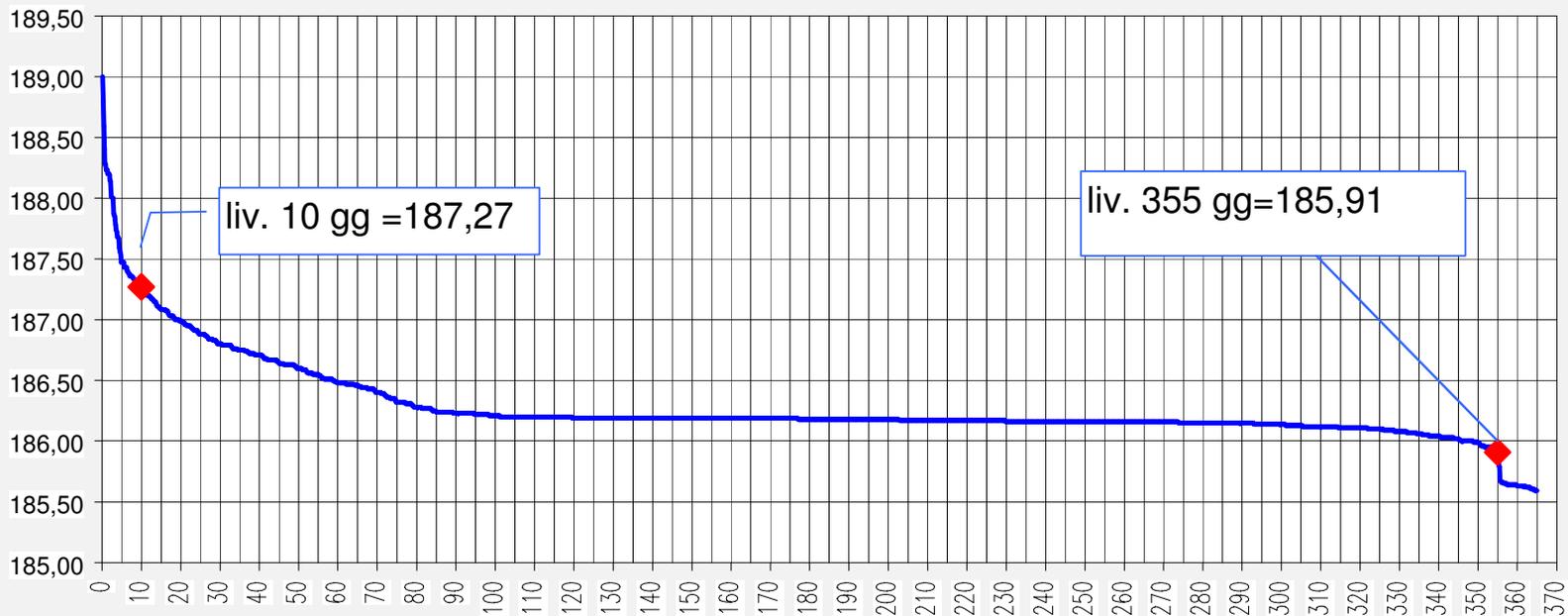
Impianto idroelettrico di Porto della Torre
Andamento dei livelli a monte e di valle dello sbarramento e delle portate del fiume Ticino



Impianto idroelettrico di Porto della Torre -
Scala delle durate dei livelli a monte dello sbarramento -
Anni di riferimento 1997 - 2003



Impianti idroelettrico di Porto della Torre -
Scala della durata dei livelli a valle dello sbarramento
Anni di riferimento 1997-2003



3) PROCESSI IDRAULICI NELLA VASCA DELLA CONCA

3.1 Sistema di alimentazione

In generale il riempimento e lo svuotamento delle vasche delle conche sono eseguiti in tre modi:

- frontalmente, attraverso aperture dotate di paratoie, eseguite nelle porte di delimitazione delle vasche, o con due brevi condotte che by-passano le testate;
- lateralmente, attraverso acquedotti e bocche di immissione laterali;
- dal fondo, attraverso acquedotti laterali e bocche di immissione dal fondo.

Il primo sistema è da considerarsi il più semplice ed il meno costoso, è generalmente utilizzato per conche con un salto fino ai 5 - 7 metri, ma ha come controindicazione la produzione di discrete turbolenze sulle imbarcazioni in manovra, soprattutto per i dislivelli maggiori.

Il sistema di riempimento dal fondo, il più costoso, è generalmente usato per le conche che superano salti maggiori di 15 m.

L'alimentazione laterale è destinata per le conche con salti compresi fra quelli sopra esposti.

Per la conca di navigazione in progetto è previsto l'adozione di quest'ultimo sistema di alimentazione, anche se il massimo salto è appena inferiore ai 7 m e pertanto, potrebbe rientrare fra le conche normalmente alimentate da un sistema frontale. Con questa scelta abbiamo voluto privilegiare, a fronte di un modesto, maggiore, onere economico, un tipo di esercizio della conca con processi idraulici più uniformi e regolari e di conseguenza più sicuri.

