

## Monitoraggio di potabilità dell'acqua in piccoli sistemi di distribuzione. Confronto tra due programmi di campionamento in una cittadina dell'Italia centrale

## Monitoring microbiological safety of small systems of water distribution. Comparison of two sampling programs in a town in central Italy

Paolo Papini,<sup>1</sup> Annunziata Faustini,<sup>2</sup> Rosa Manganello,<sup>3</sup> Giancarlo Borzacchi,<sup>4</sup> Domenico Spera,<sup>4</sup> Carlo A Perucci<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Agenzia di sanità pubblica della Regione Lazio, Roma

<sup>2</sup> Dipartimento di epidemiologia, ASL RM E, Roma

<sup>3</sup> Agenzia regionale per la protezione ambientale del Lazio, Viterbo

<sup>4</sup> Dipartimento di prevenzione e sanità pubblica, ASL Viterbo

Corrispondenza: Annunziata Faustini, Dipartimento di epidemiologia, ASL RM E, via Santa Costanza 53, 00198 Roma; tel. 06 83060486, fax 06 83060463; e-mail: faustini@asplazio.it

### Cosa si sapeva già

- Il numero di campioni per il monitoraggio di potabilità dell'acqua è fissato dall'OMS in almeno uno al mese.
- Questo criterio è valido fino a quando è possibile assumere una distribuzione omogenea (poissoniana) dei batteri nell'acqua, cioè per reti di distribuzione che riforniscono più di 5.000 utenti.
- Per le reti con meno di 5.000 utenti la probabilità che i batteri siano distribuiti in modo eterogeneo è elevata e, di conseguenza, il numero di campioni sarà più alto.
- Il modello probabilistico che spiega meglio l'eterogeneità della distribuzione dei batteri nell'acqua è il modello binomiale negativo, ma le esperienze sul campo sono poche.

### Cosa si aggiunge di nuovo

- Il metodo con cui determinare il numero di campioni d'acqua su una piccola rete di distribuzione, in base sia alla assunzione di omogeneità sia di eterogeneità della distribuzione dei batteri nell'acqua.
- I risultati di uno studio di campo effettuato in Italia.
- Il confronto della potenza statistica della decisione di potabilità, in base alle due assunzioni. Il rischio del consumatore è più elevato quando, in presenza di eterogeneità, il numero dei campioni è stato definito in base alla assunzione di omogeneità della distribuzione dei batteri.

### Riassunto

**Obiettivi:** determinare la frequenza dei campioni d'acqua per il monitoraggio di potabilità su piccole reti di distribuzione (<5.000 abitanti) e confrontare i risultati in base a ipotesi differenti sulla distribuzione dei batteri nell'acqua.

**Disegno e setting:** monitoraggio di potabilità su una piccola rete di distribuzione di acqua potabile in una cittadina dell'Italia centrale. Il sistema di distribuzione era costituito da due anelli e due pozzi che pescavano nella stessa falda. Il più importante fattore di variabilità era rappresentato dall'incremento degli utenti da 3.000 a 20.000 unità nella stagione estiva. La concentrazione di coliformi totali nell'acqua è stata utilizzata quale indicatore di sospetta contaminazione. Sono stati definiti due programmi di campionamento durante il periodo estivo: uno, basato sull'assunzione della distribuzione omogenea dei batteri (poissoniana), prevedeva 4 campioni d'acqua; l'al-

tro, basato sull'assunzione della distribuzione eterogenea dei batteri (binomiale negativa), prevedeva 21 campioni.

**Risultati:** la concentrazione media è stata di 2,33 coliformi/100 ml (DS= 5,29) per i 21 campioni e di 3 coliformi/100 ml (DS= 6) per i 4 campioni; tuttavia l'ipotesi di omogeneità dei batteri in rete è stata rigettata (p-value <0,001) e la probabilità dell'errore di II tipo, sotto l'assunto di eterogeneità, era cinque volte circa più elevata nel caso dei quattro campioni ( $\beta=0,24$ ) anziché dei 21 campioni ( $\beta=0,05$ ).

