

Il congelamento è un'antica tecnica, conosciuta fin dal Medioevo, che permette di conservare gli alimenti per lungo tempo abbassandone la temperatura. L'utilizzo di questo metodo a livello industriale ha avuto un notevole sviluppo nel XX secolo. Oggi il mercato dei surgelati è uno dei settori più importanti dell'industria alimentare e si stima che nei prossimi anni raggiungerà un fatturato di 300 miliardi di dollari. La ragione principale di questo aumento è che la domanda e il consumo di alimenti surgelati nel mondo sono legati alla globalizzazione e allo stile di vita frenetico della popolazione, rendendo così i prodotti surgelati più comodi da consumare.

Il congelamento dei prodotti è un'ottima strategia per preservarne la qualità: grazie ad esso vengono mantenuti il gusto, la consistenza e il valore nutrizionale degli alimenti. La qualità degli alimenti congelati è fondamentale e dipende da un'attenta preparazione pre-congelamento, dal controllo del processo durante il congelamento e dalla manipolazione del prodotto dopo il congelamento. Per ottenere alimenti congelati di qualità sono necessarie ottime materie prime. In termini di operazioni di congelamento, l'obiettivo primario è quello di mantenere quanto più possibile la qualità originaria e caratteristica del prodotto. Una volta congelato, il prodotto deve essere trasportato con mezzi e tecniche adeguate a preservarne la qualità. È qui che entra in gioco la "Catena del Freddo"; essa è costituita da una serie di tecniche che garantiscono la massima qualità del prodotto, dalla produzione al trasporto, fino alla vendita. La temperatura di conservazione più comunemente utilizzata, per arrestare la crescita di microrganismi e preservare la sicurezza alimentare, è -18 °C. A questa temperatura solo una parte dei batteri originariamente presenti negli alimenti è permanentemente inattivata, mentre la maggior parte dei microrganismi è ancora viva, in attesa di condizioni migliori per riprendere a moltiplicarsi. Questo momento favorevole è rappresentato dallo scongelamento: se questa procedura non viene eseguita correttamente e l'alimento non viene utilizzato immediatamente, possono verificarsi rischi per la salute umana.

A livello industriale sono disponibili diversi metodi di congelamento, basati fondamentalmente su due principi:

1. Il mantenimento di temperature molto basse per inibire la crescita dei microrganismi e limitarne l'attività chimico-enzimatica. La temperatura è un fattore importante per la crescita microbica; ogni specie di batteri ha la propria temperatura ottimale per la crescita. Le basse temperature solitamente inibiscono o arrestano la crescita e la proliferazione microbica, ma spesso non uccidono i batteri. Infatti, in un ambiente freddo la funzione degli enzimi è più lenta, a causa della riduzione del movimento delle molecole, che porta a minori collisioni tra gli enzimi e i substrati.
2. La formazione di cristalli di ghiaccio, al fine di rimuovere l'acqua allo stato liquido di cui sono composti gli alimenti, impedendo la crescita di microrganismi. Durante questo processo, l'acqua trasformata in ghiaccio, non è più disponibile per il metabolismo, limitando la percentuale di cellule microbiche che possono sopravvivere. Il concetto di congelamento può essere assimilato a quello di disidratazione, in quanto si verifica un blocco della crescita microbiologica all'interno degli alimenti, a causa dell'indisponibilità di acqua. Il fattore principale che influenza la dimensione e il numero dei cristalli di ghiaccio è la velocità di congelamento. A bassa velocità di congelamento si possono ottenere cristalli di ghiaccio più grandi. Al contrario, ad alta velocità di congelamento si formano numerosi piccoli cristalli di ghiaccio.



*Figura 1: Il congelamento è sempre più utilizzato per conservare la qualità del cibo*

Negli ultimi anni l'attenzione si è concentrata sul congelamento del materiale il più rapidamente possibile, per favorire la formazione di un elevato numero di piccoli cristalli di ghiaccio. Esiste un compromesso commercialmente importante tra la velocità di congelamento e l'economia dell'operazione.

