



REFRIGERAZIONE E CONGELAMENTO

DEFINIZIONI

- **REFRIGERAZIONE:** È UN PROCESSO DI CONSERVAZIONE CHE MANTIENE GLI ALIMENTI A TEMPERATURE BASSE MA SUPERIORI AL PUNTO DI CONGELAMENTO (GENERALMENTE TRA 0°C E 4°C). L'OBBIETTIVO È RALLENTARE LE REAZIONI BIOLOGICHE E CHIMICHE CHE PORTANO AL DETERIORAMENTO.
- **CONGELAMENTO:** È UN PROCESSO DI CONSERVAZIONE CHE PORTA GLI ALIMENTI AL DI SOTTO DEL PUNTO DI CONGELAMENTO, TRASFORMANDO L'ACQUA PRESENTE IN ESSI, IN GHIACCIO (TEMPERATURE TIPICHE INTORNO A -18°C O INFERIORI). QUESTO PROCESSO BLOCCA QUASI COMPLETAMENTE L'ATTIVITÀ MICROBICA ED ENZIMATICA.

PRECISAZIONE SU SVILUPPO MICROBICO

- **NESSUN EFFETTO MICROBICIDA:** È FONDAMENTALE SOTTOLINEARE CHE NÉ LA REFRIGERAZIONE NÉ IL CONGELAMENTO HANNO UN SIGNIFICATIVO EFFETTO STERILIZZANTE (MICROBICIDA). NON UCCIDONO LA MAGGIOR PARTE DEI BATTERI PATOGENI O DETERIORANTI; SI LIMITANO A RENDERLI INATTIVI O A RALLENTARNE DRASICAMENTE LA CRESCITA.
- **RALLENTAMENTO E BLOCCO:**
 - **REFRIGERAZIONE:** RALLENTA IL METABOLISMO MICROBICO.
 - **CONGELAMENTO:** BLOCCA QUASI COMPLETAMENTE LA REPLICAZIONE E L'ATTIVITÀ METABOLICA ED ENZIMATICA DEI MICROBI.

REFRIGERAZIONE COS'È E COME AVVIENE

- È UN PROCESSO TERMODINAMICO CHE RIMUOVE CALORE, PORTANDO UNA MATRICE ALIMENTARE AD UNA TEMPERATURA INFERIORE RISPETTO ALL'AMBIENTE CIRCOSTANTE.
- LA TEMPERATURA OTTIMALE DI REFRIGERAZIONE PER ALIMENTI IN FRIGORIFERO È TRA 0 E 4 GRADI CENTIGRADI.
- CARNE E PESCE FRESCO SI TENGONO SU 1-2 GRADI.
- TEMPO DI CONSERVAZIONE: LIMITATO, MA VARIO IN FUNZIONE DEL TIPO DI PRODOTTO (DA 24 ORE A QUALCHE SETTIMANA)

TIPI DI FRUTTI

- **CLIMATERICI** → Maturano anche dopo la raccolta: MELE, PERE, PESCHE, ALBICOCCHE, AVOCADO E BANANA.

Esposti all'etilene completano la maturazione.

- **NON CLIMATERICI** → Non maturano dopo la raccolta: FRAGOLA, MORE, UVA, AGRUMI, ANANAS E MELOGRANO.

Esposti all'etilene subiscono solo degradazione, ma non maturano.

