

IL RISCALDAMENTO OHMICO



Il riscaldamento ohmico

- Il riscaldamento ohmico è nato come processo alternativo ai tradizionali metodi di pastorizzazione. Questi ultimi sono processi di risanamento termico applicati ad alcuni alimenti allo scopo di minimizzare i rischi per la salute del consumatore dovuti a microrganismi patogeni, funghi e lieviti. Il processo di pastorizzazione però ha dei limiti perchè determina un'alterazione delle caratteristiche chimiche, fisiche ed organolettiche dell'alimento trattato.

Il riscaldamento ohmico

- I processi di pastorizzazione si basano sul trasferimento del calore per convezione, (Modalità di propagazione del calore tipica dei fluidi. Gli strati di fluido più vicini alla sorgente di calore, riscaldandosi si dilatano e diventano meno densi, tendono a salire verso l'alto e fanno sprofondare gli strati più superficiali. Si alimentano così correnti convettive) presentando però diversi limiti, infatti non possono essere applicati ad alimenti che presentano più fasi e come già citato determinano cambiamenti delle caratteristiche stesse degli alimenti.

Il riscaldamento ohmico

Il riscaldamento ohmico o riscaldamento resistivo è un processo termico nel quale il calore viene generato interamente all'interno dell'alimento, che è stato sottoposto al passaggio di una corrente elettrica alternata generata da un circuito elettrico. Esso prevede che la fonte di calore si generi dall'interno dell'alimento e che si propaghi verso l'esterno, assicurando che tutte le particelle alimentari siano trattate termicamente e quindi garantendo un risanamento complessivo del prodotto di livello superiore rispetto ai tradizionali metodi di pastorizzazione.

Il riscaldamento ohmico

In questi ultimi le parti esterne degli alimenti vengono esposte maggiormente all'azione riscaldante rispetto a quelle interne. Per realizzare un risanamento adeguato del prodotto da agenti patogeni bisogna usare fonti di calore a temperature superiori, che potrebbero di conseguenza danneggiare irreparabilmente il prodotto. Il circuito elettrico per poter realizzare il riscaldamento ohmico deve contenere:

- Generatore di corrente elettrica
- Gli elettrodi, che devono essere posizionati a contatto con l'alimento in modo da potergli trasferire la corrente, possono essere sia longitudinali sia trasversali
- Termocoppie per poter misurare la temperatura del sistema
- Rilevatori di pH
- Un sistema di raffreddamento del prodotto, funzionante a fine processo

Vi sono molti sistemi elettrici presenti sul mercato, ma il più diffuso è quello a sette elettrodi. Gli elettrodi sono di acciaio inossidabile e sono rivestiti da materiale termoisolante

