

Università degli Studi di Napoli Federico II

Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio



Elaborato di Laurea

**LA FORMAZIONE DI PRODOTTI SECONDARI DELLA
DISINFEZIONE (DBPs) NEI SISTEMI ACQUEDOTTISTICI**

Relatore:

Prof. Maurizio Giugni

Correlatori:

Ing. Francesco De Paola

Ing. Gianluca Sorgenti

Candidato:

Marco Caiazza N49000564

La clorazione

Nell'ambito della potabilizzazione delle acque, il processo di disinfezione mediante clorazione, risulta essere quello più frequentemente utilizzato.

Il cloro presente nell'acqua in forma disponibile cioè in grado di agire come ossidante (disinfettante), viene indifferentemente definito come: libero, attivo, **residuo**.

Il **cloro residuo** è quindi il prodotto chimico attivo per la disinfezione, cioè quello che ha capacità igienizzante e che negli acquedotti non deve superare determinati valori all'utenza.

Valori Standard:

- **Decreto Legislativo 2 febbraio 2001 n. 31, allegato 1, parte C** (parametri indicatori), indica un valore minimo consigliato 0,2 mg/l di disinfettante residuo, se impiegato.

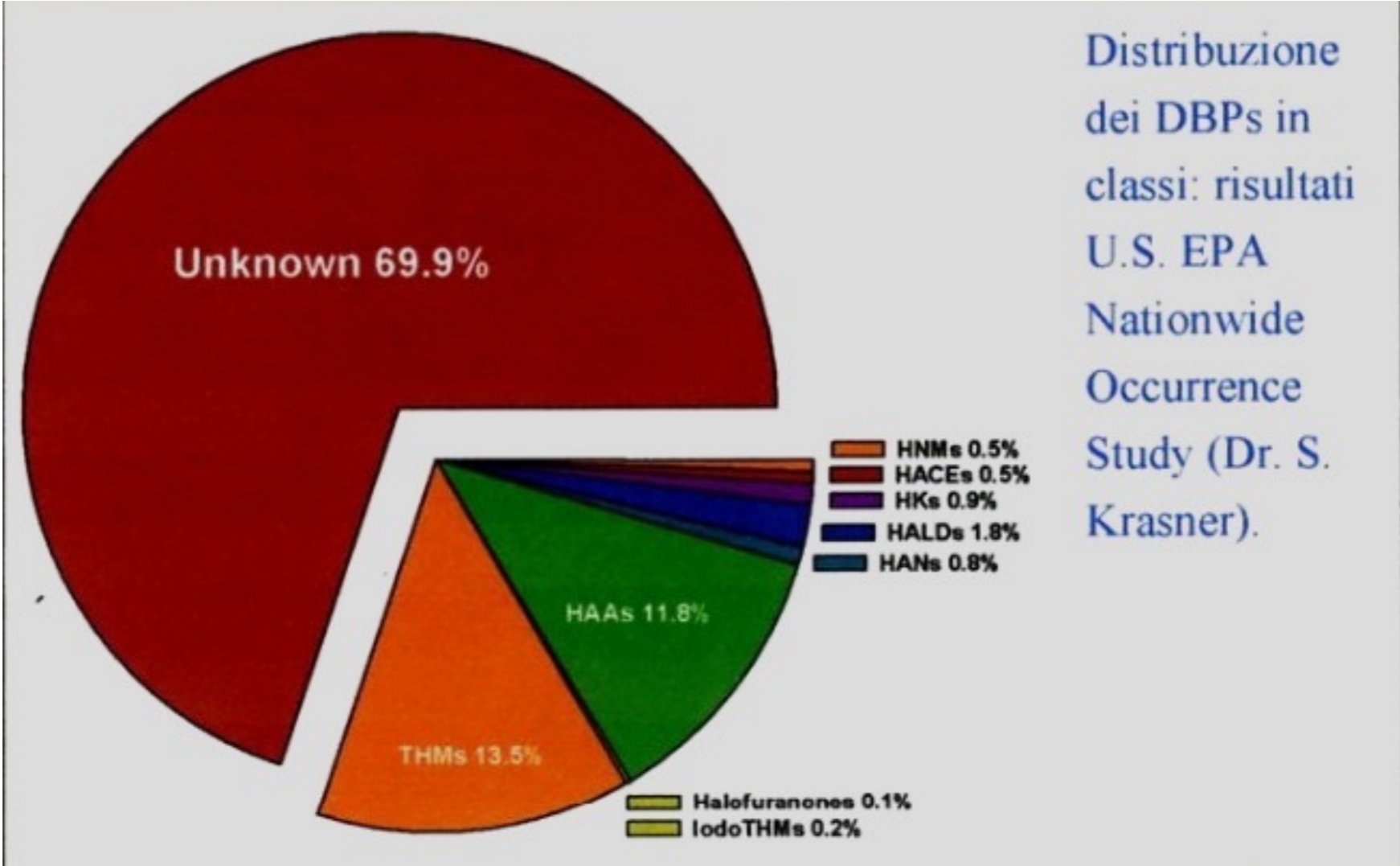
Detto valore viene inteso al punto di messa a disposizione dell'acqua all'utente.