**Conclusione:** per i piccoli sistemi di distribuzione dell'acqua, il numero di campioni dovrebbe essere definito assumendo l'ipotesi di eterogeneità della distribuzione batterica, che garantisce una potenza più elevata nel decidere la potabilità dell'acqua. (*Epidemiol Prev* 2005; 29 (5-6): 259-63)

Parole chiave: sorveglianza di potabilità, distribuzione eterogenea dei batteri nell'acqua, modelli probabilistici

### Abstract

**Objective:** to determine the frequency of sampling in small water distribution systems (<5,000 inhabitants) and compare the results according to different hypotheses in bacteria distribution.

**Design and setting:** we carried out two sampling programs to monitor the water distribution system in a town in Central Italy between July and September 1992; the Poisson distribution assumption implied 4 water samples, the assumption of negative

binomial distribution implied 21 samples. Coliform organisms were used as indicators of water safety. The network consisted of two pipe rings and two wells fed by the same water source. The number of summer customers varied considerably from 3,000 to 20,000.

**Results:** the mean density was 2.33 coliforms/100 ml ( $sd= 5.29$ ) for 21 samples and 3 coliforms/100 ml ( $sd= 6$ ) for four samples. However the hypothesis of homogeneity was rejected ( $p$ -value  $<0.001$ ) and the probability of II type error with the as-

sumption of heterogeneity was higher with 4 samples ( $\beta= 0.24$ ) than with 21 ( $\beta= 0.05$ ).

**Conclusion:** for this small network, determining the samples' size according to heterogeneity hypothesis strengthens the statement that water is drinkable compared with homogeneity assumption.

(*Epidemiol Prev* 2005; 29 (5-6): 259-63)

**Key words:** drinkable water surveillance, heterogeneous bacteria distribution in the water, probabilistic models

## Introduzione

La tutela della potabilità dell'acqua destinata al consumo umano è un obiettivo essenziale in sanità pubblica.

Per effettuare il monitoraggio di potabilità dell'acqua destinata al consumo umano è necessario un programma che definisca il numero di campioni da raccogliere, la periodicità del campionamento e i punti del sistema di distribuzione da cui prelevare l'acqua.

Il numero di campioni è stato fissato dall'Organizzazione mondiale della sanità (OMS) in almeno uno al mese, con un incremento proporzionale alla portata del sistema di distribuzione, ovvero al numero di utenti serviti. Questo criterio è valido fino a quando sia possibile assumere una distribuzione omogenea dei batteri nell'acqua, cioè per sistemi di distribuzione capaci di rifornire almeno 5.000 utenti, mentre per le reti di distribuzione con meno di 5.000 utenti l'assunzione di omogeneità della concentrazione dei batteri deve essere verificata, in quanto la probabilità che essa sia eterogenea, in questi casi, è molto elevata. Di conseguenza il numero dei campioni da prelevare potrebbe essere più alto.<sup>1</sup>

La concentrazione dei batteri nell'acqua dipende dalle caratteristiche intrinseche della sorgente di alimentazione e dalla struttura della rete di distribuzione, ma anche dal tipo di distribuzione dei batteri nell'acqua. L'eterogeneità della distribuzione infatti influenza la possibilità di osservare uguali concentrazioni in punti diversi della rete.

Le norme italiane rinviano la decisione sul programma di campionamento, per i sistemi di piccole dimensioni, ai tecnici dei servizi sanitari locali, confidando nella loro conoscenza dei fattori di variabilità specifici di ciascuna piccola rete.<sup>2,3</sup> Tuttavia le norme non danno indicazioni sull'approccio metodologico da seguire per verificare l'ipotesi di distribuzione eterogenea dei batteri.

In letteratura, alcuni ricercatori hanno discusso i modelli probabilistici che meglio spiegano la variabilità della distribuzione dei batteri nelle reti; il modello binomiale negativo è stato concordemente identificato come il migliore, quando si ipotizzi una distribuzione eterogenea dei batteri.<sup>4-7</sup> Tuttavia pochi lavori riportano esperienze di campo per il monitoraggio di piccole reti con elevata variabilità<sup>8-10</sup> e raramente vengono discusse le implicazioni che l'eterogeneità della distribuzione batterica comporta per i programmi di campionamento dell'acqua.

Questo lavoro riporta i risultati del monitoraggio di un piccolo sistema di distribuzione di acqua potabile in una cittadina dell'Italia centrale, effettuato nel 1992 secondo due programmi di campionamento basati uno sulla assunzione di una distribuzione omogenea dei batteri – spiegata bene da un modello normale logaritmico (o di Poisson) – e l'altro su una distribuzione eterogenea dei batteri, spiegata meglio da un modello binomiale negativo.