FATTORI CHIAVE

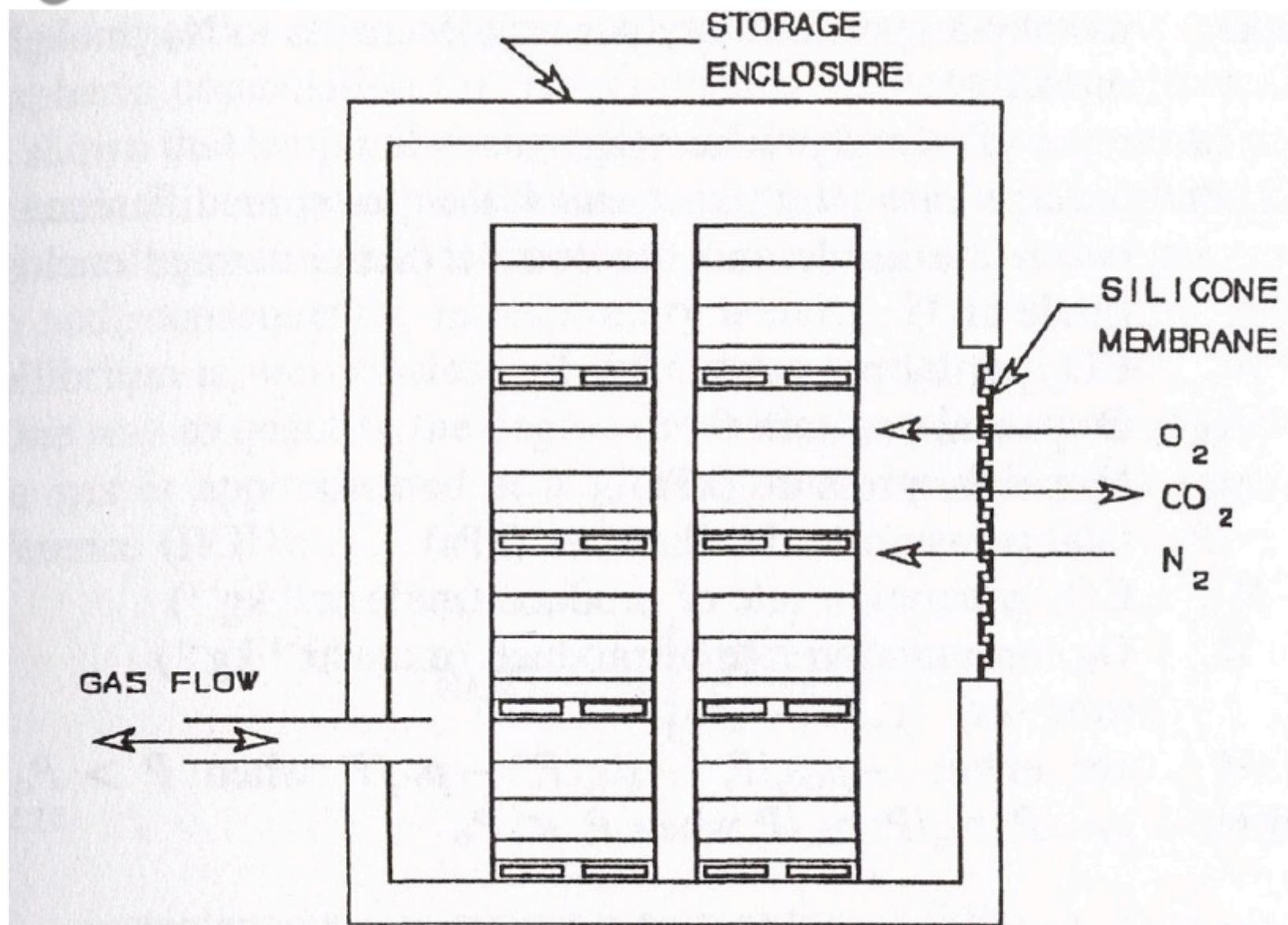
- **RESPIRAZIONE E OSSIDAZIONE:** LA FRUTTA È UN ORGANISMO VIVENTE CHE CONTINUA A RESPIRARE. LA RESPIRAZIONE È UN PROCESSO DI OSSIDAZIONE CHE CONSUMA ZUCCHERI E PRODUCE ANIDRIDE CARBONICA, ACQUA E CALORE, PORTANDO GRADUALMENTE ALLA SENESCIENZA. LA REFRIGERAZIONE RALLENTA QUESTO PROCESSO.
- **PRODUZIONE DI ETILENE:** L'ETILENE È UN ORMONE VEGETALE CHE ACCELERA LA MATURAZIONE E LA SENESCIENZA. LA REFRIGERAZIONE RIDUCE SIA LA PRODUZIONE CHE LA SENSIBILITÀ DELLA FRUTTA ALL'ETILENE.
- **PERDITA D'ACQUA (DISIDRATAZIONE):** L'ARIA FREDDA E SECCA NELLE CELLE FRIGORIFERE PUÒ CAUSARE LA PERDITA D'ACQUA PER EVAPORAZIONE, PORTANDO ALL'APPASSIMENTO. È CRUCIALE GESTIRE L'UMIDITÀ RELATIVA (SOLITAMENTE MANTENUTA ALTA, >90%) PER MINIMIZZARE QUESTO EFFETTO.

ATM CONTROLLATA E OZONO

- **L'ATMOSFERA CONTROLLATA (AC)** È UNA TECNICA CHE COMBINA LA REFRIGERAZIONE CON LA MODIFICA INTENZIONALE DELLA COMPOSIZIONE DELL'ARIA INTORNO AL PRODOTTO. SI RIDUCE LA CONCENTRAZIONE DI OSSIGENO (O_2), INTORNO AL 4%, E SI AUMENTA QUELLA DI ANIDRIDE CARBONICA (CO_2) E AZOTO.
- PROLUNGA LA CONSERVAZIONE DI MESI (ES. MELE, PERE), MANTENENDO LA CONSISTENZA E RIDUCENDO ULTERIORMENTE LA RESPIRAZIONE E LA PRODUZIONE DI ETILENE RISPETTO ALLA SOLA REFRIGERAZIONE.
- **IMPORTANZA DELL'OZONO (O_3)**: L'OZONO PUÒ ESSERE UTILIZZATO IN PICCOLE CONCENTRAZIONI NELLE CELLE AC O FRIGORIFERE. HA PROPRIETÀ FUNGICIDE E BATTERICIDE IN SUPERFICIE, AIUTANDO A CONTROLLARE LE MUFFE E A SANITIZZARE L'ARIA, SENZA LASCIARE RESIDUI CHIMICI SUGLI ALIMENTI.

REFRIGERAZIONE: SISTEMI DI IMPIANTO INDUSTRIALI

- GENERATORI DI AZOTO
- DECARBONICATORI
- ASSORBITORI DI OSSIGENO
- CONVERTITORI ED ASSORBITORI DI ETILENE
- IMPIANTI DI ANALISI DI OSSIGENO E CO2.



