

LA CFD COME STRUMENTO DI ANALISI E OTTIMIZZAZIONE DELLA CONSERVAZIONE DELLE BEVANDE CARBONATE

Gianpaolo Ruocco

Professore associato di Fisica tecnica,
Università degli Studi della Basilicata

Per i comuni consumatori come siamo tutti, e di conseguenza per l'ingegneria alimentare che cerca di soddisfare i nostri bisogni in questo campo, è spesso importante la conoscenza del mantenimento delle caratteristiche di un prodotto alimentare (shelf-life). Il prolungamento della shelf-life riveste una considerevole importanza economica nel settore agroalimentare: esso dipende dalla natura biochimica/biofisica del prodotto, dalle tecnologie di condizionamento e confezionamento, e dalle sue condizioni di trasporto e stoccaggio. In questo contesto, ciò che interessa all'ingegneria alimentare è il complesso sistema alimento/materiale di confezionamento/ambiente, con tutte le variabili associate a ciascuno dei tre elementi.

Questo articolo presenta uno sviluppo di analisi ingegneristica esperita in un caso di investigazione sulla *shelf-life* di bevande effervescenti o carbonate. In particolare, la perdita d'anidride carbonica contenuta nell'acqua minerale naturale durante lo stoccaggio, provoca un peggioramento del gusto visto che nel tempo le sue caratteristiche organolettiche-sensoriali decadono; generalmente, una perdita di solo il 15% di CO₂ è sufficiente per far sì che il consumatore, che abitualmente consuma il determinato prodotto, percepisca una minore frizzantezza e quindi tenda a qualificarlo come ormai scaduto. Questo fenomeno può avere un forte impatto economico per il produttore, in quanto influenza le scelte di acquisto del consumatore e quindi determina il successo commerciale o meno del prodotto.

La scelta del materiale di confezionamento è di fondamentale importanza. In particolare l'utilizzo del PET (PoliEtilene Tereftalato) nel settore del "food and beverage packaging" favorisce in uno sia la processabilità (che determina la facilità di produrre nuovi accattivanti o funzionali design) sia la scelta da parte del consumatore, che valuta positivamente la relativa trasparenza del materiale. Le caratteristiche di barriera ai gas e agli eventuali aromi contenuti sono abbastanza buone, anche se inferiori ad altre soluzioni come il vetro, i metalli o le ceramiche.

La combinazione prodotto/confezione/ambiente è dunque un sistema dinamico soggetto a continue modifiche che influenzano la qualità del prodotto, dalla fabbricazione o condizionamento industriale fino al consumatore. Al fine di ottimizzare il comportamento del sistema e prolungare al massimo la *shelf-life*, è necessario conoscere come le caratteristiche di trasferimento di massa (o permeazione) del materiale di confezionamento determinano il passaggio di molecole attraverso il materiale stesso.

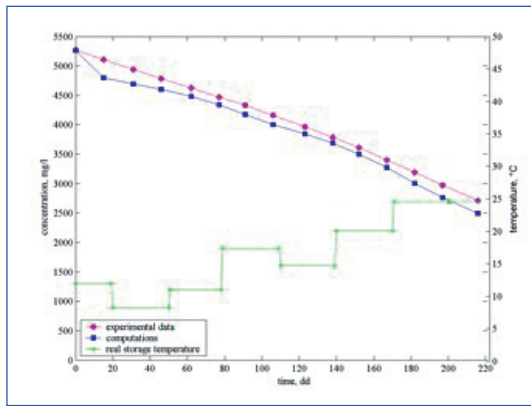
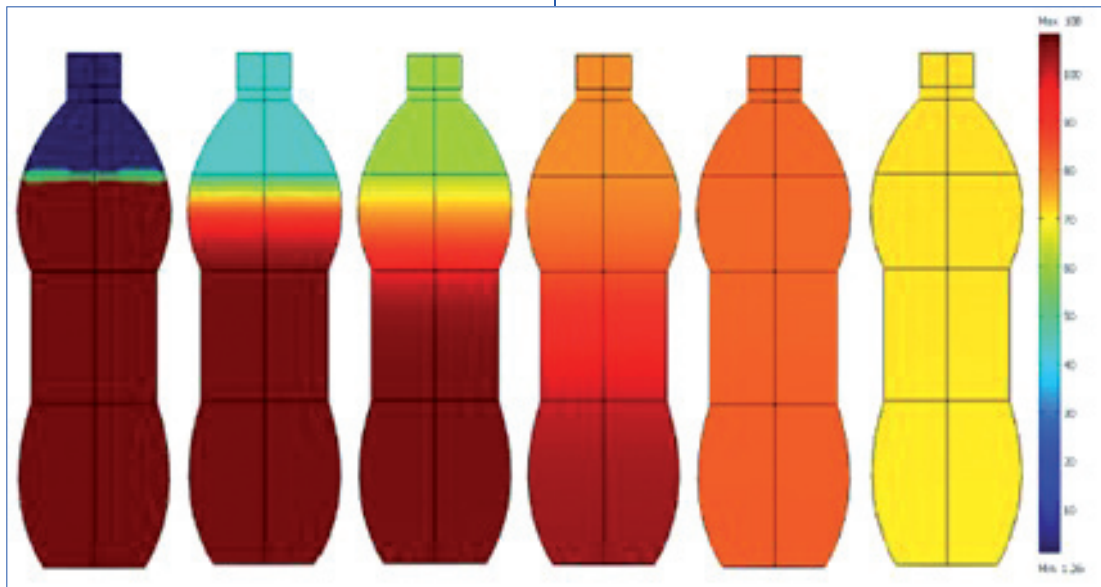


