

*Università degli Studi di Firenze*



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

*CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER LA TUTELA  
DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO*

Anno accademico 2005/2006

**Corso di Progettazione e Automazione di  
Impianti di Trattamento Acque**

***“Controllo Fuzzy di una vasca di accumulo”***

Prof. Marsili- Libelli Stefano

Studenti : Burberi Lorenzo

Ciappi Giulia

## Indice

<b>1. Introduzione: Automazione per il controllo di una vasca di accumulo.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Controllo di una vasca di accumulo.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Politiche di riempimento e di svuotamento.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Controllo Fuzzy per il riempimento della vasca di accumulo.....</b>	<b>12</b>
<b>3.2. Controllo Fuzzy per lo svuotamento della vasca di accumulo.....</b>	<b>19</b>
<b>4. Studio del volume della vasca di accumulo.....</b>	<b>24</b>
<b>5. Analisi del programma di lancio go_bt.....</b>	<b>26</b>
<b>5.1. Analisi dei risultati in periodo autunnale.....</b>	<b>27</b>
<b>5.2. Analisi dei risultati in periodo estivo.....</b>	<b>33</b>
<b>6. Modifiche nelle regole Fuzzy.....</b>	<b>38</b>
<b>7. Analisi del funzionamento della vasca di accumulo nella condizione più critica... </b>	<b>46</b>
<b>8. Conclusioni.....</b>	<b>50</b>
<b>Appendice 1: Principali funzioni Matlab.....</b>	<b>51</b>
<b>Appendice 2: Editor Matlab.....</b>	<b>54</b>
<b>Appendice 3: Grafici simulazione senza regole 3 e 6.....</b>	<b>57</b>
<b>Bibliografia.....</b>	<b>60</b>

# 1. Introduzione: Automazione per il controllo di una vasca di accumulo

Alcuni problemi tipici di automazione sono:

- ⌘ **Controllo di una vasca di accumulo:** per lo smorzamento dei sovraccarichi idraulici si impiegano spesso vasche di accumulo, nelle quali si può stoccare temporaneamente il liquame in eccesso, per poi smaltirlo al termine del periodo critico.
- ⌘ **Controllo coordinato per la rimozione dell'azoto:** nel passato la capacità di aerazione era dimensionata sul carico carbonioso, attualmente invece è dimensionata in relazione alle necessità di nitrificazione.
- ⌘ **Controllo della commutazione del ciclo SBR:** negli SBR l'efficacia del processo dipende in modo critico dalla commutazione tra la fase anossica/anaerobica ed aerobica, specialmente nel caso della rimozione del fosforo.

Si approfondisce in particolar modo il problema del controllo di una vasca di accumulo; una vasca di accumulo laterale in testa all'impianto consente l'immagazzinamento delle portate eccedenti il limite di funzionamento ( $Q_{in} > Q_{plant}$ ), per un successivo smaltimento dopo il periodo di sovraccarico (equalizzazione).

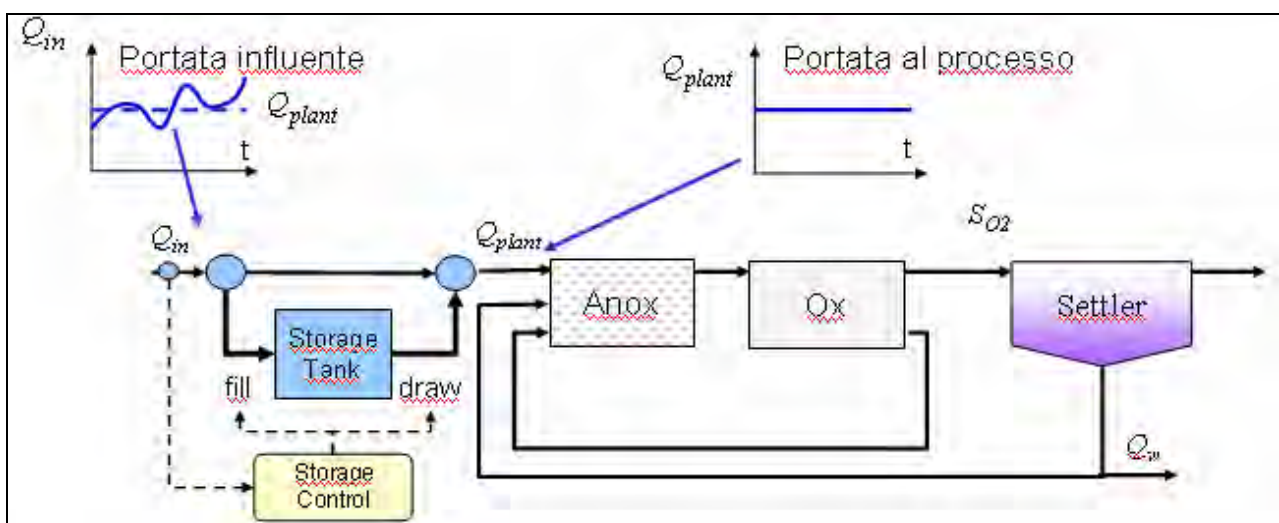


Figura 1.1 – Schema di un impianto di depurazione con vasca di accumulo.

Il volume della vasca di accumulo deve essere opportunamente scelto in modo tale da garantire una portata in ingresso all'impianto regolare, nonostante le fluttuazioni stagionali e giornaliere, che determinano una portata in ingresso sempre variabile. Questo comporta una difficoltà non solo nel gestire accuratamente l'accumulo durante il sovraccarico ( $Q_{fill}$ ), ma anche nel determinare la corretta portata di svuotamento ( $Q_{draw}$ ), per rendere la vasca nuovamente disponibile in caso di un ulteriore sovraccarico.

Per la gestione della vasca di accumulo possono essere utilizzate regole deterministiche e regole Fuzzy.

I vantaggi nell'uso delle regole deterministiche sono riassunti di seguito:

- ⌘ è possibile impostare un diverso volume  $V_{max}$  a seconda delle stagioni;
- ⌘ le portate di riempimento ( $Q_{fill}$ ) e di svuotamento ( $Q_{draw}$ ) sono flessibili;
- ⌘ la vasca di accumulo è efficace per smorzare le punte di carico idraulico;
- ⌘ si ha scarso effetto sul carico organico.

I limiti del controllo deterministico sono:

- ⌘ eccessivo volume richiesto;
- ⌘ le regole sono uniche per ogni condizione operativa;
- ⌘ rigidità delle decisioni;
- ⌘ frequente ricorso al by-pass;
- ⌘ il minimo superamento della soglia produce by-pass.

In alternativa è possibile utilizzare un controllo di tipo Fuzzy, basato su un insieme di regole e decisioni. La logica fuzzy è caratterizzata da una serie di predicati implicanti del tipo :

- ⌘ IF <Antecedente> THEN <Consequente>;
- ⌘ il grado di verità può variare da 0 (falso) ad 1 (vero), assumendo anche valori intermedi;
- ⌘ il grado di verità del conseguente è determinato da quello dell'antecedente;
- ⌘ l'antecedente può essere un'espressione logica complessa, che coinvolge più variabili.

La logica Fuzzy consente di incorporare le conoscenze disponibili in qualsiasi forma, sia che siano informazioni qualitative che quantitative; inoltre, è più flessibile rispetto alla logica classica e può

conciliare obiettivi contrastanti (ad esempio la necessità di riempimento e svuotamento della vasca di accumulo). Ha, infine, l'ulteriore vantaggio di richiedere limitati sforzi di modellistica, in quanto non è necessario un grado elevato di conoscenza del problema.

Effettuando una automazione di tipo Fuzzy si usa il seguente schema di processo:

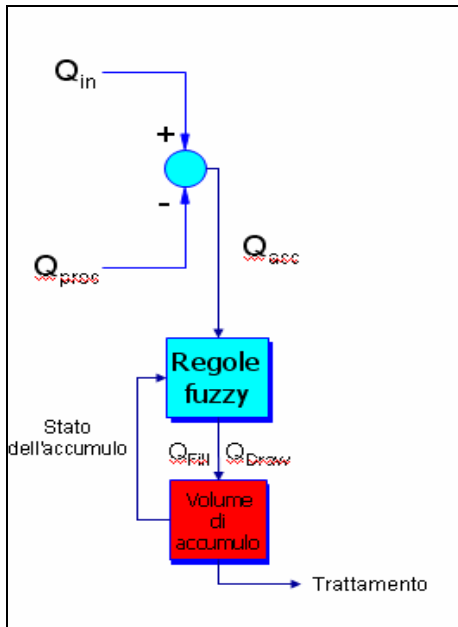


Figura 1.2 – Schema di processo regolazione Fuzzy.

## 2. Controllo di una vasca di accumulo

Come già introdotto, lo scopo di una vasca di accumulo, posta a monte di un impianto di depurazione, consiste nel portare benefici all'attività dell'impianto operando sulle grandezze in ingresso, che variano in dipendenza dalle ore del giorno, dalla stagione oltre che dal tipo e dal numero di utenze servite.

La politica alla base della gestione della vasca di accumulo è esclusivamente legata alla regolazione del carico idraulico e non alle concentrazioni di  $BOD_5$  e di  $NH_4^+$  in ingresso, in quanto queste non possono essere misurate in linea.

L'utilizzo della vasca di accumulo viene quindi supportato dal confronto della portata idraulica in ingresso e in uscita: il suo funzionamento ottimale presuppone lo smorzamento dei picchi, che può essere ottenuto con una opportuna politica di riempimento del serbatoio di accumulo a cui deve essere associata una altrettanto efficiente politica di svuotamento.

Il funzionamento della vasca di accumulo assicura benefici diversi a seconda del periodo di funzionamento: in periodi di siccità si ottiene un maggior beneficio sullo smorzamento delle portate rispetto ai periodi di pioggia, durante i quali il carico idraulico in ingresso è estremamente alto e la gestione del serbatoio incontra forti condizionamenti.

Al contrario, nelle situazioni di pioggia, l'intento primario è quello di sfruttare al massimo il volume disponibile per evitare il by-pass, che rappresenta una scelta drastica, in quanto prevede che il picco di carico non accumulabile oltrepassi la fase depurativa e venga riversato nel corpo idrico con una concentrazione di inquinanti immutata rispetto a quella iniziale. In questo caso, il danno che si arreca all'ambiente è considerevole e strettamente legato alle condizioni di qualità dell'acqua nel corpo idrico ricevente. L'azione di by-pass è inoltre illegale e quindi si deve ricorrere ad essa solo come soluzione estrema.

La vasca di accumulo deve essere integrata con :

- ◆ un misuratore di portata, posto all'ingresso dell'impianto di depurazione;
- ◆ un misuratore di livello, posto nella vasca di accumulo.

A seconda del valore di portata influente, della portata di progetto e del livello del volume di accumulo vengono adottati i provvedimenti ritenuti più opportuni operando sul controllo di gestione del buffer tank (riportato nella seguente figura).

Il modello della vasca di accumulo, realizzato in Simulink, è il seguente:

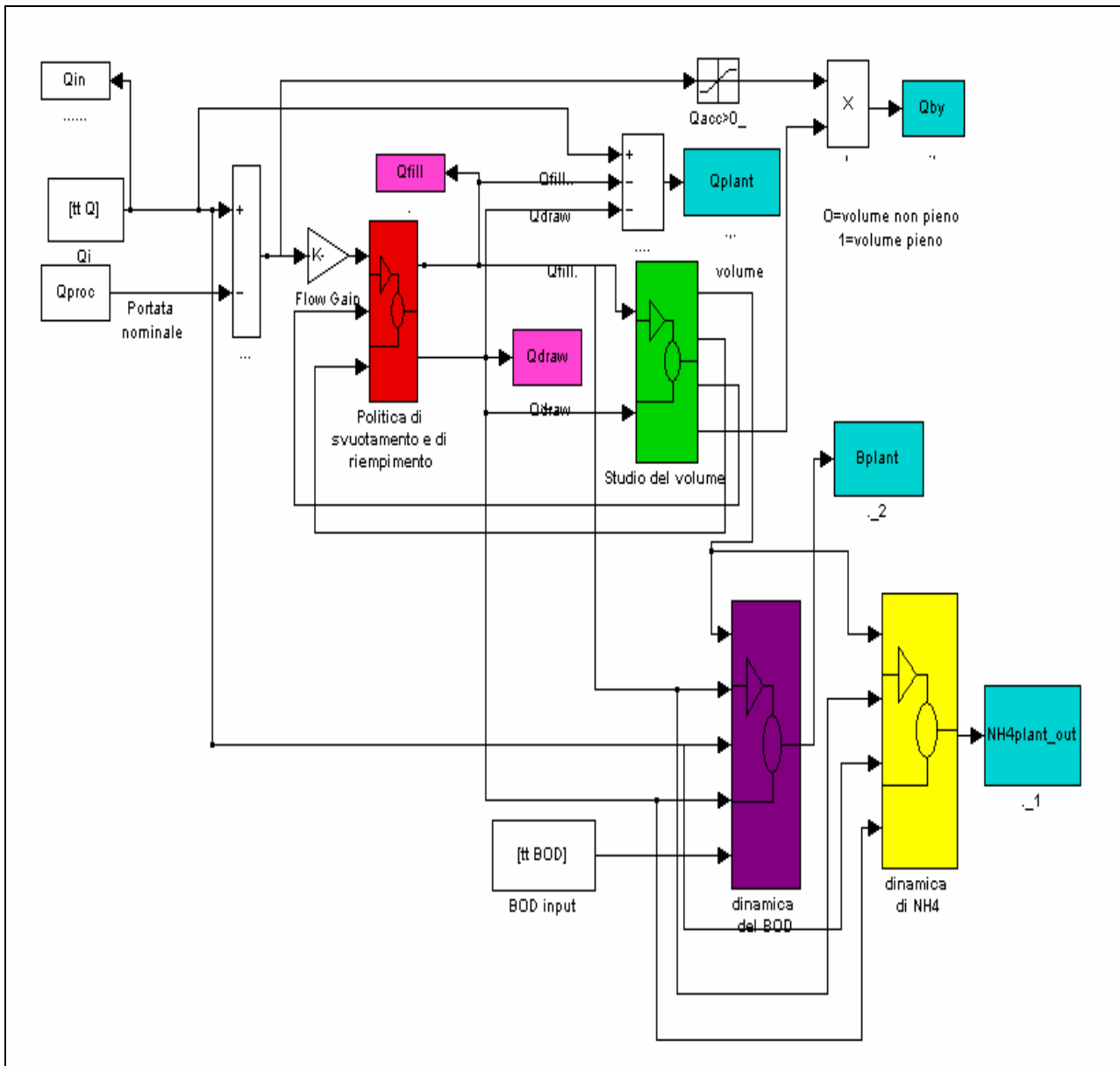


Figura 2.1- Schema Simulink della vasca di accumulo.

### 3. Politiche di riempimento e di svuotamento

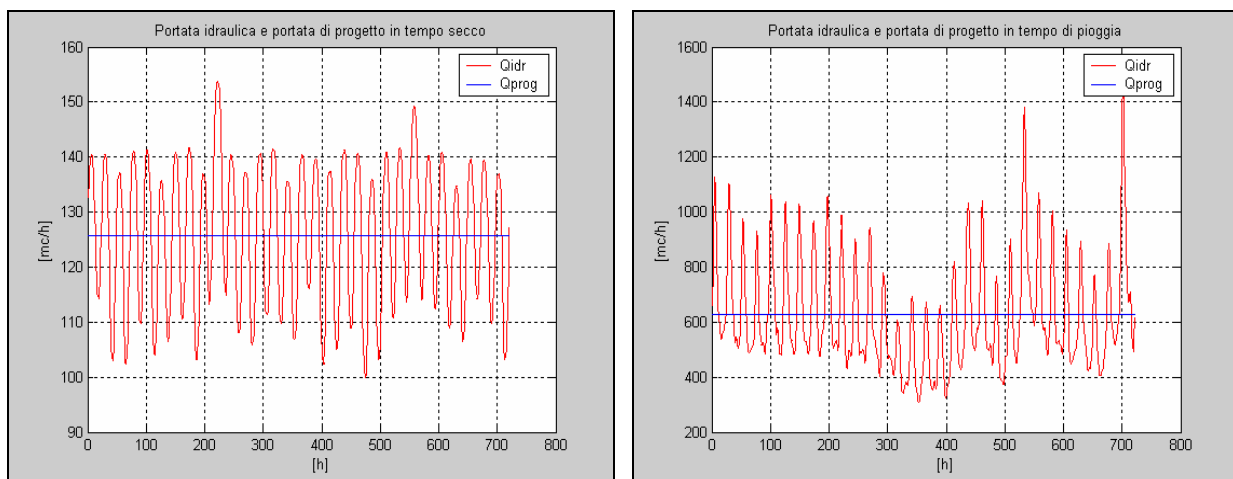
Si illustrano le politiche di riempimento e svuotamento della vasca di accumulo, applicate all'analisi di dati di portata riferiti ad un periodo autunnale ed estivo, posti a confronto.

L'idea alla base della gestione del serbatoio è quella di garantire all'impianto una portata il più possibile vicina a quella di progetto, mediante la scelta, effettuata istante per istante, di una portata da riversare nella vasca nel caso in cui il carico idraulico in ingresso sia più alto di quello nominale e il livello di riempimento della vasca lo permetta, o di una portata già accumulata da immettere nell'impianto se si verifica una condizione di sottocarico.

Nel caso preso in esame, è stata considerata una portata idraulica riferita ad un periodo estivo ed una portata inerente ad un periodo autunnale. In entrambi i casi è stata fissata una portata di processo, ( $Q_{proc}$ ), da addurre all'impianto, pari alla media delle portate idrauliche in ingresso.

I valori delle portate nominali sono:

- ◆  $Q_{proc} = 125,7 \text{ m}^3/\text{h}$  in caso di tempo secco;
- ◆  $Q_{proc} = 626,4 \text{ m}^3/\text{h}$  in caso di tempo di pioggia.



**Figura 3.1** – Portata idraulica e portata di progetto in tempo secco e di pioggia.

Definite le portate in ingresso, si valuta la politica di riempimento e svuotamento, applicando la logica Fuzzy; tale politica viene inserita nel blocco omonimo dello schema Simulink.

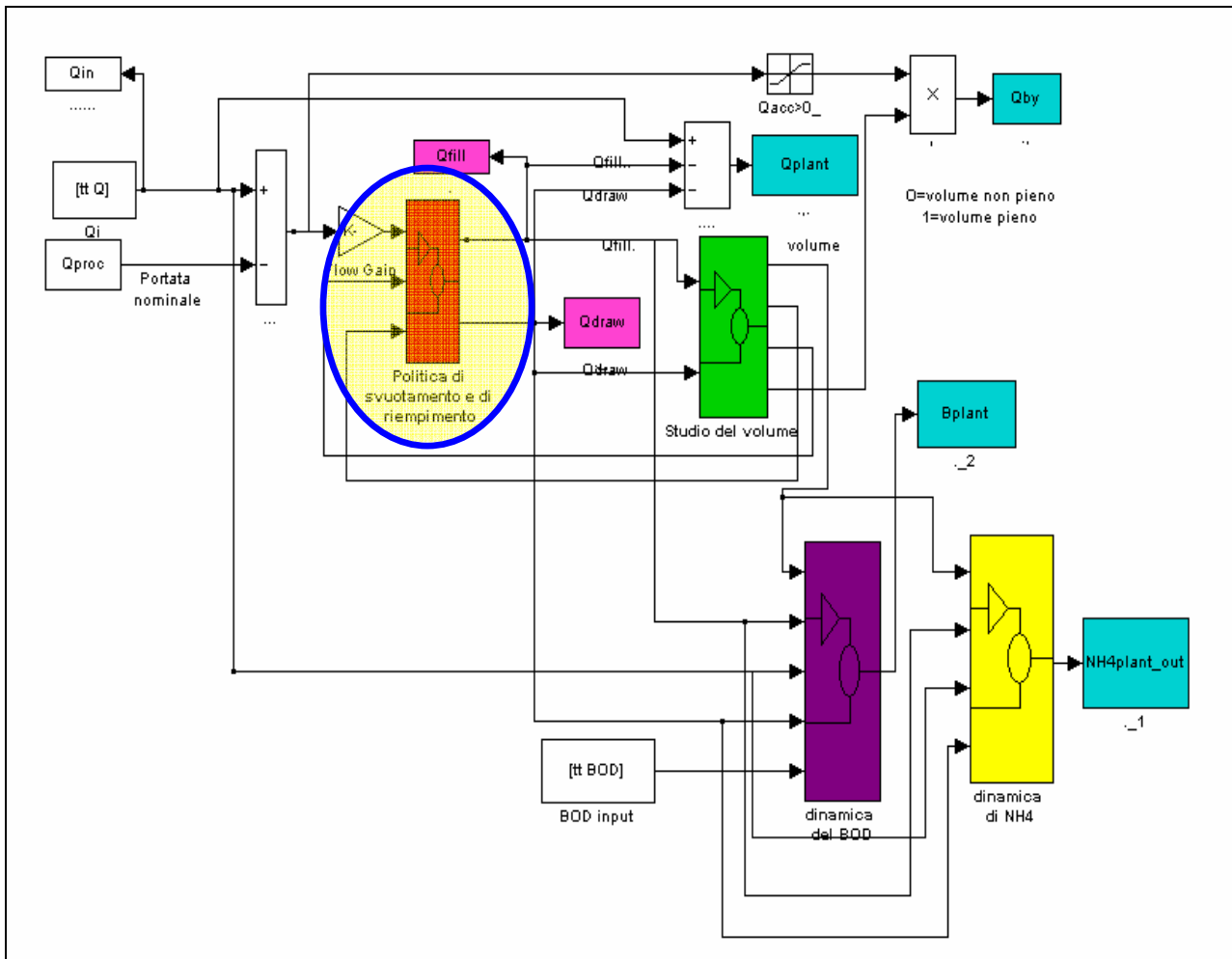


Figura 3.2 – Particolare della politica di riempimento-svuotamento dello schema Simulink .