- **Linee guida WHO** (WHO Guidelines for Drinking Water Quality, Dritte Editie, 2003), negli standard europei per l'acqua potabile, indicano che 2-3 mg/l di cloro dovrebbero essere aggiunti all'acqua per avere una buona disinfezione e concentrazione residua e che la quantità massima di cloro utilizzabile è 5 mg/l.

DBPs (Disinfection by-products)

- **Trialometani (THM)**: Triclorometano (cloroformio), diclorometano di bromo, tribromometano di cloro e tribromometano.
- **Acidi Acetici Alogenici (HAA)**

Le sostanze citate si formano per reazione fra il cloro e la materia organica contenuta nell'acqua (NOM); la formazione degli HAA può anche essere dovuta alla reazione fra propanone e cloro.



Principali fattori influenzanti la formazione dei sottoprodotti della disinfezione :

- Tipo di disinfettante
- Dose di disinfettante
- Residuo della disinfezione
- Quantità di materia organica (NOM) presente nell'acqua

Fattori secondari influenzanti la formazione dei sottoprodotti della disinfezione :

- Tempo di reazione
- Temperatura
- pH

Valori soglia :

L'Organizzazione Mondiale per la Sanità ha istituito un valore standard per i vari trialometani:

- Bromo diclorometano (BDCM) - 60 µg/L
 - Bromoformio - 100 µg/L
 - Cloroformio - 200 µg/L
- (WHO, 2001)

mentre non stabilisce nessuno standard per la concentrazione degli acidi acetici alogenici (WHO, 2004).

Modellazione matematica

Modelli statistici : sulla base di una serie più o meno numerosa di dati sperimentali forniscono una correlazione tra talune specie di sottoprodotti e alcune caratteristiche della qualità delle acque.

Modelli fisicamente basati (cinetici) : ricavano le espressioni cinetiche di formazione dei DBPs a partire da ipotesi sul meccanismo di attacco della sostanza organica da parte del cloro.

Tali cinetiche possono essere, per semplicità, assunte direttamente proporzionali a quelle di consumo del disinfettante oppure venire ricavate indipendentemente da esse.

Obiettivo della tesi:

Applicare un modello cinetico, precisamente quello di **Elshorbagy**, 2000, ad una rete acquedottistica e valutare lo sviluppo e la concentrazione dei DBPs all'interno della rete, in funzione del **dosaggio iniziale di cloro**, della **temperatura** e delle **pressioni agenti in condotta**.

Modello cinetico di Elshorbagy (2000)

Applica un'ottimizzazione non lineare per caratterizzare e modellare la cinetica delle varie specie di THM sotto condizioni estreme associate a :

- temperatura
- dosaggio di cloro
- contenuto di bromo

Tale modello, fa riferimento a due sole variabili :

- **Coefficiente di reazione delle pareti delle tubazioni** : K_w pari a 0,214m/day
- **Parametro di formazione dei singoli THM**: β posto pari a 33.5mg/L

Le relazioni, che attualmente modellano ogni specie di THM, impongono che le costanti empiriche inserite vengano calibrate durante lo svolgimento della simulazione, per poter considerare le variazioni delle condizioni al contorno.

-Elshorbagy (2000) Kinetics of THM species in finished drinking water.
Journal of Water Resources Planning and Management.

La rete idrica di Jowitt-Xu

Lo studio della formazione e diffusione dei sottoprodotti della clorazione, tramite il modello di Elshorbagy, è stata condotta sulla rete idrica introdotta nella pubblicazione “Optimal Valve Control in Water Distribution Networks” di Paul Jowitt e Chengchao Xu, 1990.

La rete di distribuzione in questione è composta da 25 nodi (compresi 3 serbatoi), 41 elementi (tubazioni) e 4 valvole per il controllo del flusso idrico posizionate sulle condotte 1, 28, 32, 37.