CONGELAMENTO

- È UN PROCESSO FISICO DI SOLIDIFICAZIONE DELL'ACQUA IN CRISTALLI DI GHIACCIO, CHE AVVIENE QUANDO LA TEMPERATURA SCENDE SOTTO 0°C (PUNTO CRIOSCOPICO), BLOCCANDO MICROBI E RALLENTANDO ENZIMI PER LA CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI (TIPICAMENTE TRA -10°C E -30°C).
- **TEMPERATURE OTTIMALI:**
- **DOMESTICO:** CIRCA -18°C (PER MANTENERE SURGELATI).
- **INDUSTRIALE/COMMERCIALE:** FINO A -30°C O MENO, PER UNA CONGELAZIONE PIÙ RAPIDA E UNA MIGLIORE QUALITÀ.

FASI

1. RAFFREDDAMENTO

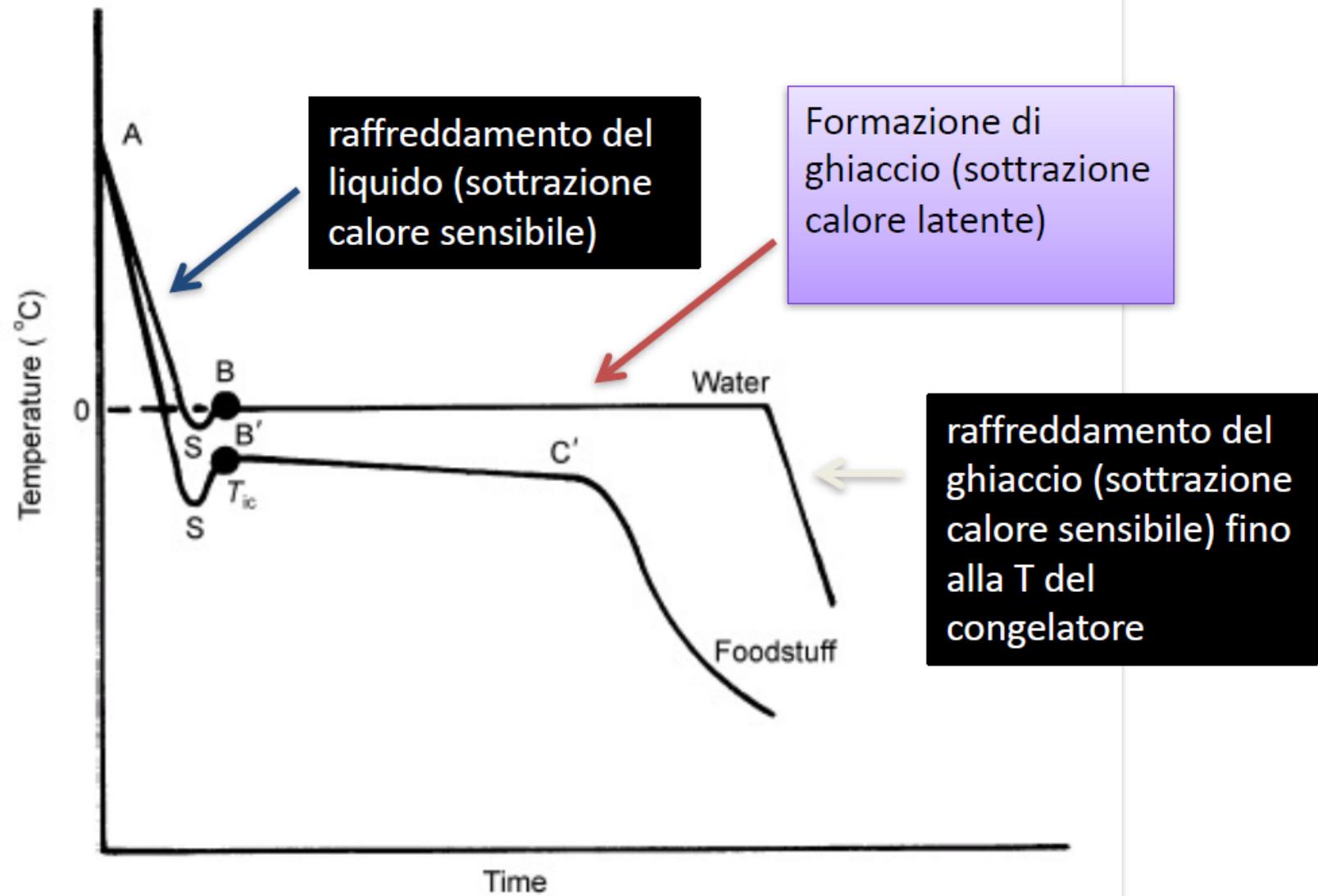
LA TEMPERATURA DEL PRODOTTO ALIMENTARE VIENE ABBASSATA DALLA SUA TEMPERATURA INIZIALE FINO AL SUO PUNTO DI CONGELAMENTO, CHE PER GLI ALIMENTI È SOLITAMENTE LEGGERMENTE INFERIORE A 0 °C.