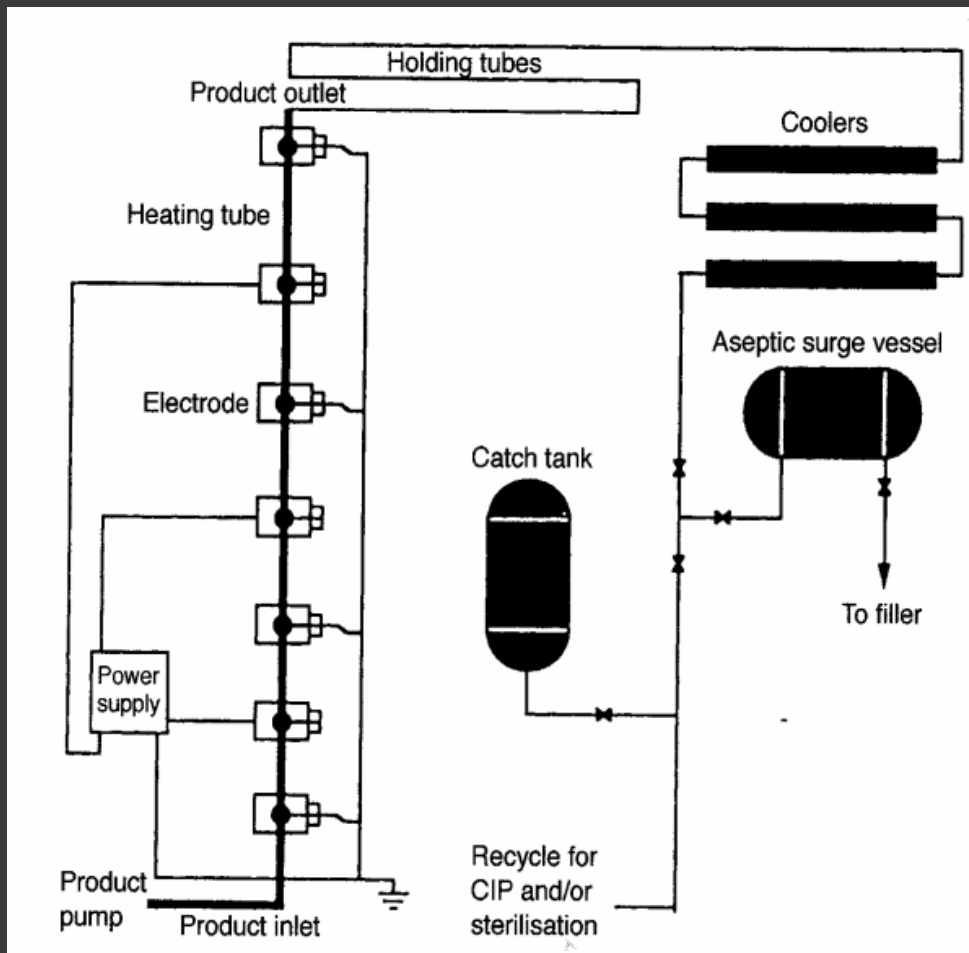
Il riscaldamento ohmico

- ◉ Considerazioni sulla progettazione

Ci sono due tipi di sistema:

- A campo longitudinale: elettrodi situati lungo la linea di flusso del prodotto.
 - A campo trasversale: elettrodi posti perpendicolarmente alla linea di flusso del prodotto.
- ◉ Nel primo caso il prodotto si riscalda mentre fluisce attraverso il riscaldatore. Il prodotto a monte è sottoposto a campi più elevati del prodotto a valle.
 - ◉ Nel secondo caso l'intensità di campo è costante attraverso il sistema.

Il riscaldamento ohmico



Un prodotto alimentare entra nel sistema di riscaldamento ohmico attraverso una pompa e fluisce verticalmente attraverso una serie di elettrodi dove viene riscaldato alla temperatura desiderata.

Quindi il prodotto entra nei tubi di trattenimento allo scopo di ottenere la sterilità per usi commerciali.

Infine il prodotto fluisce attraverso una serie di elementi refrigeranti e quindi dentro contenitori dove è conservato fino alla distribuzione.

Il riscaldamento ohmico

- Il passaggio della corrente elettrica attraverso l'alimento genera energia che viene dissipata sotto forma di calore: il riscaldamento che come già citato avviene dall'interno verso l'esterno è legato alle caratteristiche ioniche del substrato.
- La temperatura raggiunta dal substrato trattato con il riscaldamento ohmico è maggiore rispetto a quella raggiunta dai tradizionali trattamenti, ed inoltre essa viene raggiunta molto più velocemente
- Gli alimenti a seconda della loro conduttività possono essere divisi :
 - buoni conduttori: succhi di frutta
 - medi conduttori: marmellate
 - cattivi conduttori: grassi

Il riscaldamento ohmico

- Il grasso può causare problemi perché esso presenta una bassa conduttività e si riscalda solo per conduzione tramite il materiale circostante. Per questo motivo i microrganismi immersi nella fase grassa sono in un certo senso protetti dallo strato lipidico e quindi potrebbero subire trattamenti tali da non portare alla loro eliminazione.

