

PROCESSI TERMICI DEI LIQUIDI ALIMENTARI

Introduzione

Termizzazione, pastorizzazione, sterilizzazione e altri processi termici sono trattamenti mediante somministrazione di calore che si applicano nei processi alimentari destinati a distruggere microrganismi e virus che possano danneggiare la salute pubblica o causare danni economici significativi.

Nella trattazione ci riferiremo spesso ai processi che riguardano il **latte** perché è in questo settore che la pastorizzazione assume le forme più complesse e più varie e anche più comprensive, a cui poi si ispirano quelle destinate ad altri prodotti. In altre parole il latte è forse l'alimento più complesso da manipolare termicamente e contemporaneamente è uno tra i più importanti economicamente, viste le grandi quantità trattate.

Definizioni:

Termizzazione: è un trattamento relativamente leggero (sub-pastorizzazione) destinato a uccidere i batteri produttori di lipasi e proteasi, che altrimenti potrebbero proliferare e danneggiare il latte grezzo raffreddato stoccato prima di essere pastorizzato. È insomma un pre-trattamento.

Pastorizzazione: è un trattamento a caldo più severo della termizzazione il cui obiettivo primario è la distruzione dei batteri patogeni. La pastorizzazione, oltre a distruggere i patogeni, abbassa la concentrazione dei microrganismi non patogeni e distrugge la lipasi del latte, allungando la vita del prodotto.

Sterilizzazione: è un trattamento relativamente severo destinato ad uccidere le spore dei batteri termofili resistenti al calore. Essa rende il prodotto commercialmente sterile (come le bevande in lattina), permettendo lo stoccaggio a temperatura ambiente per lunghi periodi. Purtroppo a volte risulta talmente energico da distruggere anche enzimi positivi sia dal punto di vista nutrizionale che per le qualità sensoriali.

Processi termici continui

I processi termici continui sono molto più comuni dei processi in contenitore (inscatolamento tradizionale). In questa parte tratteremo solo processi continui.

Il cuore di ogni processo termico segue i passi seguenti:

riscaldamento ----- sosta ----- raffreddamento

- la fase di **riscaldamento** innalza la temperatura del liquido a un livello letale per i microrganismi bersaglio,
- la **sosta** mantiene il prodotto alla temperatura per un tempo sufficiente a raggiungere l'estensione richiesta di distruzione dei microrganismi,
- la fase di **raffreddamento** abbassa la temperatura il più velocemente possibile per minimizzare il danno termico al prodotto.

La fase di **sosta** è cruciale. Sebbene parte della distruzione dei microrganismi avvenga negli stadi finali del riscaldamento e in quelli iniziali del raffreddamento, la sosta è di solito progettata, in termini di temperatura e di tempo, per raggiungere da sola tutta l'estensione della distruzione dei patogeni. La relativamente modesta estensione di distruzione che si verifica durante il riscaldamento e il primo raffreddamento sono da considerarsi come un margine di sicurezza.

Non ci sono norme internazionali per la pastorizzazione, se non condizioni minime legali per ogni Paese, per proteggere la salute pubblica. Ad esempio in Nuova Zelanda esiste l' NZCP 7 (che suona come: Codice di pratica degli impianti e strumenti per la pastorizzazione), di cui vedremo un esempio di diagramma di processo.

Restando nell'ambito di questo esempio sono definiti alcuni parametri di base per la pastorizzazione del latte, che possono essere schematizzati come segue:

- Sistema batch: 63°C per 30 minuti;
- HTST (alta temperatura – tempo breve per processi continui): 72°C per 15 secondi;
- HHST (altissima temperatura – tempo brevissimo per pastorizzazione continua): 89°C per 1 secondo.

Altre combinazioni tempo-temperatura sono ammissibili e sono calcolate con formule empiriche che tengono conto, sia della temperatura di partenza, che del contenuto di grasso.

Ad esempio, per temperature inferiori a 72°C e latte con meno del 10% di grasso, si può applicare la seguente relazione empirica per trovare il tempo di sosta da impiegare per una temperature diverse:

$$t_e = 15 \cdot 10^{\frac{(72-T)}{4,33}}$$

con T = temperatura richiesta

t_e = tempo equivalente

es: se voglio pastorizzare a 66,4°C ottengo:

$$t_e = 15 \cdot 10^{\frac{72-66,4}{4,33}} = 294,7s = 4min$$

Alla fine della pastorizzazione il prodotto deve essere raffreddato immediatamente. Nel caso del latte a 5°C o meno, oppure raffreddato alla temperatura del successivo processo, in un tempo che non comprometta la sicurezza del prodotto.

PASTORIZZAZIONE

Il processo HTST è quello attualmente più usato per il latte. Esso comprende:

- Un serbatoio del latte grezzo
- Una pompa del prodotto grezzo
- Uno scambiatore
- Un sistema di controllo della temperatura di pastorizzazione
- Un filtro in linea o una centrifuga
- Una pompa dosatrice e un controllo della portata
- Un tubo di sosta
- Un sistema di deviazione attivato dalla temperatura
- Un sistema di controllo a pressione differenziale
- Un sistema di registrazione e controllo del processo

La **sequenza** delle operazioni durante il processo HTST è la seguente.

Il prodotto grezzo viene pompato dal serbatoio alla sezione di recupero del PHE (scambiatore a piastre), dove viene pre-riscaldato dal prodotto caldo pastorizzato che viene dal tubo di sosta.