2. CONGELAMENTO PRIMARIO

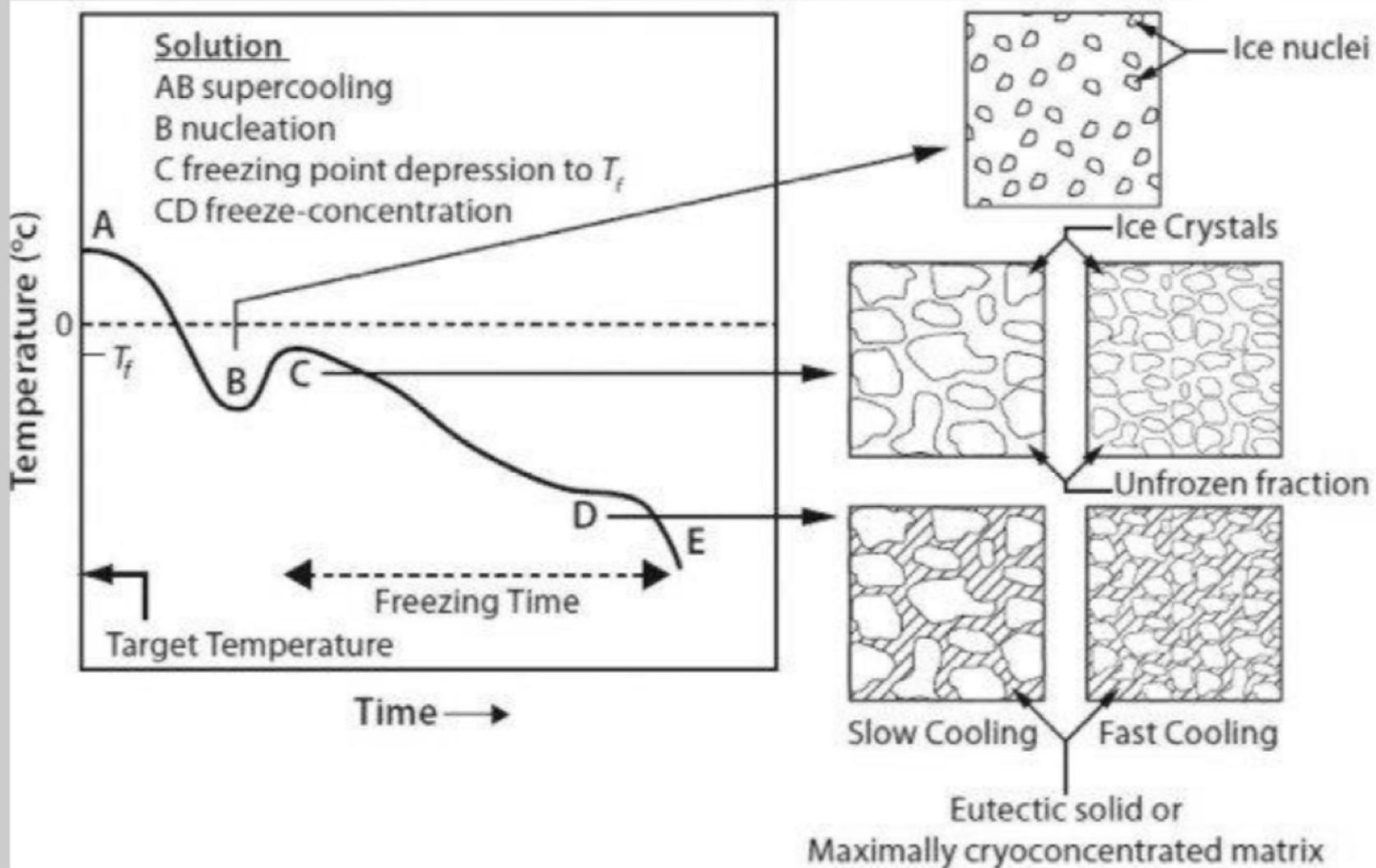
LA TEMPERATURA RIMANE RELATIVAMENTE COSTANTE, MENTRE L'ACQUA LIBERA ALL'INTERNO DEL PRODOTTO SI TRASFORMA IN CRISTALLI DI GHIACCIO. LA VELOCITÀ CON CUI AVVIENE QUESTA FASE DETERMINA LA DIMENSIONE DEI CRISTALLI FORMATI, UN FATTORE CRUCIALE PER LA QUALITÀ FINALE DEL PRODOTTO.

3. CONGELAMENTO SECONDARIO

LA TEMPERATURA DEL PRODOTTO RICOMINCIA A SCENDERE RAPIDAMENTE FINO A RAGGIUNGERE LA TEMPERATURA DI CONSERVAZIONE DESIDERATA. CONGELARE L'ACQUA RIMANENTE (LEGATA ALLE MOLECOLE DI M.ALIMENTARE) E STABILIZZARE TERMICAMENTE L'INTERO PRODOTTO PER LA CONSERVAZIONE A LUNGO TERMINE.



Aspetti teorici: curva di congelamento



ACQUA

- **tratto AB:** rimozione del calore sensibile 4,18 KJ/Kg° C (1 Kcal/Kg° C)
- **punto S:** picco di sottoraffreddamento ;
- **tratto SB:** la T torna a 0° C (iniziano a formarsi i primi nuclei di ghiaccio (processo esotermico, il sistema acquista calore));
- **tratto BC:** la T rimane costante fino a quando tutta l'acqua non è convertita in ghiaccio (calore latente di fusione per l'acqua è di 333.15 J/g – 80 cal/g).

