

## CONGELAMENTO DI DERRATE ALIMENTARI: LA FLUIDIZZAZIONE

L'impiego di questa tecnica, oltre a migliorare qualitativamente il prodotto, apre interessanti prospettive al trattamento di alimenti di grossa pezzatura.

di G. DONSI, G. FERRARI E L. OLIVIERI

La tecnica della fluidizzazione, di vasto impiego nei processi dell'industria chimica, si basa sulle capacità di una corrente gassosa di tenere in sospensione un letto di particelle solide, determinando nella fase solido-gas che si forma un comportamento simile a quello di un fluido.

In particolare, le eccellenti condizioni di contatto tra il gas sospendente ed il solido trattato, favoriscono i processi di scambio di materia, e/o calore (1).

Molte delle applicazioni finora realizzate, riguardano sistemi solido-gas reagenti con forti calori di reazione, ma molte ed interessanti prospettive di impiego di tecniche di fluidizzazione riguardano processi esclusivamente fisici.

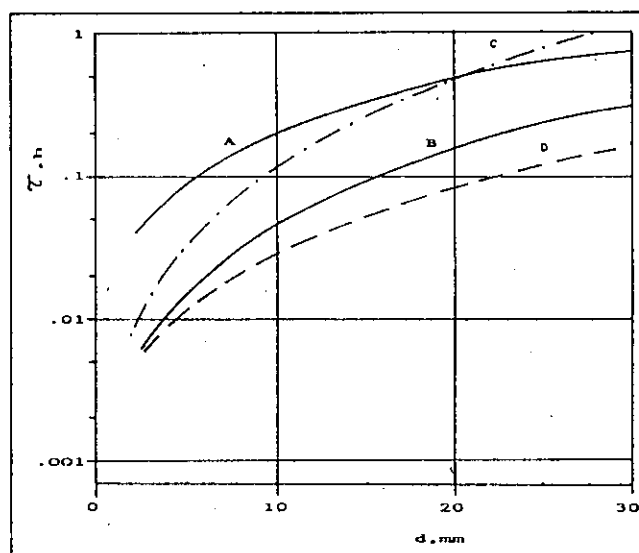
In questo ambito, il settore dei trattamenti alimentari riveste particolare interesse, in quanto alcune delle caratteristiche proprie dei sistemi fluidizzati sposano in modo soddisfacente peculiari esigenze del settore alimentare (2).

Volendo caratterizzare un sistema di contatto solido-gas a letto fluido rispetto ad un omologo a letto fisso, si possono rilevare le seguenti proprietà:

- elevati coefficienti di trasporto di materia e calore tra solido e gas
- elevato grado di miscelazione del solido

Fig. 1 — Tempo di congelamento di provini cilindrici in funzione del diametro, dalla formula di Planck.

Legenda:  
A - Congelatori a tunnel, conduttività termica del prodotto  $K = 0,6$ ;  
B - Congelatori a letto fluido  $K = 0,6$ ;  
C - Congelatori a letto fluido  $K = 0,15$ ;  
D - Congelatori a letto fluido  $K = 1,5$   
 $K = Kcal/hm C$



— facilità di movimentazione del solido in entrata ed in uscita dal contattore.

Queste caratteristiche si traducono, in una operazione di trattamento termico, nei seguenti potenziali vantaggi:

— drastico contenimento dei volumi di apparecchiatura

— semplificazione costruttiva dei dispositivi di carico e di scarico

— assoluta uniformità di temperatura del solido con possibilità di controllo in campi ristretti di temperatura

— raggiungimento di alte velocità di riscaldamento o raffreddamento.

Gli ultimi due vantaggi sono quelli di maggior interesse per l'industria alimentare.

Infatti, il trattamento di so-

stanze termolabili o comunque dotate di soglie di temperatura di trattamento superiori o inferiori, richiede apparecchiature ad elevata uniformità di temperatura ed accuratamente controllabili, mentre particolari operazioni richiedono velocità di riscaldamento o raffreddamento superiori a determinati valori per assicurare il previsto livello qualitativo del prodotto.