Il prodotto pre-riscaldato può passare attraverso un filtro o una centrifuga (se prevista).

Dopo il riscaldamento il latte viene pompato dalla pompa dosatrice alla sezione di riscaldamento del PHE. Qui la sua temperatura viene innalzata giusto al disopra del minimo richiesto per mezzo di acqua calda o vapore in depressione.

Il mantenimento a questa temperatura è raggiunto facendo passare il latte in un tubo di dimensioni tali che, alla portata della pompa dosatrice, il tempo minimo di permanenza nel tubo sia maggiore o almeno uguale al tempo di sosta minimo richiesto (15 s per una temp. Di 72°C)

La temperatura del prodotto è monitorata a valle del tubo di sosta. Se questa è maggiore uguale a quella richiesta il sistema di deviazione in questo punto permette al prodotto di fluire avanti verso la sezione di recupero.

Nella sezione di recupero il prodotto pastorizzato viene pre-raffreddato cedendo calore al prodotto grezzo entrante. Rinfrescamento e raffreddamento finali avvengono nelle relative sezioni in cui i più comuni mezzi di scambio sono rispettivamente acqua fredda e acqua gelida (a volte soluzione glicolata proveniente dall'impianto frigo).

Se la temperatura del prodotto alla fine del tubo di sosta è inferiore a quella richiesta il prodotto sottopastorizzato è deviato indietro al serbatoio di alimentazione.

L'impianto deve essere progettato per operare affinché non ci siano contaminazioni del prodotto finale col prodotto grezzo nella sezione di recupero o contaminazione da parte di un mezzo di scambio non potabile in alcuna delle altre sezioni.

Se il prodotto non viene immediatamente processato di seguito, deve essere stoccato a temperatura di frigorifero in serbatoi puliti e disinfettati e protetti da contaminazioni microbiche post-pastorizzazione.

Organi e componenti dell'impianto NZCP 7

Serbatoio del prodotto grezzo

Provvede all'alimentazione costante e continua del prodotto grezzo al pastoreizzatore e accoglie il ritorno del prodotto mal pastorizzato.

Incorpora un sistema di adeguamento automatico del livello ad un valore pressoché costante. Questo aiuta a mantenere un flusso continuo attraverso l'impianto e a mantenere i differenziali di pressione.

Il serbatoio provvede a interrompere ed eventualmente a scaricare il suo contenuto, tra di esso e il pastoreizzatore: questo salvaguarda dall'allagamento del pastoreizzatore per gravità nel caso di guasto all'impianto.

Il serbatoio è progettato per rendere **minima la contaminazione** con l'esterno, l'aerazione del prodotto, la crescita dei batteri. Ovviamente non è necessario che sia sterile, ma deve comunque essere sano.

Può essere equipaggiato con un sensore di **livello minimo** che causa la deviazione del prodotto dall'uscita dal tubo di sosta al serbatoio se si raggiunge un livello minimo. Questo assicura il riempimento dell'impianto durante il lavoro: infatti se le pompe, aspirando aria, si disinnescano si avrebbe un arresto del liquido nei piatti dello scambiatore principale, con conseguente **bruciatura**. In tal caso il liquido viene dirottato di nuovo nel serbatoio all'uscita del tubo di sosta, mantenendo attiva la circolazione.

Pompa del prodotto grezzo

E' di solito una pompa centrifuga

Serve a:

- innescare il pastorizzatore all'avvio
- assicurare una sufficiente pressione di alimentazione alla pompa dosatrice
- mettere in pressione il liquido di lavaggio durante il CIP.

La sua portata è regolata dalla valvola bypass che regola il passaggio attraverso il recuperatore

Scambiatore a piastre

La sua funzione è quella di riscaldare il grezzo alla temperatura di pastorizzazione e, dopo lo stadio di sosta, di raffreddarlo alla temperatura richiesta.

Controllo della temperatura di pastorizzazione

Un sistema di controllo misura la temperatura alla fine del tubo di sosta (ce n'è uno anche all'inizio del tubo) e usa questa informazione per controllare il funzionamento della sezione di riscaldamento del PHE. La temperatura è di solito regolata a qualcosa in più rispetto a quella minima richiesta per la pastorizzazione, per compensare le perdite di calore lungo i tubi di sosta.

Recupero

Nella sezione di recupero del calore del PHE il calore viene trasferito dal prodotto pastorizzato a quello grezzo in ingresso.

Il **rendimento di recupero** (η_{RE}) è definito come:

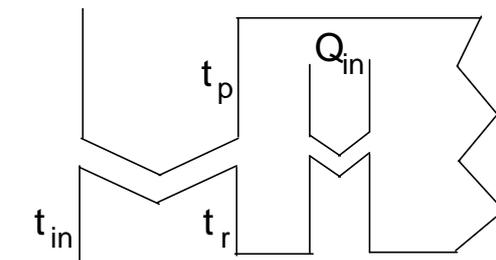
rapporto percentuale tra il calore fornito dal recuperatore e il calore totale teoricamente richiesto per portare quell'unità di massa alla temperatura di pastorizzazione (quella richiesta all'inizio del tubo di sosta).

CALORE SPECIFICO: rapporto tra calore immesso nell'unità di massa e variazione della temperatura prodotta. Se il CS è costante, la temperatura è proporzionale al calore.