Il riscaldamento ohmico

⦿ Velocità di prodotto

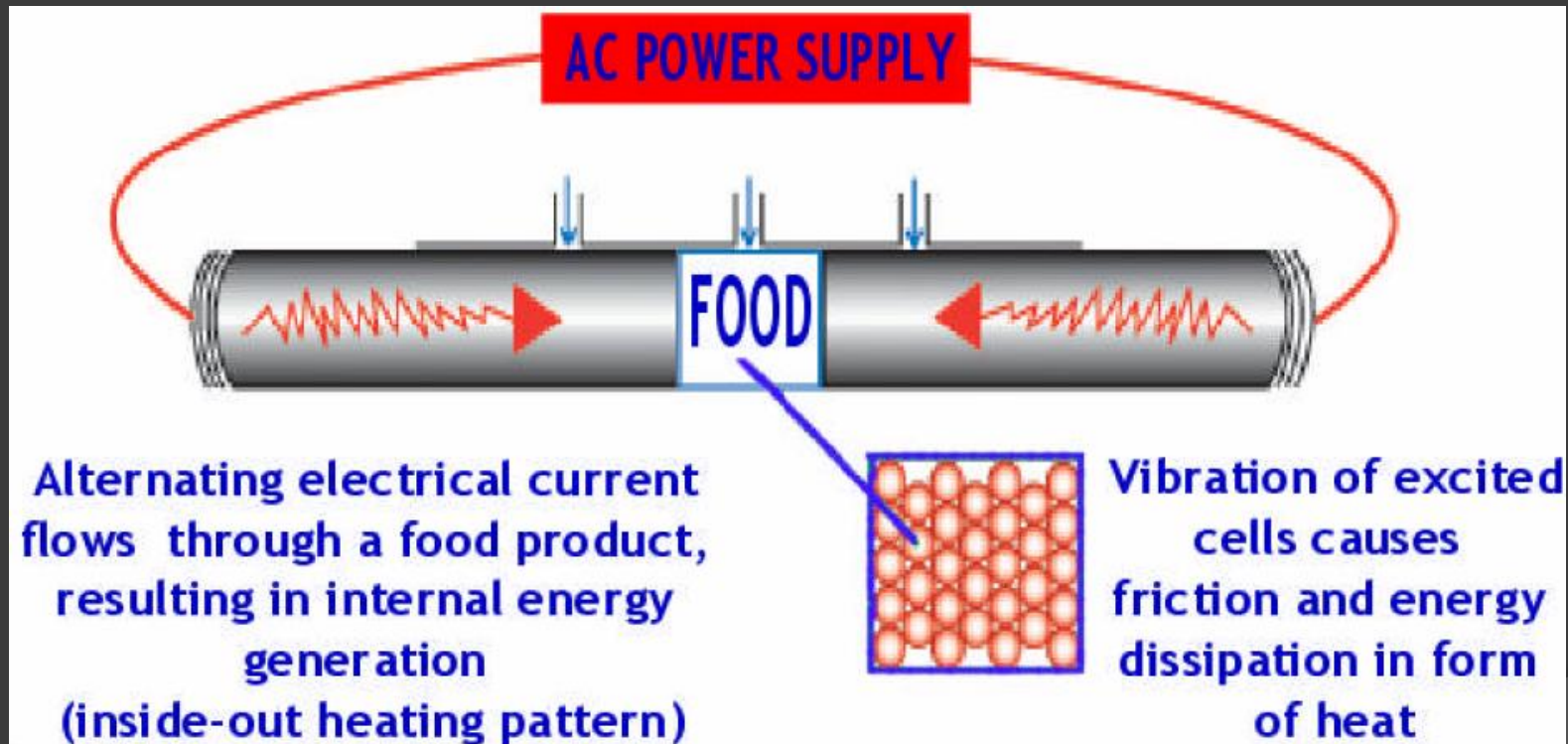
La corrente elettrica può danneggiare il sistema riproduttivo di alcuni microorganismi

Il riscaldamento ohmico offre l'opportunità di alzare la temperatura di picco a valori molto più elevati di quelli usati con tecniche di riscaldamento convenzionali.



Usando il riscaldamento ohmico invece delle tecniche di trasferimento del calore convenzionali, il trattamento al calore può essere **ridotto** e perfino il tempo di trattenimento può essere **più corto**.

Il riscaldamento ohmico



Il riscaldamento ohmico



L'impianto pilota di riscaldamento ohmico è costituito da due sezioni: la sezione di riscaldamento non convenzionale di tipo ohmico e la sezione di confezionamento asettico.

Il riscaldamento ohmico

- La sezione di riscaldamento è costituita da :
- Un serbatoio di carico a forma di cono rovesciato con una capienza di 200 l nel quale si introducono gli alimenti da trattare
- Un gruppo di pompe a pistone con valvole a sfera sanitarie, per il trasferimento del materiale nel riscaldatore ohmico
- Il riscaldatore Ohmico “core” dell’impianto, costituito da un cilindro verticale realizzato attraverso due tubazioni con diametro di 80 mm collegate tra loro tramite elettrodi. In questa colonna il prodotto è progressivamente riscaldato alla temperatura di processo dal passaggio di una corrente elettrica alternata
- Una tubazione di sosta, di lunghezza regolabile, per il mantenimento del prodotto ad una temperatura determinata e per un tempo necessario ad ottenere la sterilità commerciale
- Un serbatoio di riciclo con capacità di 280 l in cui viene inviato il prodotto che non ha raggiunto che non ha raggiunto la temperatura di processo e che deve essere riprocessato

Il riscaldamento ohmico

uno scambiatore di calore, tubo in tubo, con una superficie di scambio termico di 3,5 metri quadrati, in cui si raffredda il prodotto processato