In particolare aprendo il blocco si ottiene lo schema di gestione del buffer tank:

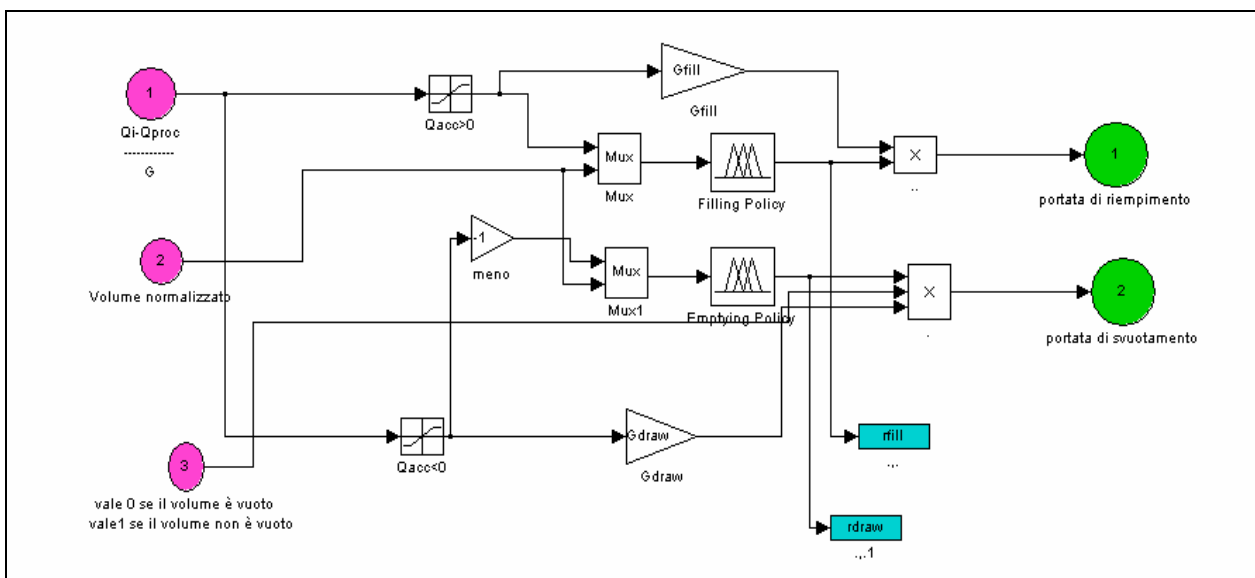


Figura 3.3 – Politica di riempimento-svuotamento dello schema Simulink .

Le grandezze sulle quali si basa il controllo sono due:

- ◆ la portata di accumulo:  $Q_{acc}$ ;
- ◆ il volume del serbatoio di accumulo:  $Vol_{acc}$ .

In particolar modo la portata di accumulo rappresenta il valore in eccesso, ( $Q_{acc} > 0$ ), o in difetto, ( $Q_{acc} < 0$ ), della portata in ingresso  $Q_{in}$  rispetto alla portata di processo  $Q_{proc}$ .

La  $Q_{acc}$ , che costituisce un ingresso al controllore Fuzzy, deve essere normalizzata in modo da assumere valori compresi tra 0 e 1. Il valore per la normalizzazione di  $Q_{acc}$  è  $G$ , calcolato come segue:

- ◆  $G1 = \max (Q) - Q_{proc}$  ;
- ◆  $G2 = Q_{proc} - \min (Q)$ ;
- ◆  $G = \max (G1, G2)$ ;

dove :

- ◆  $G1$  rappresenta il massimo eccesso della portata in eccesso rispetto alla  $Q_{proc}$ ;
- ◆  $G2$  rappresenta il massimo difetto delle portate in ingresso rispetto alla  $Q_{proc}$ ;
- ◆  $G$  viene calcolato come il massimo tra  $G1$  e  $G2$  in modo tale da normalizzare la  $Q_{acc}$  sia nel caso in cui essa sia positiva che nel caso opposto.

La grandezza in uscita, anche essa variabile tra 0 e 1, dovrà essere opportunamente denormalizzata; per la denormalizzazione, sia nel caso di riempimento che di svuotamento, sono stati valutati due guadagni,  $G_{fill}$  e  $G_{draw}$ , in modo tale da verificare il rispetto della conservazione della massa.

$$\int Q dt = V + \int (Q_{plant} + Q_{by}) dt = \int (Q_{proc} + Q_{draw} q_{draw} - G_{fill} q_{fill} + Q_{by}) dt$$

dove:

- ◆  $Q$  = portata in ingresso;
- ◆  $V$  = volume del serbatoio;
- ◆  $Q_{plant}$  = portata effettivamente trattata dall'impianto;

- ◆  $Q_{draw} q_{draw} = Q_{draw}$  portata di svuotamento;
- ◆  $Q_{fill} q_{fill} = Q_{fill}$  portata di riempimento;
- ◆  $Q_{by}$  = portata di by-pass.

Il secondo parametro è il volume di controllo, la cui normalizzazione avviene attraverso il rapporto tra il volume occupato all'istante  $t$  e il volume massimo del serbatoio,  $V_{max}$ , diverso per le due situazioni di tempo secco e di pioggia.

I due volumi massimi sono stati fissati pari a :

- $V_{max} = 1000 \text{ m}^3$  in caso di tempo secco;
- $V_{max} = 3000 \text{ m}^3$  in caso di tempo di pioggia.

Il volume disponibile varia nel tempo secondo la seguente legge:

$$V_{disp}(t) = V_{max} - V_0 + Q_{draw} * t - Q_{fill} * t$$

dove:

- $V_{disp}(t)$  = volume disponibile nella vasca al tempo  $t$ ;
- $V_{max}$  = volume massimo della vasca;
- $V_0$  = volume della vasca occupato all'istante iniziale.

In particolare  $V_{max}$  e  $V_0$  sono fissati nel programma di lancio (go\_bt) distinguendo tra la condizione autunnale ed estiva, in modo tale da far fronte a carichi idraulici diversi nelle due situazioni, in quanto le portate autunnali sono dell'ordine di 600-700 m<sup>3</sup>/h, mentre quelle estive di 120-130 m<sup>3</sup>/h, ovvero quasi cinque volte più piccole.

Nel programma di lancio si richiede la scelta della stagione da analizzare, mentre per quanto riguarda il serbatoio non è necessario apportare alcuna modifica strutturale, in quanto risulta dimensionato a favore di sicurezza sul tempo di pioggia.

Nei blocchi **Filling Policy** e **Empty Policy** si riportano le regole definite in ambiente Fuzzy Toolbox per il riempimento e lo svuotamento della vasca di accumulo.

### 3.1. Controllo Fuzzy per il riempimento della vasca di accumulo

Il modello adottato è del tipo Mandami con due ingressi, una uscita e nove regole.

In prima analisi è stato considerato un set completo di regole; successivamente si è cercato di scartare quelle meno influenti, valutandone le conseguenze e l'eventuale diminuzione di efficacia della politica di gestione della vasca di accumulo.

Il primo ingresso è la portata di sovraccarico  $Q_{acc}$  pari a :  $Q_{acc} = Q_{in} - Q_{proc} > 0$ .

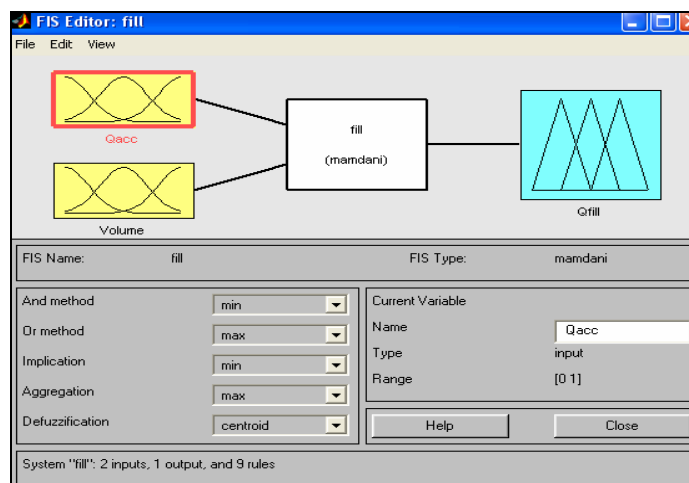


Figura 3.4 – Toolbox Fuzzy-Ingresso  $Q_{acc}$ .

La  $Q_{acc}$ , come già detto, rappresenta la portata in eccesso: quanto più alto è il suo valore, tanto maggiore è la necessità di riversare portata nella vasca di accumulo.

Il secondo ingresso è rappresentato dal volume accumulato:

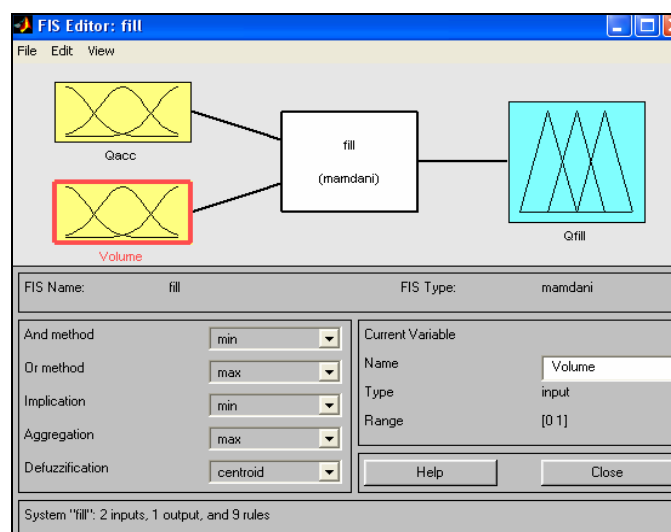


Figura 3.5 – Toolbox Fuzzy-Volume.

Lo studio del volume accumulato è particolarmente importante perché determina il successo o meno dell'azione di controllo del riempimento. Infatti:

- se il volume è pieno, è impossibile addurvi un ulteriore portata e, in caso di  $Q_{acc}$  alto, si può solo ricorrere ad un by-pass;
- se il volume è vuoto, si ha la possibilità di riempirlo per laminare i picchi di carico in ingresso.

L'obiettivo della politica di gestione della vasca di accumulo in tempo secco è quello di mantenere un livello di volume medio, in modo tale da avere comunque la possibilità di occupare il volume residuo, in caso di necessità.

La strategia da adottare in caso di pioggia è leggermente diversa perché la necessità primaria è quella di evitare, il più possibile, di by-passare la portata in ingresso.

Come risulta, quindi, si devono affrontare esigenze che impongono strategie quasi in contraddizione e in questo senso risulta fondamentale adottare la logica Fuzzy, che, più flessibile rispetto alla logica classica, consente di conciliare obiettivi contrastanti ed adottare posizioni intermedie rispetto alla rigorosa logica binaria.

Quando si adottano le regole di riempimento, la portata in ingresso all'impianto,  $Q_{plant}$ , è data da:

$$\left. \begin{matrix} Q_{plant} = Q_{in} - Q_{fill} \\ Q_{by} = 0 \end{matrix} \right\} \text{ nel caso in cui sia possibile sfruttare il volume offerto dal serbatoio;}$$

$$\left. \begin{matrix} Q_{plant} = Q_{proc} \\ Q_{by} = Q_{in} - Q_{proc} \end{matrix} \right\} \text{ nel caso in cui non sia possibile sfruttare il volume offerto dal serbatoio;}$$

Si riassume nelle tabelle e nei grafici seguenti le Membership Functions associate agli inputs e all' output:

Inputs	Membership Functions
<b><math>Q_{acc} = Q - Q_{proc} (&gt;0)</math></b>	low
	medium
	high
<b>Volume</b>	empty
	medium
	full

**Tabella 3.1** – Inputs - Membership Functions.

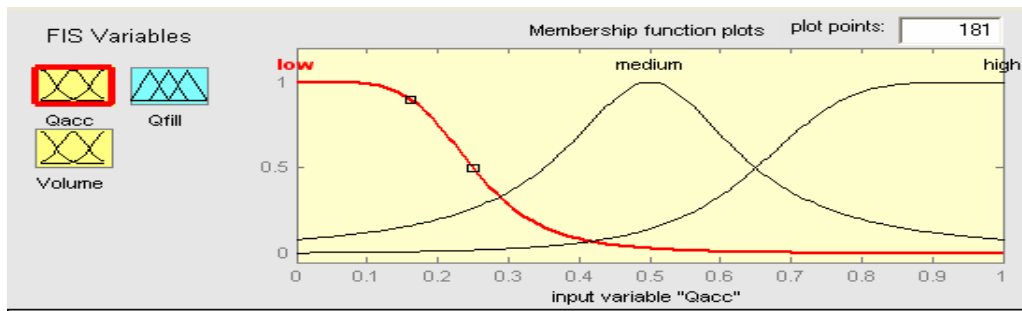


Figura 3.6 – Inputs - Membership Functions-  $Q_{acc}$ .

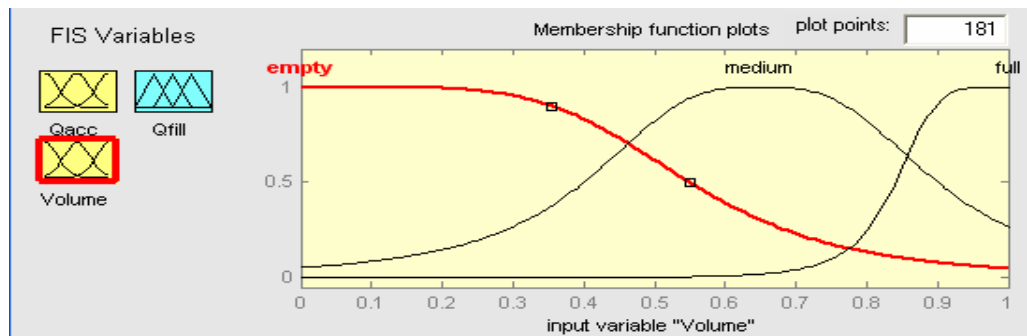


Figura 3.7 – Inputs - Membership Functions- Volume.

Output	Membership Functions
Qfill	low
	medium
	high

Tabella 3.2 – Output - Membership Functions.

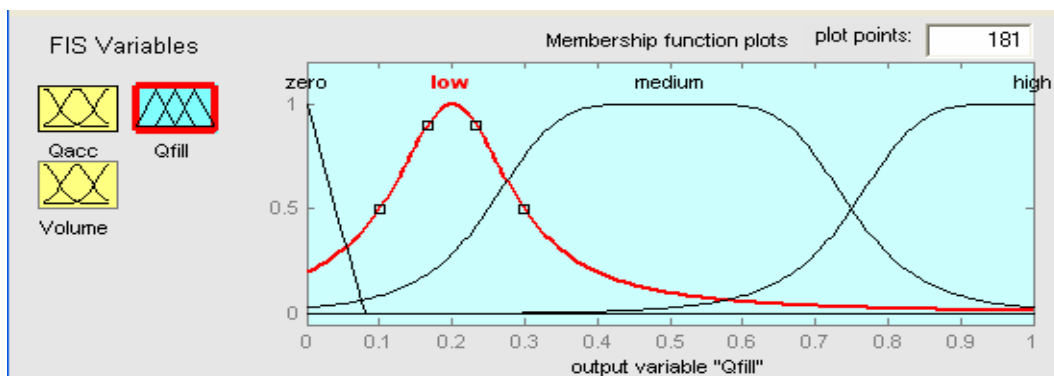


Figura 3.8 – Output - Membership Functions-  $Q_{fill}$ .

Le Membership Functions usate sono del tipo:

- ◆ gbellmf;
- ◆ trimf.

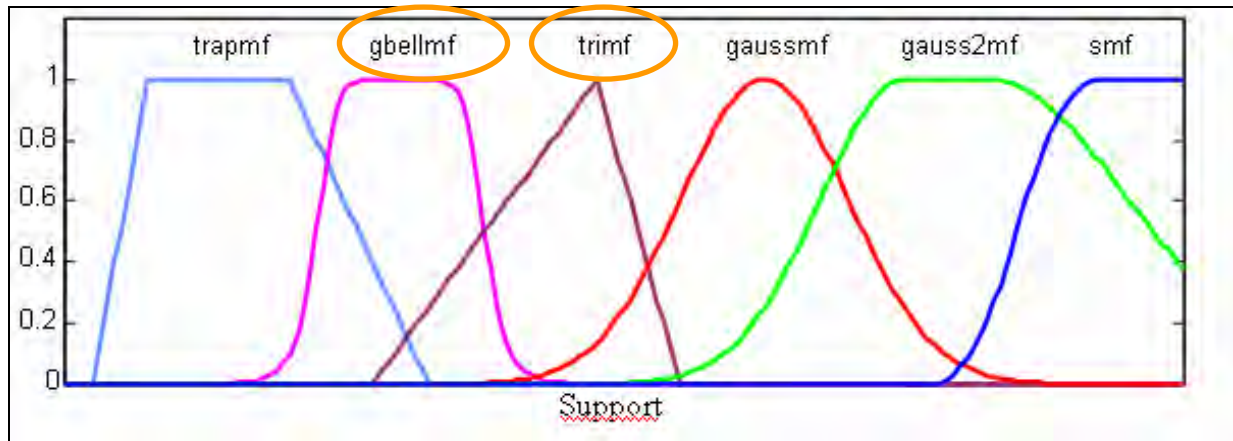


Figura 3.9 – Set di Membership Functions.

Le regole complete, considerate in prima analisi, sono nove, dato che per ogni ingresso sono state definite tre Membership Functions, e consentono di legare i conseguenti agli antecedenti influenzandone il grado di verità.

In particolare, le regole sono espresse come predicati implicanti del tipo:

*if <ANTECEDENTE> then <CONSEQUENTE>*

Le regole utilizzate nel caso in esame sono costituite da due predicati connesse da loro mediante l'operatore logico **AND**:

*if (x1 is A1) AND (x2 is A2) THEN y is B*

Con due antecedenti nell'implicazione prevale quello con minore grado di verità.

Si riporta di seguito la finestra della Fuzzy Toolbox che consente la creazione di predicati implicanti:

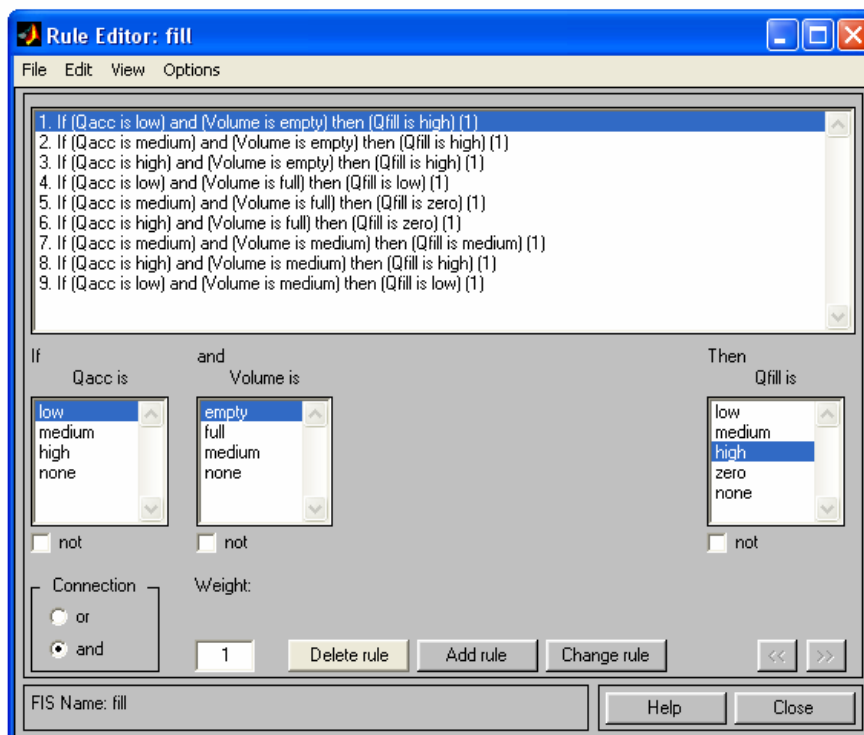


Figura 3.10 – Rule Editor Fill.

Si procede commentando le regole adottate.

- ◆ **Regole 1 e 2:** in questi casi non si avrebbe la necessità di riempire eccessivamente il volume, perché la portata in ingresso non è molto più alta di quella nominale, ma si cerca comunque di evitare che il volume di accumulo sia vuoto. In questo caso infatti, se si presenta una portata inferiore a quella di progetto, non essendo disponibili volumi precedentemente accumulati, si dovrebbe fare lavorare l'impianto in condizioni di sottocarico, di per sé sconvenienti.
- ◆ **Regola 3:** è inerente al caso più critico in quanto la portata in ingresso è molto superiore a quella di progetto; tuttavia si hanno le migliori condizioni al contorno perché il volume del serbatoio disponibile è il massimo.
- ◆ **Regola 4:** questa regola potrebbe sembrare errata, in quanto sembra sbagliato cercare di riempire ulteriormente un volume già pieno; si deve, però, far presente che, dall'osservazione dell'andamento delle Membership Functions, quella associata al valore full del volume ha un campo di estensione variabile tra 0,6 e 1. Questo implica che un volume di poco superiore alla metà viene interpretato dal controllore come full quando in realtà non lo è tutto e questo consente un ulteriore ridotto riempimento.
- ◆ **Regola 5 e 6:** queste regole sono inerenti a condizioni critiche perché fanno riferimento al caso in cui si debba smaltire gran parte della portata ingresso e il volume sia pieno. In questo caso, è impossibile riversare nel serbatoio, anche se non completamente pieno, come illustrato per la regola 4, la differenza tra la portata in ingresso e quella di progetto perché troppo alta. L'unica alternativa possibile è il by-pass. Si deve comunque osservare che in una buona politica di riempimento e svuotamento si ricorre al by-pass limitatamente in quanto si riesce quasi sempre a garantire un volume disponibile pari a circa la metà di quello effettivo.
- ◆ **Regola 7:** in questo caso si fronteggia un eccesso di portata rispetto a quella di progetto di media entità, avendo a disposizione la metà circa del volume del serbatoio. Con queste condizioni, la politica migliore da adottare risulta essere quella di riempire con una portata media.
- ◆ **Regola 8:** con questa regola si forza la politica di rendimento con l'intento primario di smorzare il picco in entrata e garantire all'impianto una portata di poco distante a quella di progetto.
- ◆ **Regola 9:** Con una portata di poco superiore a quella di progetto e la disponibilità di metà di volume massimo, la politica scelta impone di riversare una portata di riempimento bassa.