## Processo di congelamento



*Figura 2: Un prodotto è congelato quando l'80-90% dell'acqua che lo costituisce è trasformata in ghiaccio*

Il congelamento è un processo termodinamico nel corso del quale lo stato dell'acqua e dei soluti che costituiscono l'alimento passa da liquido a solido. Per definizione, un prodotto è congelato quando l'80-90% dell'acqua che lo costituisce si trasforma in ghiaccio. Durante il congelamento, il calore è trasferito dall'interno dell'alimento alla superficie di esso e viene quindi trasferito per conduzione o convezione al mezzo utilizzato per permettere il congelamento. I fattori che influenzano questo processo sono parametri fisici come la conducibilità termica, lo spessore, la densità, la superficie del cibo, la differenza di temperatura tra il prodotto e il mezzo di congelamento e la resistenza prodotta dalla superficie che circonda il prodotto. Nel dettaglio, il processo di congelamento segue tre fasi: il pre-raffreddamento, quando il prodotto viene raffreddato fino al punto di congelamento con conseguente nucleazione e formazione dei primi cristalli di ghiaccio; il secondo passaggio è la fase di

transizione, dove viene eliminato il calore latente della cristallizzazione; la crescita dei cristalli di ghiaccio termina nell'ultima fase, nella quale il prodotto viene raffreddato fino alla temperatura finale di conservazione. La fase intermedia del congelamento prevede la conversione dell'acqua in ghiaccio attraverso la cristallizzazione ed è il passaggio fondamentale che determina l'efficienza del processo e la qualità del prodotto congelato. A livello cellulare, la formazione di grandi cristalli di ghiaccio provoca notevoli danni ai tessuti. Al contrario, la formazione di piccoli e fini cristalli di ghiaccio mantiene più intatte le strutture cellulari, preservando la qualità degli alimenti.

I prodotti congelati maggiormente consumati sul mercato sono la carne ed i suoi derivati, il pesce, le verdure, i latticini e i cibi precotti. Per frutta e verdura, l'attività enzimatica cellulare viene solitamente interrotta prima del congelamento, mediante diverse tecniche come la sbianchitura, con pre-trattamenti in acqua o vapore (70 °C – 105 °C) o con l'uso di additivi, ad eccezione dei conservanti alimentari, vietati dalla legge.

## Sistemi di congelamento industriale

I metodi di congelamento esistenti in commercio possono essere suddivisi in lenti, veloci, molto veloci e ultraveloci.

Il metodo lento prevede l'utilizzo di temperature comprese tra -5 °C e -6 °C, anche durante la conservazione. Questo metodo non viene più utilizzato, in quanto l'azione molto lenta della temperatura porta ad alterazioni chimico-fisiche ed istologiche del prodotto, provocando danni all'alimento e favorendo anche la crescita di cristalli di ghiaccio. Inoltre, provoca perdite nelle qualità biologiche e nutrizionali degli alimenti. Il metodo veloce riduce il tempo necessario per raggiungere le temperature di conservazione richieste. Normalmente si utilizzano temperature comprese tra -30 °C e -40 °C, per raggiungere rapidamente la temperatura di -18 °C, che rappresenta la temperatura di conservazione migliore, poiché si ha l'arresto totale della moltiplicazione microbica. Nel metodo molto veloce gli alimenti vengono immersi in un tunnel a -50 °C e conservati ad una

temperatura di -20 °C. Sono necessarie alcune ore affinché la temperatura raggiunga i valori richiesti per la conservazione. Infine, il metodo ultraveloce utilizza temperature molto basse (-200 °C), ottenute con anidride carbonica liquida, azoto liquido o freon. Tuttavia, questa tecnica non è ancora ampiamente utilizzata a causa dei costi elevati.

I principali sistemi di congelamento industriali che si trovano sul mercato sono:

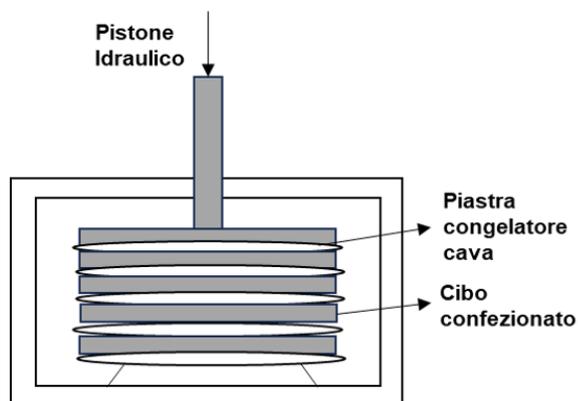


Figura 3: Piastre refrigeranti

- Piastre refrigeranti (Fig. 3), mediante contatto diretto dell'alimento già confezionato di forma regolare con piastre fredde, quindi attraverso contatto indiretto con il fluido refrigerante.