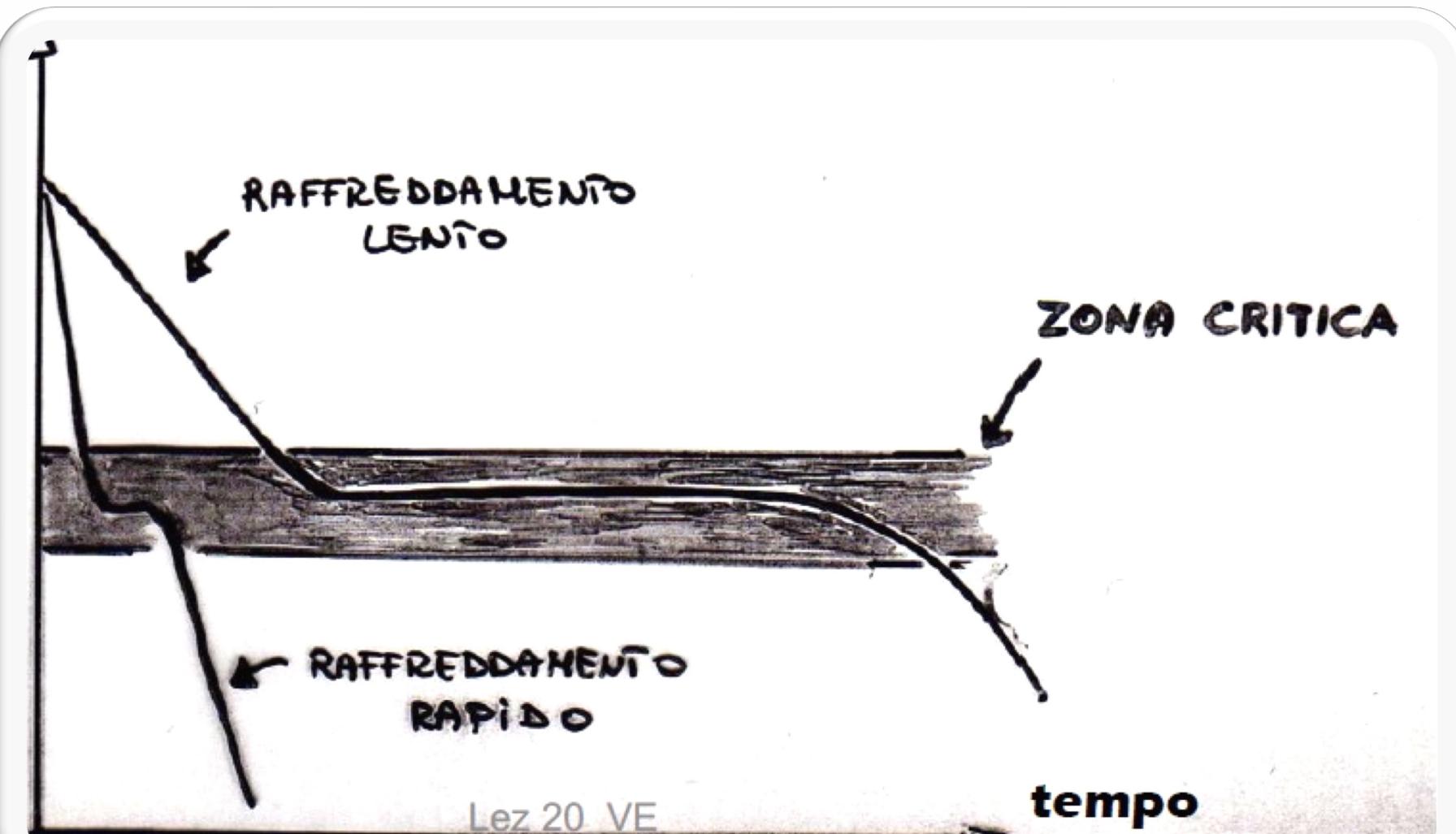
ALIMENTI

- AB' rimozione del calore sensibile;
- S: picco di sottoraffreddamento;
- SB' : la T raggiunge l' iniziale punto di congelamento (iniziano a formarsi i primi nuclei di ghiaccio (processo esotermico, il sistema acquista calore);
- B' C' : continua a formarsi del ghiaccio. La temperatura non rimane costante a causa della progressiva diminuzione della Tf per l' aumento della concentrazione dei soluti;
- CD: Uno dei soluti diviene soprasaturo e cristallizza; il calore latente di cristallizzazione determina un piccolo aumento di T;
- DE: ulteriore formazione di ghiaccio;
- EF: La T dell' alimento si porta a quella del congelatore; eventuale formazione di miscele eutettiche e complessi solidi.

PROCESSO LENTO O VELOCE?

- **CONGELAMENTO VELOCE (SURGELAMENTO) – NUCLEAZIONE SIMILOGENEA:** CREA CRISTALLI DI GHIACCIO PICCOLI E UNIFORMI CHE MINIMIZZANO I DANNI ALLE STRUTTURE CELLULARI DEL CIBO.
- **CONGELAMENTO LENTO – NUCLEAZIONE ETEROGENEA:** FORMA CRISTALLI DI GHIACCIO GRANDI CHE ROMPONO LE PARETI CELLULARI, CAUSANDO UNA MAGGIORE PERDITA DI QUALITÀ (TEXTURE MOLLE, PERDITA DI LIQUIDI/SCONGELAMENTO) AL MOMENTO DELLO SCONGELAMENTO.

