

■ Valeria Azara, Alessandra Carucci, Eleonora Congiu, Alessandra del Rio, Alessio Giordano, Paola Pin, Antonio Sanna, Paolo Vargiu

V. Azara, A. del Rio,  
A. Giordano, P. Pin,  
A. Sanna, P. Vargiu, Ente  
Autonomo del Flumendosa -  
Servizio Salvaguardia  
del Territorio e Tutela  
delle Acque, Cagliari.

A. Carucci, E. Congiu,  
Dipartimento di  
Geoingegneria e Tecnologie  
Ambientali, Università  
di Cagliari.

In Sardegna circa l'85% della risorsa idropotabile è costituita da acque superficiali che, per loro natura, sono caratterizzate dalla presenza di particelle di varia origine, dimensione e concentrazione e presentano valori apprezzabili di torbidità e di solidi sospesi. Uno dei principali requisiti richiesti ad un'acqua potabile è l'assenza di torbidità, non solo perché la sua presenza determina una reazione soggettiva di repulsione, ma soprattutto perché la torbidità influenza l'efficacia del processo di disinfe-

zione. Infatti la presenza di torbidità e di solidi sospesi costituisce per i batteri una sorta di scudo di protezione nei confronti del disinfettante chimico attenuando in questo modo l'azione dello stesso [1]. Pertanto la reale efficacia del processo di disinfezione è strettamente legata alla possibilità di minimizzare quanto più possibile la presenza di particelle in un'acqua potabile e quindi all'efficienza dei trattamenti di chiariflocculazione e di filtrazione [1]. Tutto ciò ha determinato un nuovo interesse sul

controllo della torbidità e sui sistemi di monitoraggio della stessa. I torbidimetri si stanno infatti dimostrando sostanzialmente inadeguati rispetto alla complessa problematica della misura dei solidi sospesi sia in termini quantitativi (a bassissimi valori di torbidità la risposta strumentale è poco sensibile a variazioni anche notevoli di concentrazione di particelle), sia in termini qualitativi (il torbidimetro non è in grado di dare informazioni riguardo alle dimensioni delle particelle). Negli ultimi anni

*Figura 1-Vista d'insieme dell'impianto pilota.*



# POTABILIZZAZIONE attraverso contaparticelle

Il presente lavoro riporta i risultati relativi alla sperimentazione effettuata in impianto pilota riguardante lo studio dell'efficienza dei filtri a sabbia durante un intero ciclo di potabilizzazione con particolare riguardo all'utilizzo del contaparticelle. I risultati ottenuti mostrano che la misura del numero di particelle nell'acqua filtrata fornisce un quadro del comportamento del filtro ben più dettagliato della misura della torbidità e dei solidi sospesi e l'elevata sensibilità del contaparticelle può essere sfruttata per monitorare in continuo il ciclo di vita del filtro.

si è cominciato a sviluppare l'impiego del contaparticelle proprio per ovviare ai problemi sopra accennati. Gli studi relativi al contaparticelle riguardano soprattutto la valutazione in modo continuo della presenza, nelle acque in uscita dagli impianti di potabilizzazione, di cisti di protozoi, in particolare di *Giardia* e *Cryptosporidium* [2, 3]. Sono stati effettuati diversi studi [4, 5] per valutare la validità del contaparticelle come parametro indicante la riduzione di *Giardia* e *Cryptosporidium*. I risultati hanno suggerito che la rimozione logaritmica delle particelle, valutata all'interno dei range coincidenti con le dimensioni di *Giardia* e *Cryptosporidium*, fornisce un'accurata indicazione della rimozione logaritmica di questi microrganismi e che il contaparticelle rispetto ai tradizionali torbidimetri offre maggiori garanzie sull'effettiva qualità microbiologica di un'acqua potabile.

