

# Applicazione della fluidizzazione ai processi dell'industria alimentare

G. Donsì, G. Ferrari

## 1. INTRODUZIONE

La fluidizzazione è un'operazione dell'industria chimica volta a mettere in contatto correnti fluide, liquide o gassose, con solidi granulari, allo scopo di realizzare processi chimici o fisici in fase eterogenea. Le velocità con cui il fluido è alimentato attraverso il letto di particelle solide sono tali da consentire il sostentamento del solido stesso che, in tali condizioni, assume quasi il comportamento di un fluido, risultando intensamente miscelato per il verificarsi di moti di tipo convettivo al suo interno [1].

Il movimento del solido, la miscelazione e l'intimo contatto fra solido e fluido sono gli elementi caratterizzanti i sistemi fluidizzati rispetto a quelli a letto fisso, in cui il fluido semplicemente percola, attraverso gli interstizi, fra le particelle solide ferme.

In figura 1 è mostrato uno schema tipico di un reattore a letto fluido per il trattamento in continuo di solidi in un generico processo. Nella stessa è poi evidenziato il sistema di carico e scarico del solido, operazioni che risultano estremamente facilitate in tale tipo di impianti, grazie allo stato di sostentamento del solido, che può essere movimentato per gravità come un fluido ed alimentato facilmente ad un trasportatore pneumatico [2]. Tra i numerosi vantaggi della tecnica di contatto a letto fluido, si possono certamente enumerare i seguenti:

- l'aumento della superficie di scambio efficace solido-fluido rispetto ad un sistema di contatto a letto fisso;
- gli elevati valori dei coefficienti di scambio termico e di materia tra solido e fluido e tra il letto nel suo complesso e le eventuali superfici di scambio immerse;
- la possibilità di smaltimento di notevoli quantità di calore per unità di volume;
- la notevole uniformità di temperatura, legata al miscelamento del solido. Ciò consente di evitare la formazione di "punti caldi" all'interno dell'apparecchiatura.

L'andamento tipico del coefficiente di scambio termico

---

Tra le innumerevoli caratteristiche che le tecniche di fluidizzazione possono avere, è necessario citare anche la loro applicabilità ai processi dell'industria alimentare. Questo particolare settore industriale, infatti, può attingere in modo notevole dalle tecnologie dell'impiantistica. È quanto emerge da questo studio dove gli autori, con un esempio concreto, confermano la riconducibilità dei processi dell'industria alimentare alle tecniche della fluidizzazione

---

letto-superfici immerse al variare della velocità del fluido è mostrato in figura 2, ed evidenzia come la transizione dallo stato di letto fisso a quello di letto fluido comporti un innalzamento notevole (fino a due ordini di grandezza) e rapido del coefficiente stesso. La stessa figura mostra come al crescere della velocità si ritrovi un massimo del coefficiente stesso, in funzione dei processi di miscelamento del solido e del fluido.

A fronte dei vantaggi citati, questo sistema di contatto presenta una certa complessità tecnologica e, quindi, ha trovato applicazione in settori industriali maturi. Non a caso, se ne riscontrano esempi numerosi nell'industria chimica e petrolchimica, tra cui il cracking catalitico, la gasificazione del carbone, l'arrostimento di piriti, la sintesi dell'acrilonitrile. Tali operazioni sono tutte caratterizzate da notevoli effetti termici e, quindi, dalla necessità di scambiare con l'esterno grosse quantità di calore, ovvero dalla necessità di movimentare portate rilevanti di catalizzatore da rigenerare.

## 2. PROBLEMATICHE DELL'INDUSTRIA ALIMENTARE NEL TRATTAMENTO DI SOLIDI

L'industria alimentare, pur avendo numerosi punti in comune con l'industria chimica, ha tradizionalmente sviluppato i suoi processi prescindendo in molti casi dalle acquisizioni dell'ingegneria chimica. Solo recentemente nell'industria alimentare si è acquisita una maggiore sensibilità all'innovazione tecnologica ed alla razionalizzazione dei processi. Ciò spinge a proporre tecniche alternative per il trattamento di alimenti che garantiscano il miglioramento degli standard qualitativi del prodotto nonché, possibilmente, la realizzazione di economie di gestione.

