

## Capitolo 6

### Ultrasuoni: principi e applicazioni

(Rugiada Cuccaro, Caterina Guiot, Renato Spagnolo)

#### Controllo e trattamento dei prodotti alimentari mediante ultrasuoni

Recentemente la ricerca scientifica ha evidenziato il rapporto esistente tra una corretta e sana alimentazione e la salute dell'uomo. La nutrizione è divenuta per l'uomo non solo una necessità biologica da soddisfare, ma un mezzo per prevenire numerose patologie; da qui l'importanza sempre maggiore attribuita alla sicurezza e alla qualità degli alimenti. La qualità di un cibo è determinata valutando le sue proprietà sensoriali, i valori nutritivi, i costituenti chimici, le proprietà meccaniche, le proprietà funzionali, l'assenza di difetti [1,2]. Maggiore è la consapevolezza del concetto di qualità da parte dei consumatori, maggiore è l'interesse dell'industria alimentare nel miglioramento della qualità dei prodotti.

In tale contesto, le applicazioni degli ultrasuoni a *bassa* e ad *alta intensità* risultano essere molteplici. Solitamente le applicazioni a bassa intensità impiegano frequenze tra 100 kHz e 1 MHz, mentre, per quelle ad alta intensità, le frequenze variano nell'intervallo compreso tra 18 e 100 kHz.

Nell'industria alimentare gli ultrasuoni a bassa intensità sono impiegati come mezzo di controllo sia dei processi produttivi sia degli alimenti prodotti. Tra le applicazioni degli ultrasuoni relative al controllo dei processi produttivi, la misura di livello di un liquido all'interno di una cisterna è forse una delle più antiche [3,4]. I rilevatori di livello ad ultrasuoni più sofisticati utilizzano tre trasduttori, di cui due posizionati ai lati del contenitore ed un terzo sul fondo (Fig. 1). I primi due sono utilizzati per determinare la velocità del suono nel liquido, ottenuta conoscendo la distanza tra i due trasduttori e misurando il tempo intercorso tra l'emissione del segnale acustico e la sua ricezione. Il terzo trasduttore, invece, è utilizzato per determinare il livello del liquido, misurando il tempo di volo dell'impulso per viaggiare fino alla parte superiore del fluido e tornare indietro. Questa tecnica fornisce risultati indipendenti dalla temperatura e relativamente insensibili alla presenza di schiume.

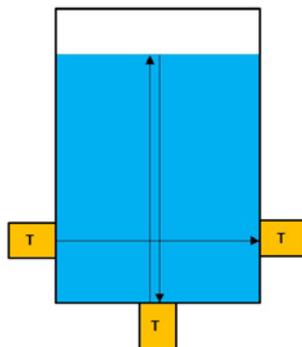


Fig. 1 Rilevatore di livello ultrasonoro a tre trasduttori. T: trasduttore ultrasonoro.

Un'altra possibile applicazione degli ultrasuoni a bassa intensità è la misura della velocità di flusso di un liquido all'interno di un condotto, effettuata sfruttando l'effetto Doppler oppure la misura del tempo di volo del segnale acustico. La tecnica ad effetto Doppler sfrutta la riflessione di un'onda ultrasonora ad una singola frequenza trasmessa nel condotto da parte delle discontinuità acustiche sospese nel fluido in movimento. La differenza in frequenza tra il segnale emesso e quello ricevuto fornisce una misura di velocità dell'agente dispersivo rispetto alla sonda ultrasonora. Tuttavia, questo tipo di sensore risulta non particolarmente affidabile in quanto l'agente dispersivo, che può essere una bolla, una particella sospesa nel fluido o semplicemente un moto turbolento, possono comportarsi in modo differente nelle diverse parti del condotto. Un approccio più affidabile è invece quello fornito dalla misura del tempo di volo,

in cui sono utilizzati una coppia di trasduttori integrati nelle pareti del condotto e posizionati ad un certo angolo rispetto al flusso (Fig. 2). La velocità del flusso è determinata confrontando il tempo di volo del segnale ultrasonoro quando misurato nel verso del flusso e nel verso opposto.