Assumendo la portata massica uguale ai due estremi della sezione di recupero e assumendo realisticamente che il calore specifico del prodotto sia indipendente dalla temperatura nel range considerato, possiamo ragionare in termini di temperature, anziché di flussi di calore:

$$\eta_{RE} = \frac{t_r - t_{in}}{t_p - t_{in}}$$

con: t_{in} = temperatura all'ingresso del pastorizzatore (°C)
 t_r = temperatura dopo il recupero, prima del riscaldamento (°C)
 t_p = temperatura di pastorizzazione (°C).
 Q_{in} = calore immesso dall'esterno



In altre parole il rendimento è il rapporto tra il calore recuperato e il calore che avremmo dovuto fornire se non ci fosse stato il recupero ($t_p - t_{in}$)

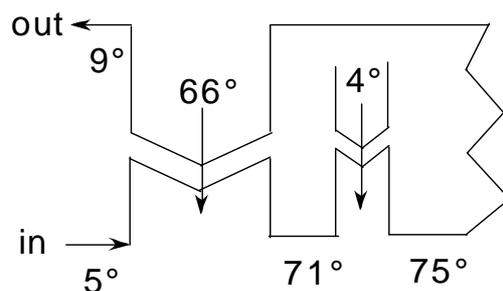
Esempio:

per $t_{in} = 5^\circ$, $t_p = 75^\circ$ un η_{RE} di 0,94 dà $t_r = 71^\circ$
 $5 + 0,94 \times (75 - 5) = 5 + 66$.

La sezione di riscaldamento avrà perciò il compito di aumentare la temperatura del prodotto di soli 4° ($75 - 71$).

Dopo il recupero la temperatura del prodotto sarà 9° ($75 - 66$)

Le sezioni di raffreddamento dovranno abbassare la temperatura di 4° ($9 - 5$) per riottenere la temperatura iniziale di 5° .



Rendimenti di recupero del 94% o maggiori sono normali nei moderni pastorizzatori a piastre. Un rendimento del 94% significa l'energia operativa costa solo il 6% di quello che sarebbe costata senza recupero. Ovviamente un alto rendimento abbassa il costo operativo, tuttavia alti rendimenti richiedono grandi superfici di scambio (es. maggior numero di piatti) nel rigeneratore. L'aumento della superficie aumenta molto con l'aumentare del rendimento per η_{RE} superiori al 90%. Infatti se la temperatura del prodotto grezzo in ingresso al recuperatore è molto vicina a quella del pastorizzato in uscita dal recuperatore (**delta-T piccolo**) **la quantità di calore scambiato nel tempo si abbassa.**

$$Q = K A \Delta T$$

Ad esempio, per passare da un η_{RE} di 0,90 a uno di 0,93 è richiesto un aumento della superficie di scambio del 50%.

Quindi se un alto rendimento fa diminuire i costi di esercizio, fa aumentare quelli di investimento. La sezione di recupero è perciò molto delicata e deve essere dimensionata per ottenere un bilanciamento dei due costi. L'optimum viene calcolato sulla base di fattori quali la temperatura in ingresso del prodotto (t_{in}) la temperatura delle acque fredde disponibili, i costi relativi di acqua fredda, vapore e refrigerazione, costi di manutenzione e vita prevista del PHE.

C'è un altro svantaggio nell'impianto con alto rendimento: esso ha una bassa velocità di avvio, per arrivare alla temperatura di regime. Inoltre, quando deve essere disinfettato per circolazione di acqua bollente sul lato prodotto (circa 80° per 10 min) è richiesto un tempo piuttosto lungo per raggiungere questa temperatura lungo l'impianto. Si aggira il problema bypassando la sezione di rigenerazione finché la temperatura è stata raggiunta (bisogna però prima lavare la sezione recupero per non cuocere il latte residuo). Alcuni impianti hanno una sezione di riscaldamento supplementare, usata solo per la pulizia, mentre in altri si immette acqua pre-riscaldata.

Filtrazione

Filtrazione o centrifugazione possono essere fatti durante o subito dopo il recupero, ma comunque sempre, **prima** del pastorizzatore. Essa evita che certe particelle fungano da protezione dei microrganismi durante la pastorizzazione.

Pompa dosatrice e controllo di portata

La pompa dosatrice ha due funzioni.

- La prima è di assicurare che il flusso del prodotto lungo il circuito non ecceda quello che corrisponde al minimo tempo di sosta richiesto.
- La seconda è di mantenere, in collaborazione con la valvola di sovra-pressione situata subito a valle del PHE i differenziali di pressione di cui parleremo più avanti.

La pompa deve essere collocata a valle del recuperatore, sul lato del prodotto grezzo, e a monte dell'ingresso alla sezione di riscaldamento.

La pompa può essere di diverso tipo:

- Centrifuga con un controllore di flusso incorporato con flussometro sanitario per agire su una valvola modulante;
- Volumetrica a pistoni o rotativa a lobi con variatore

Comunque la pompa deve incorporare un sistema automatico per:

- Registrare e visualizzare la portata
- Attivare il sistema di deviazione a valle del tubo di sosta quando la portata supera quella del set-point o il flussometro non dà segnale

Sezione di riscaldamento

La funzione della sezione di riscaldamento è di innalzare la temperatura del prodotto al minimo stabilito per la sosta, + 1 o 2 °C. Questo permette di compensare le naturali perdite di calore lungo il tubo.