- Congelamento a letto fluido o a flusso (Fig. 4), dove il prodotto si muove senza l'ausilio di parti in movimento, ma è mantenuto in sospensione da un getto d'aria che circola attraverso una griglia, dal basso verso l'alto.

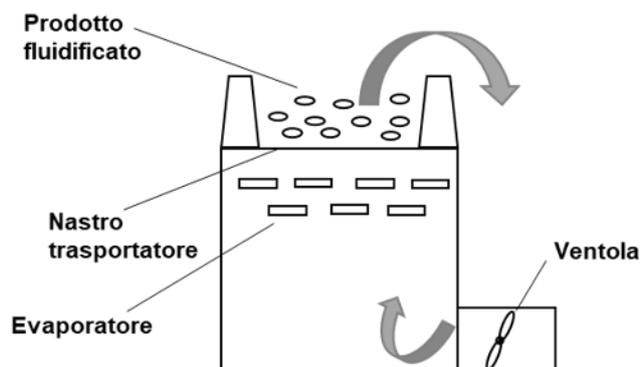


Figura 4: Congelamento a letto fluido

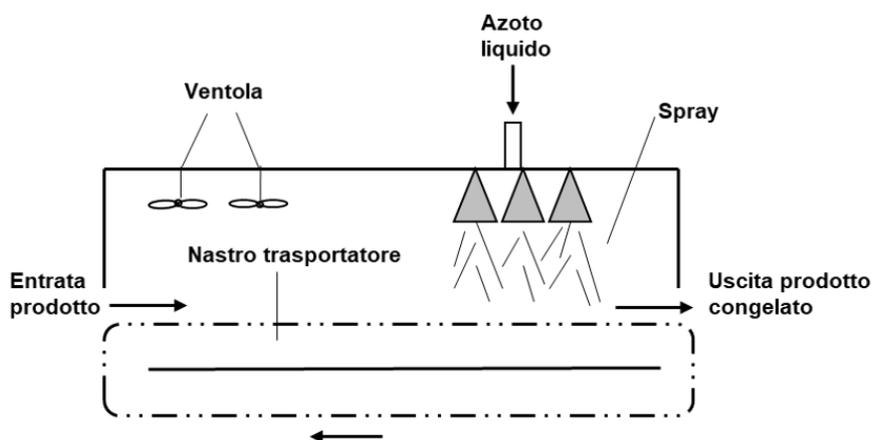


Figura 5: Congelamento mediante spray

- Congelamento per mezzo di getti di gas (agenti criogenici, Fig. 5), come azoto liquido o anidride carbonica liquida; ideale per cibo confezionato di grandi dimensioni.

## Processi microbici negli alimenti congelati

Nella produzione degli alimenti congelati, l'attenzione alla sicurezza igienica è del tutto simile a quella riservata ai prodotti freschi refrigerati, che dal punto di vista microbiologico non sono dissimili da quelli congelati. Sebbene lo scopo principale del congelamento sia preservare la qualità degli alimenti con ottimi risultati, questo processo preserva anche la vitalità di alcuni microrganismi patogeni. Una volta che gli alimenti congelati sono contaminati, le modalità di preparazione e/o consumo di questi alimenti possono influenzare ulteriormente il verificarsi di infezioni. Quando le istruzioni di cottura non vengono seguite correttamente dopo lo scongelamento, o quando questi alimenti vengono conservati per lunghi periodi dopo lo scongelamento, i microrganismi possono crescere sino a livelli tali da rappresentare un problema per la salute pubblica.

I fattori più rilevanti che influenzano la sopravvivenza e la crescita dei microrganismi durante e dopo il congelamento sono la velocità di congelamento, la temperatura di conservazione, il periodo di conservazione, i componenti dell'alimento (sali, zuccheri, proteine, lipidi, ecc.), il pH, le sostanze protettive, il tipo di confezionamento e la temperatura di scongelamento. A seconda di tutti questi parametri, può avere luogo una maggiore o minore proliferazione batterica. In base alla temperatura, i microrganismi contaminanti presenti nei prodotti alimentari possono essere diversi. A 10 °C troviamo attiva la tossina di stafilococchi e *Clostridium botulinum*, tipo A e B. Tra 7 °C e 5 °C la proliferazione di stafilococchi e *Salmonella*. A 3 °C termina il rischio dovuto a batteri patogeni. Al di sotto di 0° C si possono trovare batteri criofili. Infine, a -18 °C tutta la proliferazione microbica si arresta. In generale, i batteri gram-positivi sono molto più resistenti al congelamento rispetto a quelli gram-negativi, a causa delle differenze nella composizione della parete cellulare.