Il sistema è costituito da due acquedotti, uno per lato della vasca, ciascuno costituito di:

- una bocca di presa di 1,20 x 1,50 m;
- un condotto di alimentazione di 0,80 x 1,25 m;
- tre bocche di carico/scarico di 0,70 x 1,20 m;
- una bocca di scarico di 1,25 x 2,00 m;

Ciascun acquedotto è dotato da due paratoie di intercettazione del tipo a saracinesca, alloggiato in pozzo. Le paratoie saranno accessibili con scalette che collegano il piazzale della conca (194,00) con il piano di manovra a circa 185.15 m s.l.m.. La movimentazione delle paratoie sarà consentita ovviamente anche sotto carico da servomotori idraulici.

L'imbocco di alimentazione sarà dotato di una griglia selettiva in modo da impedire l'ingresso nei condotti di corpi estranei.

La lunghezza complessiva di ciascun condotto di alimentazione/scarico è di circa 50 m.

Le bocche di carico/scarico collegate al condotto di alimentazione sono orientate in modo da

indirizzare i flussi verso la platea della vasca in modo da minimizzare le azioni sulle imbarcazioni.

Queste bocche funzionano alternativamente come luci di carico e scarico, saranno anch'esse, come la bocca di scarico collocata a valle delle porta vinciana inferiore, dotate di griglia.

I condotti non saranno dotati di panconi di emergenza, poiché il loro percorso è interamente compreso nell'area presidiata dai panconi di emergenza della conca.

3.2 Riempimento

Il riempimento della vasca, per gli effetti che trasmette alle imbarcazioni durante le operazioni di concata, rappresenta il processo idraulico più significativo che si verifica nella conca.

Come si è detto, il riempimento è effettuato con due condotti laterali che derivano da monte le portate e la immettono nella vasca della conca con tre bocche ciascuno.

La sezione complessiva dei condotti è di: $2 \times 0,80 \times 1,25 = 2,00 \text{ m}^2$.

La sezione delle bocche di alimentazione/scarico è complessivamente di: $2 \times 3 \times 0,70 \times 1,20 = 5,04$.

La lunghezza di un condotto di alimentazione, comprensiva dei tratti di raccordo alla bocca di presa e alle bocche di carico, è di circa 37,00 m.

Per la descrizione del processo di riempimento è stato seguito lo schema riportato nella "Normativa per la redazione dei progetti di vie navigabile" con le seguenti ipotesi:

- a) che il livello di monte sia costante e che la sottrazione di portate per il riempimento non produca significative onde negative (il volume della conca è modesto rispetto all'invaso);
- b) che la superficie della conca si mantenga in ogni istante orizzontale.

Con riferimento allo schema della figura seguente, si assumono i seguenti simboli:

$t, T_a, T_r =$ tempo, tempo d'apertura della paratoia di alimentazione, tempo di riempimento;

$H, h_0, h(t) =$ quote riferite al fondo della conca, rispettivamente di monte (costante), in conca per $t = 0$, in conca (variabile) al tempo t ;

$\Delta h =$ $H - h_0$ salto massimo;

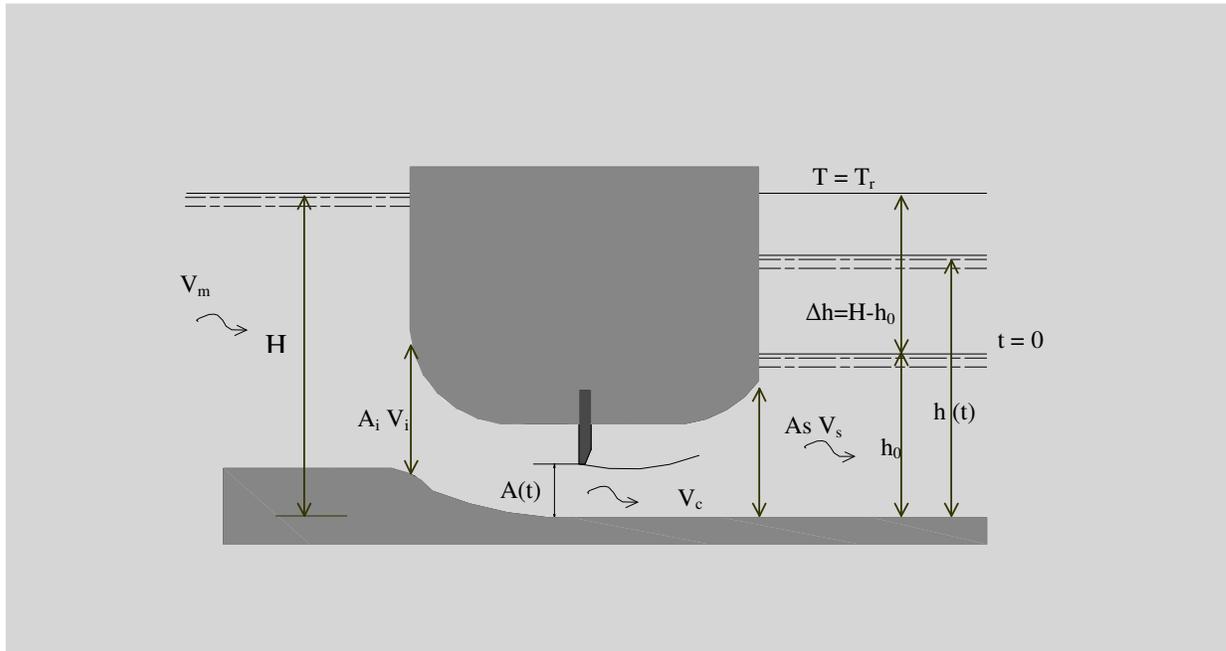
$F =$ superficie della conca;