Diverse sperimentazioni [6, 7, 8, 9] hanno rivolto l'attenzione al comportamento delle particelle all'interno dei letti filtranti evidenziando come la conta delle particelle, assai più della torbidità, segnali la situazione qualitativa deteriorata nei momenti critici del ciclo di filtrazione. In questo lavoro sono riportati i risultati relativi alla sperimentazione effettuata nell'impianto pilota di Simbirizzi (Cagliari) gestito dal-

	massimo	minimo	media	deviazione standard
Temperatura °C	15,9	12,2	14,1	1,49
pH	8,84	8,32	8,69	0,16
Conducib. $\mu\text{S}/\text{cm}$ 20 °C	1114	1026	1083	24,1
Torbidità NTU	22,5	13,1	15,1	2,82
Solidi sospesi mg/l	32	0,1	13,6	9,76

l'Ente Autonomo del Flumendosa riguardante lo studio dell'efficienza dei filtri durante un intero ciclo con particolare riguardo all'utilizzo del contaparticelle come strumento di monitoraggio.

### L'impianto

L'impianto pilota del Simbirizzi (Figura 1) riproduce lo schema di funzionamento di un impianto di potabilizzazione complesso, con potenzialità di progetto di 200 l/min. Nel periodo della sperimentazione l'acqua in ingresso all'impianto proveniva dal lago artificiale del Simbirizzi. Nel periodo di studio la filiera di trattamento è quella di seguito descritta: pre-ossidazione con biossido di cloro; destabilizzazione e aggregazione; flottazione ad aria disciolta; filtrazione su filtri a sabbia mista. I filtri presenti sono filtri a gravità a doppio letto filtrante, sabbia silicea ed antracite, realizzato con i seguenti strati:

- sabbia silicea con granulometria media di 0,8 mm con un'altezza variabile fino a 50 cm, con contenuto in silice maggiore del 98% e contenuto in calce di

magnesio solubile non superiore all'1% in peso della sabbia medesima, e coefficiente di irregolarità di forma di 1,30;

- idroantracite di granulometria media di 1,5 mm e coefficiente di irregolarità di forma pari a 1,3, per un'altezza variabile fino a 100 cm.

### L'attività sperimentale

La sperimentazione è stata effettuata nel periodo compreso tra marzo e maggio 2004. Il filtro utilizzato durante la sperimentazione ha un funzionamento semi-continuo, con una durata del ciclo di filtrazione di circa 12 ore, variabile in funzione della qualità dell'acqua in ingresso al filtro, quindi dell'efficienza delle sezioni a monte della filtrazione e delle caratteristiche dell'acqua grezza. L'avvio del controlavaggio, che ha una durata di circa 30 minuti, avviene automaticamente al raggiungimento di una prefissata perdita di carico, determinata indirettamente attraverso la lettura con un sensore di livello a ultrasuoni dell'altezza del battente d'acqua. La sezione di misura

**Tabella 1**  
*Caratteristiche dell'acqua grezza utilizzata in impianto pilota.*

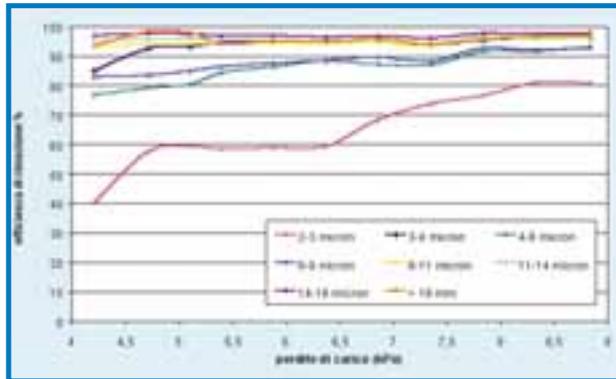
**Figura 2**  
*Contaparticelle utilizzato nella sperimentazione.*



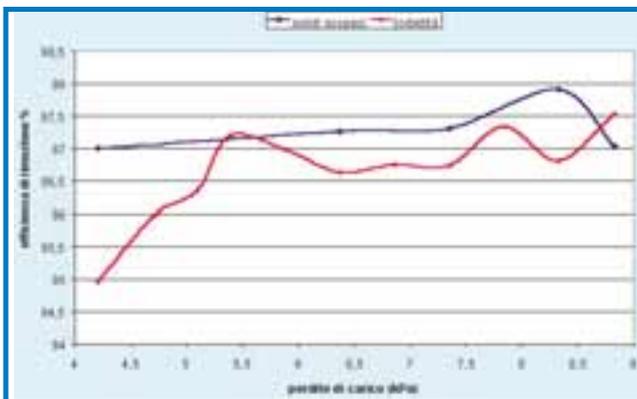
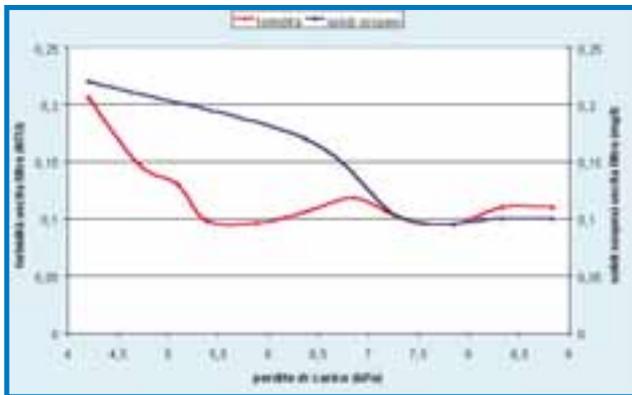
# DELL'ACQUA