### Congelamento a letto fluido

Il congelamento è tra i più diffusi processi termici della industria alimentare, sia come metodo di conservazione di derrate da commercializzare tal quali, sia come stadio intermedio di processi più complessi di conservazione e di

preparazione di alimenti che prevedono l'impiego del congelato come semilavorato.

In ogni caso, il processo di congelamento si propone di mantenere in misura massima non solo gli standard nutritivi del prodotto, ma anche le sue proprietà organolettiche in senso lato, ivi comprese struttura fisica, consistenza, colore ed altre.

La conservazione delle predette proprietà è legata strettamente alle modalità di solidificazione dei liquidi acquosi contenuti in varie forme nel prodotto.

In particolare, quanto più fine è la forma di cristallizzazione dei liquidi, tanto maggiori sono le probabilità di mantenimento di molte delle proprietà fisiche citate. La solidificazione in forma di cristalli minuti è però legata inescandibilmente a velocità di raffreddamento particolarmente elevate.

La velocità di raffreddamento è in genere valutata attraverso un parametro complessivo che varia in modo inverso alla stessa, ed è il tempo di congelamento.

Tralasciando la possibilità di una stima esatta, abbastanza complessa, è possibile ricorrere a formule approssimate di valutazione del tempo di congelamento.

Tra queste, la classica formula di Plank fornisce, per il congelamento a mezzo di aria fredda, la valutazione del tempo di congelamento seguente (3):

$$\tau = \frac{\Delta H_c}{\Delta T} \cdot \left[ \alpha \frac{d}{h} + \beta \frac{d^2}{K} \right] \quad (1)$$

dove  $\Delta T$  è il salto termico tra sorgente fredda e temperatura di congelamento,  $d$  è una dimensione caratteristica del corpo,  $h$  è il coefficiente di scambio termico tra il corpo da congelare e il mezzo raffreddante,  $k$  la conduttività termica del solido,  $\Delta H_c$  il calore latente di congelamento,  $\alpha$  e  $\beta$  sono coefficienti numerici legati alla geometria del corpo.

Dalla (1) risulta che per incre-

Fig. 2 — Schemi di processi di fluidizzazione diretta (A) ed indiretta (B).

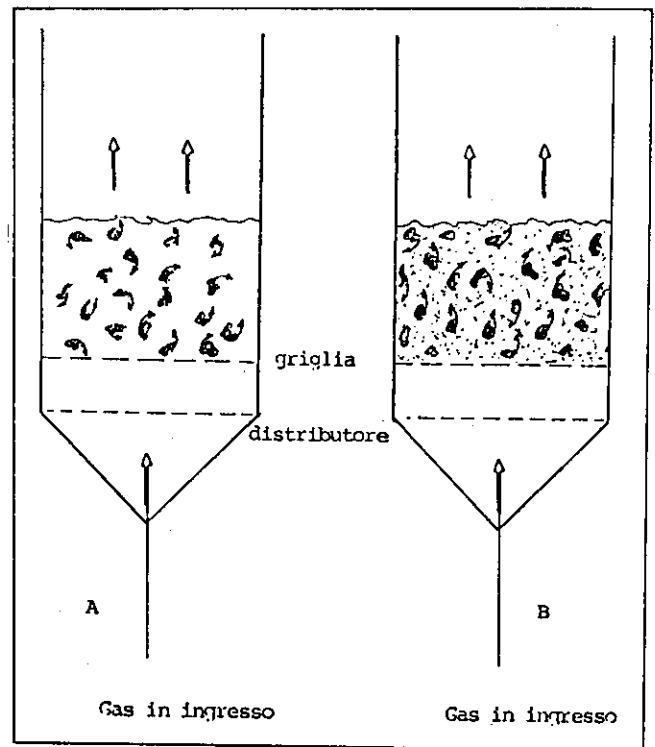
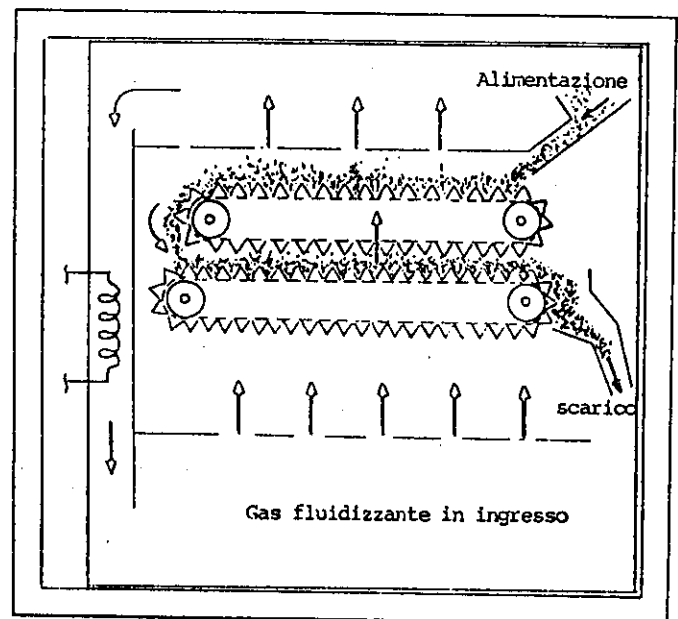