## Metodi

Lo studio è stato condotto in una cittadina sita sul litorale tirrenico nell'Italia centrale. Tremila utenti erano serviti abitualmente da un piccolo acquedotto, alimentato da due pozzi che pescavano nella stessa falda; i due pozzi erano collocati all'interno della zona residenziale.

Il sistema di distribuzione dell'acqua era formato da due anelli, dai quali partivano due reti, qui denominate A e B. Le reti erano collegate tramite saracinesche per l'eventuale alimentazione retrograda e un punto di campionamento era disponibile su ciascuna rete. Durante l'estate il sistema di distribuzione era soggetto a molti fattori di variabilità. In questo periodo, infatti, gli utenti aumentavano raggiungendo picchi di

mese	settimana	punti di campionamento coliformi totali (N/100ml)	
		I	II
luglio	I	28	0
	II	92	0
	III	2	0
	IV	≥ 180	0
agosto	I	0	0
	II	92	0
	III	1	1
	IV	0	0
settembre	I	35	0
	II	0	0
	III	0	7
	IV	0	0

Tabella 1. Coliformi totali nella rete di distribuzione dell'acqua potabile in una cittadina dell'Italia centrale, 1991.

Table 1. Coliform organisms in the water distribution system in a town in Central Italy, 1991.

mese	settimana	coliformi totali (N/100ml)			
		ipotesi di omogeneità punto di campionamento		ipotesi di eterogeneità punto di campionamento	
		I	II	I	II
luglio	II			2	0
	III	0		0	0
	IV		0	20	0
agosto	I			0	0
	II				0
	III			0	0
	IV		0	0	0
settembre	I			0	0
	II			5	0
	III			10	0
	IV	12		12	0

Tabella 2. Coliformi totali nella rete di distribuzione dell'acqua potabile in una cittadina dell'Italia centrale, 1992.

Table 2. Coliform organisms in the water distribution system in a town in Central Italy, 1992.

oltre 20.000 unità durante il fine settimana; per queste ragioni veniva immessa in rete l'acqua di un terzo pozzo alimentato dalla stessa falda e venivano attivate sezioni della rete di distribuzione non utilizzate negli altri periodi.

La potabilità dell'acqua è stata monitorata da luglio a settembre 1992, usando due differenti piani di campionamento.

Come indicatore di potabilità è stato utilizzato il numero di coliformi totali in 100 ml di acqua; il limite-soglia per questo parametro, cioè la concentrazione da non superare perché l'acqua fosse giudicata potabile, era fissato dalle norme vigenti all'epoca in 5 coliformi nel 5% dei campioni, per una concentrazione media di 0,25 coliformi/100 ml.<sup>2,11</sup>

#### Numerosità campionaria in base all'ipotesi di omogeneità

Sempre in base agli standard italiani, considerando valido l'assunto che i batteri fossero distribuiti in modo omogeneo nell'acqua della rete (seguendo cioè la distribuzione di Poisson) dovevano essere prelevati dodici campioni d'acqua su di una rete che serve da 10.000 a 50.000 utenti, in ragione di uno al mese (quattro nella stagione estiva).<sup>1,2</sup>

#### Numerosità campionaria in base all'ipotesi di eterogeneità

Il numero di campioni è stato determinato anche assumendo che i batteri fossero distribuiti in modo eterogeneo secondo una distribuzione binomiale negativa.<sup>12,13</sup>

$$P(r) = \frac{(k+r-1)!}{r!(k-1)!} * \frac{p^r}{(1+p)^{k+r}} \quad (1)$$

I risultati di un programma di monitoraggio intensivo, condotto nel 1991 (tabella 1) sullo stesso sistema di distribuzione, sono stati utilizzati per stimare la concentrazione media di batteri ( $\tau$ ) e il coefficiente di eterogeneità ( $k$ ) nel sistema di distribuzione.<sup>12,13</sup>

$$\hat{k} = \frac{\bar{x}^2}{(s^2 - \bar{x})} \quad (2)$$

La concentrazione media è stata stimata pari a 18,25 coliformi/100 ml (DS= 43,44) in tutto il sistema di distribuzione mentre il coefficiente di eterogeneità è stato stimato pari a 0,18. E' stato assunto che l'eterogeneità della distribuzione batterica seguisse una distribuzione semplice, mantenendo costanti le proprie caratteristiche in tutta la rete di distribuzione.