*This work reports the results of an experimentation carried out in a water treatment pilot plant, about the efficiency of sand filtration using a particle counter. The obtained results show that in filtered water the particle number provides better information than turbidity and suspended solids and the high sensibility of the particle counter could be used to monitor the entire filter life cycle.*

*Figura 3 - Efficienza di rimozione delle particelle in funzione delle perdite di carico.*



*Figura 4 - Andamento della torbidità e dei solidi sospesi dell'acqua filtrata in funzione delle perdite di carico.*



del contaparticelle è costituita da due strumenti collegati rispettivamente all'ingresso e all'uscita dei filtri. L'attività sperimentale è stata articolata in due fasi distinte, la prima di monitoraggio dell'efficienza del filtro durante il ciclo completo di funzionamento e la seconda di controllo approfondito del comportamento del filtro nella fase iniziale di maturazione. Durante la prima fase della sperimentazione le letture sul contaparticelle sono state effettuate monitorando, con cadenza giornaliera, un intero ciclo di vita del filtro. Per cia-

*Figura 5 - Andamento dell'efficienza di rimozione della torbidità e dei solidi sospesi in funzione delle perdite di carico.*

scuna lettura si sono trascritti i valori relativi a quattro campioni consecutivi (lo strumento fornisce la lettura di un campione al minuto) poi mediati in modo da ottenere un valore medio per campione. Durante ciascun ciclo di letture è stato, inoltre, prelevato un campione d'acqua su cui sono state eseguite le determinazioni di pH, temperatura, conducibilità, torbidità, solidi sospesi, ossidabilità, colore, alluminio, ferro e manganese [10, 11].

Per la scelta dei campioni da prelevare e della frequenza delle letture da effettuare sul contaparticelle si è seguito l'andamento delle perdite di carico del filtro attraverso le letture del battente d'acqua, per cui ogni 5 cm di battente è stato prelevato un campione per le analisi di laboratorio ed è stata effettuata la conta delle particelle in ingresso al filtro. Le acque in uscita dal filtro sono state campionate in funzione del tempo di permanenza dell'acqua nel filtro, variabile in funzione del battente d'acqua. Sulla base dei risultati ottenuti nella prima fase della sperimentazione, nella seconda si è posta l'attenzione sui primi 90 minuti di funzionamento del filtro considerando i singoli valori forniti dallo strumento per 90 campioni consecutivi, mentre i campionamenti per le determinazioni analitiche sono stati effettuati ogni 15 minuti. Le letture sull'acqua in ingresso e in uscita dal filtro hanno permesso il calcolo dell'efficienza di rimozione per ciascuna classe di particelle secondo la formula:

$$\eta = \frac{(n^{\circ} \text{ particelle ingresso filtro} - n^{\circ} \text{ particelle uscita filtro})}{n^{\circ} \text{ particelle ingresso filtro}} \times 100$$

Inoltre, in testa alla preossidazione e a monte e a valle della filtrazione, sono stati prelevati giornalmente, tenendo conto dei tempi di ritenzione idraulica, dei campioni su cui sono state effettuate le stesse determinazioni analitiche indicate sopra.

Il modello di contaparticelle utilizzato è il Chemtrac Laser Trac 2400 D (Figura 2) che si basa sulla misura spettrofotometrica del campione e permette di classificare le particelle in otto classi: 2-3 µm, 3-4 µm, 4-6 µm, 6-9 µm, 9-11 µm, 11-14 µm, 14-16 µm, >16 µm espresse come numero di particelle su ml di campione.