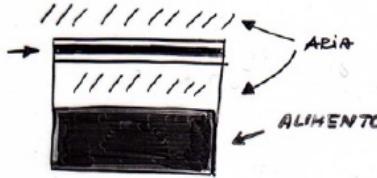
LA NUCLEAZIONE OMOGENA AVVIENE CON UN CONGELAMENTO VELOCE DELLA MATRICE ALIMENTARE, MA NON DEVONO ESSERE PRESENTI IMPURITÀ (PUÒ AVVENIRE IN ACQUA PURA), QUINDI È MOLTO IMPROBABILE CHE AVVenga IN CONGELAMENTI ALIMENTARI.



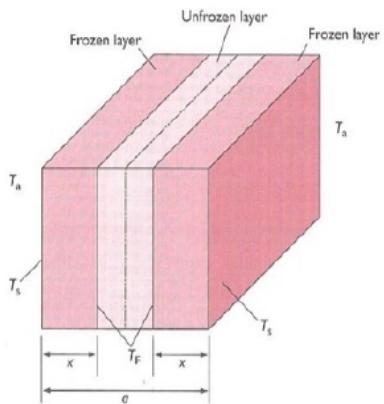
CONGELAMENTO O SURGELAMENTO?

- **CONGELAMENTO:** TERMINE GENERICO PER IL PROCESSO CASALINGO O INDUSTRIALE, SPESSO LENTO E A TEMPERATURE VARIABILI (ES. FREEZER DI CASA -18°C).
- **SURGELAMENTO:** TERMINE LEGALE E INDUSTRIALE CHE IMPLICA UN PROCESSO ULTRA-RAPIDO (CONGELAMENTO VELOCE) CHE PORTA L'ALIMENTO A TEMPERATURE MOLTO BASSE (SOTTO I -18°C AL CUORE) IN TEMPI BREVISSIMI, PRESERVANDO AL MASSIMO LA QUALITÀ ORIGINALE.

PACKAGING



Equazione di Plank (1913)



W

Figure 7-16 Use of Plank's equation in determining freezing time.

CALCOLO DEL TEMPO DI CONGELAMENTO

I FATTORI CHE INFLUENZANO LA VELOCITA DI TRASPORTO DEL CALORE SONO:

- CONDUCIBILITÀ TERMICA DELL'ALIMENTO;
- SUPERFICIE DELL'ALIMENTO;
- SPESORE DELL'ALIMENTO;
- DIFFERENZA DI TEMPERATURA TRA PRODOTTO E IL FLUIDO CRIOGENICO;
- L'EFFETTO ISOLANTE DELL'ARIA E DEL PACKAGING CHE CIRCONDA IL PRODOTTO.

Fornisce il tempo di congelamento assumendo però che l'alimento abbia già raggiunto la T di congelamento iniziale

$$t_F = \frac{\rho_f L_f}{T_F - T_a} \left(\frac{P'a}{h} + \frac{R'a^2}{k_f} \right)$$