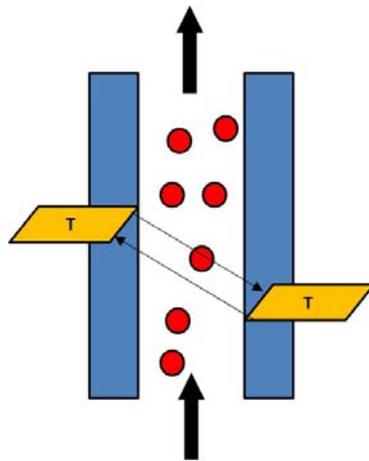


Fig. 2 Misuratore di flusso basato sulla misura del tempo di volo. T: trasduttore ultrasonoro.

In qualità di strumento di controllo dei prodotti alimentari, invece, gli ultrasuoni a bassa intensità sono utilizzati principalmente nel settore dei prodotti freschi (frutta e verdura), della carne e dei latticini. Sfruttando la loro capacità di penetrare in un prodotto senza distruggerlo, sono impiegati per la caratterizzazione dei cibi e l'individuazione dei loro difetti (si pensi per esempio alle fratture all'interno dei formaggi oppure alle cavità presenti nelle patate) [5-7]. La valutazione delle proprietà di un alimento avviene principalmente tramite l'analisi della velocità del suono, per quanto in alcuni casi si considerino anche l'attenuazione e l'analisi spettrale. Queste grandezze, dipendendo dalle proprietà del mezzo attraversato, variano in funzione dei cambiamenti fisici o chimici del mezzo stesso, fornendo informazioni utili per la descrizione delle sue proprietà.

Basati sulla misura della velocità del suono, vi sono, per esempio, i sensori ultrasonori per la determinazione della concentrazione dello zucchero negli sciroppi e nei succhi di frutta [8] oppure dell'alcol in alcune bevande. Con tali sensori è possibile misurare on-line e in modo continuo la gradazione alcolica della birra durante la fermentazione. Uno dei primi strumenti realizzati per compiere tale monitoraggio è stato prodotto dalla Anton Paar (Austria) [9]. Attualmente altre aziende hanno prodotto sensori di velocità del suono a scopo alimentare, tra queste la Centec, la Sensotech (Germania) e la Nusonics (USA) (Fig. 3).



Fig. 3 Sensore di velocità del suono per la misura in linea della concentrazione (<http://www.anton-paar.com/>)

Attraverso la misura dello spettro ultrasonoro, invece, altri sensori sono in grado di determinare le dimensioni delle goccioline disperse in un'emulsione, come la maionese, il gelato o le creme liquorose, da cui dipendono l'aspetto dell'emulsione stessa, le sue proprietà reologiche, la stabilità e la reattività chimica [10]. Gli strumenti ultrasonori commerciali per la determinazione delle dimensioni delle particelle sono ampiamente disponibili sul mercato (Fig. 4) e, a differenza dei microscopi ottici ed elettronici, lavorano bene con colloidali alimentari otticamente opachi e concentrati senza alterare l'organizzazione strutturale delle gocce disperse.



Fig. 4 OPUS system: sensore ultrasonoro per l'analisi delle dimensioni delle particelle presenti in emulsioni e sospensioni concentrate tra i 10 nm e i 3 mm (<https://www.sympatec.com>).

La velocità del suono e l'attenuazione sono utilizzati anche per valutare la qualità dei prodotti ortofrutticoli prima e dopo il raccolto. Tali prodotti subiscono cambiamenti fisiologici e fisicochimici sia durante la fase di crescita e maturazione, sia nei successivi periodi di raccolta, stoccaggio e vendita [11]. Poiché la trasmissione delle onde acustiche attraverso l'intero prodotto risulta piuttosto limitata a causa della struttura porosa del tessuto, le verifiche ultrasonore sono spesso condotte localmente in prossimità della buccia, assumendo che tale porzione di materiale sia rappresentativa dell'intero prodotto. Dal punto di vista sperimentale, recentemente Gaete-Garretton et al. [12] hanno proposto una tecnica di misura dell'attenuazione di un prodotto ortofrutticolo alternativa alla più tradizionale tecnica *through-transmission* [13]. L'apparato sperimentale proposto consiste in una camera cilindrica in acciaio funzionante da guida d'onda, con ad una estremità un generatore d'onda e all'altra il prodotto da caratterizzare. Il campo acustico è misurato con un sensore ad ago inserito nella camera ed il coefficiente d'assorbimento del materiale d'interesse è determinato dal rapporto delle onde stazionarie.