$L, n =$ lunghezza e numero degli acquedotti;

$A(t), A, A_i, A_s =$ area delle luci di alimentazione per $t < T_a$, $t \geq T_a$, arredi imbocco e sbocco acquedotti;

$V, V_c, c_c =$ velocità media nella sezione corrente dei condotti e nelle curve, velocità

| | |
|-------------------|---|
| $V_m, V_i, V_s =$ | nella sezione contratta a valle paratoia, coefficiente di contrazione; Velocità nelle sezioni a monte, di imbocco e di sbocco; |
| $k_i, k_c, k_s =$ | frazione di energia cinetica dissipata all'imbocco, in curva e allo sbocco; |
| $\lambda =$ | coefficiente di resistenza; |
| $C =$ | coefficiente che caratterizza l'insieme delle perdite di carico. |



Schema idraulico acquedotti di alimentazione

Preso come riferimento la platea della conca e considerate due sezioni una a monte e una a valle degli acquedotti di alimentazione, si ha:

$$H + \frac{V_m^2}{2g} = h + k_i \frac{V_i^2}{2g} + k_r \frac{(V - V_i)^2}{2g} + L \frac{\lambda}{4R} \frac{V^2}{2g} + \sum k_c \frac{V^2}{2g} + \frac{(V_c - V)^2}{2g} + K_s \frac{(V^2 - V_s^2)}{2g} + \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

Se $A(t)$ è l'apertura all'istante t ed A la sezione dei condotti a totale apertura, per una manovra lineare nel tempo, si ha:

$$A(t) = A \cdot t / T_a$$

Inoltre, indicando con l'indice j una sezione generica dei condotti si ha:

$$V_j \cdot A_j = V \cdot A \quad V_j = V \cdot A / A_j$$

$$V_c \cdot C_c \cdot A(t) = V \cdot A \cdot V_c = V \cdot A / c_c \cdot A(t)$$

Trascurando l'altezza cinetica relativa a V_m , le perdite di carico per restringimenti e raccogliendo il termine $V_i^2/2g$, dalla (1) si ottiene:

$$H = h + V^2/2g \cdot [k_i \cdot (A/A_i)^2 + L \cdot \lambda / (4 \cdot R) + \Sigma k_c + (A/c_c \cdot A(t) - 1)^2/2g + K_s \cdot (1 - (A/A_s)^2) / (A/A_s)^2]$$

E posto

$$k_T = k_i \cdot (A/A_i)^2 + L \cdot \lambda / (4 \cdot R) + \Sigma k_c + (A/c_c \cdot A(t) - 1)^2/2g + K_s \cdot (1 - (A/A_s)^2) / (A/A_s)^2$$

si ha:

$$H - h = k_T \cdot V^2/2g \quad V = C \cdot [(2g \cdot (H-h))]^{1/2} \quad \text{con } C = 1/k_T^{1/2}$$

Il valore C è determinato dall'analisi delle perdite di carico ed è variabile normalmente tra 0,5 e 0,8. Nel nostro caso è stato ottenuto un valore di 0,55, considerando però le incertezze nella scelta dei coefficienti delle perdite di carico, il calcolo dei condotti è stato effettuato per la fascia dei valori compresi fra 0,50 e 0,60. Questo permette di rendersi conto della sensibilità del sistema al variare del parametro C .

L'andamento dei livelli e delle portate in funzione del tempo si può ottenere integrando l'equazione:

$$V \cdot A(t) = F \cdot dh/dt \quad (2)$$

Separando le variabili e sostituendo la legge di apertura della paratoia la (2) diventa:

$$F/[C \cdot A(t)] \cdot dh/dt = \sqrt{2g \cdot (H-h)}$$

$$Dh/\sqrt{(H-h)} = C \cdot A \cdot \sqrt{2g} / [T_a \cdot F] \cdot t \cdot dt \quad (3)$$

Adimensionalizzando le variabili e sostituendo :

$$y = (H-h)/(H-h_0) \quad \tau = t / T_a \quad q = Q/Q_0$$

$$Q_0 = C \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \quad \alpha = Q_0 \cdot T_a / (F \cdot \Delta h) = C \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h} \cdot T_a / (F \cdot \Delta h)$$

La (3) diventa : $dy / \sqrt{y} = \alpha \cdot \tau \cdot d\tau \quad (4)$

Integrata con la condizione che per $\tau = 0$ sia $y = 1$ si ottiene :

per $0 \leq \tau \leq$ $y = (1 - \alpha/4 \cdot \tau^2)^2 \quad q = -1/\alpha \cdot dy/d\tau = \tau/y = \tau \cdot (1 - \alpha/4 \cdot \tau^2)$

Per $\tau \geq 1$ $y = [1 - \alpha/4 \cdot (2 \cdot \tau - 1)]^2 \quad q = 1 - \alpha/4 \cdot (2 \cdot \tau - 1)$

Il tempo di riempimento si ottiene ponendo $y = 0$ nella equazione precedente:

$$\tau_r = 1/\alpha + 2/\alpha$$

La massima portata può aversi durante l'apertura della paratoia o alla fine dell'apertura stessa. Rispettivamente si hanno le due situazioni:

$$\begin{array}{lll} \alpha \geq 4/3 & \tau_m = 2 / \sqrt{(3 * \alpha)} \geq 1 & q_m = 4 / (3 * \sqrt{(3 * \alpha)}) \\ \alpha < 4/3 & \tau_m = \tau_0 = 1 & q_m = 1 - \alpha / 4 \end{array}$$

Per $\tau > 1$ la portata ha andamento lineare e decrescente.

