

## **VALUTAZIONE SPERIMENTALE DELL'EFFICACIA DEL LAVAGGIO AD ULTRASUONI PER LA PULITURA DELLE BOTTIGLIE NELL'INDUSTRIA DEL PACKAGING ALIMENTARE**

Fabio Bozzoli (1), Riccardo Ghidini (2), Christian Varani (3), Giacomo Frassi (4) e  
Angelo Farina (5)

- 1,2,3,5) Università degli Studi di Parma, Dipartimento di Ingegneria Industriale,  
Parma  
4) AIDA Srl, Parma

### **1. Introduzione**

La tecnologia della pulizia tramite ultrasuoni, ad oggi, è già utilizzata per detergere grossi pezzi ottenuti tramite torniture o piccole parti delicate nella meccanica di precisione.

Il principio di funzionamento è semplice: quando in un liquido si realizza un opportuno campo ultrasonico, all'interno di esso si crea cavitazione: si formano bolle di vapore a causa dell'abbassamento locale di pressione ad un valore inferiore alla tensione di vapore del liquido stesso, esse poi implodono violentemente esercitando così un'azione meccanica a livello microscopico, [1].

Una grande parte di bevande industriali vengono confezionate in bottiglie di vetro in virtù del grande risparmio di materia e di energia che questo permette: queste confezioni sono infatti solitamente a rendere, in quanto possono essere utilizzate per più cicli di commercializzazione e in caso di rottura possono essere ugualmente riciclate come materia prima secondaria, con notevole risparmio di materia e di energia.

Attualmente le industrie di imbottigliamento per lavare le bottiglie riciclate attuano un processo di macerazione, che, a causa dell'elevata produttività richiesta e dai lunghi tempi di processo, prevede l'utilizzo di vasche di grandissime dimensioni: l'utilizzo della tecnica ad ultrasuoni potrebbe portar ad una diminuzione di costi da parte delle aziende, in seguito ad una diminuzione di tempo di lavaggio e, di conseguenza, di dimensioni delle vasche. Inoltre c'è da sottolineare il contenuto ecologico di questa tecnica, infatti potrebbe portare anche ad una diminuzione dell'uso dei detergenti, che spesso comportano problemi di smaltimento.

Studi preliminari hanno inoltre evidenziato che i risultati ottenibili con questa tecnica, per ciò che riguarda la pulizia e la sterilizzazione dei prodotti, possono essere superiori a quelli ottenibili con le tecniche tradizionali, [2].

In questo lavoro è stata realizzata una vasca sperimentale dotata di attuatori piezoelettrici opportunamente pilotati in modo di realizzare campi ultrasonori a differenti potenze. Sono stati quindi fatti alcuni test per valutare l'efficacia degli ultrasuoni nella pulitura delle bottiglie al variare di livello di cavitazione e di temperatura del fluido.

## 2. Apparato sperimentale

Una lavatrice ad ultrasuoni è, di fatto, un apparato semplice dal punto di vista impiantistico: un generatore elettronico, producendo un segnale a una frequenza compresa tra i 20 e i 60 kHz, pilota uno o più trasduttori piezoelettrici montati su una vasca contenente l'oggetto da pulire immerso in un liquido; il segnale elettrico ricevuto dagli attuatori è trasformato in una vibrazione meccanica che è trasferita alla vasca e, conseguentemente, al liquido ivi contenuto.

Il banco di prova realizzato in laboratorio segue questo schema ed è stato pensato per consentire lo studio e la misurazione delle principali variabili coinvolte nel fenomeno. In figura 1 è riportato uno schema del banco.