Per quel che riguarda il trattamento di prodotti solidi, l'industria alimentare presenta alcune problematiche specifiche che non sempre sono pienamente soddisfatte dai processi attualmente in uso. Tra queste possiamo citare:

- le caratteristiche particolari di forma e dimensione di taluni prodotti;

dott. ing. **Giorgio Donsì**

dott. ing. **Giovanna Ferrari**

Istituto di Ingegneria Chimico-Alimentare  
Università di Salerno

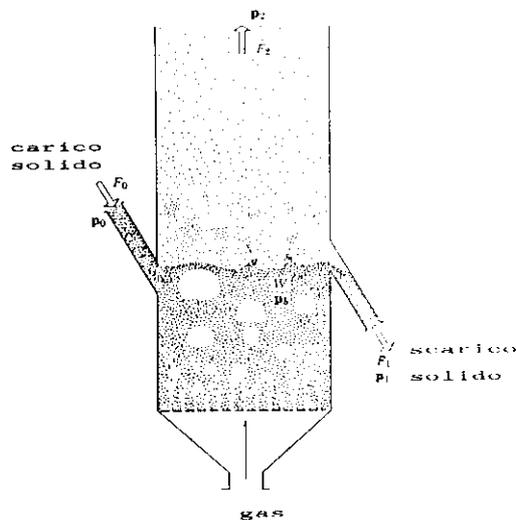
— la spiccata termolabilità di molti prodotti che richiede, nei trattamenti termici, un accurato controllo della temperatura di processo;

— la degradabilità, a causa di trattamenti termici, di proprietà fisiche ed organolettiche importanti per l'accettabilità degli alimenti, per cui si impone spesso la necessità di assicurare elevate velocità di raffreddamento o riscaldamento.

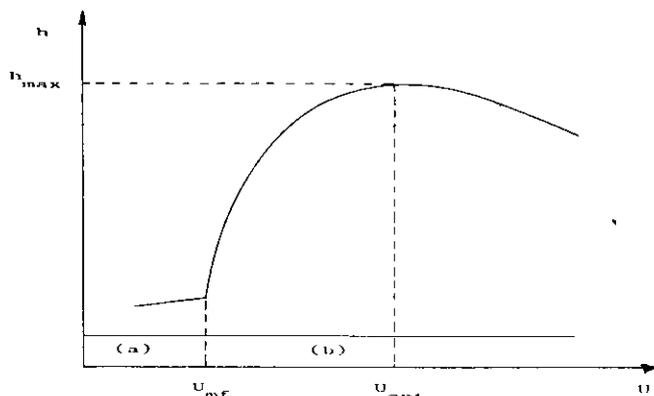
La tecnica della fluidizzazione può rispondere a talune di queste esigenze, costituendo una valida alternativa a molti processi esistenti sia per sistemi reagenti, sia non reagenti [3].

### 3. APPLICAZIONI A SISTEMI REAGENTI

Tra i processi dell'industria alimentare, che coinvolgono



**Figura 1**  
Schema di un reattore a letto fluido per il trattamento in continuo di solidi



**Figura 2**  
Andamento del coefficiente di scambio termico al variare della velocità del gas. a) Letto fisso. b) Letto fluido

no trasformazioni chimiche in fase eterogenea, si possono annoverare quasi tutti i processi di fermentazione, sia per la produzione di alcol, sia di lieviti, derivati del latte ecc.

In linea generale, essi possono assimilarsi ad una reazione chimica, sia pure indotta da microorganismi, tra un substrato solido o liquido ed un nutriente solido, liquido o gassoso e coinvolgono reagenti o prodotti gassosi, per lo più ossigeno o anidride carbonica.

La difficoltà della realizzazione industriale del processo sta, da una parte, nell'assicurare un buon contatto tra le fasi presenti e, dall'altra, nel predisporre un ambiente di reazione a temperatura uniforme, nonostante gli effetti termici della fermentazione. Infatti, stante la forte dipendenza dalla temperatura dell'attività dei microorganismi, nonché la termolabilità degli stessi, eventuali zone di temperatura superiore od inferiore a quella ottimale riducono enormemente l'efficienza del fermentatore.

In questi casi, se si è in presenza di un substrato solido, l'operazione a letto fluido risolve entrambi i problemi. Talvolta è possibile operare in fluidizzazione gassosa, altre volte in fluidizzazione liquida, a seconda del prevalere di reagenti gassosi o liquidi.