Il maggior contributo alla pastorizzazione e alla uccisione dei batteri è dovuto alla sezione di sosta e non di riscaldamento, che deve essere una fase di passaggio. Il riscaldamento perciò deve essere il più veloce e uniforme possibile con un controllo della temperatura preciso.

Nei moderni impianti con un rendimento del 94% la temperatura si raggiunge in circa un minuto (all'avvio).

Mezzo riscaldante: si preferisce acqua calda o vapore sotto vuoto, quindi a temperatura inferiore a 100°C. poco usato è il vapore a pressione atmosferica (100°C) perché provoca un delta-T molto alto con conseguente rapido imbrattamento del lato prodotto delle piastre. Delta-T di soli 2-3° sono possibili invece con acqua o vapore sotto vuoto.

Tubo di sosta

Il tubo di sosta è collocato subito a valle del PHE e provvede a tenere il prodotto, in un flusso continuo, a una temperatura e per un tempo non inferiori a quelli stabiliti.

Esso consiste in un certo numero di sezioni diritte montate una sopra l'altra in un piano verticale. Le sezioni sono collegate da curve a 180°, facilmente smontabili per ispezioni e pulizia. Le sezioni diritte sono inclinate verso l'alto di circa 1° per prevenire la formazione di bolle d'aria.

La lunghezza del tubo è definita come la distanza tra l'inizio del primo tratto dritto e la valvola di deviazione, posta nel punto più alto.

Il tubo non è né scaldato né raffreddato in nessun punto, ma tutt'al più isolato. In questo caso il calo di temperatura è trascurabile, ma può essere > a 2°C per un tubo non isolato di 20 mm di diametro.

Il termometro sul tubo di sosta è montato molto prima delle valvole deviatrici per compensare il ritardo di apertura che altrimenti farebbe passare una piccola quantità di latte non pastorizzato prima che la valvola abbia il tempo di aprirsi. Un problema del genere causerebbe la contaminazione di tutto il latte già pastorizzato.

Il tempo medio di permanenza è dato da:

$$t_m = \frac{L}{u_m} = \frac{L}{\frac{Q}{\pi r^2}} = \frac{L\pi r^2}{Q} = \frac{\text{volume tubo}}{\text{portata volumica}}$$

con: t_m = tempo medio di sosta (s)
L = lunghezza tubo (m)
 u_m = velocità media del flusso (m/s)
r = raggio interno del tubo (m)

Tuttavia la viscosità crea un profilo di velocità nella sezione del tubo, la cui forma dipende se il flusso è laminare o turbolento. Il tempo di sosta perciò deve essere programmato in modo che l'elemento più veloce abbia un tempo di residenza maggiore o uguale a quello desiderato. Questo assicura che nessuna zona del prodotto rimanga sotto-pastorizzata.

Il tempo di sosta si misura **iniettando del NaCl** all'inizio del tubo e misurando la conducibilità elettrica alla sua estremità.

Valvola di deviazione

È un sistema che serve a deviare il flusso del prodotto non correttamente trattato e ad evitare che prosegua nel circuito, entrando nella sezione di recupero.

Di solito sono due valvole a due o tre vie, collegate in serie, una primaria e una secondaria, piazzate alla fine del tubo di sosta.

La valvola primaria è quella principale. La funzione di quella secondaria situata vicinissima alla primaria, è di dirottare ogni eventuale trafileamento che si possa verificare nella sede di quella primaria.

L'intervento delle valvole avviene quando si verifica:

- **calo di temperatura misurato alla fine del tubo di sosta**
- **aumento della portata**
- mancanza di segnale del flussometro
- caduta della corrente elettrica
- caduta dell'aria compressa
- guasto al sensore di temperatura

- aumento della T del latte freddo in uscita

Contemporaneamente alla deviazione deve verificarsi lo **stop della pompa di alimentazione e contemporanea apertura della valvola fail-open**: così si evita l'inutile passaggio del grezzo nel recuperatore, mentre continua il ciclo nel pastorizzatore (solo che il prodotto viene rimandato al serbatoio iniziale). Il latte fermo nel recuperatore non cuoce perché la sua alimentazione si ferma anche dal lato caldo.

Raffreddamento

Dopo le valvole inizia il rinfrescamento, prima nel recuperatore, poi nelle sezioni apposite. Quando c'è carenza di acqua fresca si passa direttamente alla sezione di raffreddamento. La presenza delle sezioni di raffreddamento è condizionata dall'uso che si fa del pastorizzato subito dopo il processo.

Controllo della pressione differenziale

Uno dei sistemi per prevenire contaminazioni, sempre molto gravi nel pastorizzatore, è quello di mantenere un differenziale di pressione positivo (una sovra-pressione), specialmente nel lato prodotto del recuperatore del PHE. Questo principio vale anche nelle sezioni dove lo scambio termico avviene in sezioni di raffreddamento dove scorre un mezzo raffreddante non potabile.

Questi differenziali di pressione sono di solito $\geq 0,1$ bar e sono mantenuti da un dispositivo collocato subito a valle della sezione di raffreddamento. Questo non è altro che una valvola modulante pneumatica.