I batteri psicrofili sono un tipo di microrganismi estremi con una temperatura minima di crescita di 0 °C, una temperatura ottimale di circa 15 °C o inferiore e una temperatura massima di circa 20 °C. I batteri psicrofili sono distribuiti principalmente in ambienti freddi, come regioni polari, aree alpine con nevi perenni, ghiacciai, suolo e mari profondi. Per sopravvivere in ambienti con condizioni così estreme (alta pressione, bassa attività dell'acqua, pochi nutrienti e persino forti radiazioni UV), i batteri psicrofili presentano una serie di adattamenti, come proteine antigelo o proteine da shock freddo, maggiore flessibilità della membrana, enzimi attivi a freddo, glicoproteine, produzione di vescicole della membrana esterna ed elevati livelli di sostanze polimeriche extracellulari (EPS).

Oltre agli ambienti naturali, i batteri psicrofili esistono in molti sistemi artificiali a bassa temperatura, come frigoriferi e congelatori. Tra i batteri psicrofili che sopravvivono negli alimenti refrigerati ci sono *Campylobacter jejuni* (pollo, latte non pastorizzato), *Listeria monocytogenes* (latte crudo, formaggio, gelato, verdure crude, pollame crudo e carne), *Yersinia enterocolitica* (latte crudo, cioccolato, carne cruda), *Aeromonas hydrophila* (pesce) e *Pseudomonas* spp. (carne, pesce e latticini). In molti casi, possono rappresentare una seria minaccia per la salute dei consumatori. La temperatura minima riportata per la crescita di alcuni microrganismi potenzialmente patogeni è 5 °C per *Acetobacter*, 4 °C per *Vibrio*, 3 °C per *Clostridium botulinum*, 1 °C per *Listeria*, 0 °C per *Clostridium putrefaciens*, e 0 °C per *Yersinia enterocolitica*.

Diversi studi hanno mostrato che agenti patogeni come *Listeria monocytogenes* e *Staphylococcus aureus* sono tra le specie in grado di sopravvivere anche a -25 °C.

Il problema è aggravato dal fatto che, quando i batteri si depositano sulle superfici, formano comunità di microrganismi circondati da una matrice extracellulare di sostanze polimeriche, creando un micro-



Figura 6: I batteri psicrofili rappresentano una seria minaccia per la sicurezza degli alimenti congelati

ecosistema in cui le condizioni sono ideali per la crescita degli agenti patogeni. Questo è comunemente noto come “biofilm”. Diversi studi riportano, ad esempio, come *Listeria* si trovi comunemente nei biofilm legati all’industria alimentare: gli ambienti di lavorazione umidi sono luoghi ideali per la moltiplicazione dei microrganismi e lo sviluppo di biofilm. Questi strati viscosi si formano su tutti i tipi di materiali presenti negli impianti di produzione alimentare, tra cui plastica, vetro, metallo, cemento, legno ed i prodotti stessi. All’interno del biofilm, i batteri possono subire un cambiamento significativo nella fisiologia, con una maggiore tolleranza agli stress ambientali, incluso il congelamento, ed una resistenza molto più elevata ai trattamenti igienico-sanitari.

## Metodi di sanificazione nell’industria degli alimenti congelati

Standard igienici inadeguati o insufficienti in fase di produzione, lavorazione e confezionamento degli alimenti sono tra le cause più comuni di contaminazione microbiologica dei prodotti. Per questo motivo, [l’applicazione dell’HACCP è di estrema importanza, come discusso in un precedente White Paper](#).

In generale, la crescita di agenti patogeni negli alimenti non congelati può essere controllata garantendo alcune caratteristiche fisiche dei prodotti come  $pH < 4.4$  e  $aw$  (attività dell’acqua)  $< 0.92$  o una combinazione di questi fattori. Come discusso in precedenza, la crescita batterica può essere limitata utilizzando il processo di congelamento, fintantoché in prodotto resti congelato.