3.3 Svuotamento

Lo svuotamento della vasca ha minori effetti sulle imbarcazioni durante le operazioni di concata, poiché non trasmette particolari sollecitazioni sulle stesse se non quelle dovute alla variazione in abbassamento del livello liquido. Potrebbe originare invece, con l'efflusso delle portate in scarico, delle turbolenze appena a valle della conca, che potrebbero interessare le imbarcazioni ormeggiate a valle in attesa. Nel nostro caso però, le stesse sono poste ad una distanza tale da essere interessate solo marginalmente dalle portate in scarico.

Come si è detto, lo svuotamento è effettuato utilizzando le stesse luci interne alla vasca, e lo scarico avviene immediatamente a valle delle porte vinciane.

Le parti degli acquedotti interessate dalle operazioni di svuotamento sono pertanto:

- le bocche di alimentazione/scarico con sezione complessiva di: $2 \times 3 \times 0,70 \times 1,20 = 5,04 \text{ m}^2$;
- i condotti di alimentazione, con sezione complessiva di: $2 \times 0,80 \times 1,25 = 2,00 \text{ m}^2$. Il condotto è interessato per una lunghezza di circa 22,00 m, comprensiva dei tratti di raccordo delle bocche interne e della bocca di scarico;
- la bocca di scarico a valle della porta vinciana con sezione pari a: $1,25 \times 2,00 \text{ m} = 2,50 \text{ m}^2$;

Il processo idraulico è analogo a quello del riempimento, nei calcoli sono state ovviamente inserite le dimensioni delle opere idrauliche effettivamente interessate dall'operazione di svuotamento.

3.4 Risultato dei calcoli idraulici

I risultati dei calcoli precedentemente esposti sono riportati sulle tabelle e sui grafici delle pagine seguenti.

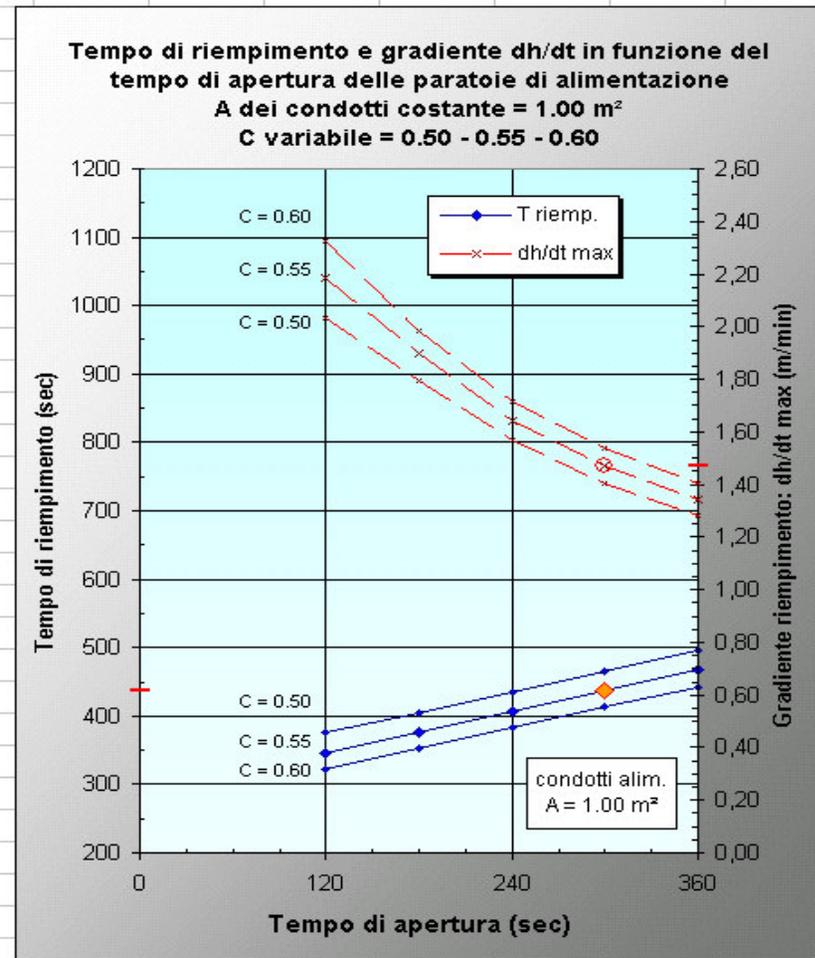
I calcoli sono stati eseguiti considerando un dislivello massimo di circa 6,60 m, pari alla differenza della massima quota di monte e la minima quota di valle che ricordiamo, sono corrispondenti al massimo (di monte), e minimo (di valle), livello navigabile già riportati nel cap. 2 e che di seguito riproponiamo:

- portata massima: $(Q_m) = \text{circa } 6,70 \text{ m}^3/\text{sec}.$
- per la fase di svuotamento si hanno:
 - dislivello di riferimento monte – valle: $\Delta h = 6,60 \text{ m};$
 - tempo di apertura delle paratoie: $T_a = 5 \text{ minuti}$
 - tempo di svuotamento: $T_r = \text{compreso fra } 6 \text{ e } 7 \text{ minuti};$
 - velocità massima di svuotamento: $(dh/dt) = 1,60 \text{ m/minuto};$
 - portata massima: $(Q_m) = \text{circa } 7,30 \text{ m}^3/\text{sec}.$

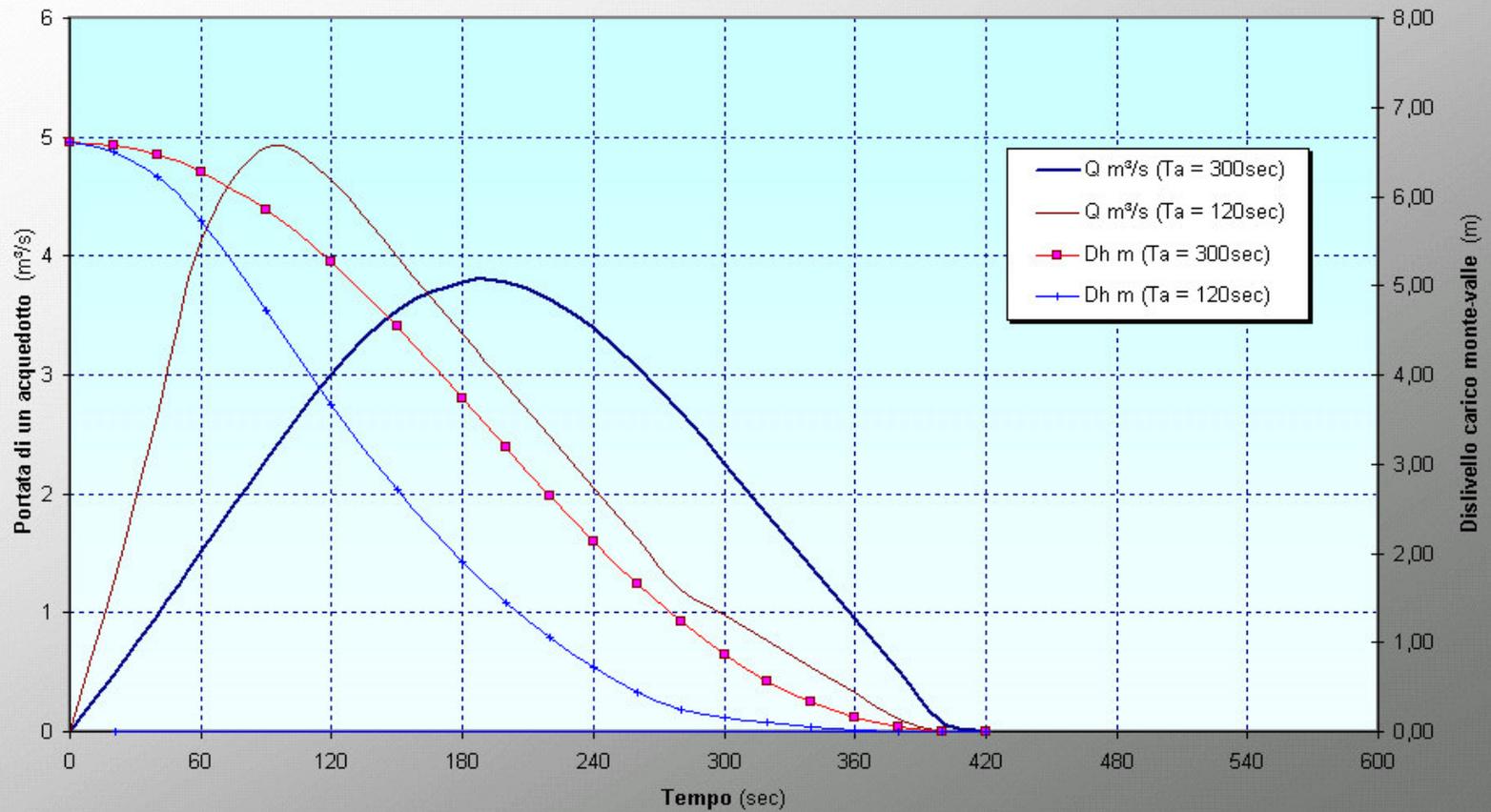
| Conca di Porto della Torre - Verifica acquedotti - Riempimento | | | | t | α | C | Q | ΔV | Δh | $\delta h/\delta t$ |
|--|----------------------|-----------------------|-------------------------------|----------|----------------------------|----------|-------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| | | | | sec | 0.0 ÷ 1 | | m ³ /s | m ³ | m | m/s |
| superficie conca | F = | 272 m ² | 34x8m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 6,60 | --- |
| dislivello max carico | $\Delta h =$ | 6,6 m | 192.5+185,90 | 20 | 0,07 | 0,042 | 0,473 | 9,45 | 6,57 | 0,21 |
| | | | | 40 | 0,13 | 0,087 | 0,976 | 28,97 | 6,46 | 0,43 |
| $\Delta h = L \sqrt{4R} V^2/2g + k_i V^2/2g + (V_o - V)^2/2g + \Sigma k_c V^2/2g + k_s (V^2 - V_s^2)/2g + V_s^2/2g$ | | | | 60 | 0,20 | 0,135 | 1,522 | 49,96 | 6,28 | 0,67 |
| $\Delta h = Q^2/2g (1/A^2 L 2g/(k_s^2 R^{4/3}) + k_i/A_i^2 + (1/c_o \alpha A - 1/A)^2 + (k_{vr} + k_c + k_s)/A^2 + (1 - k_s)/A_s^2)$ | | | | 90 | 0,30 | 0,214 | 2,289 | 114,34 | 5,85 | 1,01 |
| $\Delta h = Q^2/2g k_T/A^2$ | con $k_T =$ | 3,301 | (paratoia compl. aperta) | 120 | 0,40 | 0,295 | 3,004 | 158,81 | 5,27 | 1,33 |
| $Q = CA \sqrt{2g\Delta h}$ | $C = 1/\sqrt{k_T} =$ | 0,550 | | 150 | 0,50 | 0,374 | 3,535 | 196,19 | 4,55 | 1,56 |