Fig. 3 — Schema di congelatore a nastro con parziale fluidizzazione del prodotto.



mentare la velocità di raffreddamento (e diminuire  $\tau$ ) si può operare sui seguenti fattori:

— Abbassare la temperatura del gas refrigerante, ottenendo un incremento del  $\Delta T$ .

— Ridurre la pezzatura del solido da congelare, compatibilmente con l'utilizzatore successiva.

— Agire sulla fluidodinamica del processo per innalzare sensibilmente il coefficiente di scambio  $h$ .

L'operazione a letto fluido consente una maggiorazione con-

sistente del coefficiente di scambio, determinando una diminuzione del tempo di congelamento tanto più sensibile quanto più alta è la conduttività del prodotto trattato, come appare dai dati riportati in Fig. 1.

Nel caso in cui la qualità del prodotto sia già buona, l'impiego del congelamento a letto fluido può:

- consentire di operare con pezzature maggiori senza pregiudizio della qualità
- operare con temperature di

fluido più alte, e quindi con un ciclo frigorifero più economico.

Esistono due possibilità operative per utilizzare la tecnica della fluidizzazione nei processi di congelamento, come descritto nei paragrafi seguenti ed illustrato in Fig. 2.

### Fluidizzazione diretta

La procedura più ovvia di trattamento a letto fluido è quella di utilizzare come gas fluidizzante il gas refrigerato (sorgente fredda) e trattare direttamente il prodotto, che viene tenuto quindi in sospensione dal gas.

Per valutare sinteticamente la efficienza di questa operazione, è possibile confrontare i coefficienti di scambio termico tra il gas freddo ed il prodotto da trattare rispetto al caso di convezione forzata impiegata nei processi tradizionali di congelamento (congelatori a tunnel o comunque ad aria forzata).

In Tab. 1 sono confrontati questi dati per alcuni prodotti tipici (patate e cubetti, a strisce e piselli); emerge che tali valori sono parecchio più elevati di quelli misurati in processi con apparecchiature convenzionali (4).

Ciò gioca in modo notevole sui flussi termici e quindi sui tempi di congelamento, a parità di temperatura esterna.

Bisogna considerare che la fluidizzazione diretta delle sostanze alimentari può presentare i seguenti inconvenienti:

— Dato che la velocità di fluidizzazione cresce con le dimensioni dei solidi fluidizzati, l'operazione con grosse pezzature diviene antieconomica a causa della necessità di ricircolare grosse portate di gas.

— La fluidizzazione di particelle grosse o di forma non sferoidale tende ad essere disuniforme; ciò provoca di rischio di avere zone di apparecchiatura con solido stagnante e quindi agglomerazione del prodotto e di conseguenza deterioramento della qualità commerciale dello stesso.

— Essendo il letto fluidizzato un sistema ad elevata miscelazione, l'operazione in continuo presenta il rischio di avere tempi di permanenza del prodotto non uniformi. D'altra parte l'operazione discontinua è di per sé stessa meno economica come esercizio.

Ciò ha portato a dispositivi di congelamento solo impropriamente chiamati "a letto fluido" (v. Fig. 3), che consistono in un congelatore a tunnel con nastro trasportatore perforato. In queste apparecchiature, un flusso di gas attraverso il nastro assicura una modesta agitazione del prodotto, stante la piccolissima profondità del letto di solido presente sul nastro e la disuniformità di flusso.