ρ_f = densità della matrice congelata

L = calore latente di cristallizzazione

T_f, T_a = T di congelamento e T del fluido criogenico

P' e R' = costanti che dipendono dalla geometria del prodotto

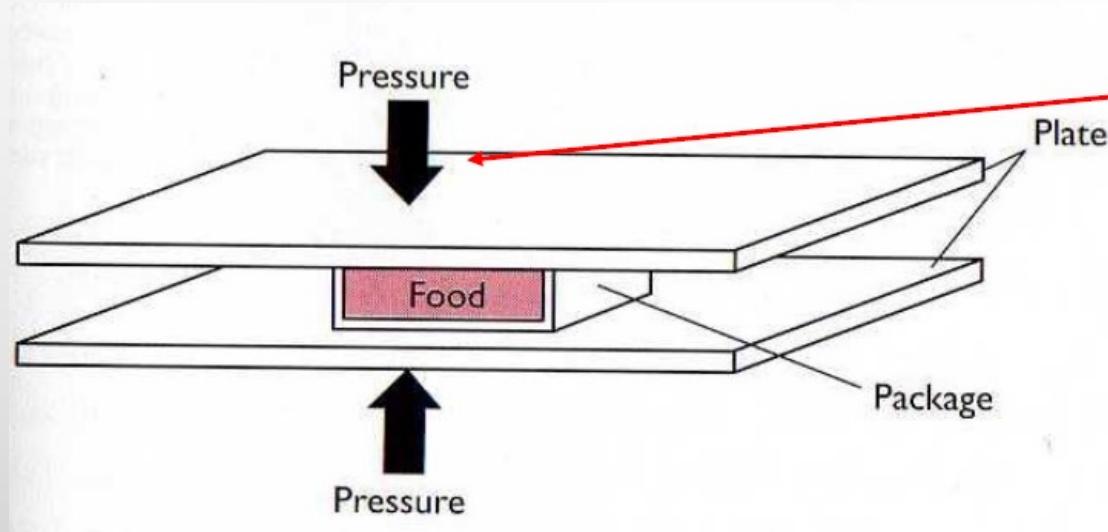
a = spessore/diametro dell'alimento

h = Coeff. di trasferimento del calore alla superficie del materiale

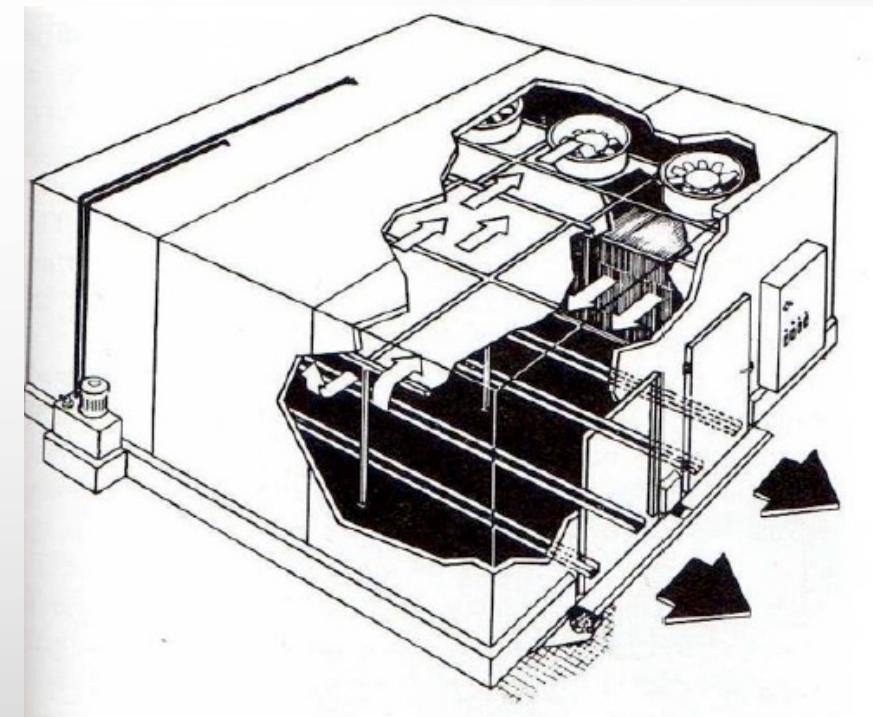
K = conducibilità termica del materiale congelato

SISTEMA A CONTATTO INDIRETTO

FREEZER A PIATTI

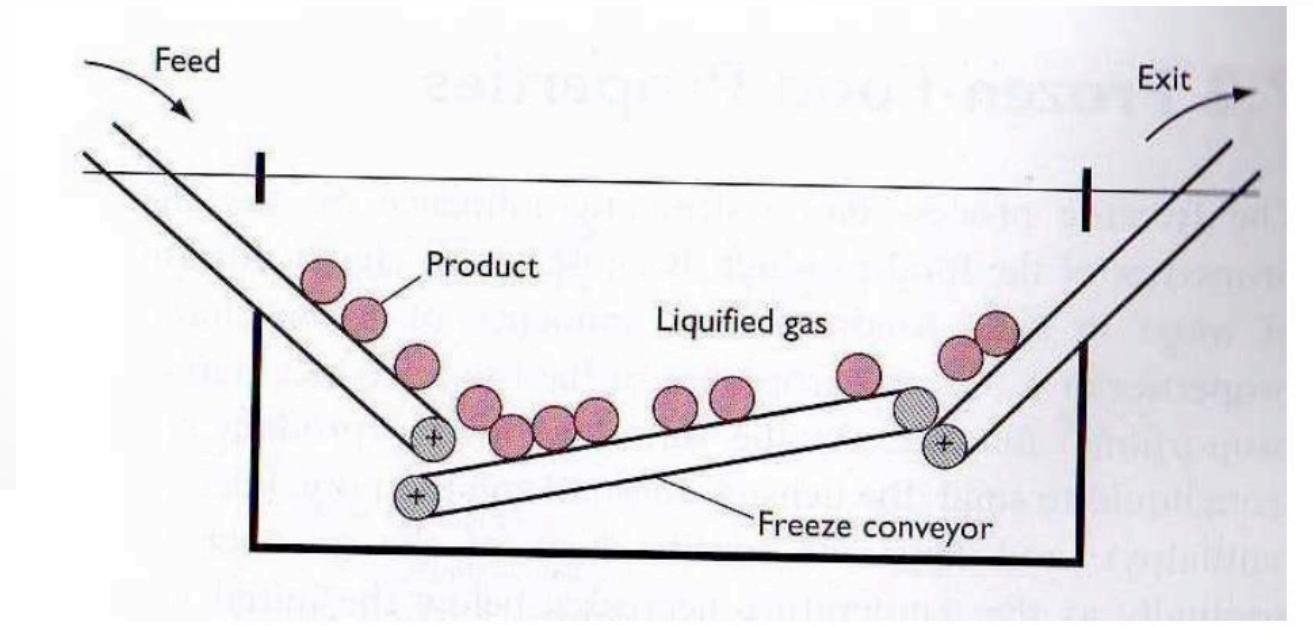
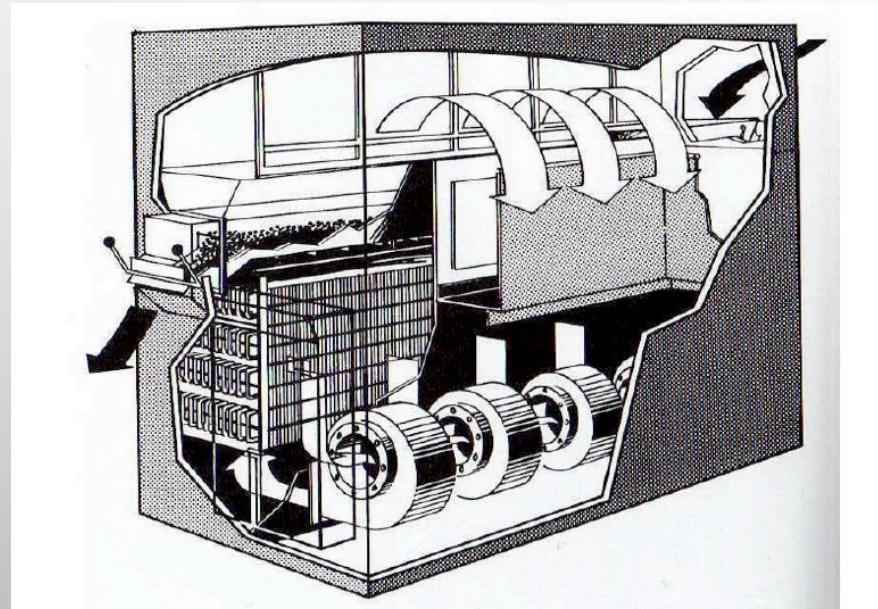