| $\Delta V = n^{\circ}_{cond} \Delta t Q_m$ | $V_{tot} =$ | 1795,2 m ³ | | 180 | 0,60 | 0,442 | 3,786 | 219,64 | 3,74 | 1,67 |
| | | | | 200 | 0,67 | 0,478 | 3,777 | 151,26 | 3,19 | 1,67 |
| acquedotti | n = | 2 | | 220 | 0,73 | 0,505 | 3,638 | 148,30 | 2,64 | 1,61 |
| sezione imbocco | $A_i =$ | 1,80 m ² | 1,2x1,5m | 240 | 0,80 | 0,525 | 3,391 | 140,59 | 2,12 | 1,50 |
| sezione sbocco | $A_s =$ | 2,52 m ² | 3x0,7x1,2m | 260 | 0,87 | 0,539 | 3,064 | 129,10 | 1,65 | 1,35 |
| sezione corrente (rif.) | $A =$ | 1,00 m ² | 0,80x1,25m | 280 | 0,93 | 0,547 | 2,681 | 114,90 | 1,23 | 1,18 |
| raggio idraulico | R = | 0,20 m | | 300 | 1,25 | 0,546 | 2,249 | 98,61 | 0,86 | 0,99 |
| lunghezza condotti | L = | 36,90 m | | 320 | 1,25 | 0,546 | 1,819 | 81,36 | 0,57 | 0,80 |
| c_scabr. Strickler | k = | 65 | | 340 | 1,25 | 0,546 | 1,388 | 64,14 | 0,33 | 0,61 |
| | | | | 360 | 1,25 | 0,546 | 0,951 | 46,79 | 0,16 | 0,42 |
| perdite di carico concentrate | | | | 380 | 1,25 | 0,546 | 0,514 | 29,31 | 0,05 | 0,23 |
| imbocco: $k_i V^2/2g$ | $k_i =$ | 0,10 | | 400 | 1,25 | 0,546 | 0,077 | 11,83 | 0,01 | 0,03 |
| griglia imb.: $k_r V^2/2g$ | $k_r =$ | 0,30 | | 420 | 1,25 | 0,546 | 0,000 | 1,54 | 0,00 | 0,00 |
| Σ p. curve: $k_c V^2/2g$ | $k_c =$ | 0,60 | | 440 | 1,25 | 0,546 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| paratoia: $(V_o - V)^2/2g$ | $k_v =$ | variabile | | 460 | 1,25 | 0,546 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| par_aperta: $k_{vr} V^2/2g$ | $k_{vr} =$ | 0,10 | | | | | | | | |
| sbocco: $k_s (V^2 - V_s^2)/2g$ | $k_s =$ | 1,00 | | | | | | | | |
| paratoie | | | | | | | | | | |
| tempo apertura | $T_a =$ | 300 sec | | | | | | | | |
| grado di apertura | $\alpha =$ | 0.0 ÷ 1.0 | (lineare in t) | | | | | | | |
| coeff. contrazione | $c_c =$ | 0.6 ÷ 0.9 | ($c_c = 0.3\alpha^2 + 0.6$) | | | | | | | |