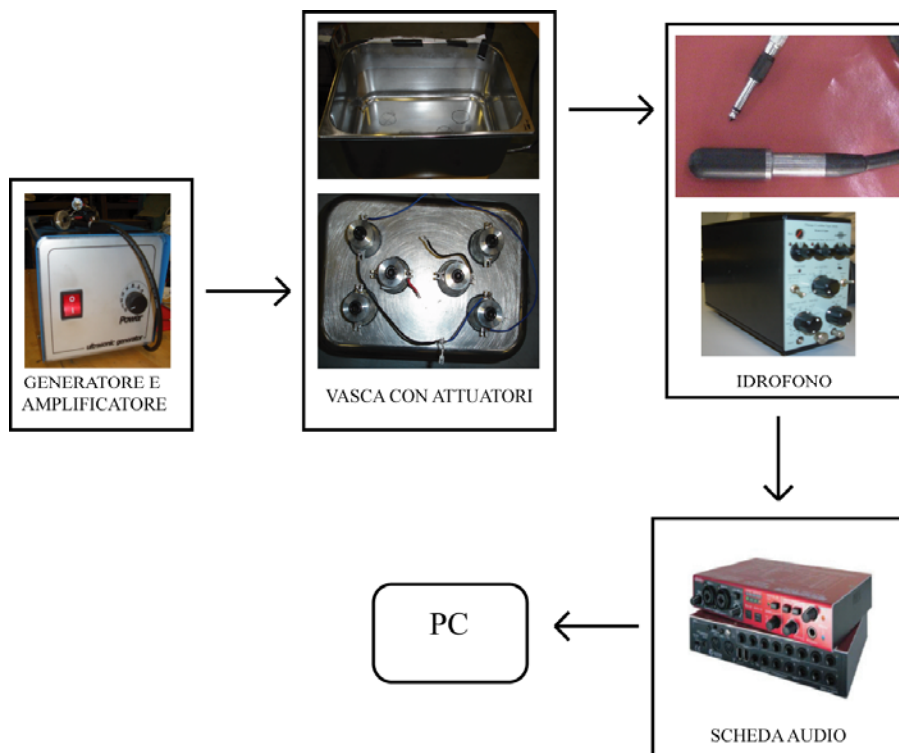


Figura 1 – Schema dell'impianto di prova

La vasca di prova impiegata è in acciaio AISI 316, spessore 1mm, di sezione rettangolare 25x36 cm, e di profondità 15cm.

La generazione di onde ultrasoniche è realizzata tramite trasduttori piezoelettrici composti da dischi ceramici prodotti dalla ditta IPECC srl denominati TC4SH, con una potenza nominale dichiarata dal costruttore di 50 W. Questi sono stati accoppiati alla vasca tramite un adesivo epossidico a due componenti.

Per pilotare gli attuatori piezoelettrici è stato impiegato un apparecchio integrato di generazione di segnale ed amplificazione realizzato da Utratech. Questo è in grado di produrre un segnale sinusoidale tra i 24 kHz e i 38 kHz, con una tensione efficace fino a 250 V e una potenza di 600 Watt. Si è scelto di far funzionare l'apparato a 38 kHz poichè si è visto che questa frequenza massimizzava l'efficienza con cui veniva trasformata l'energia elettrica in energia acustica all'interno della vasca.

E' stata inoltre immersa nella vasca resistenza termica opportunamente termostata per mantenere alla temperatura desiderata l'acqua utilizzata.

Per caratterizzare il campo acustico generato nel liquido si è impiegato un idrofono Type 8100, con relativo amplificatore di carica Type 2635, della Brüel & Kyær: il segnale in uscita da questo è stato acquisito a 24 bit- 192 kHz attraverso una scheda audio Edirol FA-101 collegata a un computer e utilizzando il programma Spectralab.

M. Hodnett e B. Zequiri in [3] descrivono bene i vantaggi di questo metodo, rispetto agli altri esistenti, per caratterizzare correttamente il grado di cavitazione presente in un liquido.

### 3. Risultati sperimentali

In questo lavoro si è scelto, per poter valutare esclusivamente l'effetto della cavitazione, di non adoperare agenti detergenti ma semplicemente acqua demineralizzata. Inoltre, come indicatore dello stato di pulizia dell'involucro trattato, si è considerata la rimozione dell'etichetta adesiva presente, problema critico a detta dalle aziende che producono macchine per l'imbottigliamento. Si rimandano a studi futuri le valutazioni microbiologiche del processo.

Le bottiglie utilizzate nelle prove sono di vetro da 33cl. con etichetta in carta: sono state posizionate orizzontalmente dentro la vasca. L'etichetta è stata rivolta verso l'alto esclusivamente per motivi di praticità, infatti non si è notato, da test preliminari, differenze derivanti dalla posizione dell'etichetta.