Ci sono diversi indicatori e **trasmettitori di pressione** collegati specialmente alle sezioni di raffreddamento che permettono, attraverso un controllo centralizzato, di comandare la valvola.

Nello schema si vedono chiaramente le coppie di PT a monte e a valle delle sezioni di recupero e chilling (non ci sono nel cooling perché il mezzo è potabile) collegate al controller.

A valle della valvola modulante della pressione c'è un'altra valvola di deviazione che scarica il prodotto nel serbatoio di alimentazione (riciclo) quando avvengono:

- Guasti nei sistemi di misura di pressione
- Guasti elettrici
- Guasti al circuito di aria compressa
- Aumenti di portata
- Mancanza di segnale dal flussometro

Di solito l'intervento di questo sistema di sicurezza comporta l'avvio dei cicli di sanificazione dell'impianto perché di solito è dovuto a qualche rottura meccanica (es. piastre del PHE).

Tra la valvola di back-pressione e la deviatrice finale ci può essere un dispositivo anti-sifonaggio per evitare il ritorno all'indietro del prodotto in caso di arresto delle pompe, che va posto ad una quota superiore di almeno 1 metro al livello del serbatoio del grezzo.

STERILIZZAZIONE

Lo scopo della sterilizzazione è di permettere al prodotto di essere conservato per lunghi periodi a temperatura ambiente senza pericolo di danneggiamento microbiologico. Il processo deve perciò essere in grado di ridurre le spore dei batteri termofili a livelli accettabili.

La sterilizzazione può essere fatta in due modi:

- **In modo continuo**, in cui il prodotto viene trattato in un flusso continuo, poi raffreddato e confezionato asetticamente. Nel latte questo processo è detto UHT ed equivale alla pastorizzazione HTST, ma con temperature più alte e tempi più brevi. Si applica tipicamente al latte. Condizioni tipiche del processo sono: 135 – 150°C per 2 – 6 secondi.
- **In contenitore**, in cui il prodotto viene trattato dopo essere stato confezionato ermeticamente. Si applica **al latte concentrato, evaporato e condensato**. Condizioni tipiche del processo sono: 109 – 115°C per 20 – 40 min.

TECNOLOGIA UHT

Impianti UHT a riscaldamento indiretto

Impianto UHT indiretto a semplice scambiatore a piastre

È simile a un impianto di pastorizzazione HTST. Il grezzo arriva da un serbatoio a livello costante (1) da cui viene pompato con la pompa centrifuga (2). Passa attraverso il primo scambiatore (3), dove è riscaldato col recupero dal prodotto uscente fino a una temperatura adatta all'omogenizzazione (65-85°C). Il latte passa nell'omogenizzatore che funge anche da pompa di trasporto del prodotto lungo il resto dell'impianto. Da qui il prodotto va nella sezione di riscaldamento (5) dove viene portato alla temperatura di 138°C.

Dopo il tubo di sosta il latte viene parzialmente raffreddato con acqua fredda (6) e ulteriormente raffreddato dal recuperatore (3). Il latte lascia l'ultimo scambiatore a una temperatura di poco superiore a quella del grezzo. Il recupero è in genere basso: circa il 65%.

Prima di uscire il latte passa attraverso una strozzatura (7) (una valvola o un foro) che permette di mantenere la pressione nell'impianto ed evita l'ebollizione e la separazione dell'aria nelle sezioni ad alta temperatura.

Il tempo di sosta è controllato dall'azione pompante dello stesso omogenizzatore attraverso il controllore C, che rileva la q_2 e controlla l'iniezione di vapore nell'acqua.

La regolazione della temperatura di omogeneizzazione si ottiene variando la portata dell'acqua di raffreddamento nella sezione (6).

Nel processo UHT il latte che ha subito una **sotto-sterilizzazione** non viene fatto ricircolare, perché assumerebbe un gusto sgradevole; viene invece inviato ad altri utilizzi di più basso valore.

La **pulizia** e la sterilizzazione dell'impianto richiede circolazione di soluzioni **detergenti** (pulizia) e **acqua bollente** (sterilizzazione). La circolazione dell'acqua di sterilizzazione segue il percorso del prodotto, ma la sua temperatura deve rimanere sopra i 100°C dall'inizio del tubo di sosta fino all'uscita per circa 30 min. Tuttavia quando arriva al serbatoio di alimentazione si deve trovare a pressione atmosferica e non deve bollire. Perciò, prima della valvola di tenuta della pressione (10), l'acqua viene raffreddata dallo scambiatore (9) fino a una temperatura di circa 80°C.

Durante il lavaggio è bene disattivare la sezione di recupero aprendo la valvola (8).

N.B. per la sterilizzazione (lavaggio) è importante che la temperatura sia alta solo nel tratto che va dal tubo di sosta all'uscita.

Impianto UHT indiretto avanzato con scambiatore a piastre

In questo impianto sia il riscaldamento che il raffreddamento del prodotto è ottenuto usando un **circuito dell'acqua completamente separato e chiuso**.

- Recuperatore (3)
- Primo tubo di sosta (4) per pochi secondi per disattivare le **proteine del siero** che sono responsabili dell'imbrattamento dello stadio ad alta temperatura
- Riscaldatore principale (5) che porta la temperatura a 140°C
- Tubo di sosta (6)
- Prima sezione di raffreddamento che porta alla temperatura di omogenizzazione (55 – 75°C)
- Recuperatore (9)
- Raffreddamento (10) e uscita
- Restrittore (11) per mantenere la pressione.