Per la determinazione della torbidità è stato utilizzato il torbidimetro modello W/tw turb 550. Per il ferro, il manganese e l'alluminio è stato utilizzato un Icp-ottico P400 della Perkin Elmer. Per la determinazione del colore è stato utilizzato uno spettrofotometro UV/Visibile Lambda 25 della Perkin Elmer. La conducibilità è stata misurata con un conduttimetro modello W/tw LF 197 con cella a elettrodo in platino modello Tetracon 325/pt. La misura del pH è stata eseguita con lo strumento W/tw pH 197 con elettrodo di vetro-platino.

### Risultati e discussione

Nella Tabella 1 sono riportati i valori medi, massimi e minimi dei parametri determinati nell'acqua grezza in ingresso all'impianto pilota nel periodo della sperimentazione. Nella prima fase della sperimentazione è stato monitorato con l'ausilio del contaparticelle il comportamento del filtro durante un intero ciclo di vita. L'efficienza di rimozione delle particelle (Figura 3) segue un andamento diverso a seconda della classe granulometrica considerata, infatti:

- per la classe granulometrica più piccola il valore dell'efficienza di rimozione subisce una notevole variazione passando dal 35% iniziale all'80% nell'ultimo periodo di esercizio del filtro;
- per le tre classi granulometriche successive il valore dell'efficienza di rimozione subisce una variazione più contenuta (dal 75 al 95%) e si assesta a valori più elevati (90-95%);
- per le quattro classi granulo-

metriche più grandi il valore dell'efficienza è pressoché costante durante tutto il ciclo del filtro ed il suo valore oscilla intorno al 95%.

Dalla Figura 4 si può osservare che i valori di torbidità tendono inizialmente a diminuire all'aumentare delle perdite di carico per poi stabilizzarsi intorno al valore di 0,1 Ntu, mentre l'efficienza di rimozione (Figura 5) aumenta all'aumentare delle perdite di carico per stabilizzarsi intorno a valori compresi tra il 96,5 ad il 97,5%.

Analogamente alla torbidità, i solidi sospesi in uscita dal filtro (Figura 4) diminuiscono al crescere delle perdite di carico per assestarsi ad un valore costante di circa 0,1 mg/l. Per quanto riguarda invece l'efficienza di rimozione (Figura 5) di questo parametro, essa mostra un andamento pressoché costante in funzione delle perdite di carico con valori di rimozione intorno al 97%.

Per quanto riguarda la correlazione tra torbidità e numero di particelle la Figura 6 mette in evidenza che :

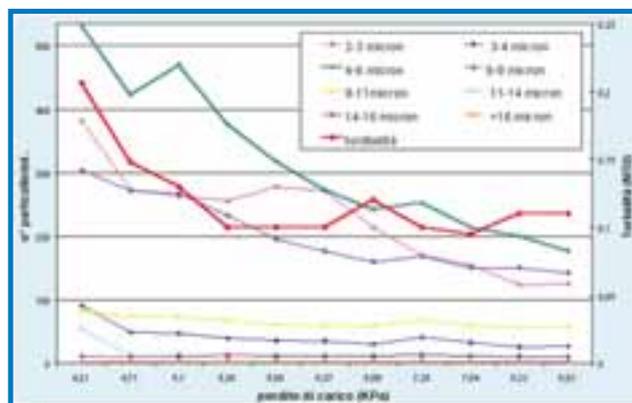
- per le quattro classi granulometriche inferiori il numero di particelle in uscita dal filtro diminuisce all'aumentare delle perdite di carico e, mentre la torbidità si è stabilizzata a valori di circa 0,10 Ntu, il numero di particelle di queste classi continua a variare;
- per le classi granulometriche superiori il numero di particelle in uscita dal filtro è pressoché costante, infatti l'efficienza di rimozione per queste classi segue un andamento costante in funzione delle perdite di carico; tuttavia le oscillazioni (intorno al valore costante) sul numero di particelle in uscita dal filtro che vengono rilevate dal contaparticelle non hanno riscontro nella misura della torbidità.