La Toolbox Fuzzy consente di visualizzare:

- una superficie, funzione delle regole di riempimento: *Surface Viewer*;
- gli andamenti delle  $Q_{acc}$ , Volume,  $Q_{fill}$ , in funzione delle nove regole poste: *Rule Viewer*.

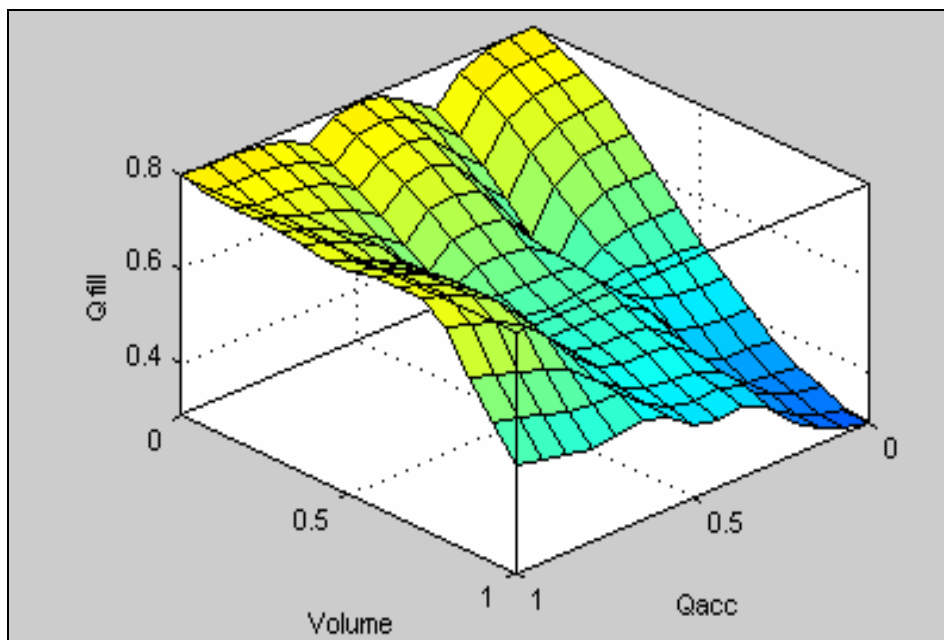


Figura 3.11 – Surface Viewer.

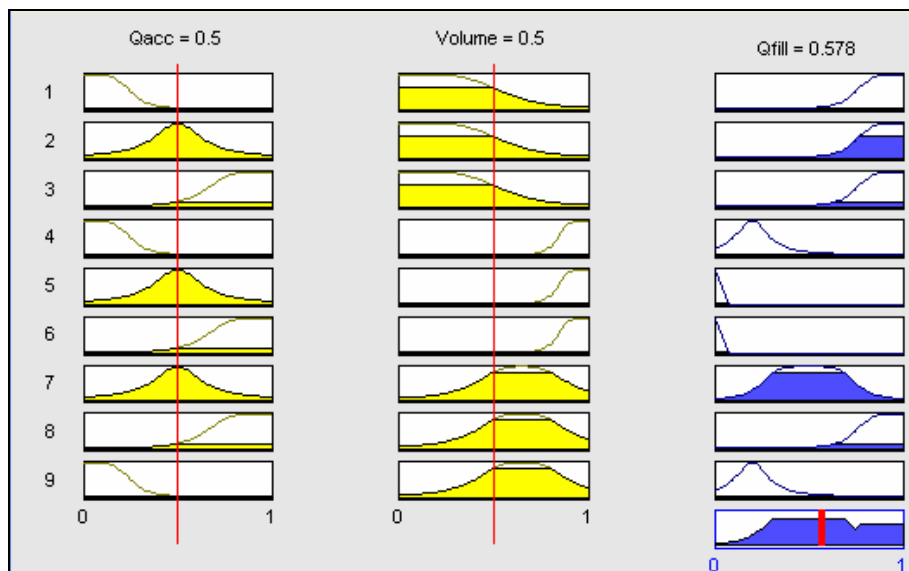


Figura 3.12 – Rule Viewer.

### 3.2. Controllo Fuzzy per lo svuotamento della vasca di accumulo

Il modello usato per la gestione dello svuotamento è sempre del tipo Mandami con due ingressi, una uscita e sei regole.

Il primo ingresso è rappresentato dalla portata di sottocarico  $Q_{acc}$ , pari a:  $Q_{acc} = Q_{in} - Q_{proc} < 0$ .

La  $Q_{acc}$  in questo caso rappresenta la portata in difetto, in quanto tanto più è elevato il suo valore, tanto maggiore è la necessità di attingere dal serbatoio una portata da immettere nell'impianto in modo tale da evitare il funzionamento in condizioni di sottocarico. Da qui si comprende la necessità di potere disporre sempre di un certo volume nel serbatoio da potere utilizzare nei periodi caratterizzati da dei picchi bassi; tenendo conto di ciò, la portata di svuotamento non deve mai essere eccessiva.

D'altra parte, svuotando troppo poco, si può presentare il rischio di avere un volume quasi pieno, con problematiche nei periodi di sovraccarico.

Una corretta politica per lo svuotamento del serbatoio di accumulo deve tendere a mantenere il livello dello stesso attorno al suo valore medio, in modo tale da potere parzialmente soddisfare esigenze contrastanti.

Il secondo ingresso è il volume accumulato: se questo è nullo, è impossibile lo svuotamento del serbatoio di accumulo e l'impianto forzatamente deve lavorare sottocarico.

Per esplicitare l'impossibilità di svuotare un volume già nullo, si inserisce nel modello un vincolo forte: la portata di svuotamento viene infatti controllata da una variabile booleana che esce dal blocco del volume e moltiplica per 0 la  $Q_{draw}$ , quando il volume è nullo, e per l'unità in caso contrario.

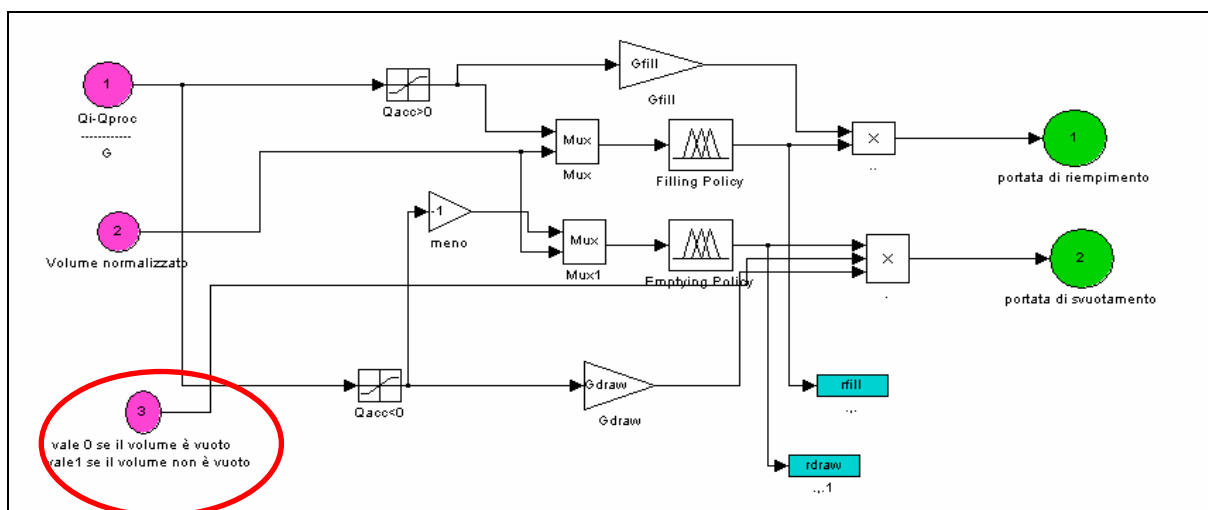


Figura 3.13 – Blocco booleano.

Questo vincolo risulta fondamentale in un contesto in cui viene applicata la logica Fuzzy, poiché questa, se da un lato è estremamente flessibile, dall'altro può comportare forti controsensi in circostanze dove è necessaria un' assoluta rigidezza.

La grandezza in uscita dal blocco Fuzzy deve essere opportunamente denormalizzata, mediante il guadagno  $G_{draw}$ .

Si riassumono nelle tabelle e nei grafici seguenti le Membership Functions associate agli inputs e all' output:

Inputs	Membership Functions
Qacc=Q-Qproc(<0)	low
	medium
	high
Volume	empty
	full

Tabella 3.3 – Inputs - Membership Functions.

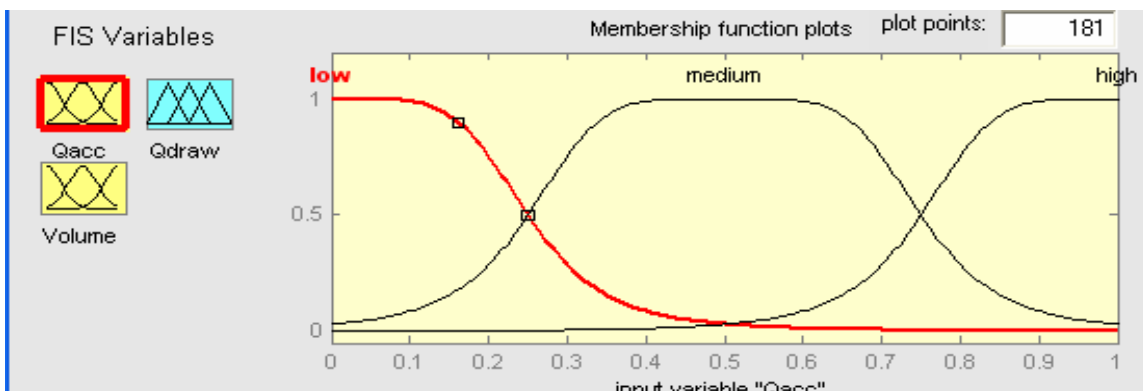


Figura 3.14 – Inputs - Membership Functions- Qacc.

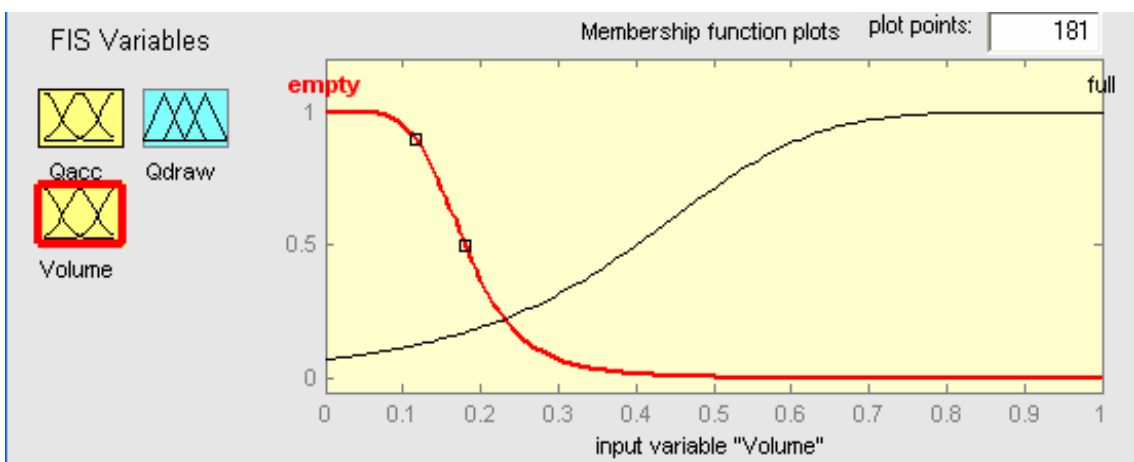


Figura 3.15 – Inputs - Membership Functions- Vol

Output	Membership Functions
Qdraw	low
	medium
	high

Tabella 3.4 – Output - Membership Functions.

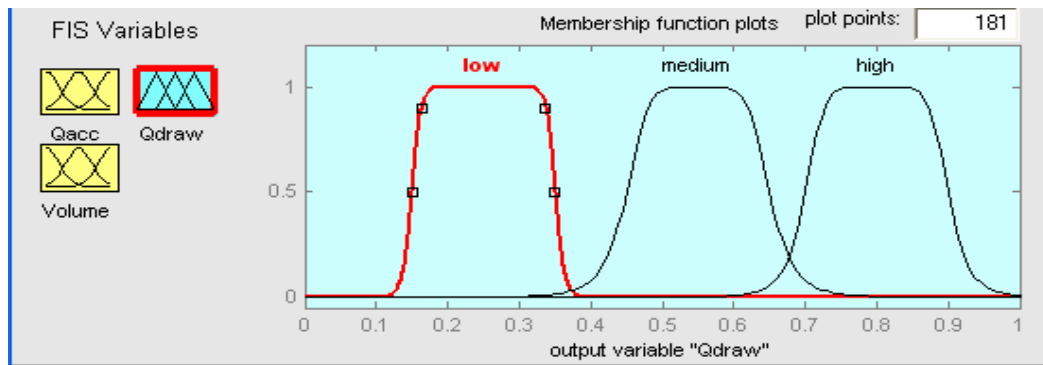


Figura 3.16 – Output - Membership Functions- Q<sub>draw</sub>.

Rispetto alla politica di riempimento, le regole impiegate sono in numero inferiore, ovvero sei, in quanto l’input volume è associato a due Membership Functions (Empty-Full), anzichè a tre. E’ stata adottata questa scelta in quanto sperimentalmente è stato dimostrato che si ottengono risultati migliori rispetto all’inserimento aggiuntivo della Membership Function Medium. Inoltre, si può adottare un numero inferiore di regole in quanto parte del controllo Fuzzy è stato sostituito dal vincolo booleano con l’ulteriore effetto di un aumento della velocità di simulazione. Quando si attivano le regole che valutano la portata di svuotamento, cioè quando  $Q_{acc} < 0$ , si ha che la portata  $Q_{plant}$ , inviata al processo depurativo, è :

$$Q_{plant} = Q_{in} + Q_{draw} \quad \rightarrow \text{nel caso in cui sia possibile svuotare il serbatoio;}$$

$$Q_{plant} = Q_{in} \quad \rightarrow \text{nel caso in cui non sia possibile svuotare il serbatoio;}$$

Anche in questo caso i due antecedenti sono collegati dall’operatore logico **AND**.

Si riporta di seguito la finestra della Fuzzy Toolbox che consente la creazione di predicati implicanti:

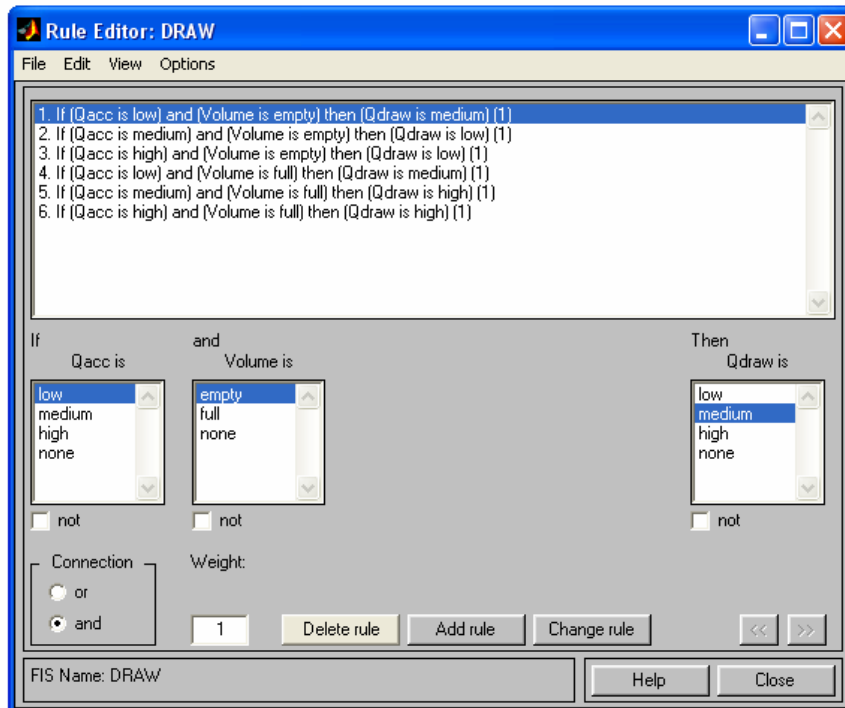


Figura 3.17 – Rule Editor Draw.

Si illustrano di seguito le regole impiegate:

- ◆ **Regole 1, 2, 3:** possono apparire un controsenso perché non è possibile svuotare un serbatoio già vuoto; tuttavia anche in questo caso si deve tenere conto del fatto che l'andamento della Membership Function, legata al campo Empty, rappresenta un volume non propriamente nullo, ma variabile tra 0 – 0,4 , che è quasi pari al volume medio. Si deve, inoltre, tener presente che all'esterno del blocco Fuzzy è posto un controllo booleano che annulla lo svuotamento, se il volume è effettivamente vuoto. Queste regole consentono di garantire all'impianto una portata il più possibile prossima a quella nominale ed evitare il più possibile la condizione di sottocarico.
- ◆ **Regola 4:** in questo caso sarebbe possibile adottare uno svuotamento più basso, adottando una  $Q_{draw}$  low, invece che medium; tuttavia, in prima analisi si sceglie di ricorrere ad una  $Q_{draw}$  medium al fine di evitare situazioni di volume pieno, disagiati nel caso in cui si verifici la necessità di un grosso accumulo, che, se non assorbito dal serbatoio, comporta un by-pass.
- ◆ **Regole 5 e 6:** sono relative alle condizioni più critiche, in quanto il carico idraulico in ingresso è più basso della portata idraulica di progetto. Nonostante ciò, le condizioni al contorno sono favorevoli, in quanto il serbatoio è pieno e consente di fornire una portata

aggiuntiva da addurre all'impianto. Si preferisce adottare una  $Q_{draw}$  high, anziché medium, in entrambi i casi, per favorire il ritorno del livello del serbatoio ad un valore intermedio il più velocemente possibile.

Si visualizza quindi la Rule e la Surface Viewer:

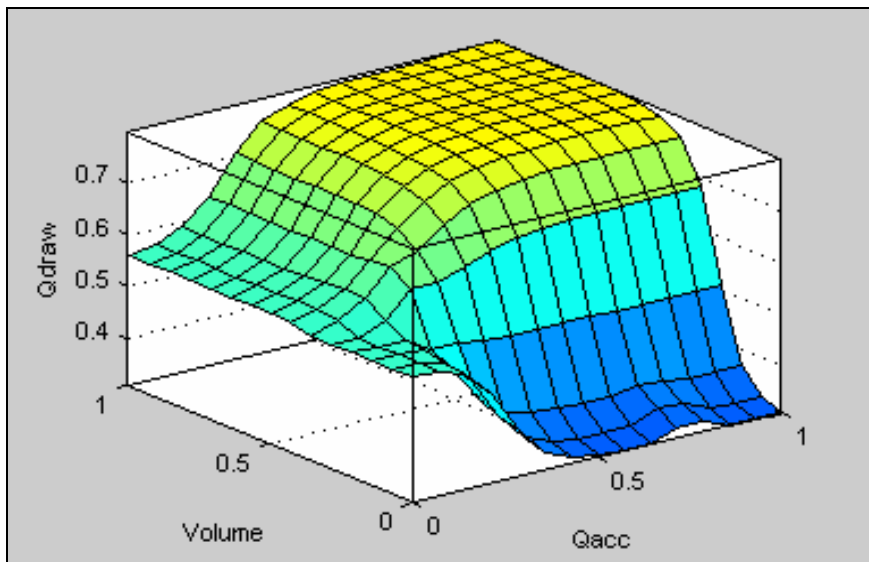


Figura 3.18 – Surface Viewer.

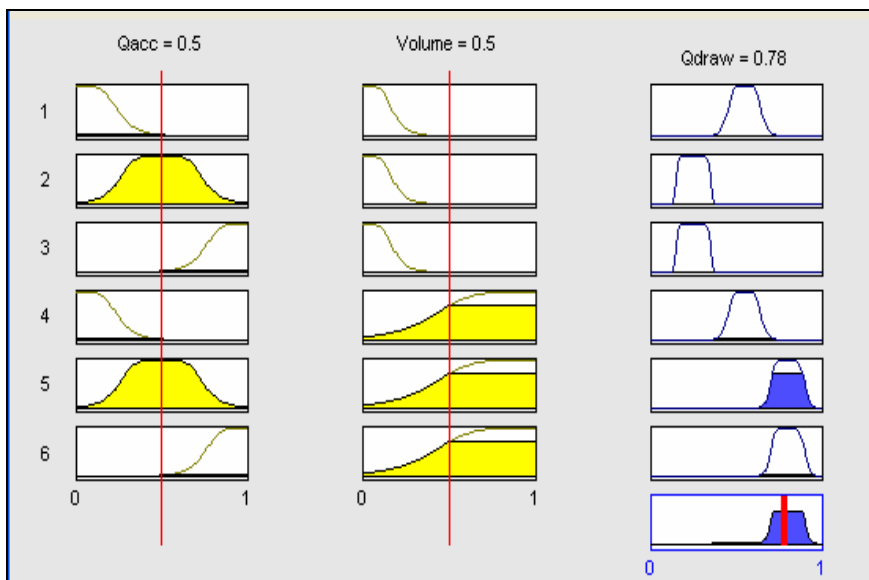


Figura 3.19 – Rule Viewer.