Per stimare il numero di campioni siamo partiti dalla considerazione che è possibile approssimare la probabilità che venga accettata l'ipotesi di potabilità dell'acqua mediante la distribuzione normale standardizzata, sotto l'assunzione di eterogeneità semplice. Questa probabilità, nel caso in cui l'ipotesi di potabilità sia falsa, cioè nel caso in cui la densità vera ( $\tau$ ) sia superiore alla soglia ( $\mu$ ), corrisponde all'errore di II tipo ( $\beta$ ). Fissando questo errore al 5% (potenza 95%) è possibile calcolare la numerosità campionaria.<sup>11,12</sup>

$$n \geq \frac{\tau z_0^2 (1 + \tau/k)}{\delta^2} \quad (3)$$

Dove  $z_0$  è il valore corrispondente alla potenza fissata (1,645) nella distribuzione normale standardizzata e  $\delta$  è la differenza di concentrazione ( $|\mu - \tau|$ ) che si vuole poter apprezzare, posto che la concentrazione massima accettabile di coliformi totali ( $\mu$ ) sia pari a 0,25 coliformi/100 ml. Fissando quindi  $\delta$  pari a 1,75 coliformi, il numero minimo di campioni da analizzare risulta di 21 per l'intero sistema di distribuzione.

In base alla stessa formula (3) è possibile calcolare la potenza, nel caso in cui si facciano solo 4 campioni (numerosità fissata in base all'ipotesi di omogeneità) in presenza di eterogeneità; il rischio di errore  $\beta$ , con 4 campioni è pari a 0,24.

A questo punto, per verificare l'assunzione di eterogeneità della distribuzione dei batteri abbiamo utilizzato il test  $D^2 = (n-1) s^2 / \bar{x}$  (dove  $D^2$  è distribuita come un  $\chi^2$  con  $(n-1)$  gradi di libertà sotto l'ipotesi della distribuzione di Poisson, ed  $s^2$  rappresenta la varianza stimata).<sup>14</sup>

### *Numerosità campionaria in base all'ipotesi di eterogeneità complessa*

Nell'ipotesi di eterogeneità complessa, in cui le due sezioni A e B della rete siano effettivamente due reti diverse dal punto di vista della dispersione dei batteri, si possono calcolare, analogamente al caso semplice, le numerosità campionarie, dopo aver stimato separatamente i livelli di eterogeneità per la rete A e B (pari a 0,40 e 0,13 rispettivamente).

In base all'ipotesi di eterogeneità complessa, i campioni necessari sarebbero 40 in tutto: 29 per la rete A e 11 per la rete B.

### *Metodi di laboratorio*

Il metodo MPN (*most probable number*) è stato utilizzato per isolare i coliformi secondo le indicazioni dell'ISO (*International Organization for Standardization*).<sup>15</sup> Tutte le determinazioni sono state effettuate dal laboratorio di microbiologia dell'Agenzia regionale per la protezione ambientale, sezione di Viterbo.

### **Risultati**

Tra luglio e settembre 1992 sono stati prelevati ventuno campioni dalla rete di distribuzione dell'acqua, egualmente distribuiti tra la rete A (10 campioni) e la rete B (11 campioni). La concentrazione media era di 2,33 coliformi/100 ml (DS= 5,29) per i 21 campioni effettuati secondo l'ipotesi della eterogeneità semplice e di 3 coliformi/100 ml (DS= 6) per i 4 campioni prelevati secondo l'ipotesi di omogeneità della distribuzione batterica. La tabella 2 riporta i risultati, per ciascuna rete di distribuzione, dei due programmi di campionamento. Il terzo programma di campionamento, che prevedeva 40 campioni in base alla ipotesi di eterogeneità complessa, non è stato effettuato a causa dell'impegno economico e organizzativo che avrebbe comportato.

La potenza statistica della decisione di non potabilità è naturalmente più elevata con 21 campioni ( $1 - \beta = 0,95$ ) che con 4 campioni ( $1 - \beta = 0,76$ ). Ciò vuol dire che il rischio di prendere la decisione sbagliata decretando potabile un'acqua che non lo è (rischio del consumatore) è sensibilmente più elevato ( $RR = 0,24/0,05 = 4,8$ ) quando, in presenza di eterogeneità, si stabilisca la numerosità campionaria in base al modello di omogeneità.