In questo schema l'omo segue il tubo di sosta e quindi opera su prodotto sterile. **L'omo deve dunque essere aseptico** e questo comporta costi notevolmente maggiori. Per certi prodotti, come la crema, questo è assolutamente necessario.

Questo schema permette di operare in tutte e due le configurazioni, solo cambiando posto all'omo (da 8 a 4).

Il circuito dell'acqua, come si vede, è chiuso. L'acqua viene scaldata dal (12) a una temperatura di poco superiore a quella di sterilizzazione e deve sempre essere in sovrappressione.

Il recupero supera il 90%. Si perde lo si perde solo nel raffreddatore (10).

Il **prodotto sterile e quello non trattato non si trovano mai a contatto negli scambiatori**, con riduzione del pericolo di contaminazione per trafileggio. In altri casi è il prodotto in ingresso che scambia con quello in uscita. Invece qui c'è sempre l'acqua, che si auto-sterilizza ad ogni passaggio.

I maggiori **vantaggi** economici sono:

- Alto rendimento del recupero
- Bassi differenziali di temperatura (3°)

Impianto UHT indiretto a tubi concentrici

Pre-riscaldamento a recupero (4), omo (5) prima della sterilizzazione.

Gli **scambiatori tubolari resistono alla pressione** meglio di quelli a piastre, tanto che riescono a sopportare le pressioni dell'omo (sempreché siano abbastanza basse).

Siccome rendere sterile l'intero omo è costoso e la contaminazione che esso provoca è dovuta ai pistoni e non alla valvola, è conveniente montare solo questa a valle dello sterilizzatore, mentre gli organi meccanici possono rimanere a monte in sezioni non sterili.

Addirittura si possono montare due valvole omo, una **non sterile (5b)** e l'altra **sterile (5a)** che lavora a una temperatura più bassa (anche più conveniente). In questo modo si può scegliere quale usare in funzione del processo.

Il riscaldamento forte è ottenuto con **vapore diretto** nello scambiatore (7).

Si prosegue con le sezioni, il tubo di sosta (8), recupero (6) recupero (4), raffreddamento (9) e scarico. Solita valvola di sovrappressione (10), la valvola omo (5a) può sostituire la (10).

Lo scambiatore (3) entra in funzione solo per il lavaggio. L'acqua di lavaggio viene raffreddata sotto i 100° in (11) e portata a pressione atmosferica dalla (12).

Questo tipo di impianto, grazie alla maggior resistenza alle alte pressioni è **più al sicuro da contaminazioni**.

Impianto UHT indiretto a fascio tubiero

È molto simile al tubo concentrico eccetto che per:

- L'uso di vapore diretto per scaldare l'acqua di circolazione (*nello schema non appare, ma il vapore nel punto 10 riscalda l'acqua di circolazione, non è vapore diretto*)
- **omo con doppia funzione**: di omogeneizzare e di fare da pompa di circolazione dell'acqua. Questo assicura il mantenimento del giusto rapporto di portate dei due liquidi in caso di regolazione della mandata dell'omo
- L'impianto di **lavaggio** non passa per un raffreddatore, ma va in un **serbatoio pressurizzato** di espansione

Il processo è questo:

- Serbatoio di alimentazione (1)
- Sezione (2) che porta la temperatura a 75°C per l'omo
- Pre-riscaldatore (3)
- Pre-sosta (4) per 1 minuto a 90-95°C per disattivare le siero-proteine
- Riscaldamento forte a 138°C (5)
- Sosta (6) per 1,5 secondi
- Recupero (7) e raffreddamento finale (8)

È un caso di sistema con acqua in circuito chiuso e quindi basso pericolo di inquinamento per contatto di prodotti. Sistema con 90% di rendimento al recupero

Impianto UHT indiretto a corpi raschiati

Gli scambiatori a corpo raschiato (o a film agitato) **sono costosi** e normalmente **non possono essere usati come recuperatori**, però sono una scelta obbligata quando l'**alta viscosità del prodotto** preclude l'uso di altri tipi.

Funziona così:

- Alimentazione (1)
- Pompa del tipo a bassa azione di taglio (2)

- Uno o più scambiatori a c. raschiato (3) per il riscaldamento forte
- Sosta (4)
- scambiatori a c. raschiato (5) per raffreddamento
- Controllo di sovra-pressione. Questo può essere una **pompa volumetrica** a lobi, usata qui per tenere la pressione, oppure una **valvola speciale**, adatta a prodotti viscosi, (piuttosto che una semplice strozzatura, che si userebbe con prodotti fluidi)

Confronto fra i diversi tipi sistemi UHT indiretti

Gli **scambiatori a corpo raschiato** sono

- più costosi in tutti i sensi
- indispensabili per fluidi viscosi

Gli **scambiatori a piastre** sono

- economici, ma le
- poco resistenti alle alte pressioni e temperature (guarnizioni)
- sensibili all'imbrattamento (frequenti CIP)
- piastre sottili sono soggette a microforature per corrosione
- modulari
- facili da smontare, ispezionare, sostituire.