Si è osservato inoltre che per torbidità maggiori di 0,10 Ntu (a partire da 0,13-0,15 Ntu) esiste una correlazione tra torbidità e numero di particelle, correlazione che si perde completamente per torbidità intorno a 0,10 Ntu. Considerando l'andamento delle efficienze di

rimozione in funzione del tempo (Figura 7), esse variano soprattutto entro la prima ora e mezza di esercizio del filtro e dopo questo intervallo di tempo si assestano su valori pressoché costanti. Sulla base di questa osservazione nella seconda fase della sperimentazione si è concentrata l'attenzione sulla prima ora e mezza di funzionamento del filtro.

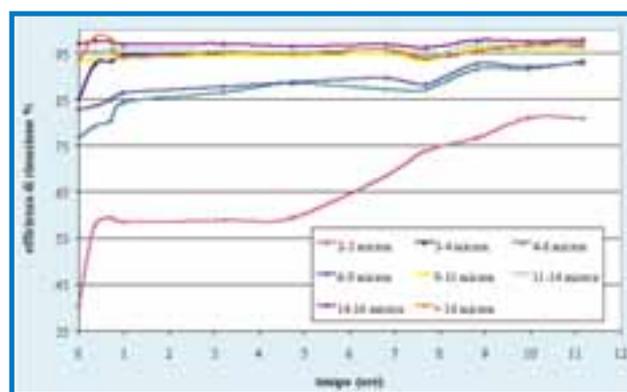
Nei primi 20-30 minuti di esercizio del filtro (Figura 8) si ha una forte variazione dell'efficienza di rimozione delle prime quattro classi granulometriche determinate che si assestano

tre (Figura 10) per entrambi i parametri si possono osservare forti variazioni dell'efficienza di rimozione nei primi 40 minuti di esercizio del filtro, che si stabilizza a valori pressoché costanti dopo questo intervallo di tempo. Come si può notare dalla Figura 11 sia la torbidità sia il numero di particelle diminuiscono al crescere del tempo di esercizio del filtro fino a stabilizzarsi per la torbidità a valori attorno allo 0,1 Ntu e per le numerose particelle a valori oscillanti intorno a 700 particelle per ml con oscillazioni che la misura di torbidità non riesce

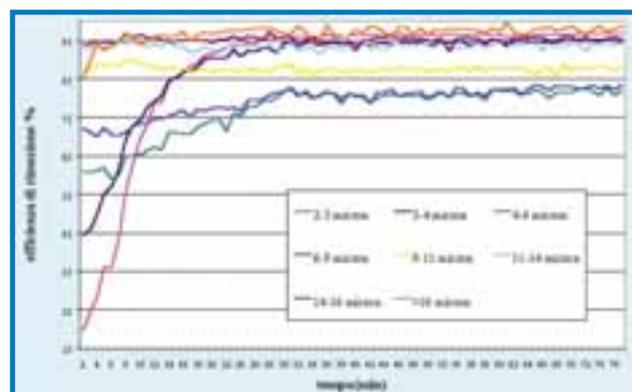


*Figura 6 - Andamento in uscita del filtro della torbidità e del numero di particelle per ogni classe granulometrica.*

dopo questo intervallo di tempo su valori di rimozione pressoché costanti; le quattro classi granulometriche più grandi presentano invece un andamento costante nel tempo dell'efficienza di rimozione. Per quanto riguarda la torbidità ed i solidi sospesi (Figura 9), entrambi i parametri variano in maniera apprezzabile nei primi 40 minuti di esercizio del filtro e si assestano, dopo questo intervallo di tempo, su valori costanti. Inol-



*Figura 7 - Andamento dell'efficienza di rimozione delle particelle in funzione del tempo.*



*Figura 8 - Andamento dell'efficienza di rimozione delle particelle nei primi 90 minuti di funzionamento.*

ad apprezzare. Un analogo comportamento si può osservare per i solidi sospesi.

**Conclusioni**

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza che l'efficienza di rimozione delle particelle ha seguito un andamento diverso a seconda della classe granulometrica considerata.

Pertanto l'efficienza di rimozione delle particelle con granulometria più alta non è legata al processo di maturazione del filtro, mentre per le particelle con granulometrie più basse l'efficienza

di rimozione cresce con le perdite di carico del filtro e quindi con la maturazione dello stesso.