FREEZER A CORRENTE D'ARIA



SISTEMA A CONTATTO DIRETTO

- FREEZER A IMMERSIONE
- FREEZER A CORRENTE D'ARIA
- FREEZER A LETTO FLUIDO



SCONGELAMENTO

IL TEMPO NECESSARIO PER SCONGELARE UN ALIMENTO VARIA IN BASE A DIVERSI FATTORI:

- TEMPERATURA (DEL SISTEMA DOVE AVVIENE E DELL'ALIMENTO CONGELATO)
- CONDUCIBILITÀ TERMICA
- QUANTITÀ DI GHIACCIO
- DIMENSIONE CRISTALLI SOLIDI

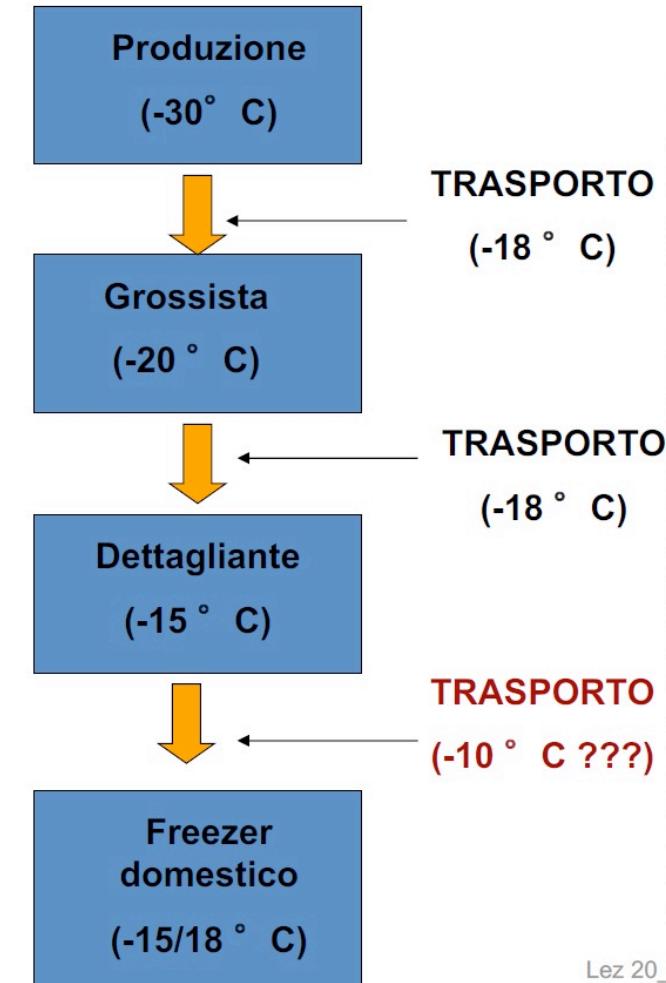
MODALITÀ OPPORTUNE

- OTTIMALE SVOLGERLO IN FRIGORIFERO (4-5 GRADI) O IN COTTURA DIRETTO
- DA EVITARE A TEMPERATURA AMBIENTE
- SCONSIGLIATO A BAGNOMARIA E IN ACQUA CORRENTE

LO SCONGELAMENTO RAPIDO COMPORTA MENO RISCHI MICROBIOLOGICI, MA SCONGELARE LENTAMENTE FAVORISCE UN MANTENIMENTO DELLA VISCOSITÀ, UN MINORE CAMBIAMENTO DELLE PROPRIETÀ ORGOLETTICHE, NONCHÉ UN PARZIALE RIASSORBIMENTO DI ACQUA DA PARTE DEI TESSUTI.

CATENA DEL FREDDO

- CONDIZIONE INDISPENSABILE PER LA CONSERVAZIONE DEI PRODOTTI CONGELATI E SURGELATI E' IL MANTENIMENTO SENZA INTERRUZIONE A TEMPERATURE MINORI O UGUALI A -18°C FINO AL MOMENTO DEL CONSUMO.



LA CATENA DEL FREDDO