Gli **scambiatori tubolari** sono

- robusti
- costo intermedio tra gli altri due
- meno sensibili all'imbrattamento
- permettono l'uso di omogeneizzatori non asettici (più economici) con valvola collocata a distanza.
- difficilmente ispezionabili e pulibili

Impianti UHT a riscaldamento diretto

Negli impianti UHT diretti **la fase di riscaldamento finale alla temperatura di sosta è ottenuta mescolando il prodotto con vapore vivo sotto pressione.**

Il vapore si condensa mescolandosi al prodotto e rilasciando calore latente di condensazione e fornendo un rapporto di riscaldamento maggiore di quanto si possa avere con qualsiasi altro sistema: è in pratica uno scambiatore a miscela.

Per dare un raffreddamento rapido e uniforme il prodotto, dopo la sosta, viene lasciato espandere attraverso un restrittore (valvola di sovra-pressione) all'interno di un **serbatoio di espansione** a pressione inferiore.

Controllo della diluizione

Con questo procedimento, nel riscaldamento diretto si condensa circa 0,11 kg di vapore per 1 kg di latte. Vendere latte diluito è reato, è pertanto vitale riportare il latte allo stesso grado di concentrazione originario prima del processo.

Se si pone nel serbatoio di espansione (che si trova a temperatura T_3) una pressione pari alla pressione di vapore del latte alla temperatura T_1 prima del mixing, allora la quantità di vapore che evapora nel serbatoio di espansione sarà circa uguale alla quantità di vapore che condensa nel latte durante il mix.

Esempio: il latte viene scaldato da 85° a 144° con l'iniettore: il latte che va all'espansione avrà $144 - 85 = 59°$ di super-riscaldamento. Portando il latte nel serbatoio alla pressione di vapore che corrisponde alla temperatura del prodotto subito prima del contatto col vapore (85°), bollirà violentemente finché il surriscaldamento di 59° non sarà stato tutto usato per la conversione in calore latente di evaporazione. L'evaporazione cesserà quando la temperatura avrà raggiunto gli 85° e il latte sarà tornato alla concentrazione iniziale.

Diagramma temperatura- tempo

La fase di contatto col vapore può essere ottenuta per **iniezione** o per **infusione**.

- Nell'**iniezione** (vapore-in-prodotto) il vapore, a pressione maggiore di quella del prodotto, viene iniettato nel flusso liquido attraverso un ugello.
- Nella **infusione** (prodotto-in-vapore) il liquido viene introdotto dall'alto in una camera pressurizzata con vapore.

Impianto UHT diretto a iniezione

Il prodotto viene pompato dal solito serbatoio a livello costante (1) attraverso la sezione riscaldante (2) dove viene pre-riscaldato dal prodotto sterile semi-raffreddato in uscita.

Poi viene ulteriormente pre-riscaldato alla temperatura di 75-85°C in uno scambiatore (3) il cui mezzo di scambio è vapore sotto vuoto (per avere una temperatura $< 100°$) o acqua calda. La temperatura all'uscita è regolata controllando l'afflusso di vapore o la temperatura dell'acqua.

Una pompa ad alta pressione alimenta il prodotto all'**iniettore** (4) e al tubo di sosta dove **la pressione deve essere alta abbastanza da prevenire l'ebollizione del prodotto** e la separazione dell'aria disciolta e dare una soddisfacente condensazione di vapore. Tipica temperatura di sosta: 144°C per 5 secondi.

Il serbatoio di espansione-raffreddamento (5) è tenuto sotto vuoto dall'azione contrastante della valvola di immissione al serbatoio stesso e delle due pompe aspiranti:

- una sul fondo del **condensatore a miscela** (6) che aspira il vapore che si forma nella camera di espansione (5)
- l'altra (9) che aspira il liquido dal fondo della **camera di espansione** (5)

Il prodotto raffreddato si raccoglie sul fondo del serbatoio (5) e mandato all'omo (7) con una pompa aseptica

Per il **latte** si è constatato che il sistema ad iniezione, con la sua alta turbolenza, annulla i benefici della omogenizzazione, se fatta prima della sterilizzazione. Se effettuata prima della sterilizzazione, l'omo dà al latte una consistenza sgradevole al palato (astringente, gessosa), perciò con il latte si è obbligati a mettere l'omo a valle dell'iniezione.

Un sensore di livello posto sulla camera di espansione (L) fornisce il comando per mantenere costante il flusso di prodotto fra entrata e uscita. In alternativa, si può agire sul regime della pompa dell'omo.

In questi impianti di solito ci sono **due controlli di temperatura:**

- il controller **C₁** che, come al solito verifica la temperatura nel tubo di sosta
- il **C₂**, controlla l'immissione del vapore nel pre-riscaldatore (3) in funzione del differenziale di temperatura fra T_3 e T_1 . Per quel che si è detto questa differenza dovrebbe essere zero. In realtà si cerca

di mantenere T_3 2 o 3° al disopra di T_1 per compensare le perdite di calore nel percorso. Nello schema, T_3 è uguale alla temperatura nella camera di espansione.

Impianto UHT ad infusione diretta

Nell'**infusione** tre sono le tipiche forme di distribuzione del prodotto dall'alto:

- prodotto che discende con un getto a forma di ombrello, esposto al vapore.
- prodotto che discende in forma un sottile film laminare.
- prodotto che discende in forma di in getto a doccia.

L'inizio è simile all'iniezione (serbatoio, pre-riscaldamento-recupero) e non figura nella figura.