Il vantaggio maggiore è dato dalla mancata agglomerazione del prodotto rispetto ai tunnel a nastro tradizionali, mentre i coefficienti di scambio non raggiungono i valori di un letto fluido omogeneo.

### Fluidizzazione indiretta

Una interessante possibilità per il congelamento di derrate alimentari è costituito dall'impiego della tecnica in oggetto, detta anche *fluidized flotation*.

Essa consiste nel disporre di un letto fluido costituito da

materiale inerte molto fine. Il prodotto da congelare viene calato nel letto e vi flotta liberamente. In questo caso il trasferimento di calore avviene in due stadi distinti:

- prodotto/letto fluido inerte
- inerte/gas.

Ciononpertanto i coefficienti di scambio termico complessivi continuano ad essere elevati come riportato in Tab. 2, ed i tempi di congelamento bassi (5).

I vantaggi ulteriori rispetto alla fluidizzazione diretta sono i seguenti:

— Essendo la portata di gas commisurata alle dimensioni delle particelle di inerte, essa può essere tenuta molto bassa indipendentemente dalla pezzatura del prodotto.

— Come conseguenza di quanto precedentemente detto, è possibile, senza problemi di agglomerazione o disuniformità, trattare prodotti di qualunque forma, di dimensione non omogenea e di grossa pezzatura. Al limite è ipotizzabile congelare *prodotti già confezionati* con ovvi rilevanti vantaggi di commercializzazione degli stessi.

— La refrigerazione del gas, che nella fluidizzazione diretta va effettuata in una diversa apparecchiatura, in questo caso può essere sostituita o completata dalla refrigerazione del solido inerte attraverso superfici di scambio disposte nel letto fluido stesso.

Essendo in questo caso i coefficienti di scambio termico ben superiori a quelli realizzabili tra fluido refrigerante e gas in uno scambiatore esterno, si otterrà una drastica riduzione delle superfici di scambio termico e dei relativi costi.

Un possibile schema di processo è riportato in Fig. 4.

I problemi ancora aperti nell'impiego di questa tecnica sono soprattutto legati alla messa a punto di criteri di progettazione e di scale-up affidabili. Data la complessità fluidodinamica dell'apparecchiatura, ciò richiede un approfondimento sia teorico che speri-

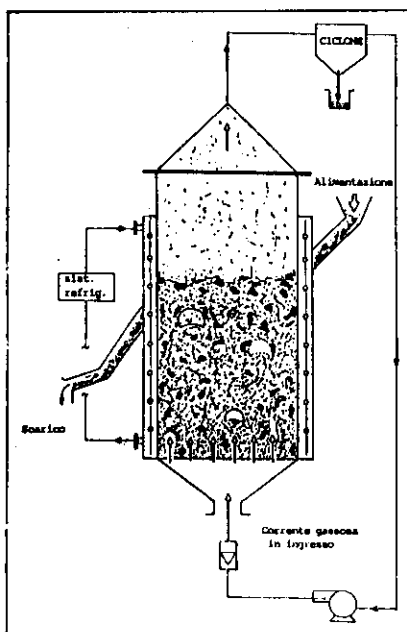


Fig. 4 — Schema di un processo di congelamento a fluidizzazione indiretta.

mentale. Inoltre, la fattibilità del processo è condizionata dall'ideale scelta del solido inerte; che deve essere realmente tale in senso sia chimico che fisico rispetto al prodotto da trattare.

### Conclusioni

Da quanto detto, si può affermare che il congelamento a letto fluido costituisce una valida alternativa economica, ma anche tesa ad un miglioramento qualitativo del prodotto, al congelamento in tunnel ad aria forzata.

In particolare l'impiego di tecniche di fluidizzazione indiretta apre interessanti prospettive al trattamento di alimenti di grossa pezzatura. In questa ottica continua il lavoro di ricerca e di sviluppo volto a razionalizzare il progetto di congelatori a letto fluido di questo tipo.