Quando è necessario assicurare la contemporanea presenza massiccia di tre fasi, esiste la possibilità di ricorrere a reattori a letto fluido a tre fasi, il cui schema è illustrato in figura 3. Il gas permea, attraverso una sospensione liquido-solido, in forma di bollicine, e sono mantenute le prerogative di un letto fluido convenzionale ed, in particolare, la perfetta miscelazione.

### 4. APPLICAZIONI A SISTEMI DI TRATTAMENTO FISICO

La stragrande maggioranza dei processi dell'industria alimentare coinvolge operazioni di tipo essenzialmente fisico, in cui il letto fluido costituisce l'apparecchiatura di contatto. Si possono citare, ad esempio, i processi di congelamento, di sterilizzazione, di estrazione e di disidratazione, processi per cui è di notevole interesse l'applicazione della tecnologia del letto fluido.

Il problema principale, nel caso del congelamento, è quello di operare con tempi di trattamento molto brevi, tali da assicurare che i liquidi acquosi presenti cristallizzino dando luogo a formazioni di dimensioni quanto più possibile ridotte. Infatti, un aumento delle dimensioni dei cristalli di ghiaccio provocherebbe la degenerazione delle proprietà fisiche, organolettiche e nutritive dell'alimento.

L'impiego di una apparecchiatura di contatto a letto fluido consente di usufruire di coefficienti di scambio termico tra il prodotto da congelare ed il gas refrigerante fino a cento volte maggiori di quelli ottenuti in sistemi diversi quali, ad esempio, congelatori a tunnel a circolazione di aria [4]. La superficie di scambio, inoltre, coincide con quella complessiva del prodotto trattato, mentre nel congelatore a tunnel è limitata a quella parte dello strato solido presente sul nastro direttamente esposta alla corrente di refrigerante.

La conseguenza primaria è, a parità di ogni altra condizione, il miglioramento della qualità dell'alimento tratta-

to. Quando invece i requisiti di qualità sono già soddisfatti, è possibile operare con temperature di refrigerazione meno spinte, ovvero considerare la possibilità di congelare efficacemente prodotti di pezzatura maggiore.

Nelle operazioni di sterilizzazione è necessario sia garantire una permanenza di breve durata dei prodotti alle elevate temperature di processo, sia limitare al massimo la formazione di gradienti termici all'interno del prodotto per prevenire possibili degradi locali o totali dello stesso, legati alla formazione di croste o ad inizi di cottura.

Anche in questo caso si tratta di un processo esclusivamente termico. Pertanto la scelta di una apparecchiatura a letto fluido dà modo di avvalersi di coefficienti di scambio termico solido-gas molto più elevati di quelli riscontrati negli impianti convenzionali, in cui il meccanismo di trasporto termico è di tipo convettivo, naturale o forzato. La realizzazione di flussi termici particolarmente alti riduce sia i tempi di riscaldamento, sia i gradienti di temperatura interni al prodotto, con la conseguente possibilità di controllare meglio la qualità del prodotto, nonché di operare su dimensioni di solido maggiori; questo anche nella prospettiva di adattare il processo al trattamento di alimenti già confezionati in contenitori.

Altro processo di interesse è l'essiccamento. In tal caso il gas fluidizzante fornisce il supporto termico e, nello stesso tempo, funge da vettore per l'umidità che si allontana dagli alimenti. In tal caso risultano essere esaltate le caratteristiche del letto fluido riguardo agli elevati flussi termici e di materia che possono essere scambiati nel sistema [5].