I valori della torbidità determinata in uscita dal filtro sono stati messi in relazione con il numero totale di particelle/ml distinte nelle otto classi granulometriche determinate dal contaparticelle: per valori di torbidità intorno a 0,10 Ntu non vi è nessuna correlazione tra questo parametro ed il numero di particelle, mentre per valori di torbidità superiori a 0,10 Ntu (a partire da 0,13-0,15 Ntu ovvero a partire da circa 800-1.000 particelle/ml) è possibile osservare una correlazione tra torbidità e numero di particelle.

La misura della torbidità effettuata con il torbidimetro tradizionale, raggiunto il valore limite di 0,10 Ntu, non fornisce, quindi, alcuna indicazione sulla effettiva qualità dell'acqua in uscita dal filtro, poiché oscillazioni anche marcate del numero di particelle (da 600 a 900 particelle/ml) non vengono rilevate dalla misura della torbidità. Analoghe conclusioni possono essere tratte per quanto riguarda la misura

che più grandi hanno presentato invece un andamento dell'efficienza di rimozione costante nel tempo.

Per quanto riguarda i valori della torbidità e dei solidi sospesi in uscita dal filtro in funzione del tempo di esercizio dello stesso, i risultati ottenuti mostrano che tutti e due i parametri hanno subito variazioni apprezzabili nei primi 40 minuti di esercizio del filtro e che, dopo questo intervallo di tempo, si sono assestati su valori costanti.

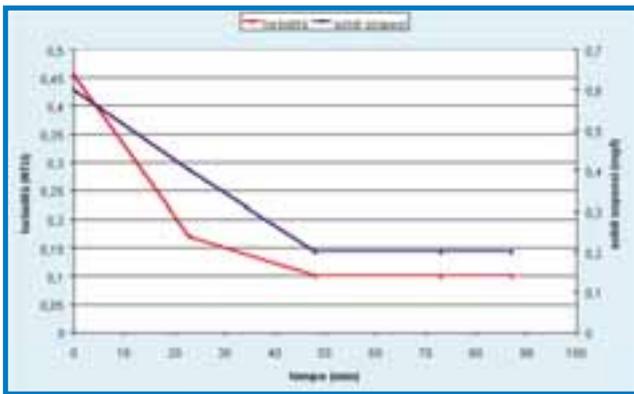
I risultati numerici dell'indagine svolta hanno fornito pertanto le seguenti conclusioni:

- la misura del numero di particelle nell'acqua filtrata fornisce un quadro del comportamento del filtro ben più dettagliato della misura della torbidità e dei solidi sospesi, soprattutto in presenza di un'acqua di discreta qualità con valori di torbidità intorno a 0,10 Ntu;

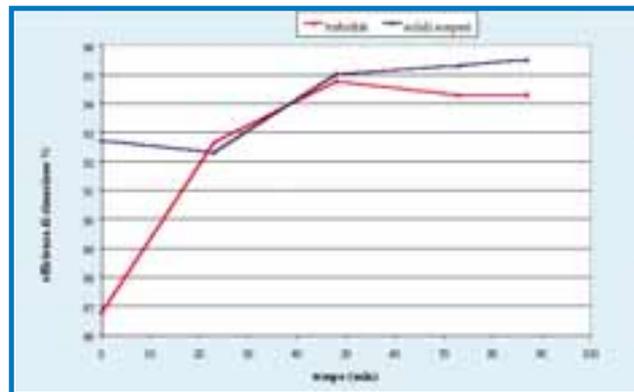
- la capacità del contaparticelle di fornire misure distinte per otto diverse classi granulometriche ha permesso di rilevare come il filtro abbia una bassa efficienza nei primi 20-30 minuti di funzionamento, relativamente alla rimozione delle particelle di granulometria più bassa; infatti, in tale intervallo di tempo l'efficienza di rimozione tende a essere tanto più alta quanto maggiori sono le dimensioni della particelle, fino a mantenersi costante per le quattro classi di grandezza più alte. Tale capacità del contaparticelle può essere sfruttata in un impianto reale per studiare il funzionamento dei filtri e individuare per ciascuno l'intervallo «critico» di tempo durante il quale l'acqua filtrata dovrebbe essere rinviata in testa alla sezione di filtrazione;