Per potere standardizzare la prova l'etichetta, tramite un taglierino è stata suddivisa in quadrati di circa 5x5 cm: in questo modo è possibile considerare ogni porzione come un'etichetta indipendente e quindi eseguire più prove contemporaneamente; inoltre sarà possibile confrontare, in futuro, i risultati con quelli ottenuti con etichette di forme differenti.



Figura 2 – Posizionamento della bottiglia nella vasca.

Per caratterizzare il campo acustico generato e, di conseguenza, il livello di cavitazione presente, è stata adottata la misura del livello di pressione equivalente effettuata

nella vasca. Per valutare la presenza del fenomeno della cavitazione ci si è basati su un'osservazione visiva dei segnali caratteristici come, ad esempio, la veloce formazione e distruzione di bolle sulle superfici degli oggetti immersi.

E' stato considerato l'effetto, sulla velocità di rimozione delle etichette, della temperatura del bagno e del livello di pressione sonora generata; sono state eseguite, per ogni condizione, circa una decina di prove per ottenere un dato sufficientemente rappresentativo. La metodologia di studio trae ispirazione dal lavoro di B. Niemczewski, [4], prendendo però in considerazione differenti condizioni operative, non considerate da B. Niemczewski in quanto la sua indagine era rivolta principalmente agli apparati sterilizzatori impiegati nel settore medicale.

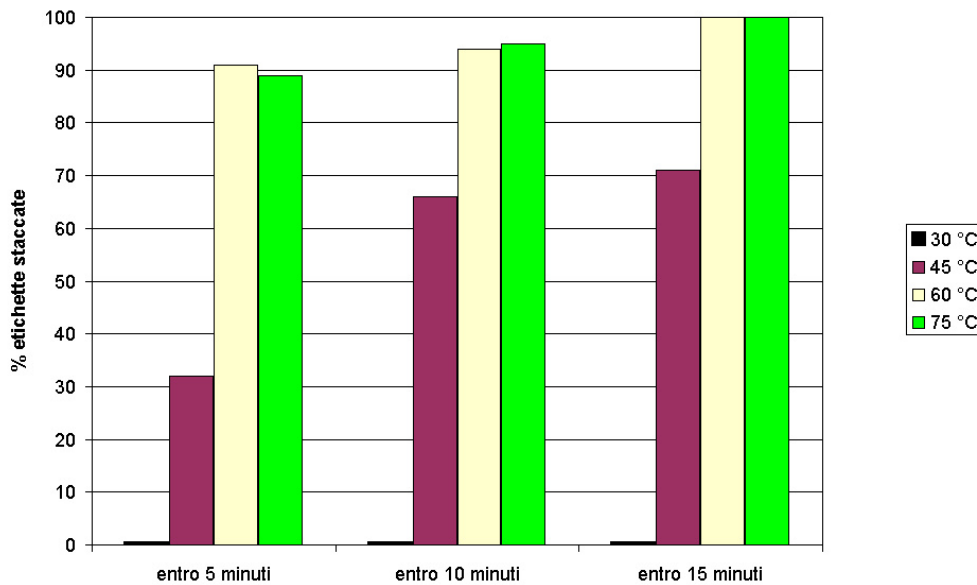


Figura 3 – Distacco delle etichette alle varie temperature con  $Leq = 240$  dB.

In figura 3 sono riportate le percentuali di etichette staccate in funzione del tempo di immersione trascorso, al variare della temperatura del bagno e mantenendo una situazione di cavitazione caratterizzato da un livello di pressione equivalente di 240 dB. Dall'analisi dei dati si può notare per temperature inferiori a 45°C nessuna etichetta si stacca nei primi 15 minuti, mentre per bagni compresi tra i 45° e i 60°C il tempo di distacco crolla. Alzare ulteriormente la temperatura arreca vantaggi trascurabili. Questo comportamento è da imputare prevalentemente alla reazione chimica di scioglimento della colla che si attiva esclusivamente al raggiungimento di una determinata temperatura.

Alla luce di questi risultati si è valutato, alla temperatura del bagno di 50 °C, l'effetto dello stato di cavitazione sul distacco delle etichette e mantenendo la temperatura del bagno a 50 °C. In figura 4 sono riportati i risultati. Si può vedere che la cavitazione quasi raddoppia la percentuale d'etichette che si distaccano nei primi cinque minuti e che aumenti della pressione acustica produce riduzioni del tempo medio di distacco.