Il test  $D^2$  fornisce un valore (pari a 239,8) altamente significativo ( $p < 0,001$ ), confermando l'inadeguatezza del modello di omogeneità basato sulla distribuzione di Poisson.

I coliformi termoresistenti, che includono i coliformi fecali, erano assenti in tutti i campioni di acqua e il cloro libero misurato al momento del campionamento era di 0,02 ppm in tutti i campioni.

### **Discussione**

L'acqua non rispettava i criteri di potabilità, in base ai requisiti di qualità richiesti dalla precedente normativa, in entrambi i programmi di campionamento; tuttavia il sospetto di eterogeneità della distribuzione dei batteri nell'acqua era motivato dalle condizioni locali, cioè dal rapido incremento delle utenze in un tempo relativamente breve e dalla attivazione di una nuova branca del sistema di distribuzione dell'acqua. Il test di omogeneità ( $D^2$ ) ha confermato che il modello di Poisson non rappresentava in modo soddisfacente la reale dispersione dei batteri, che si distribuivano nell'acqua con un certo grado di eterogeneità, probabilmente meglio interpretabile mediante un modello binomiale negativo.<sup>5-7,13</sup>

Il campionamento basato sul quest'ultima assunzione garantisce una maggiore potenza alla decisione di potabilità, in quanto riduce l'errore di II tipo.

Possiamo concludere quindi che da una parte, la conoscenza delle caratteristiche delle piccole reti di distribuzione si conferma un elemento importante per ipotizzare la variabilità della dispersione batterica; d'altra parte, è necessario testare questa ipotesi e definire, in modo coerente, il programma di campionamento dell'acqua. Vogliamo sottolineare l'importanza di questo approccio metodologico soprattutto in una situazione come quella qui presentata, in cui, in base al numero di utenti nel periodo estivo, e quindi ai volumi di acqua erogata, l'ipotesi di eterogeneità della rete non era così immediata.

Alcuni limiti pesano su questo studio. Il più importante consiste nell'aver assunto l'ipotesi della eterogeneità semplice, in base alla quale la concentrazione dei batteri era simile nelle due sezioni (A e B) della rete di distribuzione. La ipotesi della eterogeneità complessa era maggiormente supportata dai risultati pregressi che deponevano per concentrazioni medie dei coliformi totali differenti nelle diverse sezioni (4,90 coliformi/100 ml; DS= 6,94 sulla rete A, 0 coliformi/100 ml sulla rete B). Peraltro, anche l'assunzione che l'eterogeneità fosse egualmente distribuita nel tempo era contraddetta dai dati del 1991 che mostravano una notevole variabilità dei mesi estivi tra di loro. Quest'ultima osservazione avrebbe richiesto che le stime della concentrazione dei coliformi nelle diverse sezioni della rete di distribuzione fossero state fatte su osservazioni di più lungo periodo.

Un secondo limite consiste nell'essere lo studio datato nel tempo, in un periodo precedente alla direttiva della Comunità europea del 1998 e al recepimento nella normativa italiana.<sup>3</sup> Questo non pesa tanto sulle problematiche metodologiche che si affrontano in questo lavoro, quanto sui parametri e i metodi di misura utilizzati. Infatti, gli standard più recenti non hanno modificato il numero di controlli, definito sempre in base alla quantità d'acqua erogata, ancora sotto l'assunzione di omogeneità della distribuzione batterica; allo stesso modo è stata giustamente mantenuta l'indicazione di rinviare la decisione sul numero di campioni d'acqua per le piccole reti di distribuzione, alla conoscenza delle caratteristiche locali. Questo conferma l'attualità del problema metodologico posto qui. Invece, per quanto riguarda i parametri utilizzati, la concentrazione dei coliformi totali

non è più inclusa tra i criteri di potabilità, ma viene considerata un parametro di qualità dell'acqua. Tuttavia, anche in base ai requisiti di qualità richiesti dalla precedente normativa, la concentrazione dei coliformi totali era un indicatore di contaminazione, al punto che ne era fissata una concentrazione media accettabile. Proprio queste sue caratteristiche ne hanno fatto un parametro adatto a verificare le assunzioni di eterogeneità della distribuzione batterica su una rete già attiva. Utilizzare un patogeno, parametro più idoneo di potabilità, avrebbe comportato interventi di correzione immediata, non appena se ne fosse riscontrata la presenza. Più discutibile sarebbe oggi il metodo utilizzato per la determinazione della concentrazione; al MPN si dovrebbe preferire la conta delle colonie, che garantisce una maggiore precisione della stima di concentrazione media dei coliformi.