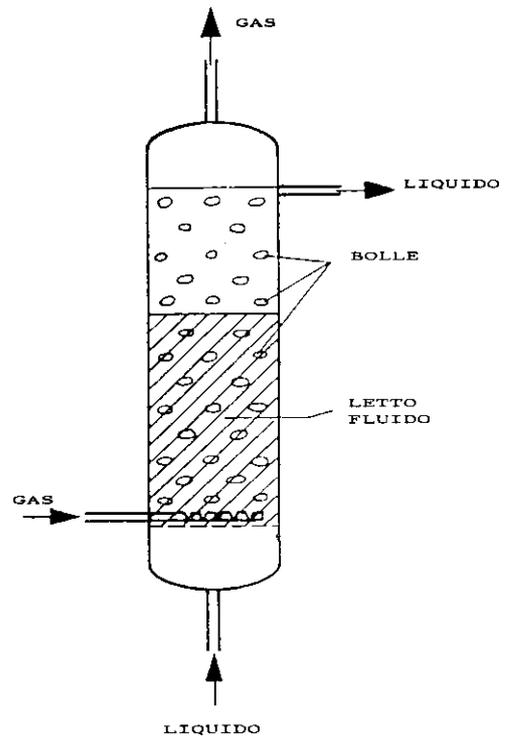
Rispetto ad essiccatori tradizionali, è possibile quindi diminuire i tempi di contatto ed i volumi delle apparecchiature di processo, nonché migliorare l'uniformità di trattamento. Grazie al continuo movimento del solido, si ottiene anche una drastica riduzione dei fenomeni di agglomerazione e coesione tra le particelle solide, che invece si presenta frequentemente negli essiccatori a letto fisso.

## 5. OSSERVAZIONI CONCLUSIVE

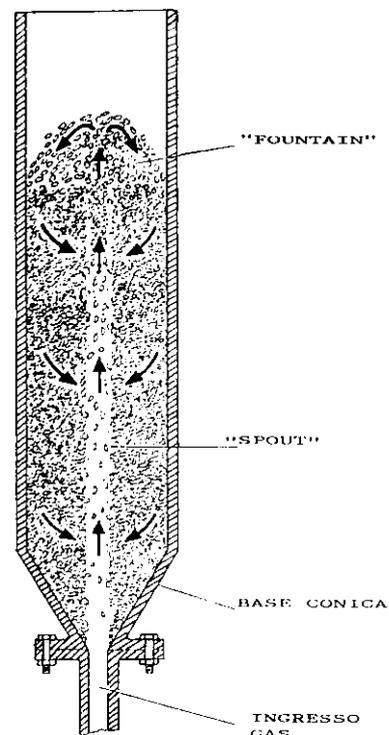
Date le menzionate caratteristiche di forma e dimensione dei solidi alimentari e le altre specificità dei processi citati, rispetto a quelli dell'industria chimica, si rende necessario prevedere delle modifiche costruttive e funzionali agli impianti di fluidizzazione tradizionali all'atto dell'inserimento nel ciclo produttivo di una industria alimentare.

Ad esempio, le elevate portate di gas necessarie per la fluidizzazione di sistemi particellari di grosse dimensioni porterebbero ad un aumento dei costi di processo e potrebbero provocare l'abrasione dei solidi trattati e la perdita delle caratteristiche morfologiche degli stessi.

Nella figura 4 è mostrato un primo sistema di letto fluido modificato, lo "spouted bed". Il gas fluidizzante entra nel sistema attraverso un ugello che favorisce la formazione di un getto ad elevata velocità. Grazie anche al disegno geometrico dell'apparecchiatura, si determina la circolazione del solido nell'impianto ad una portata



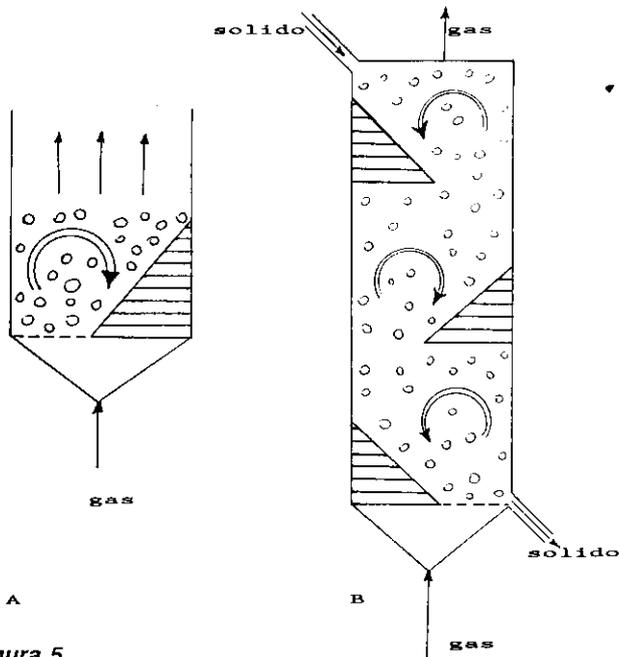
**Figura 3**  
**Schema di un reattore a letto fluido a tre fasi**