- l'elevata sensibilità del contaparticelle può essere sfruttata per monitorare in continuo i filtri e per controllare, oltre alla iniziale fase di maturazione, anche la fase che precede il controlavaggio. Attualmente, infatti, il controlavaggio dei filtri negli impianti viene effettuato quando si supera una prefissata perdita di carico, rilevata attraverso la misura del battente d'acqua o della differenza delle pressioni a monte e a valle del filtro. Con tali

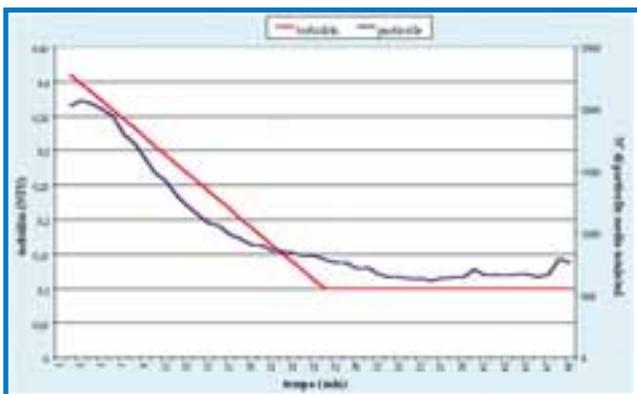
*Figura 9 - Andamento della torbidità e dei solidi sospesi in uscita dal filtro nei primi 90 minuti di funzionamento.*



*Figura 10 - Andamento dell'efficienza di rimozione della torbidità e dei solidi sospesi nei primi 90 minuti di funzionamento.*



*Figura 11 - Andamento della torbidità e del numero totale medio di particelle in uscita dal filtro nei primi 90 minuti di funzionamento.*



dei solidi sospesi che oltretutto non è così immediata come quella della torbidità.

Osservando invece l'andamento delle efficienze di rimozione in funzione del tempo di esercizio del filtro si è riscontrato che nei primi 20-30 minuti di esercizio si è avuta una forte variazione dell'efficienza di rimozione delle prime quattro classi granulometriche, la quale, dopo questo intervallo di tempo, si è assestata su valori pressoché costanti. Le quattro classi granulometri-

misure non si ha alcuna informazione sull'eventuale inizio della fase di perforazione del filtro, che verrebbe invece rilevata dal contaparticelle. Poiché il contaparticelle sarebbe in grado di rilevare anche un piccolo aumento delle particelle in uscita, esso potrebbe essere utilizzato come strumento per individuare il punto ottimale di avvio del controllo lavaggio dei filtri, consentendo notevoli risparmi energetici. ■

## BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Coccagna, "Igienicità dell'acqua, torbidità e particelle in sospensione", Convegno "Acque destinate al consumo umano e rischi per la salute", Sardara, 1995, 273.
- [2] E. Borrelli, A. Carbone, M. Colombino et al., "Rimozione di protozoi patogeni con impianti pilota dalle acque destinate al consumo umano", Crs Proaqua, 2000.
- [3] Lewis PhD & C. M., E.E. Hargeshimer, "Particle counting: how, why, where & what equipment", *Awwa*, 1998.
- [4] J. Granger, "On line particle counting-The new tool for water quality management", *Water Management Europe*, 1995, 113.
- [5] P.T. O'Shaughnessy, M.G. Barsotti et al., "Evaluating particle counters", *Journal Awwa*, dicembre, 1996, 60.
- [6] D.C. Moran, M.C. Moran et al., "Particle behavior in deep-bed filtration", *Journal Awwa*, dicembre, 1993, 69.
- [7] P. Rossé, J.-L. Liozeau, "Use of single particle counters for the determination of the number and size distribution of colloids in natural surface waters", *Colloids and surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 217, 2003, 109.
- [8] A.M. Van Gelder, Z. K. Chowdhury, D.F. Lawler, "Conscientius particle counting", *Journal Awwa*, dicembre, 1999, 64.
- [9] E.E. Hargeshimer, N.E. McTigue et al., "Tracking filter performance with particle counting", *Journal Awwa*, dicembre, 1998, 32.
- [10] Apha, "Standard methods for examination of water and wastewater", 19th edition, 1995.
- [11] Irsa-Cnr, Metodi analitici per le acque. Quaderno Irsa n.100. Istituto Poligrafico e Zecca di Stato, 1994.