Essa presenta la seguente conformazione e notazione per nodi e tubazioni :

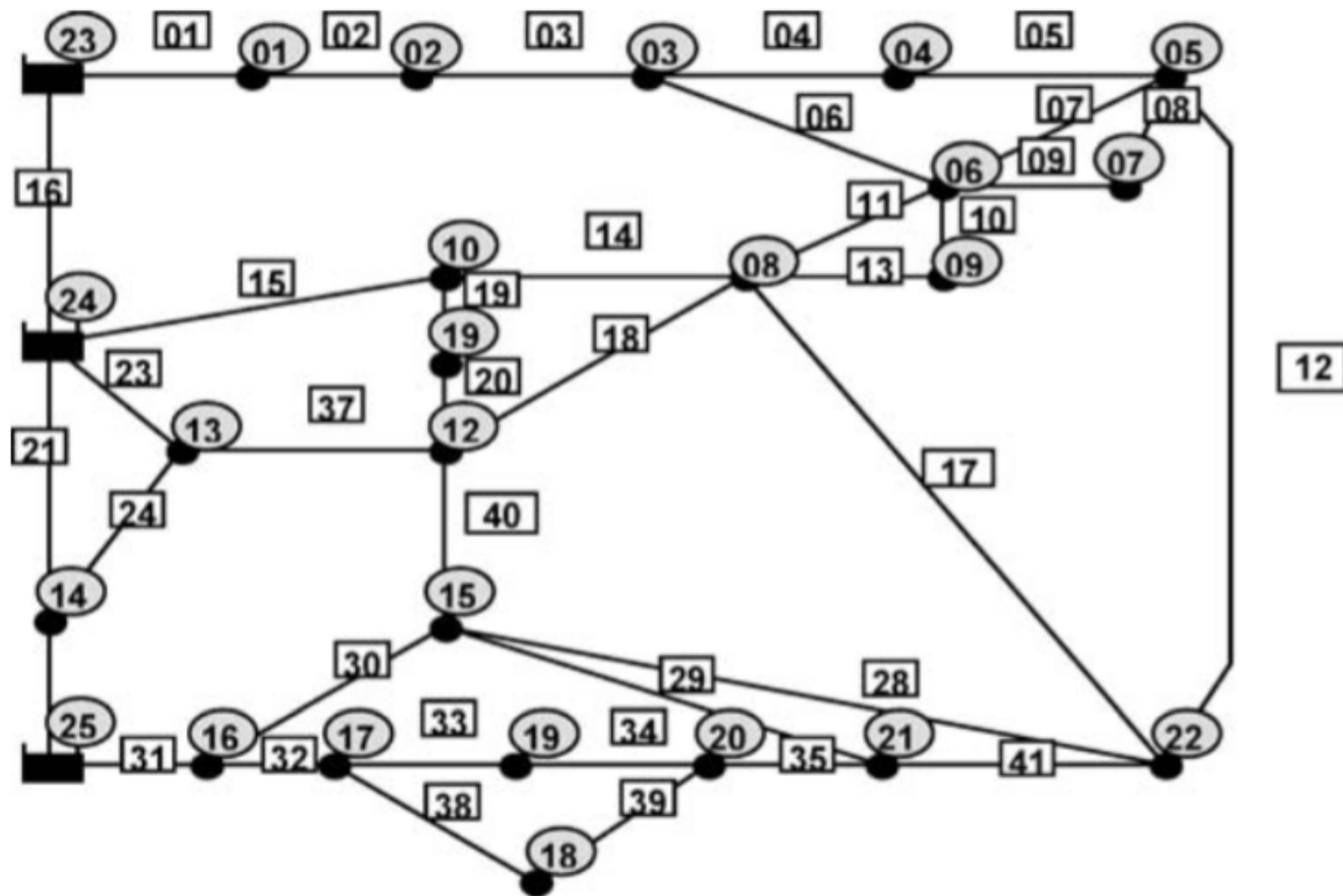


Figure 1. Case study with the identification of pipes and nodes (adapted from Jowitt and Xu, 1990).

L'obiettivo del presente lavoro di tesi ha richiesto l'utilizzo di codici di calcolo per simulare sia il comportamento idraulico della rete idrica che, le cinetiche di formazione dei sottoprodotti della clorazione. I software open-source utilizzati per realizzare gli obiettivi del lavoro di tesi sono

EPA-EPANET e EPA-EPANET Multi Species eXtension (MSX) .

E' stato analizzato il comportamento dei DBPs in funzione del **dosaggio iniziale di cloro** e della **temperatura**.