In ogni caso è evidente che, per il distacco delle etichette, la temperatura del bagno incide sul tempo di distacco delle etichette molto più del livello di pressione del campo ultrasonoro.

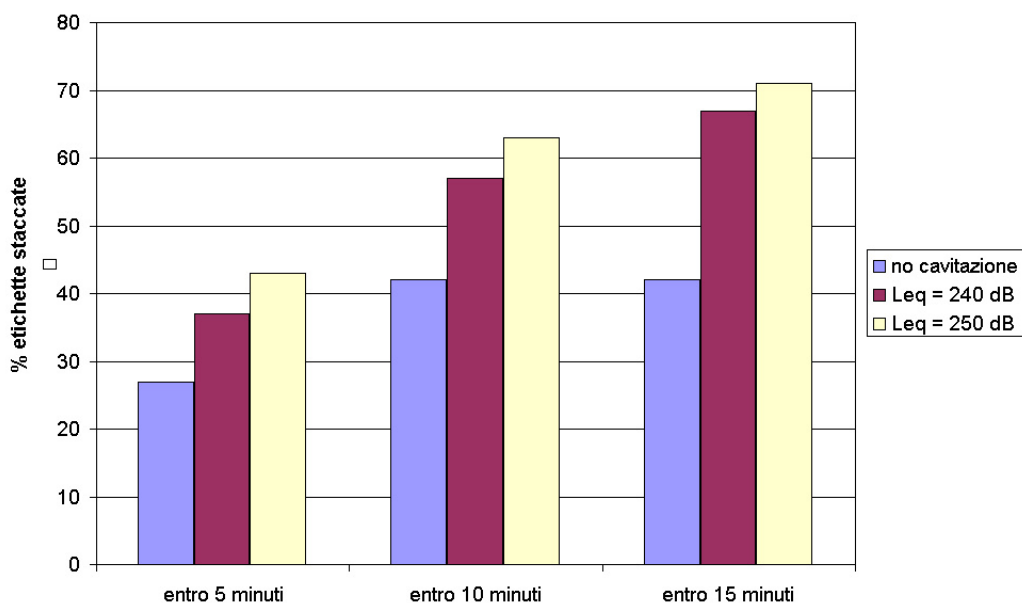


Figura 4 – Distacco delle etichette al variare della cavitazione con  $T = 50^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. Conclusioni e prospettive future

In questo lavoro si è realizzato un valido banco prova per valutare l'efficacia degli ultrasuoni nella rimozione di etichette da bottiglie di vetro. Dai primi test si è notato come, nelle condizioni da noi indagate, la temperatura del bagno incida radicalmente sul tempo di distacco delle etichette, molto più del livello di pressione del campo ultrasonoro. Tuttavia si è evidenziato anche come la presenza di cavitazione all'interno della vasca produca notevoli miglioramenti sul distacco delle etichette.

Le successive verifiche andranno sicuramente fatte sui prototipi di vasche da usare negli stabilimenti, già create dalle Officine Freddi.

Occorrerà, per ottimizzare il sistema, anche verificare l'efficienza del trasferimento di energia al liquido e individuare le configurazioni in cui questa sia massima.

#### 5. Ringraziamenti

Il lavoro è stato svolto in collaborazione con Officina Freddi s.r.l. all'interno del Laboratorio Tecnologie e Impianti per l'Industria Alimentare.

#### 6. Bibliografia

- [1] Brennen C.E., "Cavitation and bubble dynamics", Oxford University Press (1995).
- [2] Muqbil I., Burke F. J. T., Miller C. H., Palenik C. J., "Antimicrobial activity of ultrasonic cleaners", J Hosp Infect., Vol. 60(3), pp. 249-55 (2005).
- [3] Hodnett M e Zeqiri B., "A strategy for the development and standardisation of measurement methods for high power/cavitating ultrasonic fields: review of high power field measurement techniques", Ultrason Sonochem., Vol. 4(4), pp.273-288 (1997).
- [4] Niemczewski B., "Observations of water cavitation intensity under practical ultrasonic cleaning conditions", Ultrason Sonochem., Vol. 14(1), pp. 13-18 (2006).