Al fine di correlare le proprietà acustiche con quelle fisicochimiche come la maturità, la compattezza e la farinosità di un prodotto ortofrutticolo, sono state condotte numerose indagini su differenti tipi di frutta, prima studiati sotto forma di porzioni di tessuto e successivamente nella loro interezza. Tra gli studi effettuati, vi è, ad esempio, quello condotto da Mizrach et al. [14] sul mango. In questo studio, il coefficiente di attenuazione del frutto è stato monitorato a temperatura ambiente per un intervallo di tempo di dieci giorni, osservando un aumento del valore misurato di attenuazione da 2,7 dB/mm del primo giorno di test a 4,16 dB/mm al termine della prova. Contemporaneamente, frutti dello stesso gruppo, quindi presumibilmente con uguali caratteristiche fisiche e chimiche, sono stati sottoposti a misure penetrative distruttive di compattezza e a test per la valutazione del contenuto di zucchero dei tessuti e dell'acidità. Dall'analisi dei risultati ottenuti, Mizrach ha definito una relazione diretta di tipo parabolico tra la compattezza del frutto e la sua attenuazione (Fig. 5) e tra quest'ultima e l'acidità del mango, mentre il rapporto con il contenuto di zucchero è risultato essere meglio descritto da un polinomio di terzo grado (Fig. 6).

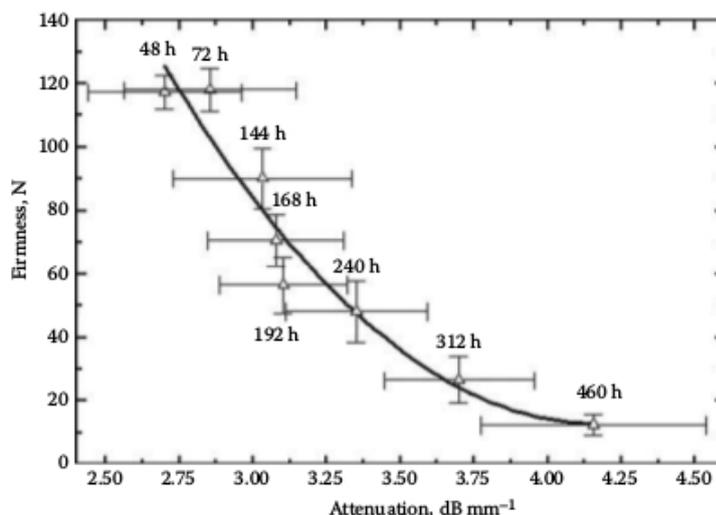


Fig. 5 Compattezza del mango in funzione dell'attenuazione ultrasonora e relativa curva d'interpolazione [14].

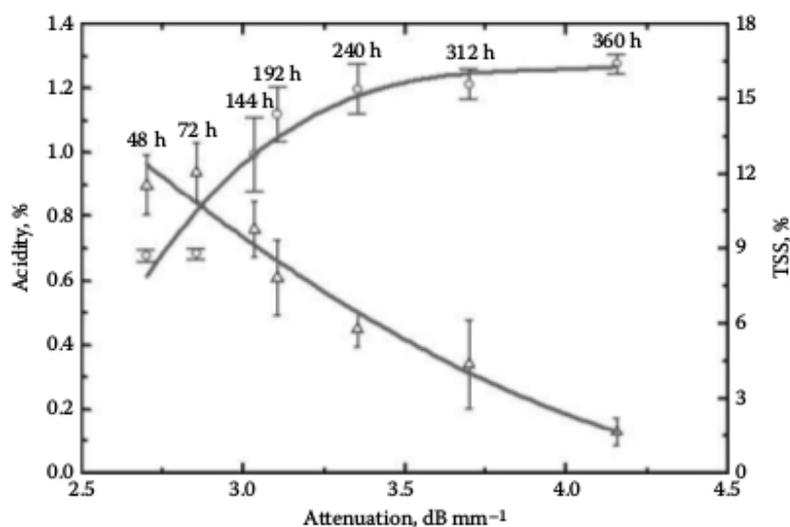


Fig. 6 Contenuto di zucchero (○) e acidità (Δ) del mango in funzione dell'attenuazione ultrasonora e relative curve d'interpolazione [14].