### 4. Studio del volume della vasca di accumulo

Si riporta lo schema Simulink con cui viene effettuato lo studio del volume della vasca di accumulo:

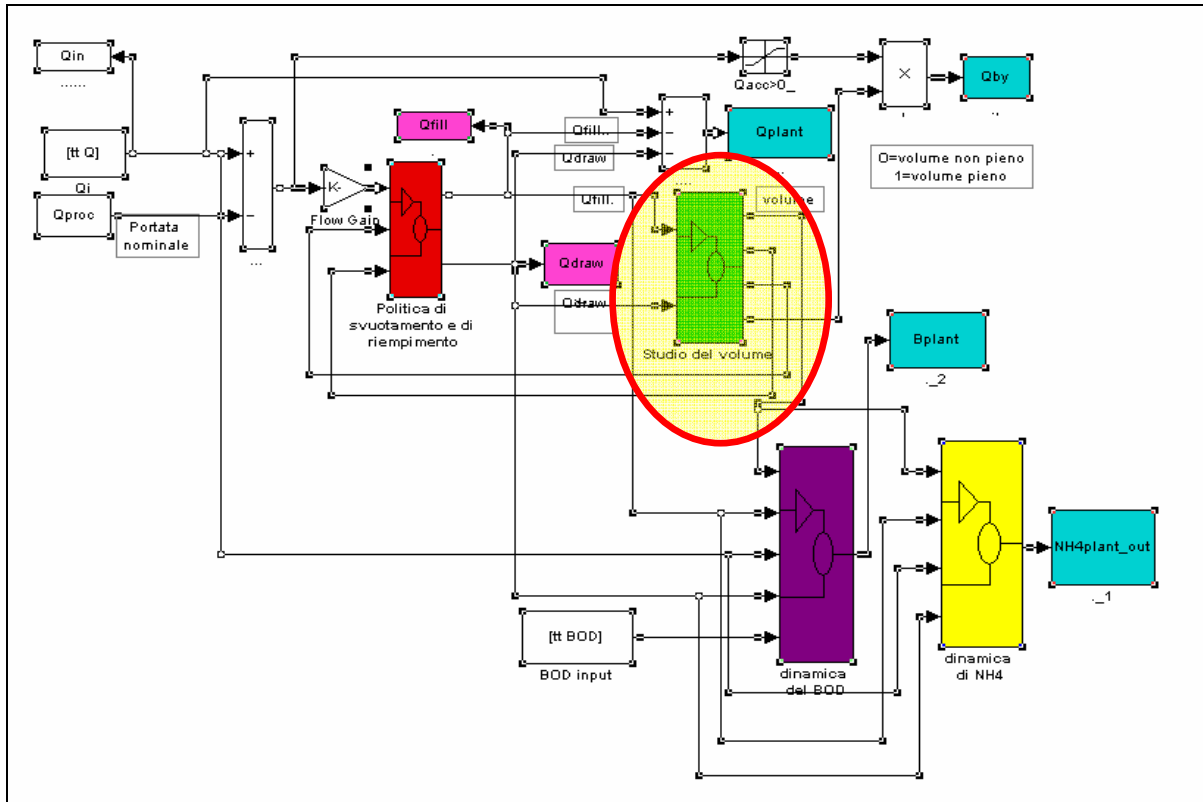


Figura 4.1 – Schema Simulink con evidenziato lo studio della vasca di accumulo.

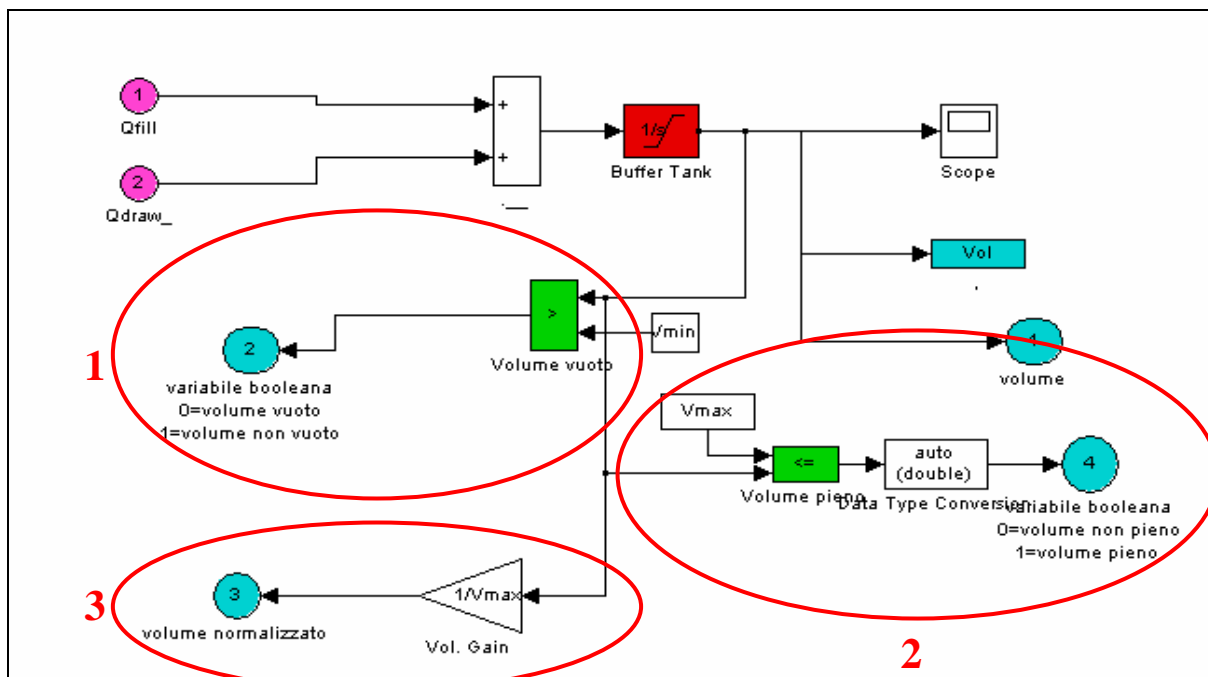


Figura 4.2 – Particolare dello schema della vasca di accumulo.

In ingresso al sottoblocco, inerente lo studio della vasca di accumulo, si hanno la  $Q_{\text{draw}}$  e la  $Q_{\text{fill}}$ , che sono state determinate sulla base delle regole Fuzzy, descritte al paragrafo precedente.

Nel blocco **Buffer Tank** si riportano le indicazioni inerenti le limitazioni superiori e inferiori del volume della vasca di accumulo e il valore del volume iniziale, che vengono introdotte come input nel programma di lancio *go\_bt*.

In uscita dal **Buffer Tank**, si hanno indicazioni sul volume della vasca di accumulo, che viene confrontato mediante operatori logici con il valore massimo e minimo del volume:

- 1) *se il volume è inferiore al volume minimo* → viene attribuita una variabile booleana pari a 0;
- 2) *se il volume è maggiore o uguale al volume massimo* → viene attribuita una variabile booleana pari a 1;
- 3) *altrimenti* il volume viene normalizzato rispetto al valore massimo.

## 5. Analisi del programma di lancio go\_bt

Si riportano le stringhe dell'editor di Matlab, in cui si danno le indicazioni per gestire la vasca di accumulo:

```
%%% PROGRAMMA DI LANCIO: GESTIONE DELLO STORAGE TANK;

% Richiamo delle regole Fuzzy per la definizione delle Qfill e Qdraw, usate nel Simulink.

fill=readfis('fill.fis');
draw=readfis('draw.fis');

Vo=30;
No=30;
Righe=6000;
xo=[];
options=[];
stagione=input('stagione=(1)autunno,(2)estate,(3)autunnosovraccarico');

if stagione==1
    lancioautunno;
end

if stagione==2
    lancioestate;
end

if stagione==3
    lancioautunnosovraccarico;
end

if (stagione >3) | (stagione <1)
end
```

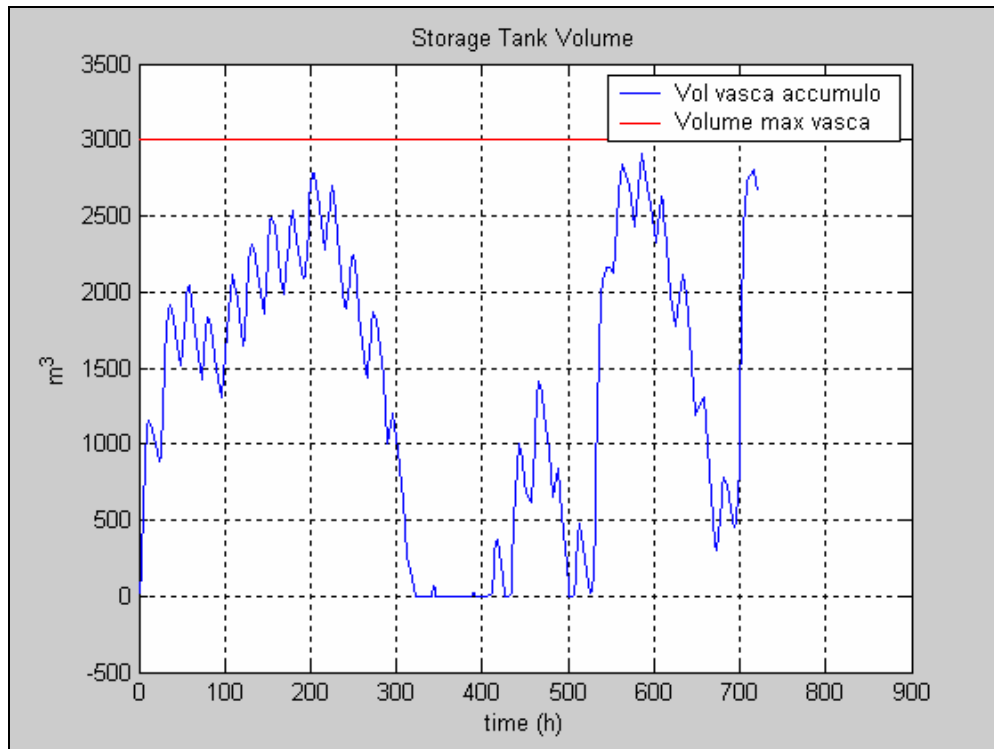
Dal programma di lancio *go\_bt*, mediante un *ciclo if*, è possibile l'esecuzione a scelta di tre sottoprogrammi, inerenti lo studio del funzionamento della vasca di accumulo nel periodo autunnale, estivo e in caso di aumento delle portate in afflusso all'impianto (condizione più critica):

- *lancioautunno;*
- *lancioestate;*
- *lanciosovraccarico.*

In allegato si riportano le stringhe complete di tutti i file editor usati per lo studio della vasca di accumulo.

## 5.1. Analisi dei risultati in periodo autunnale

### Andamento del volume in vasca di accumulo



**Figura 5.1** – Volume della vasca di accumulo-Volume massimo della vasca di accumulo.

Nella figura 5.1 viene riportato:

- ▶ il valore fissato di riferimento per il massimo accumulo nel periodo autunnale, posto pari a 3000 m<sup>3</sup>/h;
- ▶ l'andamento del volume nella vasca di accumulo nelle 720 ore di riferimento.

Come si può notare, sulla base delle regole Fuzzy imposte, il volume massimo non viene mai superato e questo porta a non avere la necessità di ricorrere al by-pass.

Andamento del BOD<sub>accumulo</sub>, BOD<sub>plant</sub>, BOD<sub>in</sub>

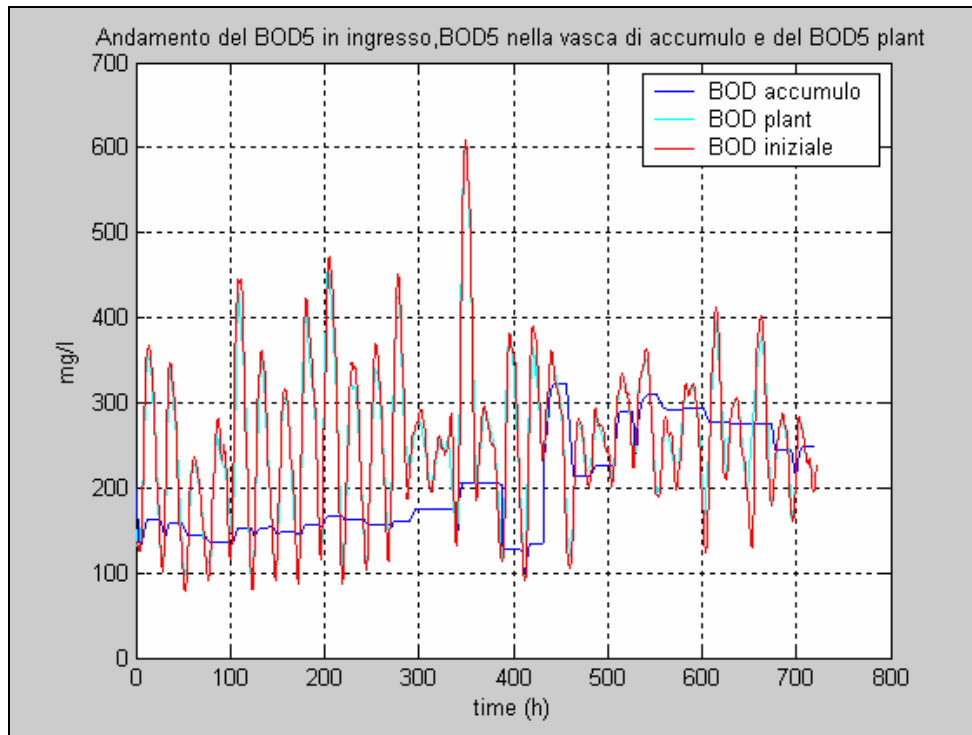


Figura 5.2 – BOD accumulato, BOD plant, BOD iniziale.

La vasca di accumulo funziona come un CSTR; le concentrazioni di BOD<sub>5</sub> all’interno del serbatoio sono diverse da quelle in ingresso perché subiscono una dinamica a mescolamento completo e risultano quindi omogeneizzate.

In figura 5.2 si mostra:

- ▶ l’andamento del BOD<sub>5</sub> in ingresso alla vasca di accumulo;
- ▶ il valore del BOD<sub>5</sub> all’interno della vasca di accumulo;
- ▶ il valore del BOD<sub>5</sub> che deve entrare al trattamento.

Si nota che la presenza della vasca di accumulo consente di smorzare leggermente i picchi del BOD<sub>5</sub> iniziale; tuttavia il BOD<sub>5</sub> in ingresso alla vasca di accumulo e quello in ingresso all’impianto per il trattamento depurativo risultano simili.

L’andamento del BOD<sub>5</sub> deve essere valutato in funzione dei volumi presenti in vasca di accumulo: l’andamento del BOD<sub>5</sub> in vasca di accumulo è infatti funzione del volume presente in essa.

Tale relazione può essere meglio visualizzata nei due grafici affiancati:

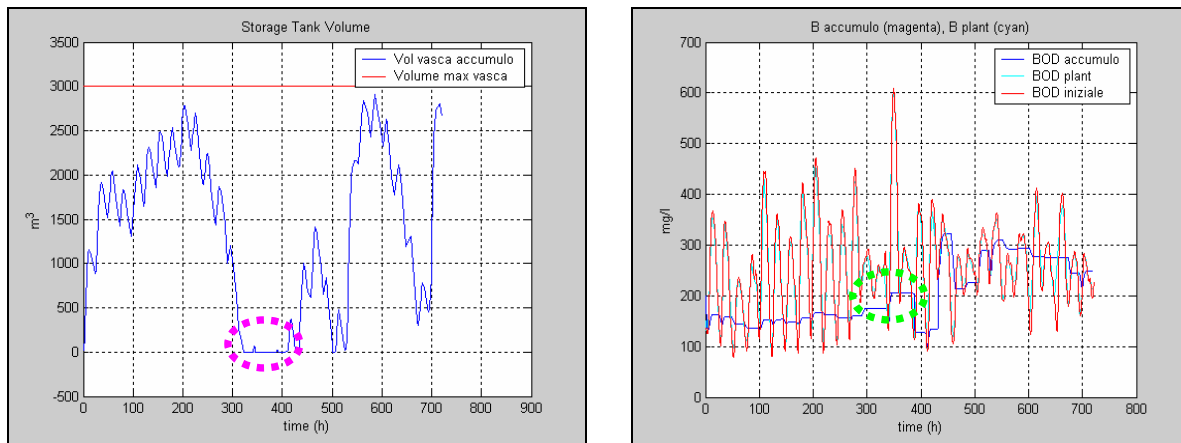


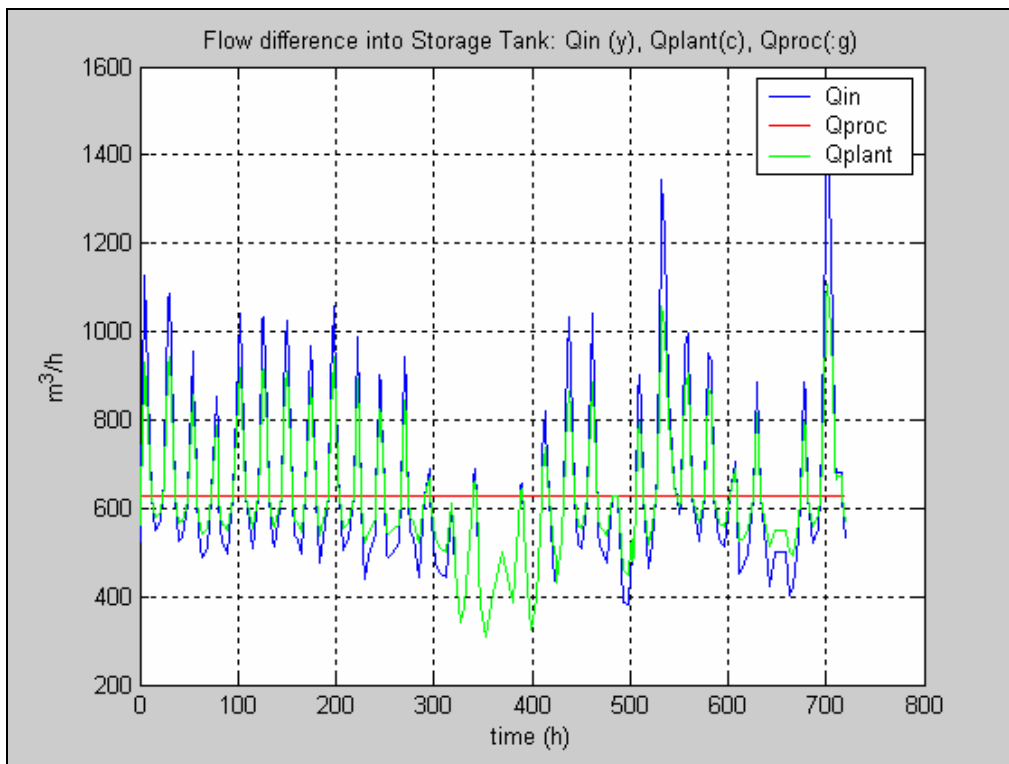
Figura 5.3 – Confronto volume - BOD5 in vasca di accumulato.

Se si confronta l'andamento del volume con quello del BOD<sub>5</sub> in vasca di accumulato, si nota che, in corrispondenza di incrementi delle concentrazioni di BOD<sub>5</sub>, si ha una condizione di sottocarico idraulico ed un volume pressochè vuoto. La spiegazione di questo comportamento può essere fornita dall'analisi dell'equazione inerente alla dinamica del BOD<sub>5</sub> in CSTR:

$$\frac{dB}{dt} = \frac{Q_{fill}}{V} (B_{in} - B)$$

Come si può notare l'incremento di concentrazione di BOD<sub>5</sub> è inversamente proporzionale al volume presente in vasca di accumulato.

Andamento  $Q_{in}$ ,  $Q_{proc}$ ,  $Q_{plant}$



**Figura 5.4** – Portata in ingresso, portata di processo, portata in uscita dall’accumulo.

Come si può notare dal grafico, la funzionalità della vasca di accumulo di abbattere i picchi delle portate in ingresso viene soddisfatta; oltre che dalla figura 5.4, lo si può dimostrare analizzando i loro valori medi :

- $Q_{in\ medio} = 701\ m^3/h;$
- $Q_{plant\ medio} = 675,8\ m^3/h;$
- $Q_{proc} = 626,4\ m^3/h.$

I valori sopra riportati dimostrano come il valore di portata in uscita dalla vasca di accumulo si avvicini maggiormente al valore di processo rispetto alla di portata in ingresso, non smorzato dalla vasca.

Ad ulteriore testimonianza della validità del risultato ottenuto, si riporta di seguito l’istogramma della  $Q_{plant}$  e i valori medi sopra riportati.

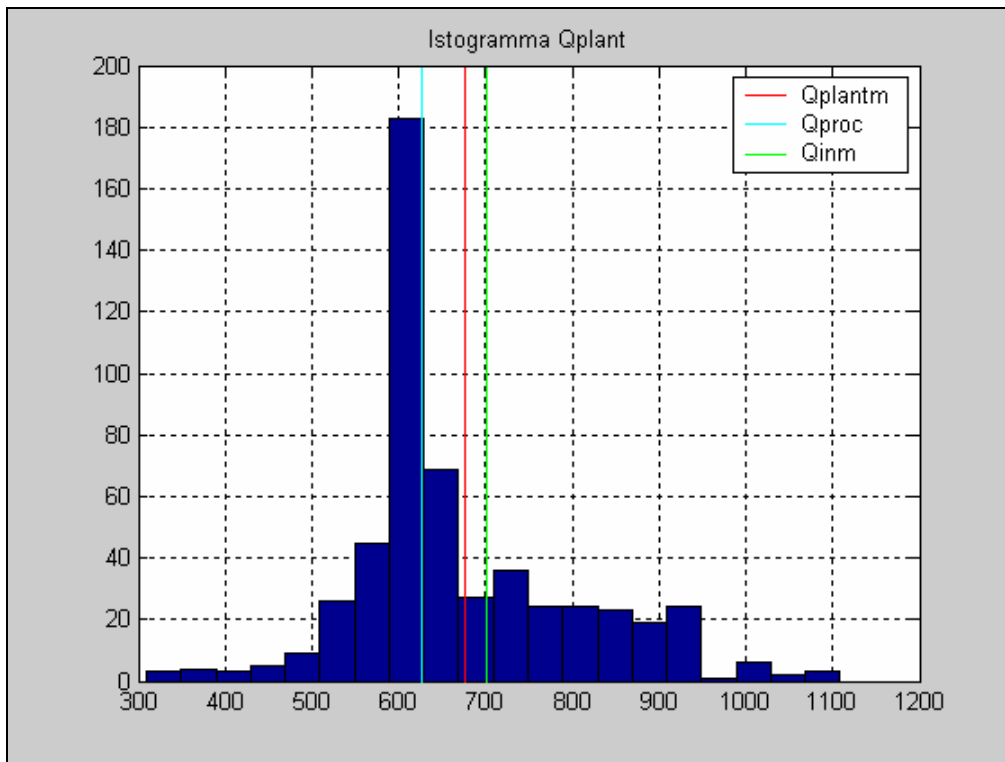


Figura 5.5 – Istogramma Qplant-tempo.

