



Unione Europea



*Ministero dell'Istruzione,
dell'Università e della Ricerca*



UNIVERSITÀ DEGLI
STUDI DI SALERNO

FONDO SOCIALE EUROPEO
Programma Operativo Nazionale 2000/2006
“Ricerca Scientifica, Sviluppo Tecnologico, Alta Formazione”
Regioni dell’Obiettivo 1 – Misura III.4
“Formazione superiore ed universitaria”

Department of Industrial Engineering

*Ph.D. Course in Chemical Engineering
(XVI Cycle-New Series, XXX Cycle)*

**MODELING SALAMI DRYING
WITH DIFFERENT APPROACHES
AND VALIDATION
DURING INDUSTRIAL RIPENING**

Supervisor

Prof. Michele Miccio

Ph.D. student

Giovanni Cascone

Ph.D. Course Coordinator

Prof. Ernesto Reverchon

Abstract

Al giorno d'oggi, la stagionatura tradizionale dei salami è stata sostituita da produzione di lotti in camere industriali ventilate. Quindi, la stessa qualità del prodotto può essere ottenuta indipendentemente dalle condizioni climatiche e ambientali locali. Tuttavia, sono necessarie condizioni di processo attentamente valutate e monitorate per raggiungere la perdita di peso e il grado di qualità desiderati. Pertanto è gradita la disponibilità di modelli matematici e codici software affidabili e gestibili per l'ottimizzazione della stagionatura e della produzione di salsicce.

Questa tesi concerne lo sviluppo e il progressivo miglioramento di un modello matematico (e del relativo codice software di risoluzione) della stagionatura di salsicce nelle condizioni di stagionatura industriale. Il modello matematico di partenza aveva le seguenti caratteristiche: 1D, geometria cilindrica assial-simmetrica, tempo-invariante; materiale omogeneo e isotropo; nessuna distinzione tra la parte interna (cuore) e l'involucro; concentrazione di acqua come parametro distribuito; la velocità interna di trasferimento dell'acqua come diffusione di tipo Fickiano, dipendente dalla concentrazione e con l'assunzione di un coefficiente di diffusione efficace in base al contenuto di acqua locale. A partire da questo, sono stati perseguiti miglioramenti diversi e più realistici della rappresentazione geometrica della salsiccia: geometria cilindrica assial-simmetrica 2D, geometria assial-simmetrica 2D irregolare, geometria 3D irregolare, geometria cilindrica assial-simmetrica 2D con contrazione di volume. Dal confronto delle varie previsioni del modello con i dati sperimentali originati da test esterni di stagionatura su scala industriale, è stato possibile dedurre che una geometria irregolare più realistica è influente sul carico computazionale e irrilevante per la previsione della perdita di peso della salsiccia (cioè la variabile di processo più rilevante). Per questo motivo, è possibile utilizzare una semplice forma cilindrica per implementare un modello di simulazione a volume variabile più realistico. Un'altra valutazione che è stata fatta con questo studio è stata che la stagionatura può essere considerata isoterma perché i transitori di temperatura, ad esempio, all'avvio o dopo un cambiamento del set point di temperatura, hanno un tempo caratteristico trascurabile rispetto a quello caratteristico del trasferimento di materia. Uno sviluppo naturale, ma necessario del lavoro, è stato un modello matematico di essiccazione della salsiccia fermentata che si basa su una descrizione innovativa della salsiccia come un materiale eterogeneo, cioè fatto separatamente di grasso e carne magra come mezzo poroso. Il grasso è considerato come una sostanza inerte dispersa nella matrice di carne, mentre la carne magra è considerata un mezzo

poroso in cui si svolgono i fenomeni di trasporto dell'acqua verso l'esterno della matrice durante il processo di stagionatura. La porosimetria e l'analisi delle immagini sono state applicate alla matrice carnea per dimostrare la bontà dell'approccio dei mezzi porosi. Tuttavia, l'implementazione diretta di tale approccio in un codice di calcolo è stata ostacolata dalla mancanza di correlazioni per la diffusione dell'acqua nella matrice carnea. Per questo motivo, è stata pensata una configurazione sperimentale che consentisse una valutazione della dipendenza della diffusività dal contenuto di acqua locale nella matrice carnea durante il processo di essiccazione. L'apparato sperimentale consente il monitoraggio in tempo reale del peso del campione e dei profili di concentrazione dell'acqua nel materiale in esame. Durante l'intero esperimento, il campione viene mantenuto in un'atmosfera controllata a umidità costante. Accoppiando la simulazione del modello con l'approccio dei mezzi porosi e i dati sperimentali provenienti da tale apparato, è possibile simulare il processo di essiccazione di un particolare materiale per il quale le caratteristiche di diffusione dell'acqua interna non sono disponibili in letteratura o non sono realistiche. In particolare, in letteratura sono state trovate due correlazioni per la diffusione dell'acqua nella matrice carnea porosa, ma mancava la loro applicazione o convalida nel caso di alimenti carnei. Quindi, è stato possibile determinare parametri ottimali per tali correlazioni, specificatamente per la carne magra sotto indagine. Pertanto, con una correlazione più affidabile per la diffusione dell'acqua e il codice di calcolo basato sull'approccio dei mezzi porosi, la predizione dei meccanismi di essiccazione è risultata più realistica e ha fornito un valore aggiunto alla conoscenza dei processi di essiccazione del salame.