- Normativa redazione progetti vie navigabili (Consiglio Sup. LLPP - 1988)

| | | | |
|--|---|--|-----------------------------|
| Integrazione equazione differenziale | | | |
| $\forall A(t) = F dh/dt$ | | $C A(t) \sqrt{2g\Delta h} = F dh/dt$ | |
| | | $C A t/T_a \sqrt{2g/F} dt = dh/\sqrt{\Delta h}$ | |
| rapp. adimensionali | $y = (H-h) / \Delta h_{max}$ | $\tau = t/T_a$ | $q = Q/Q_0$ |
| $Q_0 = C nA \sqrt{2g\Delta h}$ | $\alpha = Q_0 T_a / F \Delta h = C nA \sqrt{2g\Delta h} T_a / F \Delta h$ | | |
| $\alpha \tau d\tau = dy/\sqrt{y}$ | τ_0 | risultati integrazione | |
| $0 < \tau < 1$ | $y = (1-\alpha/4 \tau^2)^2$ | $q = -1/\alpha dy/d\tau = \tau(1-\alpha/4 \tau^2)$ | |
| per $\tau = 1$ | $y = (1-\alpha/4)^2$ | | |
| $\tau \geq 1$ | $y = (1-\alpha/4(2\tau-1))^2$ | $q = \sqrt{y} = (1-\alpha/4(2\tau-1))^2$ | |
| per $y = 0$ | $\tau = 1/2 + 2/\alpha$ | | |
| $q_{max} = 1-\alpha/4$ | per $\tau = \tau_0$ | max ap_paratoia | |
| $q_{max} = 4/3\sqrt{3}\alpha$ | per $\tau = 2/\sqrt{3}\alpha$ | se $\alpha > 4/3$ [$\tau_0 > 0.5$] | |
| coeff_ Σ perd_carico | C = | 0,550 | 0.5 + 0.8 (paratoia aperta) |
| Q rif_ $Q_0 = C nA \sqrt{2g\Delta h}$ | | 12,53 | m ³ /s |
| $\alpha = Q_0 T_a / F \Delta h$ | | 2,093 | |
| t_apertura $T_a =$ | | 300 | sec |
| t_riempimento $T = T_a(1/2+2/\alpha) =$ | | 437 | sec |
| rapporto t_ap/t_tot $\tau_0 = T_a / T =$ | | 0,69 | 0.0 + 1.0 |
| $Q_{max} = Q_0 q_{max} =$ | | 6,66 | m ³ /s |
| per t = | | 239 | sec (< T_ap) |