Andamento  $Q_{fill}$ ,  $Q_{draw}$ ,  $Q_{by}$

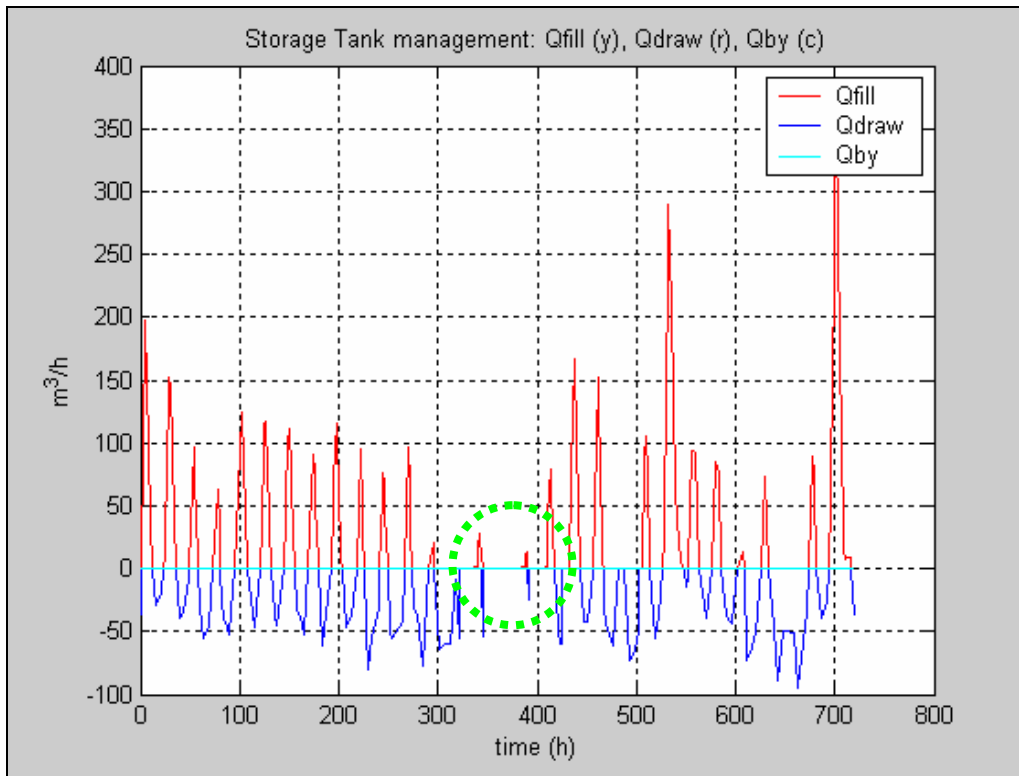
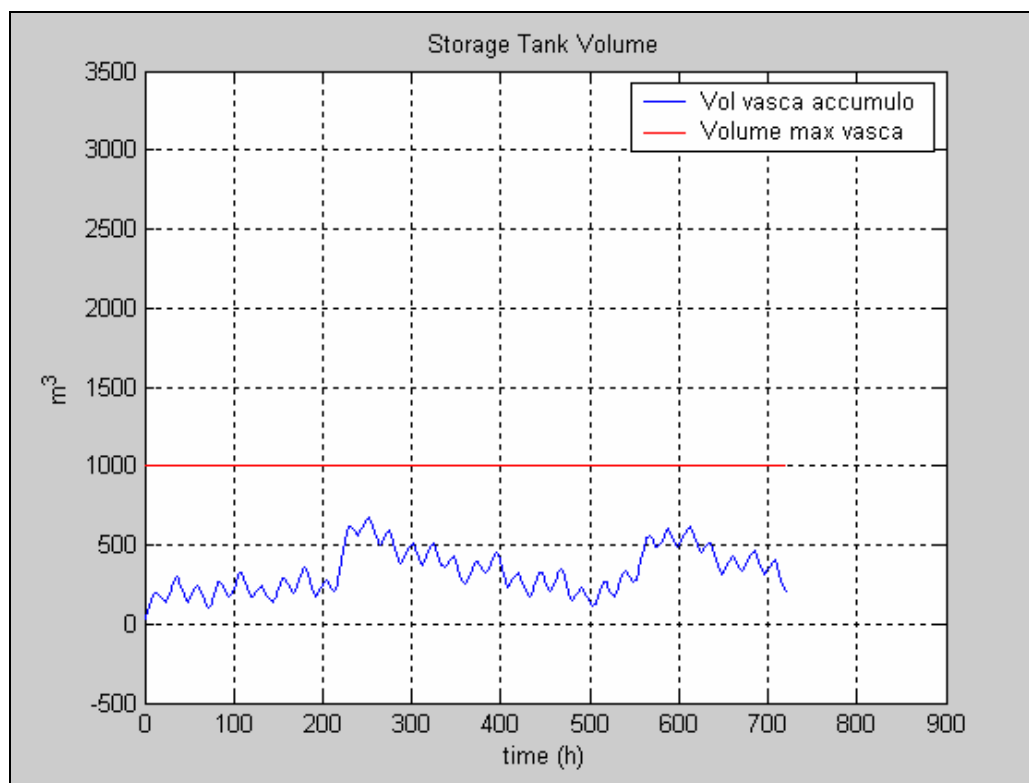


Figura 5.6 – Andamento  $Q_{fill}$ ,  $Q_{draw}$ ,  $Q_{by}$ .

La vasca di accumulo svolge correttamente la sua funzione, in quanto grazie ad una corretta scelta della portata di riempimento e svuotamento della stessa, si riesce ad ottenere un volume di accumulo sempre disponibile, evitando di ricorrere al by-pass della portata in arrivo all’impianto. Inoltre si nota che, nell’intervallo tra la 400-sima e la 500-sima ora di simulazione, per un breve tratto l’impianto riesce a funzionare senza dover ricorrere all’utilizzo della vasca di accumulo.

## 5.2. Analisi dei risultati in periodo estivo

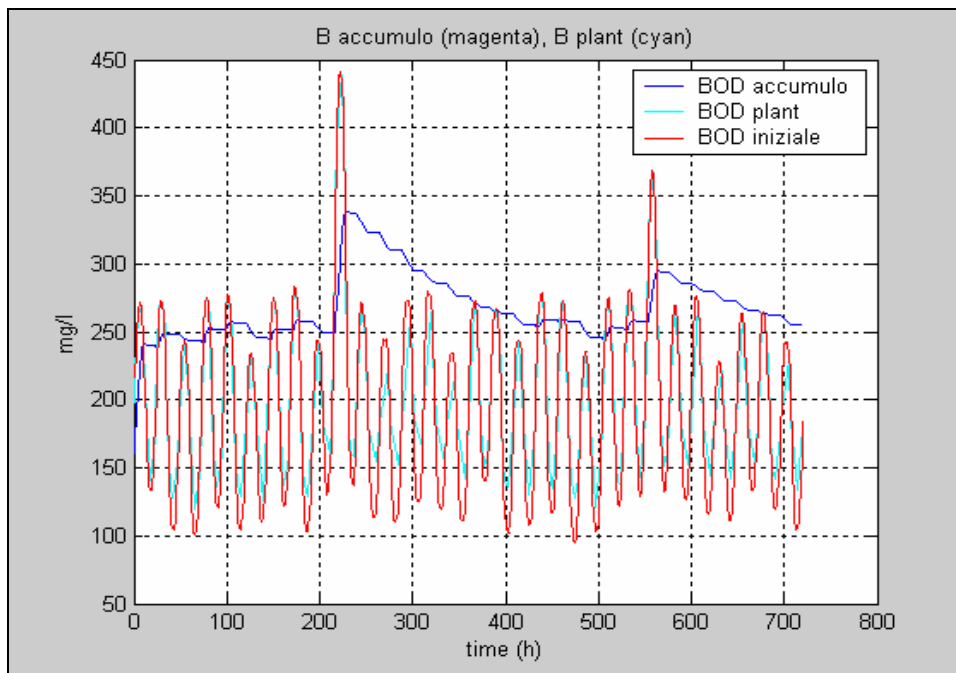
### Andamento del volume in vasca di accumulo



**Figura 5.7** – Volume della vasca di accumulo-Volume massimo della vasca di accumulo.

La figura 5.7 è analoga a quella del grafico 5.1, con la differenza che, essendo in periodo estivo, si hanno dei volumi nella vasca di accumulo diversi; questo ha portato a definire un volume massimo più contenuto rispetto a quello fissato per il periodo autunnale e posto pari a  $1000 \text{ m}^3$ . Questa limitazione superiore viene pienamente rispettata, come illustrato in figura.

**Andamento del  $BOD_{accumulo}$ ,  $BOD_{plant}$ ,  $BOD_{in}$**

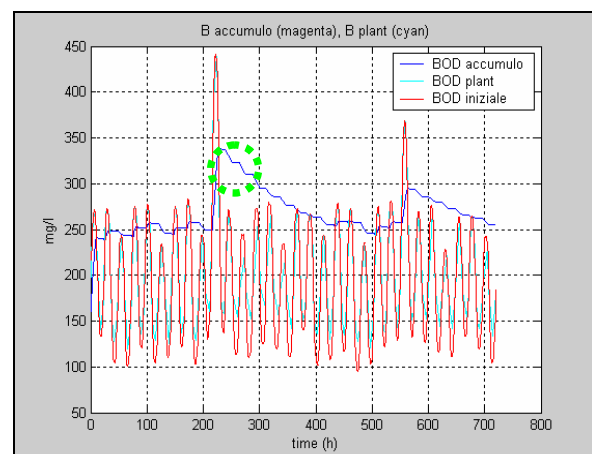
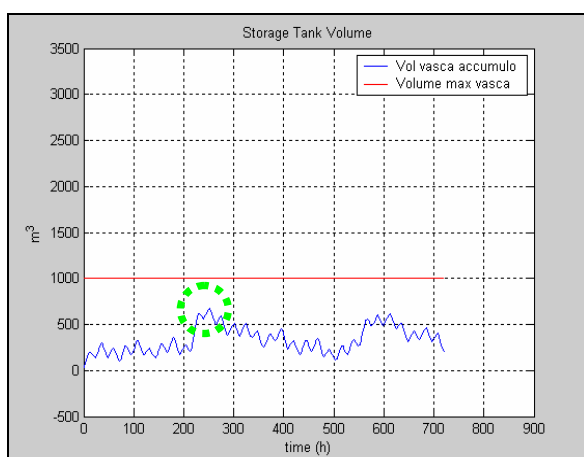


**Figura 5.8** – BOD accumululo, BOD plant, BOD iniziale.

Nel grafico viene riportata la fluttuazione del  $BOD_5$  in ingresso alla vasca di accumululo, l'andamento del  $BOD_5$  all'interno della vasca stessa e quello in ingresso al trattamento di depurazione.

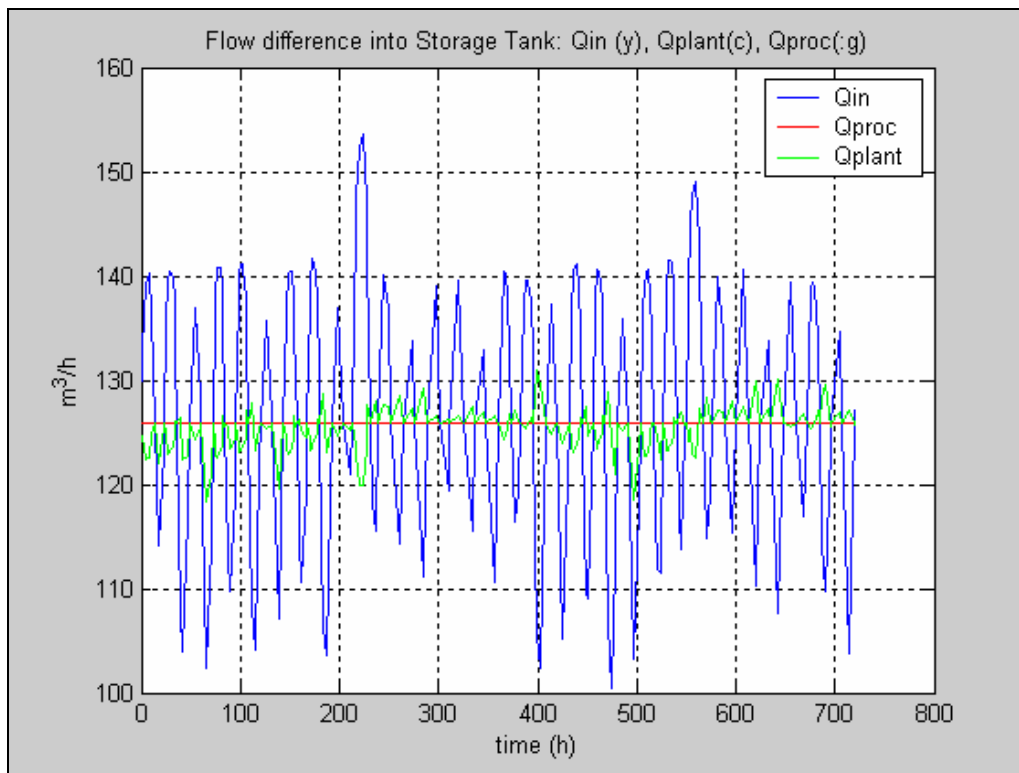
Nel caso dei carichi idraulici estivi si nota che si ha un miglioramento della funzionalità svolta dalla vasca di accumululo, in quanto stavolta le oscillazioni del  $BOD_{plant}$  sono maggiormente smorzate rispetto a quelle del  $BOD_{iniziale}$ .

Inoltre si può affermare che, dal confronto tra l'andamento del volume e quello del  $BOD_5$  in vasca di accumululo, agli alti picchi di portata corrispondono alti picchi di concentrazione inquinante.



**Figura 5.9** – Confronto volume -  $BOD_5$  in vasca di accumululo.

Andamento  $Q_{in}$ ,  $Q_{proc}$ ,  $Q_{plant}$



**Figura 5.10** – Portata in ingresso, portata di processo, portata in uscita dall’accumulo.

La figura 5.10 consente di dimostrare che il funzionamento della vasca di accumulo assicura benefici diversi a seconda del periodo di funzionamento: in periodi di siccità, si ottiene un maggior smorzamento delle portate in ingresso rispetto ai periodi di pioggia, in cui il carico idraulico in ingresso è estremamente alto e la gestione del serbatoio incontra forti condizionamenti. In estate, le portate in ingresso alla vasca di accumulo vengono infatti notevolmente smorzate e si ottiene un valore di  $Q_{plant}$  prossimo a quello di processo.

Considerando i valori medi si ha:

- $Q_{in\ medio} = 131,31\ m^3/h;$
- $Q_{plant\ medio} = 125,12\ m^3/h;$
- $Q_{proc} = 125,7\ m^3/h.$

Tali valori vengono visualizzati nel seguente istogramma.

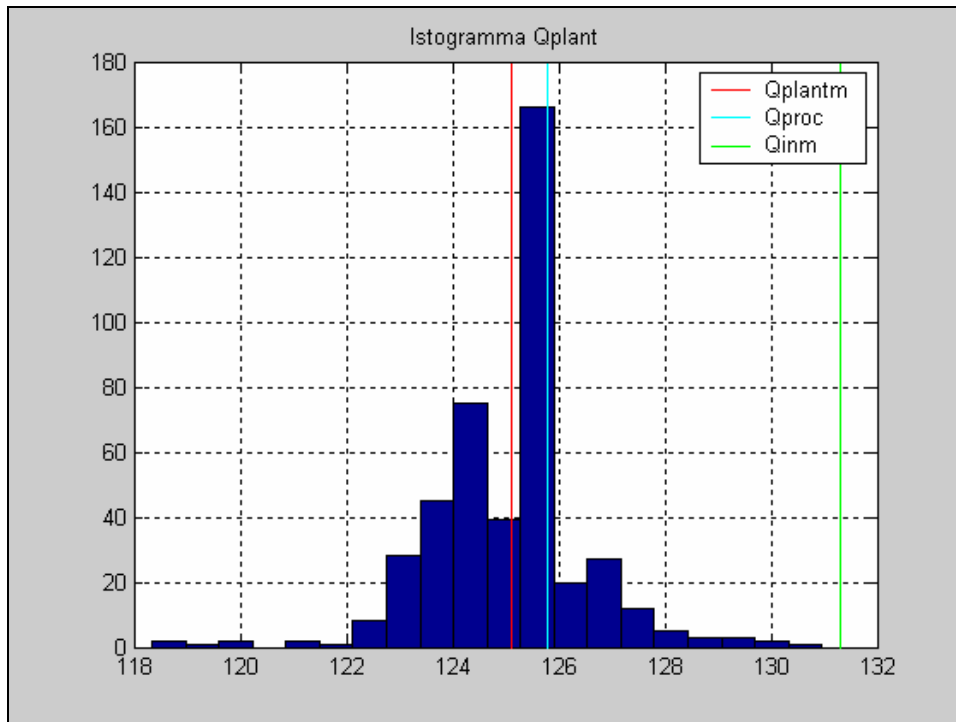


Figura 5.11 – Istogramma Qplant-tempo.

Lo smorzamento dei picchi nei due periodi in esame presenta una diversa efficacia; si riporta di seguito un confronto:

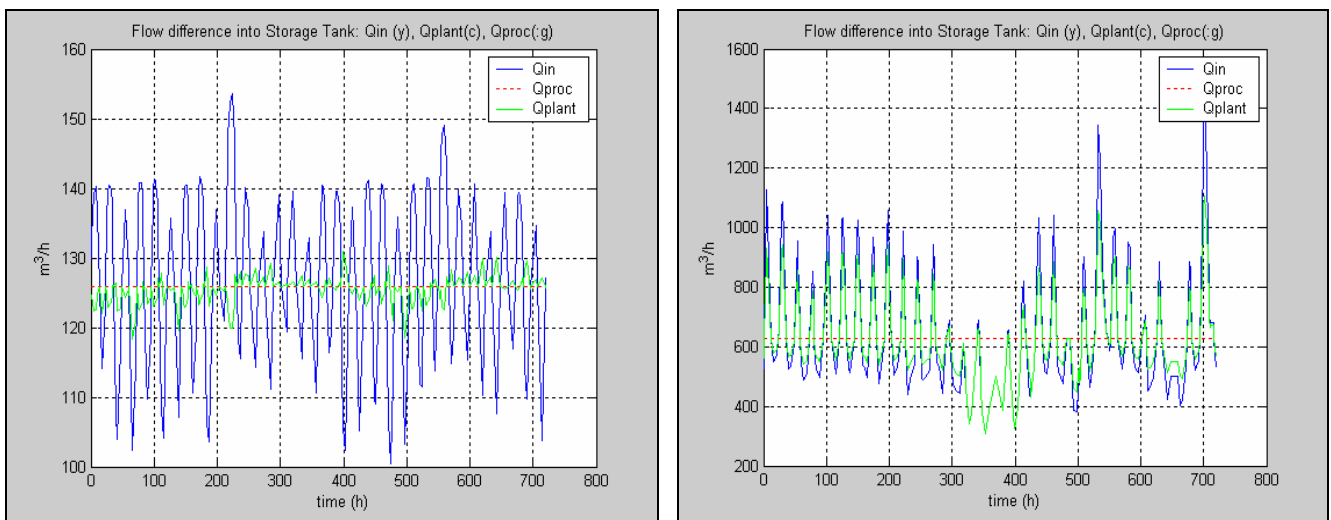
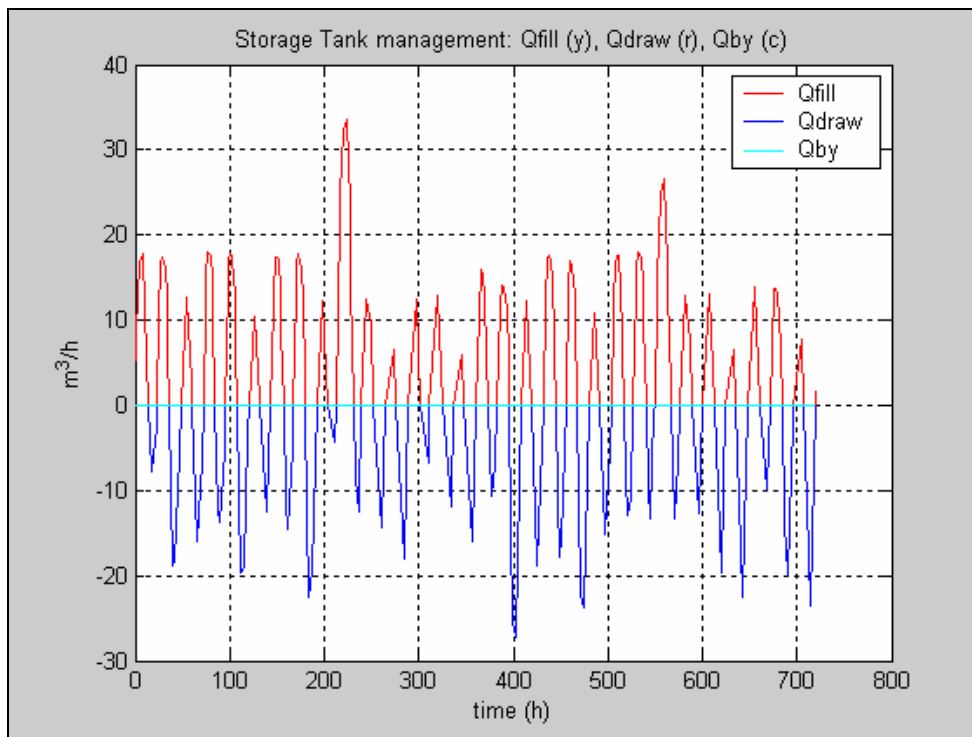


Figura 5.12 – Confronto portate periodo estivo-autunnale.