Fig. 1 - Confronto tra dati sperimentali e numerici alla reale temperatura di stoccaggio (in un dato sito geografico)

2. condizioni di stoccaggio (tra cui la temperatura ambientale e la durata);
3. fattori tecnologici e caratteristiche della confezione (tra cui la pressione del soffiaggio del PET, della grammatura o spessore, della pressione di riempimento, del volume totale, del livello di riempimento, della forma ed infine del tipo di prodotto ospitato).

Attraverso la modellazione computazionale è possibile prevedere, ad una frazione del costo tradizionale, l'andamento di molti di questi eventi e quindi proporre nuove configurazioni, eventuali variazioni nella geometria, velocità del flusso di massa, temperatura, pressione, flusso termico ecc. al fine di migliorare i processi produttivi o di conservazione. Infatti le tradizionali misure sperimentali, che pure for-

Fig. 2 - Distribuzione locale della concentrazione di CO₂ con range da 1.26 a 108 mol/m³, per la condizione di stoccaggio a 10 °C e grammatura 14,5 g, al variare del tempo: da sinistra a destra, a t=0 (riempimento iniziale), e rispettivamente ai gg 1, 15, 30, 90 e 210.



La permeazione o diffusione di massa consiste nel passaggio di molecole gassose attraverso le discontinuità, di dimensioni nanometriche, nella struttura del materiale. La permeabilità è la proprietà che si riferisce al flusso diffusivo degli aeriformi attraverso queste discontinuità; il passaggio di una specie gassosa attraverso la struttura avviene sotto la differenza di concentrazione, di pressione totale o di temperatura tra le due facce del materiale barriera. La permeazione può essere associata alla trasmissione di calore per conduzione, convezione o irraggiamento, e alle sollecitazioni meccaniche. L'insieme dei fattori che determina la perdita di CO₂ contenuta nell'acqua minerale, quindi la diminuzione dell'effetto barriera del PET e in definitiva la perdita di valore commerciale del prodotto è suddivisibile in 3 categorie:

1. proprietà del PET (tra cui la densità e il grado di cristallinità);

niscono informazioni più attendibili di questi fenomeni, sono lunghe ed onerose. Nel caso in parola, ad esempio, lo studio della perdita di CO₂ in una bottiglia in PET richiede lunghi tempi di monitoraggio (normalmente diversi mesi) e l'impiego di apposito personale per la gestione delle specifiche attrezzature di misura.

Per questo progetto è stato messo a punto e validato sperimentalmente un modello in grado di predire la *shelf-life*, in termini perdita di CO₂, di acqua minerale naturale confezionata in bottiglie in PET.

L'equazione che governa il fenomeno, in regime transitorio (Legge di Fick), è la seguente:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \nabla(D\nabla c)$$

in cui c è la concentrazione della CO₂, D è la diffusività della specie chimica nel materiale, e t è il tempo.

Il modello messo a punto in questo studio è stato validato avvalendosi di dati sperimentali, come mostrato in Fig. 1, per una certa bottiglia di acqua minerale stoccata alla temperatura di magazzino variabile nel corso della stagione. Dalla simulazione di bottiglie aventi diversa grammatura e capacità, si è evinta l'importanza del controllo della temperatura di stoccaggio.