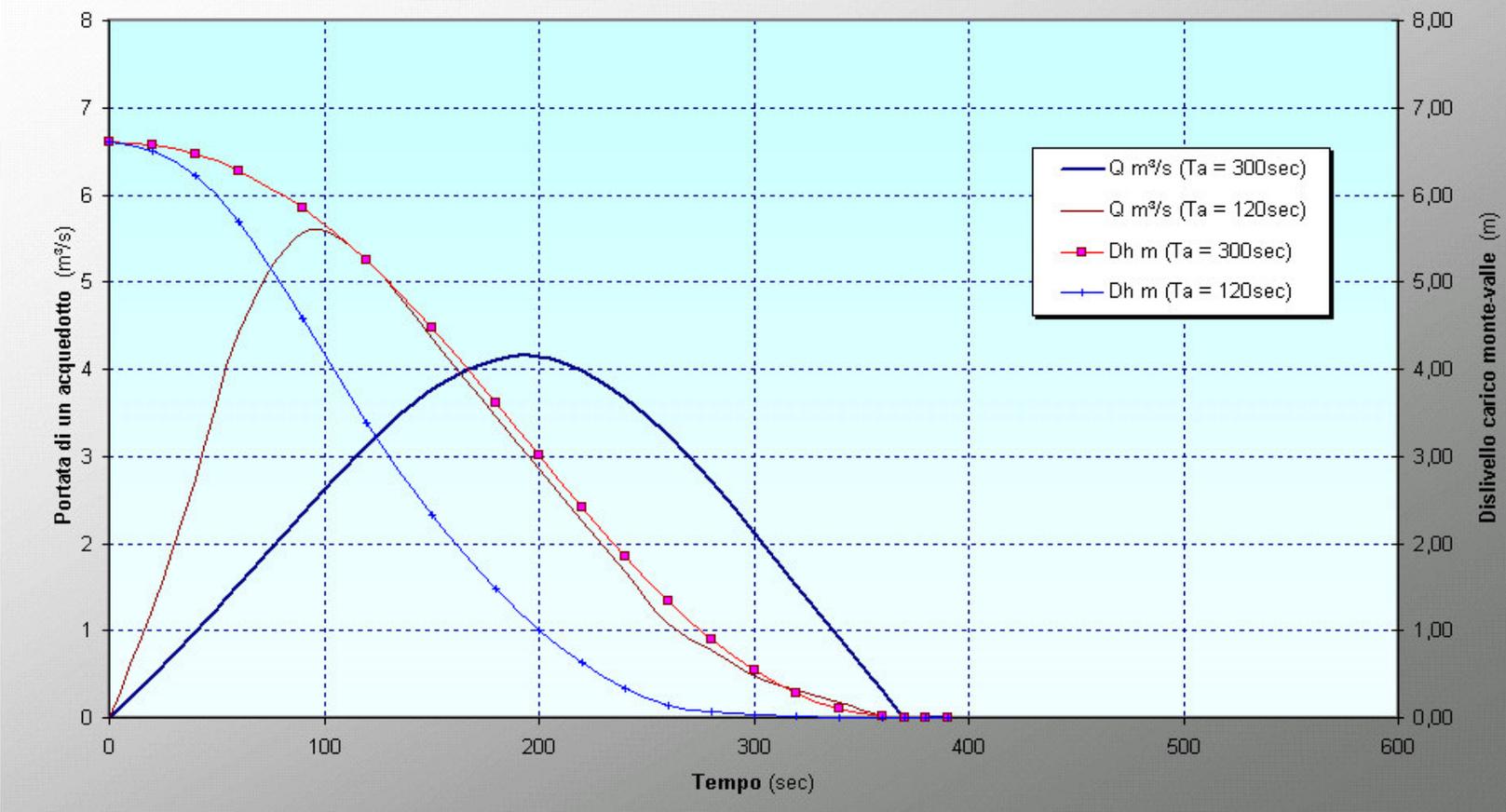


Conca di Porto della Torre
Verifica acquedotti - Riempimento



| Conca di Porto della Torre - Verifica acquedotti - Scarico | | | | t | α | C | Q | ΔV | Δh | $\delta h/\delta t$ |
|--|--------------|-----------------------|-------------------------------|----------|----------------------------|----------|-------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| | | | | sec | 0.0 ÷ 1 | | m ³ /s | m ³ | m | m/s |
| superficie conca | F = | 272 m ² | 34x8m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 | 6,60 | --- |
| dislivello max carico | Δh = | 6,6 m | 192.5÷185,5 | 20 | 0,07 | 0,042 | 0,473 | 9,46 | 6,57 | 0,21 |
| | | | | 40 | 0,13 | 0,087 | 0,979 | 29,05 | 6,46 | 0,43 |
| $\Delta h = L \frac{V^4}{4R} \frac{V^2}{2g} + k_i V_i^2/2g + (V_c - V)^2/2g + \sum k_c V^2/2g + k_s (V^2 - V_s^2)/2g + V_s^2/2g$ | | | | 60 | 0,20 | 0,136 | 1,535 | 50,29 | 6,27 | 0,68 |
| $\Delta h = Q^2/2g (1/A^2 L \frac{2g}{(k_s^2 R^{4/3})} + k_i/A_i^2 + (1/c_c \alpha A - 1/A)^2 + (k_{vr} + k_c + k_s)/A^2 + (1 - k_s)/A_s^2)$ | | | | 90 | 0,30 | 0,218 | 2,338 | 116,19 | 5,85 | 1,03 |
| $\Delta h = Q^2/2g k_T/A^2$ | con k_T = | 2,369 | (paratoia compl. aperta) | 120 | 0,40 | 0,308 | 3,127 | 163,93 | 5,24 | 1,38 |
| $Q = CA \sqrt{2g\Delta h}$ | $C = 1/k_T$ | 0,650 | | 150 | 0,50 | 0,401 | 3,764 | 206,71 | 4,48 | 1,66 |
| $\Delta V = n^{\circ}_{cond} \Delta t Q_m$ | V_{tot} = | 1795,2 m ³ | | 180 | 0,60 | 0,489 | 4,114 | 236,34 | 3,61 | 1,82 |
| | | | | 200 | 0,67 | 0,538 | 4,136 | 165,01 | 3,01 | 1,82 |
| acquedotti | n = | 2 | | 220 | 0,73 | 0,579 | 3,983 | 162,38 | 2,41 | 1,76 |
| sezione imbocco | A_i = | 2,52 m ² | 3x0,7x1,2m | 240 | 0,80 | 0,610 | 3,671 | 153,08 | 1,85 | 1,62 |
| sezione sbocco | A_s = | 2,50 m ² | 1,25x2,0m | 260 | 0,87 | 0,631 | 3,234 | 138,10 | 1,34 | 1,43 |
| sezione corrente (rif.) | A = | 1,00 m ² | 1,0x1,0m | 280 | 0,93 | 0,643 | 2,709 | 118,86 | 0,90 | 1,20 |
| raggio idraulico | R = | 0,20 m | | 300 | 1,25 | 0,643 | 2,110 | 96,39 | 0,55 | 0,93 |
| lunghezza condotti | L = | 21,85 m | | 320 | 1,25 | 0,643 | 1,514 | 72,49 | 0,28 | 0,67 |
| c_scabr. Strickler | k = | 65 | | 340 | 1,25 | 0,643 | 0,918 | 48,64 | 0,10 | 0,40 |
| | | | | 360 | 1,25 | 0,643 | 0,309 | 24,54 | 0,01 | 0,14 |
| perdite di carico concentrate | | | | 370 | 1,25 | 0,643 | 0,004 | 3,13 | 0,00 | 0,00 |
| imbocco: $k_T V_i^2/2g$ | k_T = | 0,30 | | 380 | 1,25 | 0,643 | 0,000 | 0,04 | 0,00 | 0,00 |
| griglia imb.: $k_T V_i^2/2g$ | k_T = | 0,90 | | 390 | 1,25 | 0,643 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| \sum p. curve: $k_c V^2/2g$ | k_c = | 0,20 | | 400 | 1,25 | 0,643 | 0,000 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| paratoia: $(V_c - V)^2/2g$ | k_v = | variabile | | | | | | | | |
| par_aperta: $k_{vr} V^2/2g$ | k_{vr} = | 0,10 | | | | | | | | |
| sbocco: $k_s (V^2 - V_s^2)/2g$ | k_s = | 1,00 | | | | | | | | |
| paratoie | | | | | | | | | | |
| tempo apertura | T_a = | 300 sec | | | | | | | | |
| grado di apertura | α = | 0.0 ÷ 1.0 | (lineare in t) | | | | | | | |
| coeff. contrazione | c_c = | 0.6 ÷ 0.9 | ($c_c = 0.3\alpha^2 + 0.6$) | | | | | | | |

Conca di Porto Torre
Verifica acquedotti di scarico



4) RIFERIMENTI

“Normativa per la redazione dei progetti delle vie navigabili” elaborata dalla Commissione nominata presso il Consiglio Superiore dei LL.PP. con decreto interministeriale n.3569/89/280 del 30/11/1988.