Andamento  $Q_{fill}$ ,  $Q_{draw}$ ,  $Q_{by}$



**Figura 5.13** – Andamento  $Q_{fill}$ ,  $Q_{draw}$ ,  $Q_{by}$ .

Anche per le portate inerenti il periodo estivo, la vasca di accumulo svolge un ruolo pienamente efficace, in quanto la corretta scelta delle regole Fuzzy di riempimento e svuotamento del volume di accumulo permettono di evitare di ricorrere alla soluzione estrema di by-passare la portata in arrivo all'impianto.

Nel periodo estivo la vasca di accumulo viene sempre sollecitata dal sistema di controllo, con richieste di portate di accumulo e di svuotamento, a differenza del periodo autunnale.

## 6. Modifiche nelle regole Fuzzy

Rispetto al set di regole inizialmente utilizzato, ovvero 9 per le politiche di riempimento e 6 per lo svuotamento, si è valutata l'applicazione di un insieme più ristretto di regole.

Il sistema di controllo Fuzzy, così come è stato descritto, risulta sovradimensionato, nel senso che durante il funzionamento non tutte le quindici regole che compongono il sistema vengono effettivamente utilizzate. Normalmente sia per un principio del minimo impiego di risorse computazionali, sia per un principio di minimizzazione dello spazio di memoria occupato dal programma di controllo, viene richiesto che il numero di regole da implementare sia il minimo indispensabile per poter garantire il corretto funzionamento del sistema.

Allo scopo di poter ottenere il minimo insieme di regole necessario partendo da un insieme di regole più ampio è stato sviluppato un algoritmo che prevedesse la selezione di tutte quelle regole che durante le simulazioni venissero attivate complessivamente con un grado inferiore al 5% del grado di attivazione della regola più utilizzata dall'unità di controllo.

Inizialmente è stato calcolato il grado di attivazione di ciascun antecedente mediante la funzione *evalfis* della Toolbox-Fuzzy di MATLAB. Individuato poi il grado di attivazione di ciascun antecedente viene determinato il grado di attivazione di ciascuna regola andando a calcolare il valore dell'operazione AND tra gli antecedenti, tutto ciò ricordando che:

$$\text{antecedente1 AND antecedente2} = \min(\mu_1(x_1), \mu_2(x_2))$$

dove  $\mu_1(x_1)$  è la funzione di appartenenza che individua l'antecedente antecedente1,  $x_1$  è l'ingresso 1,  $\mu_2(x_2)$  è la funzione di appartenenza che individua l'antecedente antecedente2 e  $x_2$  è l'ingresso 2.

Sono state così individuate le regole meno utilizzate sia per la politica di riempimento che di svuotamento in relazione ai dati autunnali ed estivi; valutando nel complesso i risultati ottenuti, sono state individuate delle regole in tutti e quattro i casi, la cui eliminazione non altera le prestazioni della vasca di accumulo.

Si riportano di seguito gli istogrammi per la valutazione dell'attivazione delle regole nei periodi presi in esame.

**Autunno – Regole per il fill e per il draw**

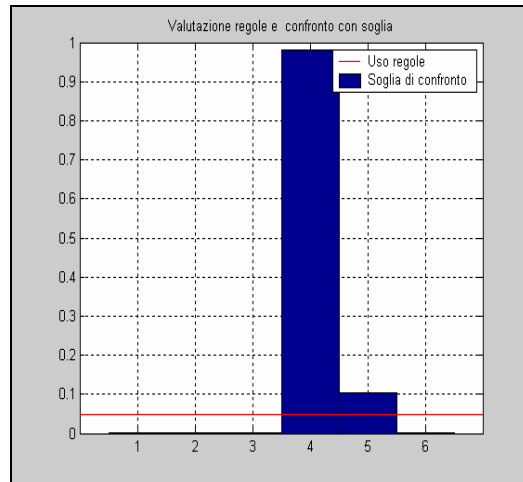
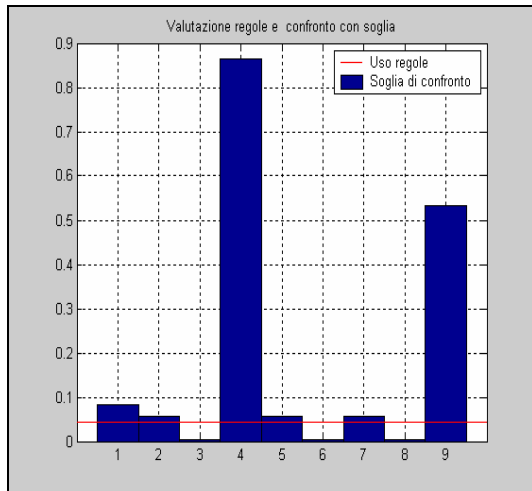


Figura 6.1 - Autunno – Regole per il riempimento (fill)

Figura 6.2 - Autunno – Regole per lo svuotamento (draw).

**Estate – Regole per il fill e per il draw**

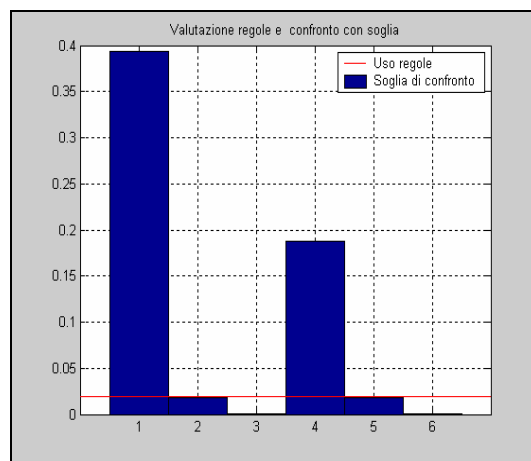
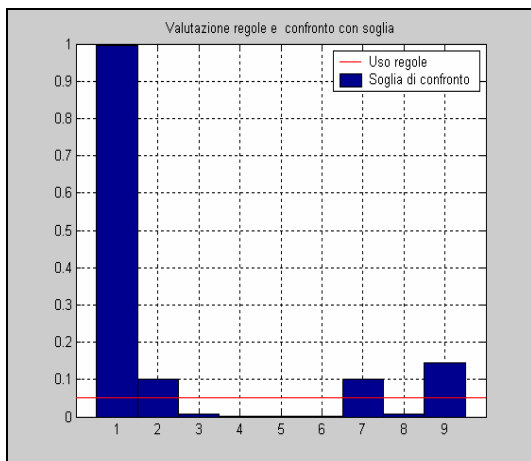


Figura 6.3 - Estate – Regole per lo svuotamento (fill)

Figura 6.4 - Estate – Regole per lo svuotamento (draw).

Dai grafici sopra riportati emerge che le regole che possono essere rimosse sono:

- ◆ *AUTUNNO-FILL* : 3-6-8;
- ◆ *AUTUNNO-DRAW*: 1-2-3-6;
- ◆ *ESTATE-FILL* : 3-4-5-6-8;
- ◆ *ESTATE-DRAW* :3-6.

Quelle in comune tra i quattro casi sono: 3-6. Si provvede a rimuoverle e ad analizzare il funzionamento della vasca in loro assenza.

Le regole eliminate per la politica di fill prevedevano:

- ◆ *Rule 3: if (Qacc is high) and (Volume is empty) then (Qfill is high);*
- ◆ *Rule 6: if (Qacc is high) and (Volume is full) then (Qfill is zero).*

Le regole eliminate per la politica di draw prevedevano:

- ◆ *Rule 3: if (Qacc is high) and (Volume is empty) then (Qdraw is low);*
- ◆ *Rule 6: if (Qacc is high) and (Volume is full) then (Qdraw is high).*

Come descritto precedentemente, le regole eliminate fanno riferimento alle situazioni più critiche, che sono tuttavia associate alle condizioni al contorno più favorevoli.

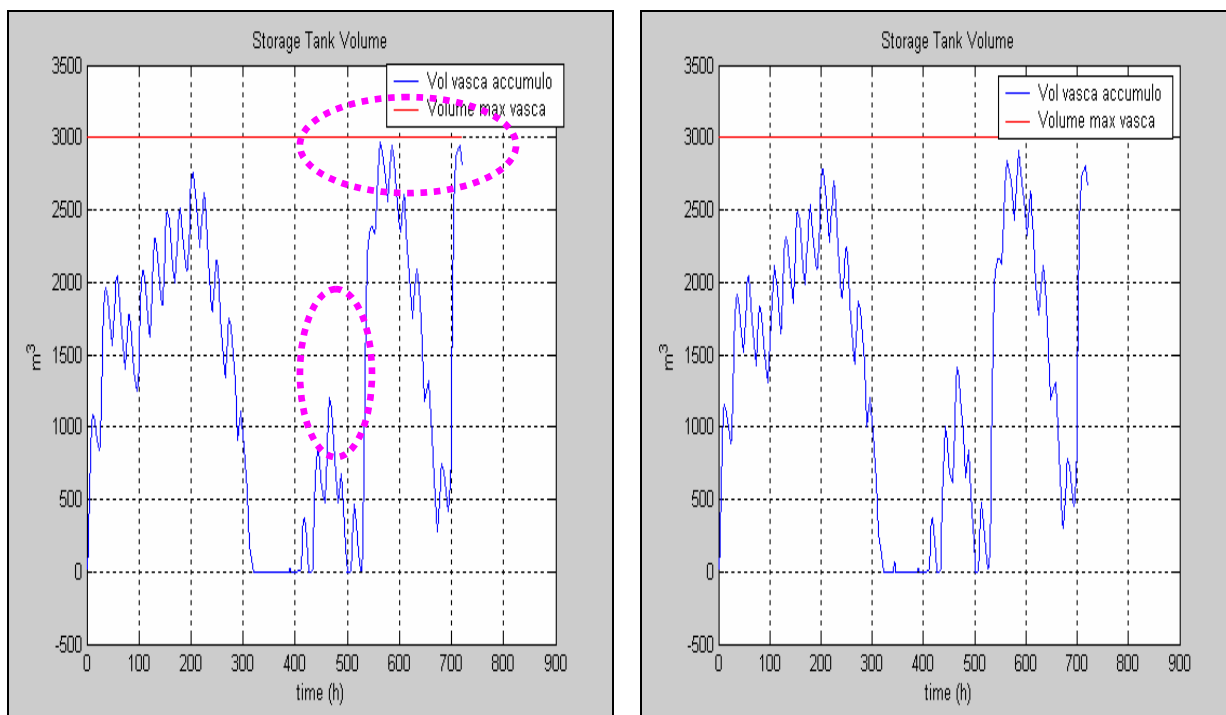
Poiché hanno grado di attivazione prossimo allo zero, i risultati che si ottengono per il periodo autunnale ed estivo sono analoghi a quelli presentati in precedenza.

In allegato vengono riportati i grafici relativi all'eliminazione delle regole 3 e 6, a dimostrazione della loro uguaglianza coi grafici iniziali.

Successivamente, dato che l'eliminazione delle regole 3 e 6 non produce sostanziali modifiche nel funzionamento dell'impianto, si prova ad eliminare, per la politica di riempimento, la 2 e la 7, che sono di poco superiori alla soglia del 5% del valore massimo di attivazione.

- ◆ *Rule 2 fill: if (Qacc is medium) and (Volume is empty) then (Qfill is high);*
- ◆ *Rule 7 fill: if (Qacc is medium) and (Volume is medium) then (Qfill is medium).*

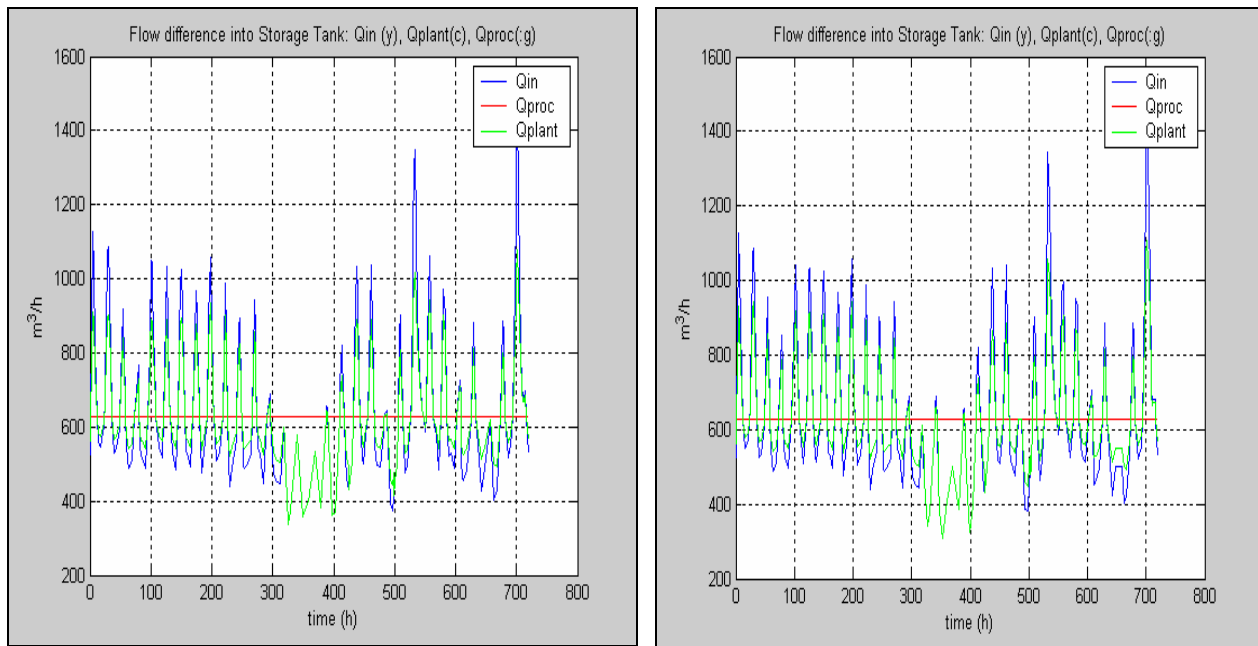
***AUTUNNO – Volume vasca accumulato***



**Figura 6.5** – Confronto tra volume con regole sfoltite e iniziali.

Dalla figura 6.5 è possibile osservare come la variazione nell’uso delle regole porta a delle lievi oscillazioni nell’andamento del volume della vasca di accumulato; nell’intervallo compreso tra 500 h e 800 h si ha un aumento di tale valore che si avvicina a quello massimo per il periodo autunnale.

**AUTUNNO – Andamento  $Q_{in}$ - $Q_{proc}$ - $Q_{plant}$**

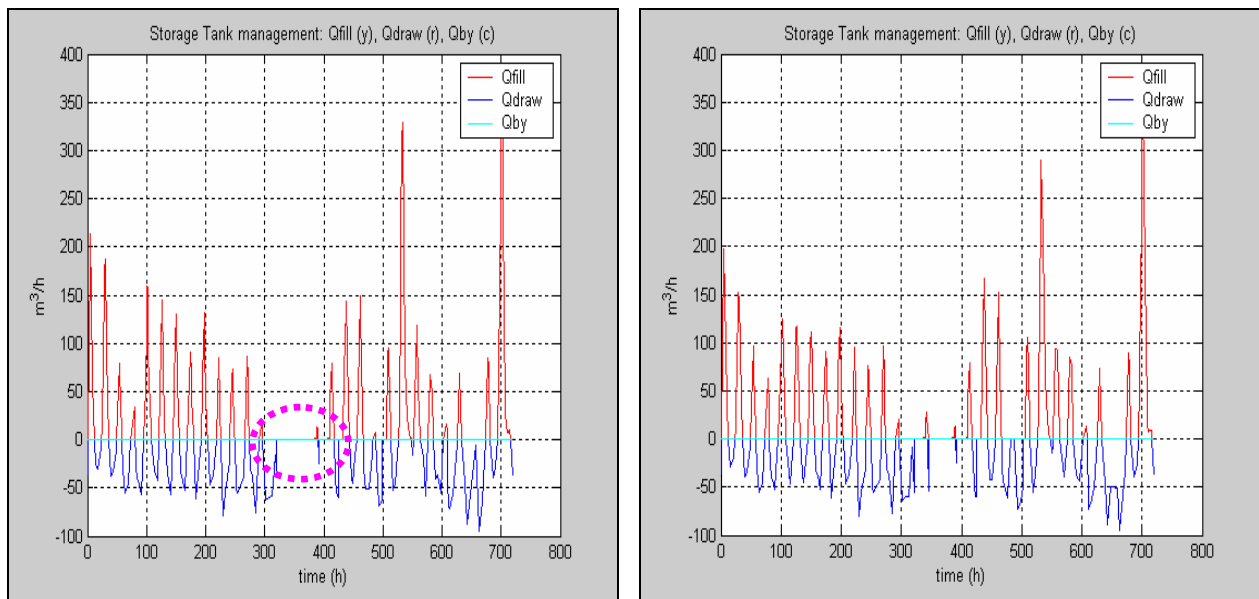


**Figura 6.6** – Confronto tra portate con regole sfoltite e iniziali.

Nel grafico 6.6 non si notano grandi variazioni tra il caso con il set completo di regole e quello in cui sono state rimosse le regole 2 e 7.

Si può solo notare qualche variazione nell'oscillazione nell'andamento del  $Q_{plant}$ .

**AUTUNNO – Andamento Qfill-Qdraw-Qby**



**Figura 6.7** – Confronto tra portate con regole sfoltite e iniziali.

Dal confronto in figura 6.7 emerge che, oltre a presentarsi locali variazioni nell’andamento della  $Q_{fill}$  e della  $Q_{draw}$ , nell’intervallo tra la trecentesima e quattrocentesima ora, diventa più ampia la zona in cui l’impianto non necessita della vasca di accumulo.

Applicando poi la simulazione con la eliminazione delle regole 2 e 7 per il periodo estivo, si nota che anche in questo caso le variazioni sono limitate rispetto ai plottaggi iniziali, inerenti al set completo di regole.

Poiché la maggior parte delle regole definite ha una attivazione molto limitata, per riscontrare sostanziali variazioni, ed eventuali peggioramenti, nel funzionamento della vasca di accumulo è necessario ridurre drasticamente il numero di regole inerenti la politica di riempimento e di svuotamento.

A titolo esemplificativo si propone il caso in cui vengono eliminate le seguenti regole:

- **Regole rimosse dalla politica di riempimento: 1,2,3,6,7,9;**
- **Regole rimosse dalla politica di svuotamento: 2,3,5,6.**

Si riportano di seguito i risultati più interessanti inerenti il periodo autunnale:

**AUTUNNO – Volume vasca accumulato**

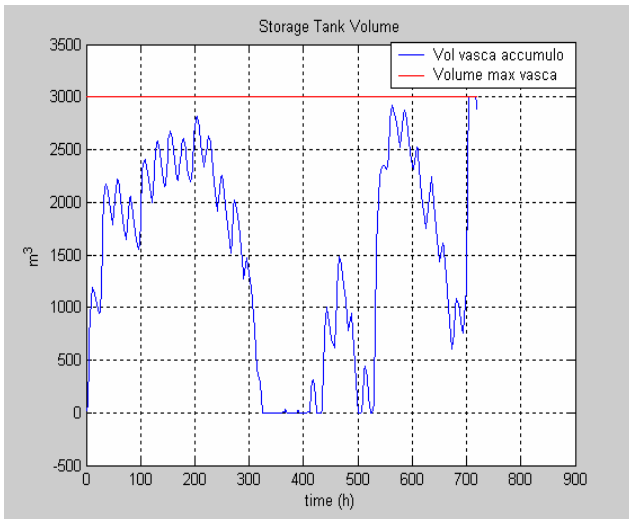


Figura 6.8 – Andamento del volume in vasca di accumulato

Come emerge dalla figura 6.8, operando con sole 3 regole per il fill e 2 per il draw, si riscontra un incremento del volume in vasca di accumulato, che, per simulazioni successive alla 700h, arriva ad eguagliare la limitazione massima superiore imposta ( $3000\text{m}^3$ ). Un livello di riempimento eccessivo della vasca di accumulato è da giudicarsi negativamente, in quanto non rende disponibile un adeguato spazio per un ulteriore accumulato nel caso del verificarsi di eventi critici.

**AUTUNNO – Andamento Qin-Qproc-Qplant**

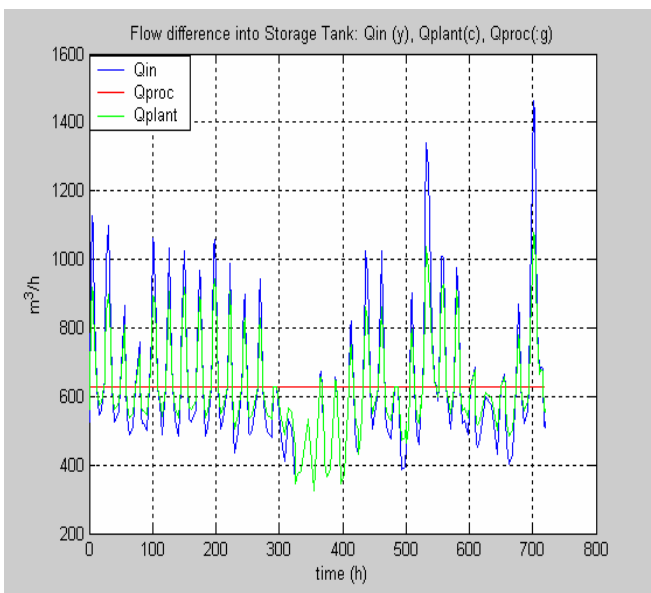
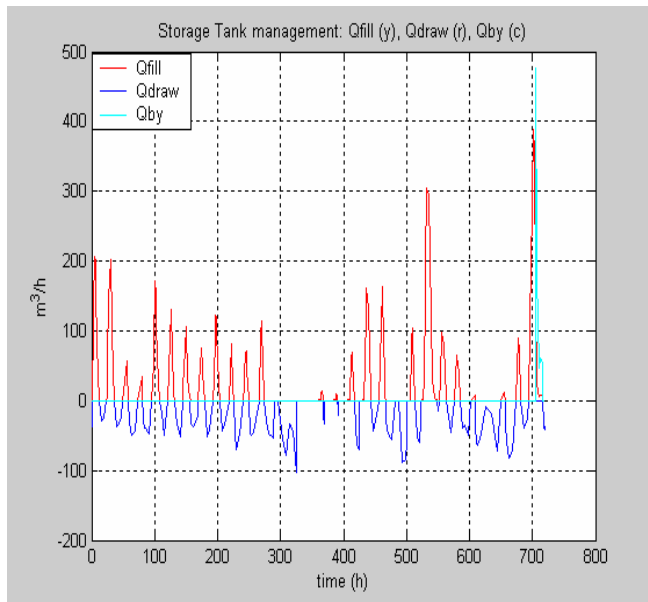


Figura 6.9 – Andamento Qin-Qproc-Qplant.