Per quanto concerne gli ultrasuoni ad alta intensità, in ambito alimentare essi risultano particolarmente interessanti in qualità di strumento di lavorazione e di conservazione del cibo. Per esempio forniscono un notevole contributo nell'ambito della cristallizzazione, in particolare nel congelamento dei prodotti freschi durante il quale l'acqua contenuta nell'alimento passa dallo stato liquido a quello solido. Talvolta i cibi freschi conservati tramite congelamento perdono, una volta scongelati, la qualità del prodotto originario in termini di consistenza. Questo accade soprattutto con la frutta soffice, ad esempio le fragole. Il problema sorge nel momento in cui i cristalli di ghiaccio, formati all'interno dell'alimento durante le prime fasi del congelamento, aumentano di dimensione al punto di rompere le pareti cellulari dell'alimento stesso, portando alla parziale distruzione della sua struttura. Al fine di conservare la qualità del prodotto è, dunque, necessario possedere il completo controllo sulla cristallizzazione dell'acqua. Nelle tecniche di cristallizzazione convenzionali, può accadere che, per leggere variazioni di pressione e di temperatura, la nucleazione si verifichi in modo non uniforme, con un tasso di crescita dei cristalli differente da sito a sito e con una distribuzione non omogenea delle loro dimensioni. Gli ultrasuoni, invece, oltre ad accelerare il processo di congelamento dei prodotti alimentari, permettono di controllare l'accrescimento dei cristalli [15], i quali risultano uniformi, con dimensioni predefinite e più omogeneamente distribuiti [16].

È stato osservato, inoltre, che gli ultrasuoni ad alta intensità contribuiscono alla disattivazione microbica e all'inibizione dell'attività enzimatica. L'eliminazione dell'attività microbica sembrerebbe associata alla cavitazione e ai fenomeni ad essa correlati, che contribuiscono al danneggiamento delle pareti cellulari degli agenti patogeni, causandone la morte. A differenza di altri trattamenti non termici, le cellule microbiche danneggiate dagli ultrasuoni anche in modo non letale non sono più in grado di rigenerarsi, nonostante la presenza di condizioni ambientali adeguate. Gli effetti degli ultrasuoni sulla conservazione dei cibi sono stati valutati sia in quanto applicati singolarmente, sia quando associati a metodi più convenzionali. È stato osservato che i fattori critici del trattamento sono rappresentati dal volume del materiale da trattare, dall'ampiezza delle onde ultrasonore utilizzate, dal tempo di esposizione/contatto con i microrganismi e dal loro tipo, dalla composizione del cibo e dalla temperatura del trattamento. Dagli studi compiuti è emerso che, affinché il trattamento ultrasonoro sia efficace, è necessario che il cibo sia esposto ad onde acustiche di elevata intensità per un periodo di tempo piuttosto lungo, con la conseguente compromissione della qualità dei cibi. Al fine di mantenere la qualità degli alimenti e garantirne contemporaneamente la sicurezza, la soluzione ideale sembrerebbe, quindi, essere data dalla combinazione degli ultrasuoni con i trattamenti convenzionali. Quando associati ad un trattamento termico (termosonicazione), oppure ad un innalzamento della pressione idrostatica (manosonicazione) o ad entrambi (manotermosonicazione), gli ultrasuoni accelerano il tasso di sterilizzazione del cibo, consentendo la riduzione della durata del trattamento e delle temperature di lavoro e, di conseguenza, di ottenere un prodotto finale migliore in termini di colore, consistenza, valori nutrizionali, sapore e odore [17], pur garantendo la medesima sicurezza dei trattamenti tradizionali [18].