Il prodotto viene pompato (1) al distributore nella **camera di infusione** (2) che è alimentata con vapore sotto il controllo del controllore C1 per ottenere la corretta temperatura di sosta.

Il prodotto scaldato e diluito è forzato dalla pressione del vapore nel tubo di sosta e attraverso un restrittore (4) nel serbatoio di espansione (5). Il flusso può essere regolato da una pompa volumetrica (3), il cui regime è controllato dal sensore di livello (L1). Questo permette un controllo più preciso del tempo di sosta.

Il **vuoto** nel serbatoio d'espansione viene mantenuto al giusto valore (necessario per il raffreddamento):

1. dalla pompa (9) per la rimozione delle condense dal condensatore (6)
2. dalla pompa (7) (per l'estrazione del latte)
3. dal restrittore (4).

Il prodotto raffreddato viene rimosso dal serbatoio da una pompa asettica (7) per alimentare l'**omogeneizzatore asettico** (8). Per assicurare che il serbatoio non si riempia troppo o non vada in secca, il controllore di livello (L2) mantiene un livello costante del liquido alla base, agendo sul regime del motore dell'omo.

Impianto UHT a infusione diretta ad alta temperatura per latte.

L'interesse per questo tipo di impianto è sorto con la comparsa nel 1985 negli impianti UHT del batterio *Bacillus sporothermodurans*, con spore resistenti alle altissime temperature. Per questo sono necessarie temperature di **145-150°C per 3-10 s**.

In impianti UHT convenzionali questi valori produrrebbero un **danno eccessivo** al latte, perciò il sistema di infusione ad alta temperatura è stato studiato:

- o per controllare queste spore,
- o per ottenere un prodotto accettabile qualitativamente
- o per migliorare il recupero del calore per il pre-riscaldamento.

L'impianto è basato su scambiatori tubolari con acqua come mezzo di scambio per tutte le fasi indirette. Il latte viene pompato attraverso il pre-riscaldatore (1) e portato a 95°C. Poi passa 30 secondi a questa temperatura in un tubo di sosta (2) per la stabilizzazione delle proteine del siero. Questo trattamento riduce l'imbrattamento delle sezioni ad alta temperatura.

Il latte viene poi raffreddato a 75°C in un **diffusore flash (flash-cooler)**(3) che provvede a una **pre-concentrazione** del latte prima del trattamento diretto con vapore, per compensare **in anticipo** la diluizione durante l'infusione.

Il latte viene poi pompato dalla base del diffusore all'omo (4). Possono essere introdotti in questo punto anche **aromatizzanti** con un dosatore (10), in modo non asettico.

Un'altra caratteristica importante di questo sistema è che l'omo può essere posto a monte dell'infusione (e quindi può non essere asettico) perché il trattamento è più delicato che con l'iniezione.

Dopo l'omo il latte viene ulteriormente riscaldato indirettamente a 130°C nello scambiatore (1bis) e poi portato alla temperatura di sosta (150°C per il latte) per infusione (5). Il distributore del latte posto in alto nell'infusore produce **lunghi getti sottili** di liquido che cade attraverso l'atmosfera di vapore. L'elevata superficie di contatto col vapore produce un rapido riscaldamento con un piccolo delta-T tra i due fluidi. Questo fatto, unitamente alla forma a imbuto del fondo dell'infusore, raffreddato da una camicia ad acqua, rende minimo il surriscaldamento del latte. Il latte non viene mai a contatto con una superficie più calda di esso stesso perché un film sottile di vapore condensato ricopre la superficie del metallo della base.

Rispetto al sistema per iniezione il trattamento sul prodotto è **più delicato** perché non si verificano fenomeni di **cavitazione** dovuti all'impatto con la corrente del vapore e alla depressione che si verifica nell'iniettore.

Il latte, ora riportato al suo originario contenuto d'acqua, viene pompato dalla base dell'infusore da una pompa centrifuga a un secondo tubo di sosta (2), dove avviene la sterilizzazione (per circa 2 secondi). Il prodotto sterile viene poi raffreddato a 25°C in due stadi (6), prima di andare al confezionamento.

L'entità del **recupero** è di circa il 75-80% rispetto al 40-50% degli impianti convenzionali diretti. Ciò rappresenta un bel risparmio nei costi operativi.

I principali punti di forza del recupero sono:

- lo scambiatore (6a) che prende il calore dal prodotto uscente dall'infusore
- lo scambiatore (6b) che recupera il calore dello stadio finale di raffreddamento per fare il primo preriscaldamento.

In ognuno dei due circuiti è inserito uno scambiatore (7) che aggiunge calore a quello recuperato, mediante vapore e circolazione d'acqua.

BASE DI CONFRONTO	INIEZIONE	INFUSIONE
costi di investimento	alti	poco più alti
controllo della temp. e del tempo di sosta	imprecisa	precisa
de-aerazione durante il processo	no	si
Cavitazione durante il riscaldamento (con danno al prodotto)	si	no
versatilità del prodotto	limitata	ampia
consumo energia/vapore	100	103
contatto con superfici calde durante il riscaldamento	no	si
qualità del prodotto	deteriorata	eccellente
contatto diretto tra prodotto e superfici alla temperatura critica per la denaturazione delle proteine	si	no
precipitazione delle proteine	si	quasi assente
riscaldamento graduale con sosta breve e raffreddamento a espansione rapida	no	si