Dalla figura emerge che non si verifica un eccessivo smorzamento dei picchi di portata in ingresso, in quanto l'andamento della Qplant ricalca spesso quello della Qin.

**AUTUNNO – Andamento Qfill-Qdraw-Qby**



**Figura 6.10** – Andamento Qfill-Qdraw-Qby.

Dall’analisi di questa figura si può concludere che, nel caso di una drastica diminuzione delle regole di controllo della vasca di accumulo, questa non svolge correttamente la sua funzione, in quanto, dalla 700h, si verifica un consistente picco di by-pass, che invece deve essere evitato con la massima attenzione in quanto costituisce un’azione illegale, arrecante danno al corpo recettore finale.

Per il caso estivo, con l’eliminazione dello stesso set di regole sopra specificato, non si verifica by-pass, ma comunque si genera un accumulo di volume che, anche in questo caso, va ad eguagliare la limitazione superiore imposta di 1000m<sup>3</sup>; si riscontra inoltre un minor smorzamento dei picchi della Q<sub>in</sub>, in modo analogo a quanto riscontrato con la simulazione relativa ai dati autunnali.

## 7. Analisi del funzionamento della vasca di accumulo nella condizione più critica

Tale valutazione è stata condotta sui dati inerenti al periodo autunnale, in quanto in questo caso le portate in ingresso all’impianto risultano maggiori.

Dall’analisi del grafico relativo all’andamento del volume all’interno della vasca di accumulo (*grafico 5.1*) è stato valutato il tempo di ritorno del valore massimo di riempimento del serbatoio di accumulo, ponendo come soglia di riferimento, oltre la quale considerare critici i valori assunti dal volume, un valore pari a 2500 m<sup>3</sup>.

Il concetto di tempo di ritorno può essere introdotto senza far ricorso alla probabilità. Si consideri un idrogramma come quello in figura 7.1, dove sono indicati gli intervalli  $\tau$  compresi fra successivi istanti associati a valori di portata maggiori di  $Q'$ . Se si considera un periodo di tempo molto esteso, per ogni valore arbitrario di portata  $Q'$  il tempo di ritorno corrispondente è definito come la media degli intervalli  $\tau$ .

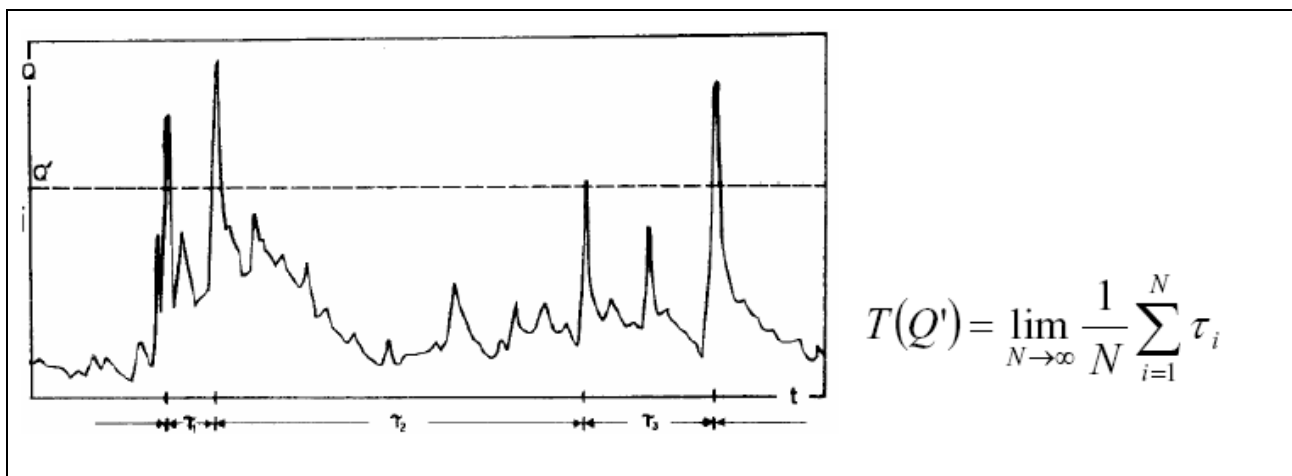


Figura 7.1 – Valutazione tempo di ritorno.

Sfruttando questi concetti si è ricavato per il caso in esame un tempo di ritorno pari a 73,96 h, ovvero circa 3 giorni, plausibile considerando eventi di durata settimanale e serie storica in ingresso caratterizzata da pochi dati, (720 h).

Il volume massimo di riempimento della vasca di accumulo è pari a 2910 m<sup>3</sup>.

E’ quindi possibile ricavare il valore della portata di svuotamento della vasca di accumulo, in condizioni critiche, in modo tale da renderla disponibile per le massime portate in ingresso.

Tale portata è pari al rapporto tra il volume massimo e il tempo di ritorno e assume il valore di 40,41m<sup>3</sup>/h.

Ottenuto tale valore, sommandolo alla portata in ingresso all’impianto, si ottiene la nuova portata di processo, pari a 666,81 m<sup>3</sup>/h, maggiorata rispetto al valore precedentemente imposto.

Tale portata di processo è stata incrementata, rispetto a quella iniziale, per garantire una richiesta di maggiore portata da addurre al trattamento e assicurare, quindi, la disponibilità di una volumetria residua in vasca di accumulo, tale da contenere l’arrivo di sovraccarichi idraulici.

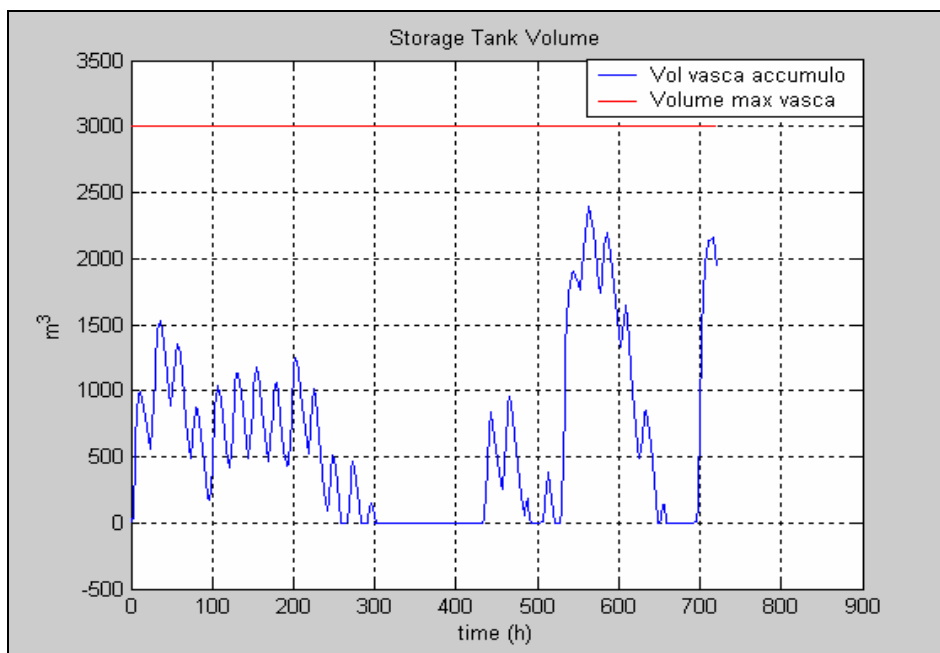
Nella simulazione in ambiente Matlab-Simulink, per tenere conto di tale incremento nella portata in ingresso, è stata sommata a  $Q_{in}$  la  $Q_{draw}$  così calcolata:  $Q_{in} + Q_{draw} = Q_{proc}^* > Q_{prco}$ .

Bisogna notare come la valutazione del tempo di ritorno è stata impostata sull’andamento dei volumi e successivamente è stata definita la portata di svuotamento dal rapporto :  $Q_{draw} = V_{max} / t_{rit}$ .

E’ stata, infatti, sfruttata la proporzionalità tra volume e portate.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti.

**AUTUNNO – Volume vasca accumulo**



**Figura 7.2** – Volume vasca di accumulo.

**AUTUNNO – Andamento Qin-Qprocf-Qproci-Qplant**

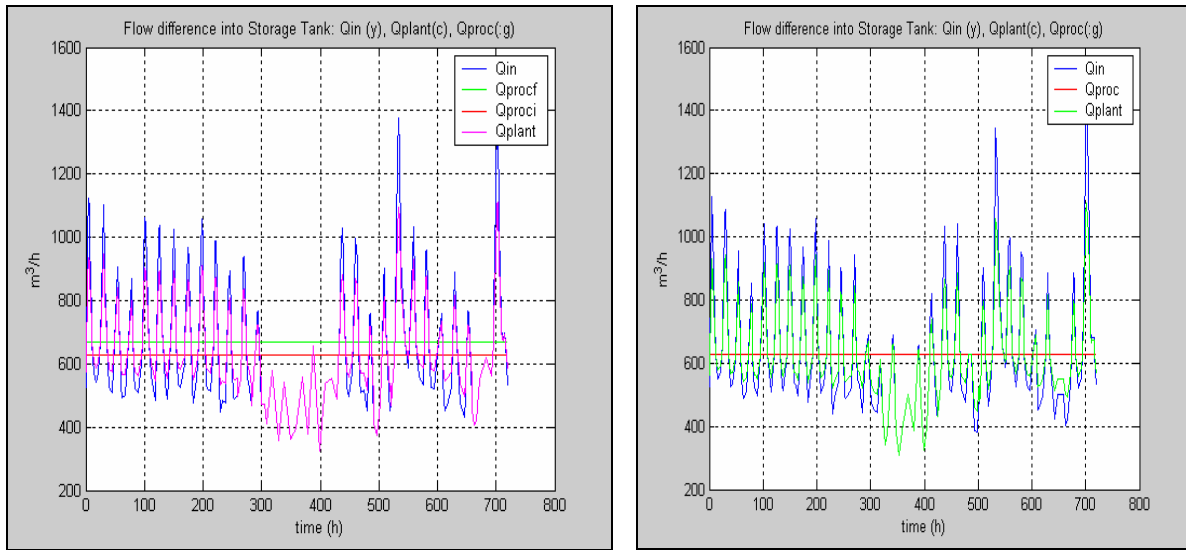


Figura 7.3 – Valutazione portate.

**AUTUNNO – Andamento Qfill-Qdraw-Qby**

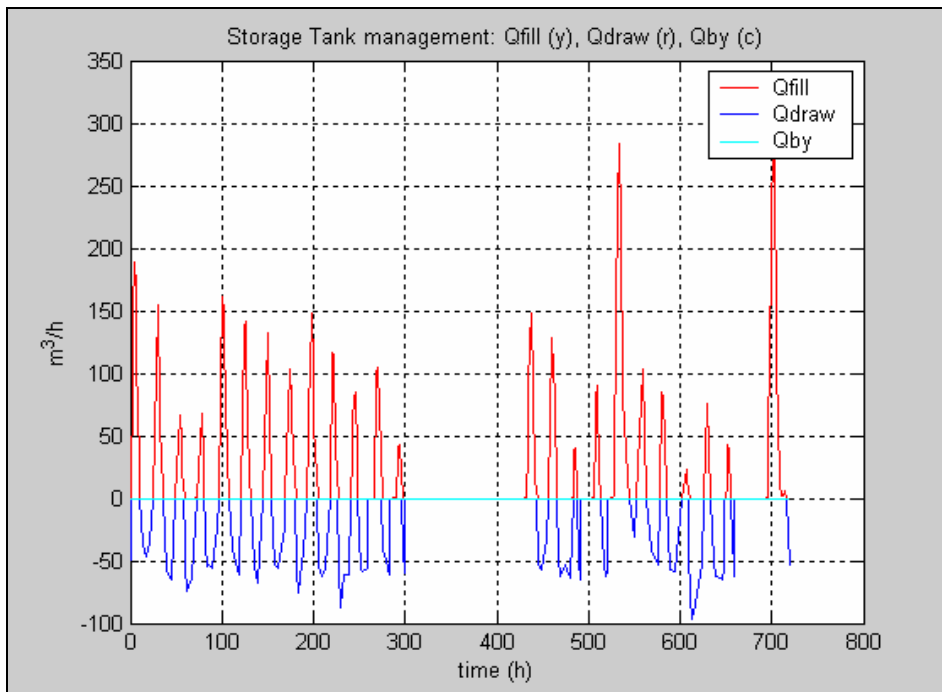
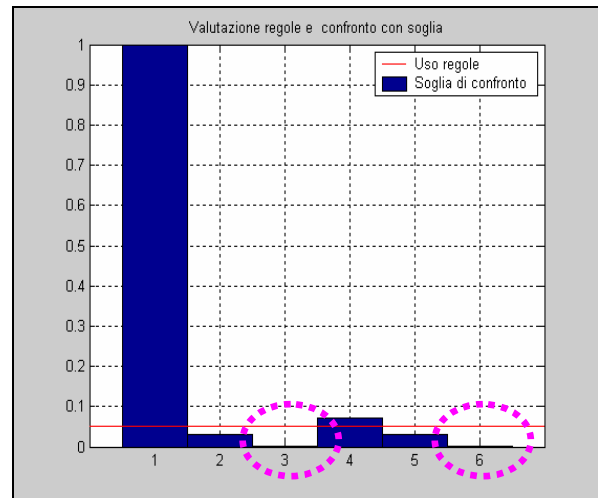
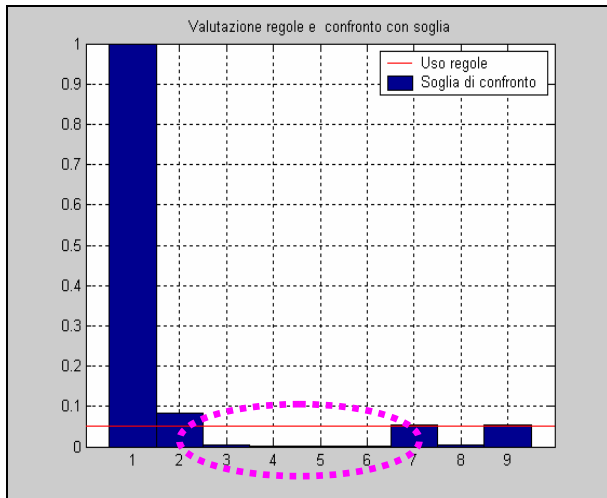


Figura 7.4 – Valutazione portate.

**Autunno – Regole per il riempimento (fill) e per lo svuotamento (draw)**



**Figura 7.5** – Valutazione regole più usate (fill).

**Figura 7.6** – Valutazione regole più usate (draw).

Dai grafici sopra riportati, relativi alla situazione di incremento della portata di processo, si nota che si verifica un decremento del volume nella vasca di accumulo, in quanto è maggiore il valore della  $Q_{draw}$  rispetto al caso di partenza.

Nel grafico inerente l'andamento di  $Q_{fill}$ - $Q_{draw}$ - $Q_{by}$  si nota che l'impianto riesce ad operare senza ricorrere alla vasca di accumulo, per alcuni valori temporali della simulazione, (300-430h), con sostanziali vantaggi, anche in termini di risparmio economico e di sollecitazione dell'impianto di pompaggio.

Relativamente al grado di attivazione delle regole inerenti la politica di riempimento e svuotamento della vasca di accumulo, si nota che, anche in questo caso, si può operare eliminando le regole 3 e 6, in modo analogo a quanto ottenuto in precedenza.

## **8. Conclusioni**

Dall'analisi condotta emerge che la vasca di accumulo, con le condizioni al contorno poste, è caratterizzata da un sistema di controllo che ne garantisce un efficace funzionamento sia nel caso di portate relative al periodo autunnale che estivo.

Questo ci porta ad affermare che le regole definite per la politica di riempimento e svuotamento della vasca sono adeguate e rispondenti alle necessità dell'impianto; tuttavia è stato dimostrato che alcune di esse sono ridondanti e la loro eliminazione non compromette il corretto funzionamento dell'impianto (come dimostrato con le regole 3 e 6 e successivamente rimuovendo anche la 2 e la 7). Il corretto funzionamento della vasca di accumulo entra in crisi solo eliminando un numero elevato di regole, tra quelle inerenti il fill e quelle relative al draw.

Allo stesso modo si è verificato che la vasca di accumulo mantiene un corretto funzionamento anche nel caso dell'arrivo di carichi idraulici più critici, come dimostrato valutando la portata massima e il suo rispettivo tempo di ritorno.

## Appendice 1: Principali funzioni Matlab

- ◆ **Readfis** : consente di leggere un file.fis salvato sul disco e di rendere fruibili i risultati nella workspace. La sintassi da impiegare è la seguente:

*fismat = readfis('filename').*

- ◆ **Input** : Richiede di immettere un valore in ingresso. La sintassi richiesta è la seguente:

*Syntaxuser\_entry = input('prompt');*

Con tale comando viene visualizzato nella command window la frase riportata tra apici ['...'], che richiede di introdurre un valore numerico in ingresso o il nome di una variabile.

L'input introdotto può anche essere un'espressione Matlab, calcolata impiegando le variabili della workspace corrente.

- ◆ **Load** :con tale funzione si richiama una variabile di workspace dal disco dove è stata salvata.

La sintassi impiegata è la seguente:

*load filename.*

- ◆ **Sim** : Consente di simulare un sistema dinamico, eseguendo un modello Simulink, impiegando tutti i parametri di simulazione inclusi nelle Workspace I/O options. La sintassi da utilizzare è la seguente:

*[t,x,y] = sim(model,timespan,options,ut) ;*

E' possibile indicare con parentesi vuote, [], ogni parametro richiesto in sintassi, ad eccezione del primo, con cui si indica il nome del modello. Definendo con parentesi vuote i parametri richiesti, il comando *sim* attribuisce ad essi dei valori di default specificati dal modello.

Nello specifico, nella tabella che segue si descrive nel dettaglio il significato delle uscite e degli input richiesti per applicare la funzione *sim*:

<code>t</code>	Returns the simulation's time vector.
<code>x</code>	Returns the simulation's state matrix consisting of continuous states followed by discrete states.
<code>y</code>	Returns the simulation's output matrix. Each column contains the output of a root-level Outport block, in port number order. If any Outport block has a vector input, its output takes the appropriate number of columns.
<code>y1, ..., yn</code>	Each $y_i$ returns the output of the corresponding root-level Outport block for a model that has $n$ such blocks.
<code>model</code>	Name of a block diagram.
<code>timespan</code>	Simulation start and stop time. Specify as one of these: <code>tFinal</code> to specify the stop time. The start time is 0. <code>[tStart tFinal]</code> to specify the start and stop times. <code>[tStart OutputTimes tFinal]</code> to specify the start and stop times and time points to be returned in <code>t</code> . Generally, <code>t</code> will include more time points. <code>OutputTimes</code> is equivalent to choosing <b>Produce additional output</b> on the dialog box. For a single-rate discrete system, the additional output times specified by <code>OutputTimes</code> must be integer multiples of the fundamental time step. For such a system, you must use an expression of the form $T_s * [\text{vector of integers}]$ where $T_s$ is the fundamental time step to specify the additional output times. Do not use an expression of the form <code>0:Ts:N*Ts</code> .
<code>options</code>	Optional simulation parameters specified as a structure created by the <code>simset</code> command (see <a href="#">simset</a> ).
<code>ut</code>	Optional external inputs to top-level Inport blocks. <code>ut</code> can be a MATLAB function (expressed as a string) that specifies the input $u = UT(t)$ at each simulation time step, a table of input values versus time for all input ports, or a comma-separated list of tables, <code>ut1, ut2, ...</code> , each of which corresponds to a specific port. Tabular input for all ports can be in the form of a MATLAB array or a structure. Tabular input for individual ports must be in the form of a structure. See <a href="#">Loading Input from the Base Workspace</a> for a description of the array and structure input formats.

- ◆  **$M = mean(A)$**  : Restituisce il valor medio degli elementi costituenti l'array  $A$ .
- ◆ ***Hist*** : Crea un grafico ad istogramma, mostrando la distribuzione di un set di valori dati.  
 La sintassi impiegata è la seguente:

$$Syntaxn = hist(Y);$$

Dove  $Y$  è un vettore o una matrice  $M_{m,p}$

- ◆ ***Evalfis***: questo comando viene utilizzato con la seguente sintassi:

$$[output, IRR, ORR]= evalfis (input,fismat);$$

Questo comando richiede la specifica di `input` e `fismat`:

- *input*: indica un numero o una matrice con cui si definisce un valore iniziale;
- *fismat*: rappresenta la struttura `fis` che deve essere valutata.