La massima attenzione nel settore degli alimenti congelati, in particolare nel caso di frutta e verdura, è da porre sui notevoli volumi di acqua (di lavaggio e raffreddamento) che vengono utilizzati in questi impianti produttivi. La disinfezione di tale acqua è un passo essenziale per ridurre il rischio microbiologico.



*Figure 7: Diversi trattamenti chimici vengono utilizzati per sanificare l’acqua e prevenire la contaminazione microbica*

Per trattare l’acqua e le superfici a contatto con essa vengono applicati trattamenti di disinfezione classici (composti del cloro, acido peracetico, ecc.) o metodi fisici (UV-C). Devono essere utilizzate sostanze adeguate o una combinazione di esse.

I disinfettanti contenenti composti di ammonio quaternario (QAC), acido peracetico, iodio e cloro sono stati utilizzati per controllare *L. monocytogenes* e altri patogeni. Oltre ad essere efficaci contro diversi agenti patogeni, i QAC hanno un effetto germicida residuo sulle superfici. Anche i disinfettanti a base di acido peracetico hanno dimostrato di essere efficaci contro differenti biofilm. È stato documentato come alternare i prodotti sanificanti fornisca una maggiore efficacia e prevenzione a lungo termine. Inoltre, è possibile utilizzare acqua calda o vapore per disinfettare scaffalature e attrezzature difficili da pulire. L’uso di acqua calda o vapore può migliorare l’igiene soprattutto in presenza di siti dove possano annidarsi patogeni.

È stato accertato come la persistenza di alcuni ceppi di *L. monocytogenes*, anche dopo la pulizia e la disinfezione possa essere correlata alla resistenza ai sanificanti. Questo fenomeno può essere spiegato non solo con l’acquisizione della medesima resistenza, ma anche con l’esistenza di nicchie o serbatoi nell’ambiente non raggiunti dai sanificanti, e con la formazione di biofilm e la conseguente creazione di micro-ambienti protetti.

Per monitorare la crescita batterica nelle linee di produzione di alimenti congelati, incluse le vasche utilizzate per l'acqua di lavaggio e le tubazioni collegate, ALVIM ha sviluppato una [tecnologia di rilevamento del biofilm](#) online e in tempo reale. Questa soluzione consente di prevenire il deterioramento dei prodotti e di ottimizzare i trattamenti di sanificazione, riducendo i tempi e i costi richiesti da tali procedure. I sensori ALVIM sono ampiamente utilizzati nell'industria alimentare, nei cinque continenti, in [molteplici applicazioni](#).

## Conclusioni

Lo studio della natura, formazione, rilevamento ed eliminazione del biofilm dalle superfici è di grande importanza, correlato al rischio dell'insorgenza di malattie di origine alimentare che colpiscono la salute pubblica. La resistenza del biofilm ai trattamenti igienico-sanitari applicati nell'industria alimentare aumenta il rischio di possibili epidemie. All'interno del biofilm i microrganismi patogeni possono sopravvivere e proliferare, rappresentando una minaccia per la salute dei consumatori. Il congelamento degli alimenti prolunga la durata di conservazione dei prodotti, ma non è una soluzione unica per prevenire problemi microbiologici: trattamenti igienico-sanitari efficaci sono essenziali anche nella produzione di alimenti congelati. A questo scopo, il monitoraggio del biofilm è di estrema importanza. Grazie alla tecnologia ALVIM è possibile conoscere in tempo reale quando inizi a formarsi il biofilm, verificando l'efficacia dei sanificanti ed ottimizzandone il dosaggio, con un notevole vantaggio economico.

**Hai un problema simile con il biofilm? Contatta i nostri esperti e chiedi una consulenza gratuita su misura, riceverai maggiori informazioni riguardo i prodotti ed i servizi ALVIM.**

Il sistema ALVIM per il Monitoraggio del Biofilm rappresenta uno strumento affidabile per la rilevazione precoce della crescita batterica sulle superfici, in linea ed in tempo reale, in impianti industriali, acque di raffreddamento, etc.

La Tecnologia ALVIM è stata sviluppata in collaborazione con il Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Scienze Marine, ed è attualmente utilizzata in tutto il mondo, in svariati settori applicativi.

**ALVIM Srl | +39 0108566345 | [info@alvim.it](mailto:info@alvim.it) | [www.alvim.it](http://www.alvim.it) | [www.linkedin.com/company/alvimbiofilmsensors](https://www.linkedin.com/company/alvimbiofilmsensors)**