Dal punto di vista sperimentale, la maggior parte dei trattamenti ultrasonori ad elevata intensità sono realizzati per mezzo di sistemi a sonda oppure utilizzando bagni ultrasonori. I primi differiscono dai bagni ultrasonori per i più elevati valori d'intensità di campo acustico a livello sia della sorgente, sia del mezzo da processare. Essi sono utilizzati per trattamenti come la rottura delle cellule, l'estrazione e la disattivazione degli enzimi che richiedono valori di energia acustica elevati. I bagni ultrasonori, invece, a causa del maggiore volume di materiale trattato e la maggiore superficie di emissione ultrasonora, sono solitamente utilizzati nei processi di cristallizzazione e congelamento dei prodotti alimentari dove è richiesta un'intensità acustica inferiore. Poiché è stato osservato che tale strumentazione, in particolare i sistemi a sonda, rilasciano all'interno degli alimenti trattati particolato e ioni metallici provenienti dal sonotrodo, recentemente è stata proposta una nuova possibile strumentazione al fine di risolvere i problemi associati con quella tradizionale [19].

## **Bibliografia**

- [1] Abbott J.A., *Quality measurement of fruits and vegetables*, Postharvest Biology and Technology, 15 (1999), pp. 207-225.
- [2] Shewfelt R.L., Bruckner B., *Fruit and vegetables quality: an integrated view*, Technomic Publication, Lancaster, PA, 2000.
- [3] Povey M.J.W., Mason T.J., *Ultrasound in food processing*, Thomson Science, London, 1998.
- [4] Mulet A., Benedito J., Golas Y., Carcel J.A., *Noninvasive ultrasonic measurements in the food industry*, Food Reviews International, 18 (2002), pp.123-133.
- [5] Mizrach A., Galili N., Rosenhouse G., *Determination of fruit and vegetable properties by ultrasonic excitation*, Trans. Am. Soc. Agricultural engineering, 32 (1989), pp. 2053-2058.
- [6] McClements D.J., Povey M.J.W., Jury M., Betsanis E., *Ultrasonic characterization of a food emulsion*, Ultrasonics, 28 (1990), pp. 266-272.
- [7] McClements D.J., *Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing*, Trends Food Sci. Techn., 6 (1995), pp. 293-299.
- [8] Contreras N.I., Fairley P., McClements D.J., Povey M.J.W., *Analysis of the sugar content of fruit juices and drinks using ultrasonic velocity measurements*, Int. J. Food Sci. Tech., 27 (1992), pp. 515-529.
- [9] Hauptmann P., Hoppe N., Puttmer A., *Application of ultrasonic sensors in the process*

*industry*, Meas. Sci. Technol., 13 (2002), pp. R73-R83.

[10] Coupland J.N., McClements D.J., *Droplet size determination in food emulsions: comparison of ultrasonic and light scattering methods*, J. Food Eng. , 50 (2001), pp. 117-120.

[11] Mizrach A., *Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes*, Postharvest Biol. Tech., 48 (2008), pp. 315-330.

[12] Gaete-Garreton L., Vargas-Hernandez Y., Leon-Vidal C., Pettorino-Besnier A., *A novel noninvasive ultrasonic method to assess avocado ripening*, J. Food Science, 70 (2005), pp. E187-E191.

[13] Chen D., Sharma S.K., Mudhoo A., *Handbook on application of ultrasound: sonochemistry for sustainability*, CRC Press, 2012.

[14] Mizrach A., Flitsanov U., Fuchs Y., *An ultrasonic non-destructive method for measuring maturity of mango fruit*, Trans. Am. Soc. Agricultural Engineering, 40 (1997), 1107-1111.

[15] Luque de Castro M.D., Priego-Capote F., *Ultrasound-assisted crystallization - sonocrystallization*, Ultrason. Sonochem., 14 (2007), pp.717-724.

[16] Acton, E., Morris, G.J., *Method and apparatus for the control of solidification in liquids*, W.O. 99/20420, USA Patent application, USA, 1992.

[17] Butz P., Tauscher B., *Emerging technologies: chemical aspects*, *Food Research International*, 35 (2002), pp. 279-284.

[18] Zencher M., Heinz V., Knorr D., *Combined application of ultrasound and temperature for energy-saving and mild preservation of liquid food*, in Conf. Proc. Third European Congress of Chemical Engineering, Nuremberg, Germany, June 26-28, 2001.

[19] Feng H., Barbosa-Canovas G.V., Weiss J., eds., *Ultrasound technologies for food and bioprocessing*, Springer, New York, 2011.