In Fig. 2 viene mostrata l'evoluzione locale della concentrazione della CO_2 a 5 tempi di stoccaggio a $10^\circ C$ per la bottiglia con grammatura 14,5 g, evoluzione riscontrata per tutte le condizioni operative analizzate.

È evidente che l'equilibrio di concentrazione tra lo spazio di testa e l'acqua è raggiunto velocemente già dai primi giorni di stoccag-

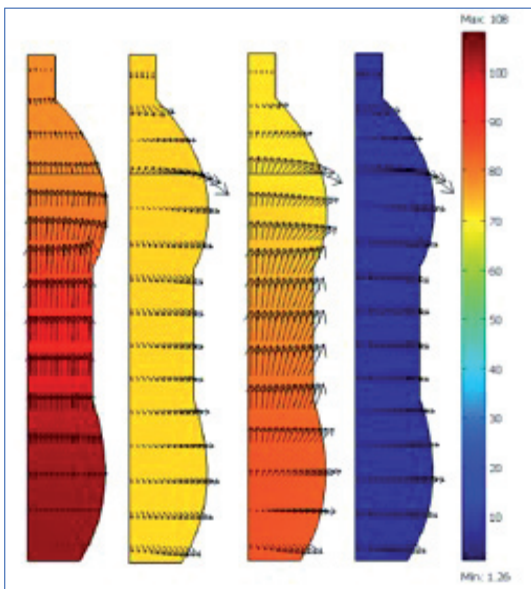


Fig. 3 - Distribuzione locale della concentrazione di CO_2 , dopo 15 e 210 gg di stoccaggio, a $10^\circ C$ (le due mappe a sn) e $40^\circ C$ (le due mappe a dx), con indicazione dell'intensità e direzione del flusso diffusivo.

gio. Il gradiente di concentrazione scompare completamente dopo 3 mesi. Alla fine del periodo di stoccaggio si osserva una perdita del 35 % della carbonatazione iniziale.

Nella Fig. 3, invece, viene visualizzato l'effetto della temperatura sulla concentrazione locale di CO_2 per lo stoccaggio a $10^\circ C$ e a $40^\circ C$. Sin dall'inizio del processo (15 gg) si osserva una maggiore diffusione del gas per la temperatura più alta (terza mappa da sinistra). Inoltre anche i vettori del flusso risultano essere differenti per le due temperature, sia per intensità sia per direzione: ciò è fortemente dipendente dal maggiore valore di D a $40^\circ C$, che genera una distribuzione non uniforme

lungo le pareti della bottiglia. Infine, tale perdita è maggiore al tempo finale (210 gg) per la temperatura di stoccaggio più calda (ultima mappa a destra) rispetto all'altra (seconda mappa da sinistra).

Si evince pertanto che lo stoccaggio del prodotto deve avvenire a bassi valori di temperatura: un aumento di $30^\circ C$ provoca una riduzione del contenuto di CO_2 nell'acqua pari all'85%.

Inoltre il soffiaggio va eseguito in modo da ottenere uno spessore della bottiglia più uniforme possibile: a parità delle altre condizioni di stoccaggio e confezionamento, un soffiaggio uniforme è capace di ridurre le perdite di anidride carbonica anche del 50%.

Con questo modello è possibile condurre una serie di scenari "what if", per valutare l'effetto di parametri come la concentrazione iniziale del gas, il livello di riempimento e la modalità di soffiaggio della bottiglia per un dato design, che determina lo spessore che è variabile da punto a punto della sua superficie esterna. L'adozione del modello messo a punto in questo lavoro consentirebbe la riduzione dei tempi per conoscere e valutare la performance di nuovi design di package, tipo di tappatura, materiale utilizzato (ad es. PET riciclato).

Il modello potrebbe anche includere l'effetto dell'inerzia termica del prodotto e del moto convettivo interno che favorisce l'uniformità della distribuzione della concentrazione di CO_2 , ed effetti cinetici in grado di predire la formazione di molecole dannose, come l'acetaldeide, che si formano in seguito a una prolungata esposizione al sole.

Gianpaolo Ruocco, professore associato di Fisica Tecnica presso la Scuola d'Ingegneria, Università della Basilicata. Negli ultimi due anni, con il supporto di AREA Science Park (Trieste), ha fondato CFDINNOVA, un gruppo di lavoro attivo nel campo del trasferimento tecnologico alle aziende agroalimentari che necessitano di supporto nella modellazione e prototipazione dei processi industriali.
www.cfdfood.org.