*Professori G. Donsi, G. Ferrari - Istituto di Ingegneria Chimica - Alimentare - Facoltà di Ingegneria di Salerno.  
Ingegnere Livio Olivieri - Kinetics Technology International S.p.A. - Roma.*

**Tabella 1 — Coefficienti di scambio termico tra gas e prodotti alimentari tipici in condizioni di fluidizzazione e non (4)**

Prodotto	Coefficienti, kcal/h m <sup>2</sup> °C (letto fluido val. max)	Convezione forzata a bassa velocità di flusso
piselli	170	50
patate (cubetti L = 0,89 cm)	160	40
patate (strisce .92x.92x5.3 cm)	150	35

**Tabella 2 — Coefficienti di scambio termico tra letti fluidi di solidi fini e sostanze alimentari e relativi tempi di congelamento a -20° C**

Prodotto	Coefficienti, Kcal/h m <sup>2</sup> °C	tempi di congelamento (min)
patate (dischi 30x5 mm)	150	1,8
patate (forma sferica Ø = 30 mm)	165	11

### Bibliografia

- 1) S.F. Davidson e D.H. Harrison: "Fluidization" Academic Press-London-New York (1971).
- 2) G.M. Rios - H.G. e J.L. Baxerres "Potential Applications of Fluidization to food preservation" chap. 7 in "Development in food preservation-2" S. Thorne Ed. Appl. Sci. Publ. New York 1983.
- 3) Plank, R.Z. Cited from A.J. Ede. (1949) "The calculation of the freezing and thawing of foodstuffs". Modern Refrigeration 52, 52.
- 4) A. Vazquez and A. Calvelo "Gas-Particle Heat Transfer Coefficient for the Fluidization of Different Shaped Foods" (1983) Journal of Food Science vol. 48.
- 5) M. Marin, G.M. Rios, H. Gibert "Congelation de denrées alimentaires en lit fluidisé" (1982) Informations Chimie n. 228/229.

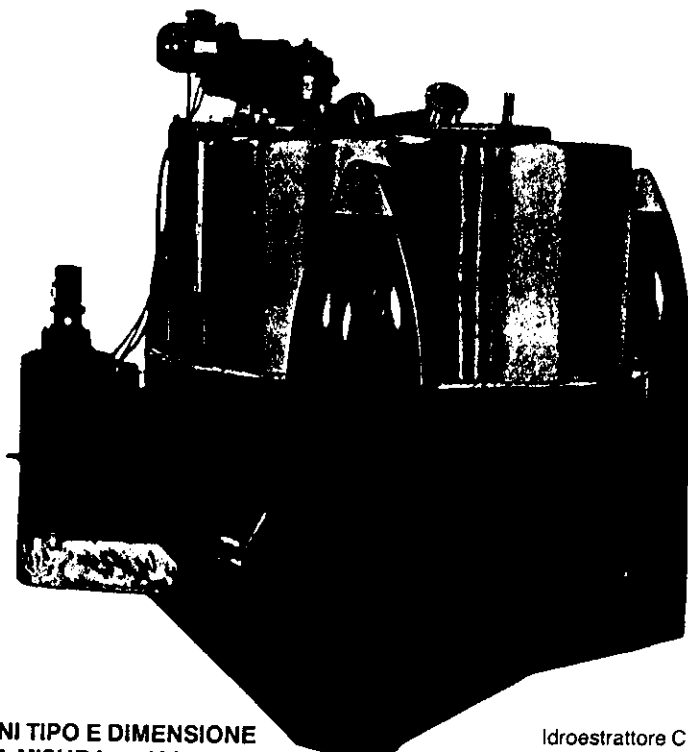


IMPIANTI S.P.A.  
di Capecchi F. & C.

## COSTRUZIONI INDUSTRIALI METALMECCANICHE E AFFINI

Via Gora e Barbatole 192  
Telefono (0573)401222  
Telex 571359 CIMAPT  
51100 PISTOIA (ITALY)

PER INFORMAZIONI SEGNARE  
SULL'APPOSITA CAROLINA **1.069**



**IDROESTRATTORI  
CENTRIFUGHI**

DI OGNI TIPO E DIMENSIONE  
DALLA MISURA Ø 400  
ALLA MISURA Ø 1700

Idroestrattore CIMA IDC  
con raschiatore e motore a c.c.

Edito a cura del Consorzio Industrie Pistoiesi