Per quanto concerne le uscite, il comando restituisce:

- **IRR**: valutazione degli ingressi mediante la Membership Function, definita nella Toolbox Fuzzy;
- **ORR**: valutazione delle uscite mediante la Membership Function:

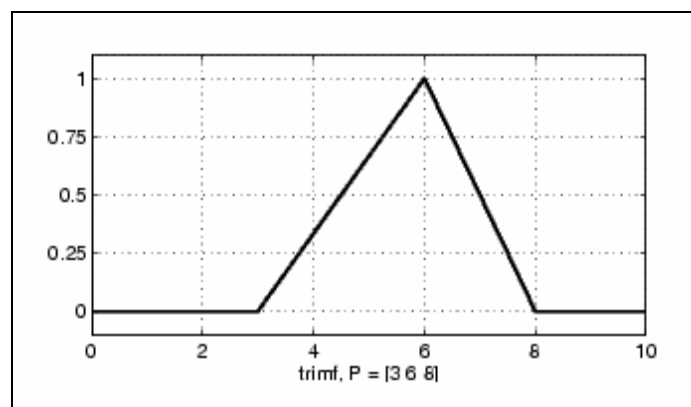
Nel nostro caso è stata utilizzata per valutare il grado di attivazione degli antecedenti, per la definizione delle regole più utilizzate. Come uscita sono stati valutati gli outputs forniti dall'IRR.

- ◆ **Mamdani-type inference** : è un tipo di inferenza Fuzzy nel quale i Fuzzy sets sono combinati attraverso gli operatori di aggregazione secondo ciascuna regola del conseguente e il risultato Fuzzy viene defuzzificato e fornito come uscita dal blocco.

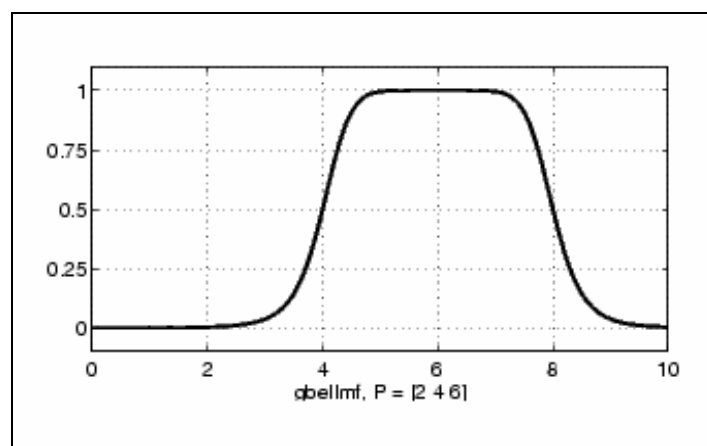
Nel particolare la formula su cui si basa questo tipo di inferenza è la seguente:

$$\min (\mu_A(x), \mu_B(y)).$$

- ◆ **Trimf**: è un qualificatore, definito nella finestra delle Membership Functions, di tipo triangolare, con la seguente rappresentazione:



- ◆ **Gbellmf**: è un qualificatore, definito nella finestra delle Membership Functions, di tipo a campana, come rappresentato di seguito:



## **Appendice 2: Editor MATLAB**

%%% PROGRAMMA DI LANCIO: GESTIONE DELLO STORAGE TANK;

% Richiamo delle regole Fuzzy per la definizione delle Qfill e Qdraw, usate nel Simulink;

```
fill=readfis('fill.fis');
draw=readfis('draw.fis');
Vo=30;
No=30;
Righe=6000;
xo=[];
options=[];
stagione=input('stagione=(1)autunno,(2)estate,(3)autunnosovraccarico');
```

```
if stagione==1
    lancioautunno;
end
```

```
if stagione==2
    lancioestate;
end
```

```
if stagione==3
    lancioautunnosovraccarico;
end
```

```
if (stagione >3) | (stagione <1)
end
```

%%% PROGRAMMA LANCIOAUTUNNO

```
load autunno
tt=autunno(:,1); Q=autunno(:,2); BOD=autunno(:,3); NH4=autunno(:,4);
tfin=720;
Vmax=3000;
Vmin=0;
Gfill=460;
Gdraw=560;
Bo=200;
Qproc=mean(Q);
G1=max(Q)-Qproc;
G2=Qproc-min(Q);
G=max(G1,G2);
filldraw_autunno=input('filldrawautunno=(3)fill,(4)draw');
if filldraw_autunno==3
[t,x,y]=sim('accumulo',tfin,xo,options);
```

```
for i=1:536
    Vol1(i)=Vol(i)/3000;
    Vol1(i)=Vol1(i)
    Q(i)= (Qin(i)-Qproc)/G;
    [output,IRR]= evalfis([Q(i) Vol1(i)],fill)
    i=i+1;
```

```
end
pippo1=min(IRR(:,1),IRR(:,2));
[a,b]= max(pippo1)
massimo=a;
```

**%%% PROGRAMMA LANCIOESTATE**

```
load estate
tfin=720;
tt=estate(:,1); Q=estate(:,2); BOD=estate(:,3); NH4=estate(:,4);
Vmax=1000;
Vmin=0;
Gfill=45;
Gdraw=45;
Bo=160;
Qproc=mean(Q);
G1=max(Q)-Qproc;
G2=Qproc-min(Q);
G=max(G1,G2);
```

```
filldraw_estate=input('filldrawestate=(3)fill,(4)draw');
```

```
if filldraw_estate==3
```

```
    [t,x,y]=sim('accumulo',tfin,xo,options);
```

```
    for i=1:442
        Vol1(i)=Vol(i)/1000;
        Vol1(i)=Vol1(i)
        Q(i)= (Qin(i)-Qproc)/G;
        [output,IRR]= evalfis([Q(i) Vol1(i)],fill)
        i=i+1;
    end
```

```
pippo1=min(IRR(:,1),IRR(:,2));
[a,b]= max(pippo1)
massimo=a;
```

**%%% PROGRAMMA LANCIOAUTUNNOSOVACCARICO**

```
load autunno
tt=autunno(:,1); Q=autunno(:,2); BOD=autunno(:,3); NH4=autunno(:,4);
```

```
for p=1:720
    Q1(p)=Q(p)+40.41;
    p=p+1;
end
```

```
tfin=720;
Vmax=3000;
Vmin=0;
Gfill=460;
Gdraw=560;
Bo=200;
Qproc=mean(Q1);
G1=max(Q1)-Qproc;
G2=Qproc-min(Q1);
G=max(G1,G2);
```

```
filldraw_autunno=input('filldrawautunno=(3)fill,(4)draw');
```

```
if filldraw_autunno==3

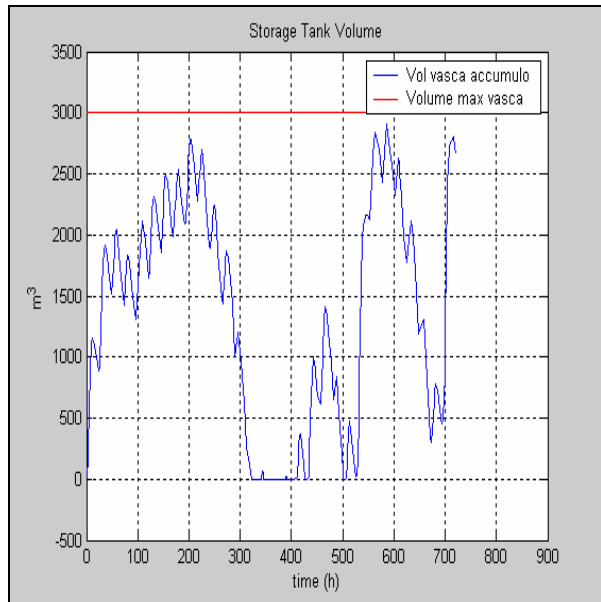
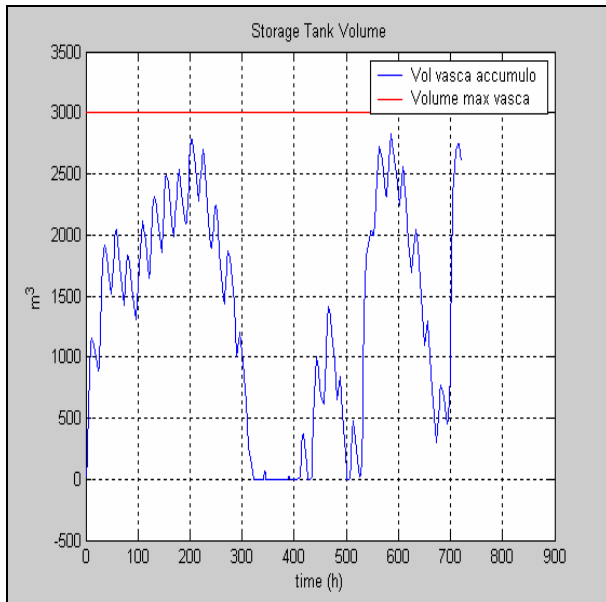
[t,x,y]=sim('accumulo',tfin,xo,options);

for i=1:522
Vol1(i)=Vol(i)/3000;
Vol1(i)=Vol1(i)
Q(i)= (Qin(i)-Qproc)/G;
[output,IRR]= evalfis([Q(i) Vol1(i)],fill)
i=i+1;
end

pippo1=min(IRR(:,1),IRR(:,2));
[a,b]= max(pippo1)
massimo=a;
```

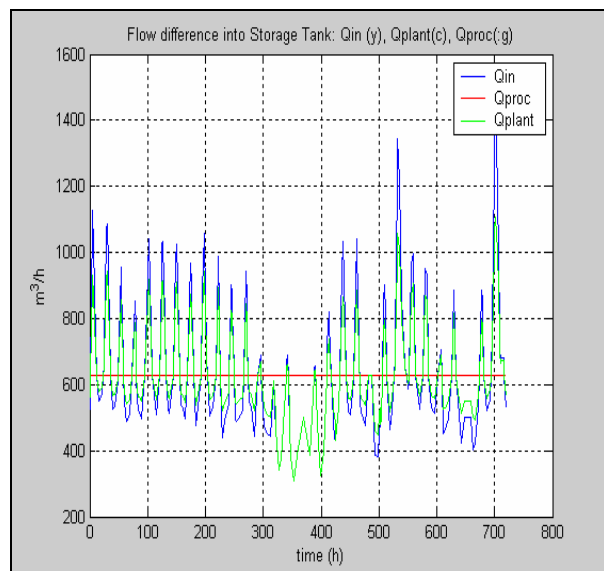
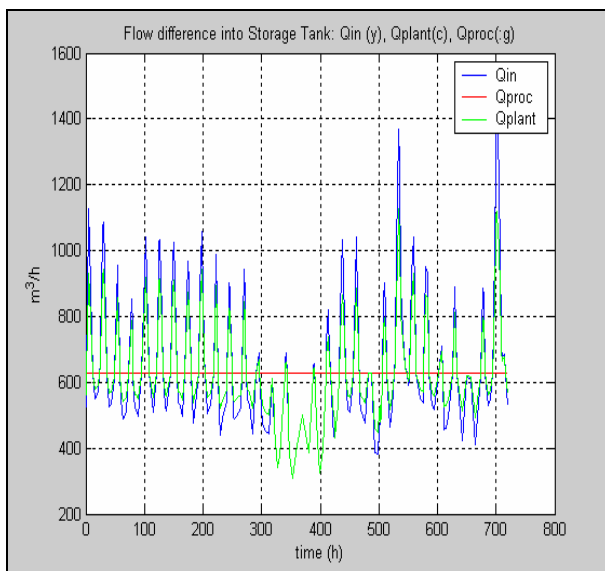
**Appendice 3: Grafici simulazione senza regole 3 e 6**

**AUTUNNO – Volume vasca accumulato**



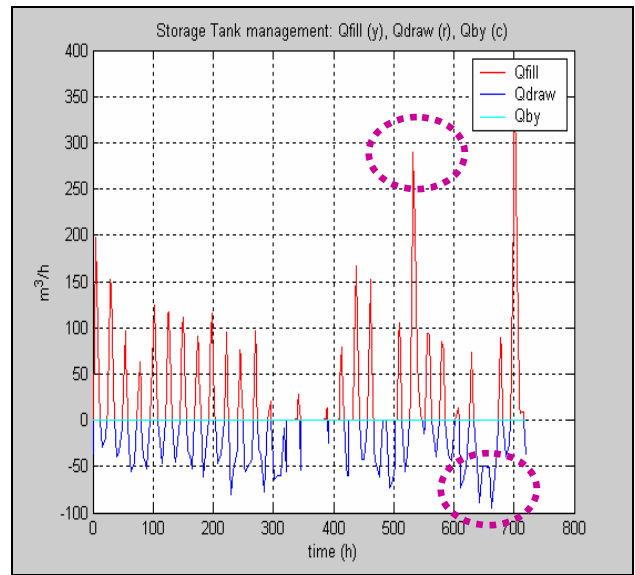
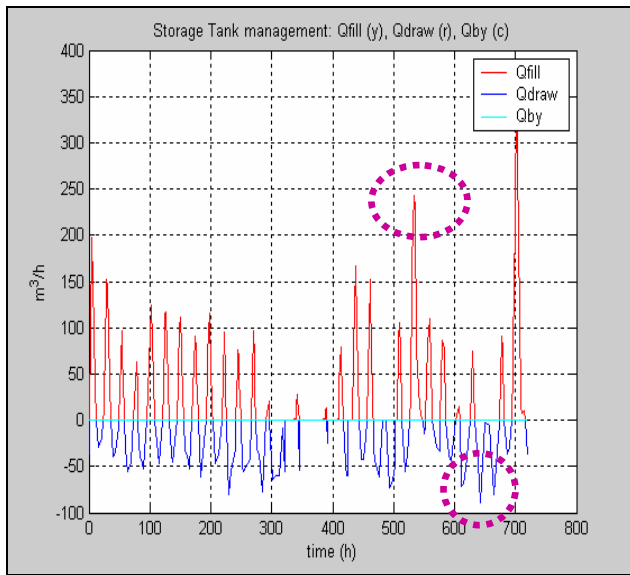
Confronto tra volume con regole sfoltite e iniziali.

**AUTUNNO – Andamento  $Q_{in}$ - $Q_{proc}$ - $Q_{plant}$**



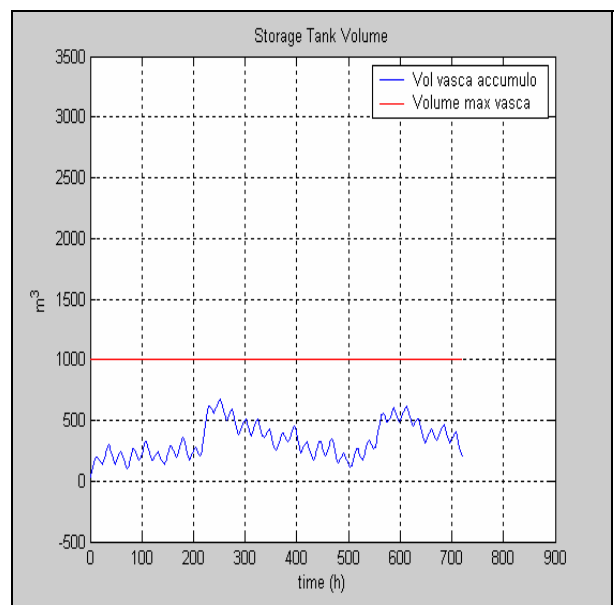
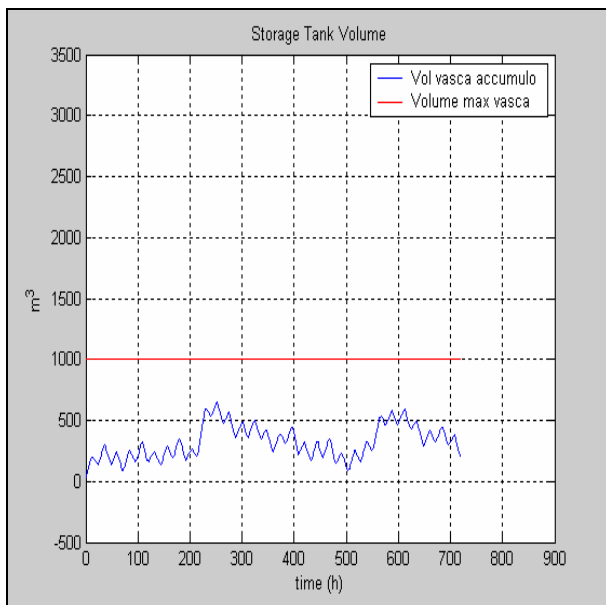
Confronto tra portate con regole sfoltite e iniziali.

**AUTUNNO – Andamento Qfill-Qdraw-Qby**



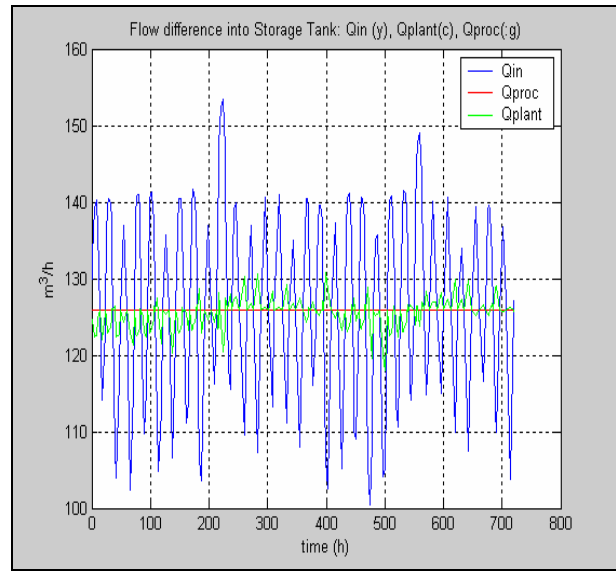
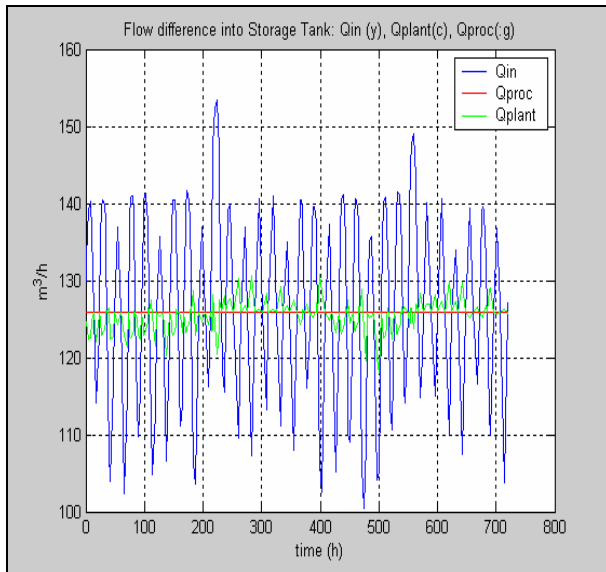
Confronto tra portate con regole sfoltite e iniziali.

**ESTATE – Volume vasca accumulato**



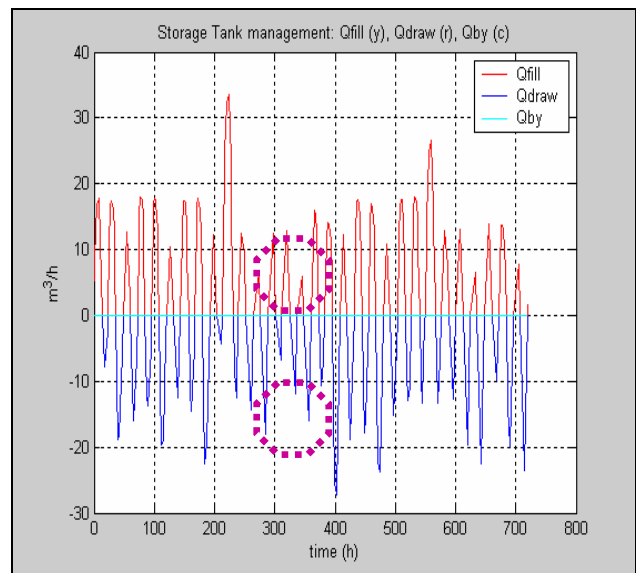
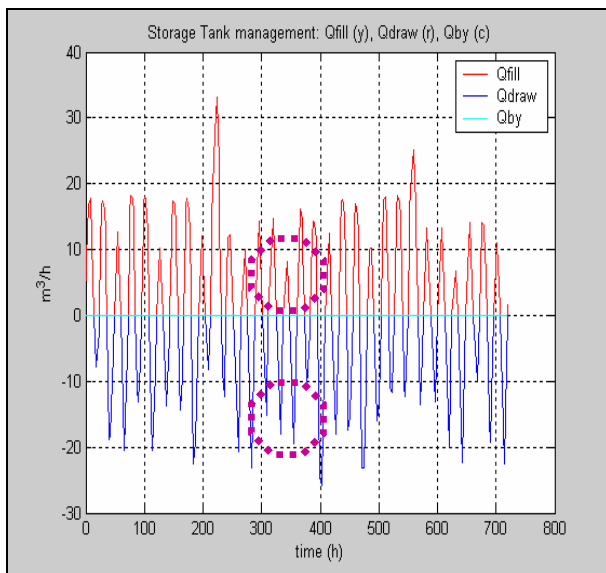
Confronto tra volume con regole sfoltite e iniziali.

***ESTATE – Andamento  $Q_{in}$ - $Q_{proc}$ - $Q_{plant}$***



Confronto tra portate con regole sfoltite e iniziali.

***ESTATE – Andamento  $Q_{fill}$ - $Q_{draw}$ - $Q_{by}$***



Confronto tra portate con regole sfoltite e iniziali.

## Bibliografia

- Dispense del corso “*Progettazione e automazione progettazione impianti trattamento acque*”, A.A.:2005-2006, Prof.Marsili Libelli Stefano;
- Dispense del corso “*Idrologia*”,A.A. 2003-2004, Prof. Castelli Fabio, [www.dicea.unifi.it](http://www.dicea.unifi.it);
- “*Ingegneria Sanitaria Ambientale*”,Prof. Sirini Piero, 2002, Casa Editrice Mc Graw Hill;
- “*Matlab User’s Guide*”, Natick, The MATH Works Ink, Massachusetts.
- “*SIMULINK User’s Guide*”, Natick, The MATH Works Ink, Massachusetts.
- Relazione “*Progetto di un sistema di controllo Fuzzy per un impianto di depurazione delle acque*”, Autore : Masi Alfio, A.A:2005-2006.
- Tesi di Laurea “*Controllo operativo di impianti di depurazione biologica*”, Autore:Gigli Gigliola, Relatori: Prof.Marsili Libelli Stefano, Prof. Masotti L., A.A.1995-1996.