### Conclusioni

Nonostante i limiti sopra discussi, si può concludere che: ■ nell'ipotesi di una distribuzione eterogenea dei batteri l'assunzione del modello binomiale negativo ci permette di determinare il numero dei campioni necessari per garantire una maggiore potenza nel giudizio di non potabilità dell'acqua;

■ questa conclusione è importante dal punto di vista della sicurezza del consumatore, in quanto una maggiore potenza nel giudizio di non potabilità riduce il rischio di considerare l'acqua potabile quando non lo è.

■ La formulazione di una ipotesi sulla distribuzione dei batteri è indispensabile per la definizione dei programmi di campionamento sulle piccole reti di distribuzione dell'acqua potabile. Se infatti è vero che l'aumento dei campioni comporta comunque una maggiore precisione delle stime e una maggiore potenza delle conclusioni, solo formulando una ipotesi sulla distribuzione dei batteri in una data rete è possibile fissare il numero di campioni adeguato a trarre valide conclusioni sulla potabilità dell'acqua in quella rete di distribuzione.

Conflitti di interesse: nessuno

### Bibliografia

1. World Health Organisation. *Guidelines on drinking-water quality. Surveillance and control of community supplies*. Geneva, WHO, 1997, vol. 3, 52-56.
2. Gazzetta Ufficiale 1988 No.152, Supplemento Ordinario DPR 24 Maggio 1988 No. 236. *Attuazione della direttiva CEE numero 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano*, ai sensi dell'art. 15 della Legge 16 aprile 1987, n. 183.
3. Gazzetta Ufficiale 2001 No. 52, Supplemento Ordinario DLgs 2 Febbraio 2001 No.31, *Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano*. Testo integrato dalle modifiche successive.
4. Pipes WO, Ward P, Ahn SH. Frequency distributions for coliform bacteria in the water. *J Am Water Works Assoc* 1977; 69: 664-68.
5. El-Shaarawi AH, Esterby SR, Dutka BJ. Bacterial density in water determined by Poisson or negative binomial distributions. *Appl Environ Microbiol* 1981; 41: 107-16.
6. Christian RR, Pipes WO. Frequency distribution of coliforms in water distribution systems. *Appl Environ Microbiol* 1983; 45: 603-09.
7. Maul A, El-Shaarawi AH, Block JC. Heterotrophic bacteria in water distribution systems. I Spatial and temporal variation. *Sci Total Environ* 1985 ; 44 : 201-14.
8. Collin JF, Zmirou D, Ferley JP, Charrel M. Comparison of bacterial indicators and sampling programs for drinking water systems. *Appl Environ Microbiol* 1988; 54: 2073-77.
9. Mietzel T, Frehmann T, Geiger WF, Schilling W. A software monitor for intermittent bacteria contamination in urban rivers. *Water Sci Technol* 2003; 47: 165-70.
10. Nola M, Njine T, Djuikom E, Foko VS. Faecal coliforms and faecal streptococci community in the underground water in an equatorial area in Cameroon (Central Africa): the importance of some environmental chemical factors. *Water Res* 2002; 36: 3289-97.
11. World Health Organisation. *Guidelines on drinking-water quality. Surveillance and control of community supplies*. Geneva, WHO, 1997, vol. II, 95-96.
12. Maul A, El-Shaarawi AH, Block JC. Heterotrophic bacteria in water distribution systems. II Sampling design for monitoring. *Sci Total Environ* 1985 ; 44: 215-24.
13. Maul A, El-Shaarawi AH, Block JC. Bacterial distribution and sampling strategies for drinking water networks. In McFeters GA. *Drinking water microbiology*. Springer-Verlag NY 1990 p 207-223.
14. Haas CN, Heller B. Statistical Approaches to Monitoring. In: McFeters GA. *Drinking water microbiology*. NY, Springer-Verlag, 1990, 412-27.
15. ISO 9308-1:1990 *Detection and enumeration of coliform organisms, thermotolerant coliform organisms and presumptive Escherichia coli*. Part I: Membrane filtration method.