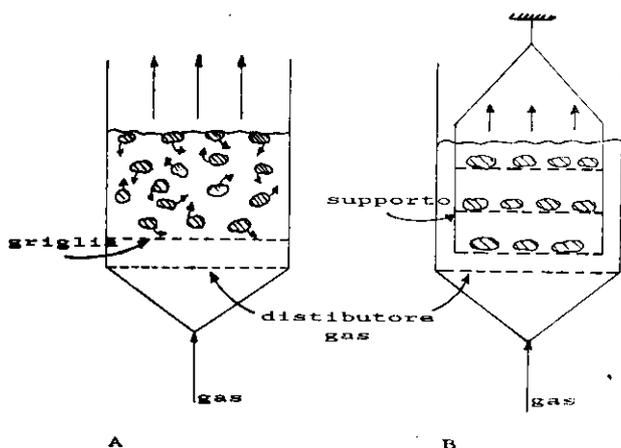
**Figura 4**  
**Schema di uno "spouted bed". Le frecce evidenziano la circolazione del solido nell'impianto**

di gas complessiva inferiore a quella necessaria per la fluidizzazione vera e propria. In tale sistema però si riscontra una non perfetta uniformità del contatto solido-gas e non viene risolto il problema dell'abrasione dei solidi.

Altro sistema è il "whirling bed" mostrato in figura 5 in cui la forma del distributore e le modifiche apportate



**Figura 5**  
Fluidizzazione indiretta: Schema di una cella di flottazione. A) Solidi sospesi. B) Solidi supportati



**Figura 6**  
Fluidizzazione diretta: Schema di un "whirling bed". A) "Whirling bed" a singolo stadio. B) Schema multicella

alle pareti dell'impianto consentono di agevolare la circolazione del solido con portate di gas relativamente basse. In questo caso l'assenza del getto riduce il pericolo di abrasione.

Un altro sistema di contatto di notevole interesse per le applicazioni citate è costituito dal cosiddetto letto flottante mostrato in figura 6. In questo caso il letto fluidizzato è costituito da un solido fine inerte in cui il prodotto da trattare risulta essere sospeso.

In tal modo la velocità di fluidizzazione del sistema è quella del solido fine, la cui presenza assicura inoltre un aumento dei coefficienti di scambio di materia e calore [6].

Questo ultimo schema appare molto promettente anche riguardo alla possibilità di ottenere la sterilizzazione od il congelamento di prodotti direttamente in contenitori. Infatti, mentre sarebbe difficile la sospensione diretta di contenitori, l'immersione e la flottazione degli stessi in un letto inerte non presenta problemi particolari.

In conclusione, si può affermare che le tecniche di fluidizzazione possono certamente trovare applicazione nei processi dell'industria alimentare attraverso una evoluzione di disegno ed una particolarizzazione delle condizioni operative che tenga conto degli specifici vincoli del sistema.

Ulteriori interessanti sviluppi possono prevedersi riguardo alla possibilità di messa a punto di relazioni previsionali che consentano di correlare le caratteristiche di qualità dei prodotti trattati, alle variabili operative e di processo degli impianti di trattamento a letto fluido. Questo in funzione della auspicabile definizione di metodologie e criteri di progettazione degli impianti, sulla base di una corretta modellazione fisico-matematica di tali sistemi, in luogo dei criteri prevalentemente empirici finora adottati nel settore alimentare.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Davidson J.F. e Harrison D. "Fluidization", Academic Press, London 1972.
- [2] Kunii D. e Levenspiel O. "Fluidization Engineering", R.E. Krieger Pub. Co., Malabar, Florida 1977.
- [3] G.M. Rios, H. Gilbert e J.L. Baxerres "Potential Applications of Fluidization to Food Preservation" in "Development in Food Preservation", Applied Science Publishers, New York 1983.
- [4] Vasquez A. e A.J. Calvelo, J. of Food Process Engineering, 4, 53, 1980.
- [5] Vanecek V., M. Markvart e R. Drbohlav "Fluidized Bed Drying" Leonard-Hill, London 1976.
- [6] G. Donsi, G. Ferrari e L. Olivieri "Drying of Agricultural Products in a Two-Component Fluidized Bed", Preprints of Thijssen Memorial Symposium, Eindhoven, Paesi Bassi 5-6 nov. 1987.