Effetti del dosaggio di cloro:

Si sono considerati due scenari differenti, il **primo** presenta una concentrazione di cloro iniziale pari a 1mg/L, TOC pari a 2,5mg/L e temperatura di 20°C.

Nel **secondo scenario** si considera differente, solo la concentrazione di cloro iniziale, posta pari a 0,5 mg/L

Effetti della temperatura:

Per quanto concerne gli effetti della temperatura si è considerato un unico scenario caratterizzato da una concentrazione di cloro iniziale pari a 0,5mg/L, TOC pari a 2,5mg/L nei serbatoi ed una temperatura pari a 35°C.

Per gli scenari descritti, si è anche analizzato il sistema usufruendo del controllo della pressione mediante quattro valvole di regolazione.

Risultati

Si è considerata in primis, la **differente concentrazione iniziale di cloro** immessa nei serbatoi :

Primo scenario: concentrazione di cloro pari a 1mg/L, TOC pari a 2,5mg/L e temperatura di 20°C.

Secondo scenario: concentrazione di cloro pari a 0,5mg/L, TOC pari a 2,5mg/L e temperatura di 20°C.

Per l'analisi del sistema si è fatto riferimento solo ai valori medi ottenuti:

Node results 1° Scenario ([Cl]= 1mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,54	26,52	2,40

Node results 2° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,27	13,26	2,40

Link Results 1° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,55	26,03	2,40

Link Results 2° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,27	13,01	2,40

Risultati

Si è fatto poi riferimento alla differente temperatura a concentrazione di cloro iniziale costante :

Secondo scenario: concentrazione di cloro pari a 0,5mg/L, TOC pari a 2,5mg/L e temperatura di 20°C.

Terzo scenario: concentrazione di cloro pari a 0,5mg/L, TOC pari a 2,5mg/L e temperatura di 35°C.

Node results 2° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,27	13.26	2,40

Node results 3° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 35°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,27	36,21	2,40

Link Results 2° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,27	13,01	2,40

Link Results 3° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,27	35,54	2,40

Risultati

Si è infine considerato il sistema con **attive le valvole per il controllo della pressione** ma a temperatura e a dosaggio iniziale di cloro costante :

Quarto scenario: concentrazione di cloro pari a 0,5mg/L, TOC pari a 2,5mg/L, temperatura di 20°C e Valvole ON

Quinto scenario: concentrazione di cloro pari a 1mg/L, TOC pari a 2,5mg/L, temperatura di 20°C e Valvole ON

Sesto scenario: concentrazione di cloro pari a 0,5mg/L, TOC pari a 2,5mg/L, temperatura di 35°C e Valvole ON

Node results 2° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,27	13.26	2,40

Node results 4° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C, Valvole ON)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	12,98	0,26	12,42	2,24

Link Results 2° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,27	13,01	2,40

Link Results 4° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	13,27	0,26	12,01	2,23

Node results 1° Scenario ([Cl]= 1mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,54	26,52	2,40

Node results 5° Scenario ([Cl]= 1mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 20°C; Valvole ON)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	12,98	0,52	24,84	2,24

Link Results 1° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,55	26,03	2,40

Link Results 5° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	13,27	0,53	24,02	2,23

Node results 3° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 35°C)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,99	0,27	36,21	2,40

Node results 6° Scenario ([Cl]= 0,5mg/l; [TOC]= 2,5mg/l; Temp. 35°C; Valvole ON)

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	12,98	0,26	33,90	2,24

Link Results 3° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	6,62	0,27	35,54	2,40

Link Results 6° Scenario

	WaterAge [h]	Chlorine [mg/l]	THMs [μ g/l]	TOC [mg/l]
Mean	13,27	0,26	32,79	2,23

Conclusioni :

Il grado di reazione e diffusione di ogni THM dipende dalla sua capacità di competere con le altre specie componenti i TTHM.

Considerando una concentrazione di TOC costante e pari a 2,5mg/L, questa capacità dipende in maniera diversa da:

- dosaggio iniziale del cloro,
- rapporto tra la concentrazione di bromo e la concentrazione della sostanza organica contenuta nell'acqua,
- temperatura dell'acqua ,
- pressioni agenti in condotta.

In definitiva, i risultati conseguiti nel lavoro di tesi, evidenziano che i principali fattori da prendere in considerazione per la formazione dei THMs sono:

- la temperatura in condotta e nei serbatoi,
- il dosaggio iniziale di cloro e, quindi, la quantità di materia organica (NOM), reagente con il cloro residuo.