A valle della sterilizzazione , gli alimenti vengono introdotti nella sezione di confezionamento asettico, costituita da :

un serbatoio di stoccaggio con capienza di 280 l

una testa di riempimento, funzionante in modalità manuale, che consente di confezionare sacchi di volume variabile nel range 5-20 l

Il riscaldamento ohmico

- La velocità di riscaldamento è direttamente proporzionale alla radice quadrata dell'intensità del campo elettrico, alla conducibilità e composizione chimica del prodotto. La forza del campo elettrico può essere regolata variando opportunamente la distanza tra gli elettrodi. La conducibilità elettrica è una misura di quanto facilmente la struttura interna di un materiale si lascia attraversare da una corrente. In altri termini si può anche pensare che la conducibilità, nel caso del riscaldamento ohmico, sia una misura delle specie ioniche che il materiale contiene. Nel caso dei cibi l'ingrediente ionico più comune è il sale (NaCl) . Più alta è la quantità di sale che è disciolta nel materiale, più alta è la sua conducibilità. In teoria non vi è un limite al calore che si può produrre del alla temperatura a cui si può giungere usando questo sistema.
- Si può pastorizzare qualunque alimento: gli alimenti in forma solida devono essere opportunamente trattati on modo da poter essere finemente suddivise e dispersi in un altro materiale (di solito un liquido) ottenendo così una sospensione. Però l'efficacia del trattamento dipende soprattutto dalle caratteristiche dell'alimento : nono tutti gli alimenti sono dei buoni conduttori di corrente ; di fatti in base a questo parametro possiamo classificarli in :
 - 1) buoni conduttori (uova , succhi di frutta)
 - 2) medi conduttori (marmellate e margarina)
 - 3) cattivi conduttori (surgelati e grassi)

Il riscaldamento ohmico

- Minore è la conducibilità dell'alimento e maggiore è il tempo a cui deve essere sottoposto l'alimento al trattamento termico.
- Gli alimenti che al loro interno hanno una maggiore quantità di lipidi possono essere problematici da riscaldare : in particolare se i lipidi sono concentrati in zone estremamente conduttive, le linee di corrente possono trovare percorsi alternativi per rinchiudersi, non passando mai attraverso di essi. Questo fenomeno è noto come il problema della sovratemperature localizzate : la composizione chimica stessa dell'alimento è tale creare al suo interno delle zone più conduttive, che di conseguenza si riscaldano più rapidamente e delle zone meno conduttive o addirittura isolanti, che impiegheranno molto tempo per riscaldarsi. La pastorizzazione di questi alimenti è estremamente difficile da ottenere : da un lato, per fare in modo che tutto il prodotto raggiunga la temperatura desiderata, si dovrebbe aumentare il tempo di trattamento, mentre dall'altro quest'ultimo dovrebbe essere ridotto, per non produrre bruciature superficiali o deterioramenti delle zone più conduttive, che ovviamente si riscaldano prima.

Il riscaldamento ohmico

- Prima di entrare all'interno del sistema di pastorizzazione l'alimento da trattare deve essere ridotto ad una sospensione. Tale sospensione deve essere accuratamente preparata, poiché la componente solida verrà riscaldata contemporaneamente alla componente liquida, solo che si trova ad un'elevata densità. In generale quindi non tutti gli alimenti liquidi sono solidi in sospensione si possono pastorizzare efficacemente con il sistema ohmico: un alimento estremamente liquido come un succo di frutta o un brodo, non potrà essere processato completamente altrimenti si deteriorerà in maniera irreversibile. Infine c'è da tenere presente la manutenzione dell'impianto, che deve essere estremamente accurata. I macchinari devono essere periodicamente trattati con opportuni prodotti e temperature (ad esempio NaOH per circa 30 minuti a 60 / 70 gradi centigradi) al fine di evitare che componenti organici (soprattutto proteine) possano depositarsi sugli elettrodi, impedendo la conducibilità della corrente.

Il riscaldamento ohmico

La resistenza è data da:

$$R=V/I$$

- R è la resistenza tra gli estremi del componente
- V la tensione a cui è sottoposto il componente
- I è l'intensità di corrente che attraversa il componente

Nel sistema internazionale l'unità di misura della resistenza elettrica è l'ohm, indicato con la lettera greca maiuscola omega Ω

Note: l'equazione sopra riportata non esprime la legge di Ohm: questa equazione è semplicemente la definizione di resistenza. La legge di Ohm, invece, si riferisce a una relazione lineare fra corrente e tensione per alcune classi di conduttori, per i quali il rapporto tra tensione e corrente è costante, indipendentemente dalla tensione applicata. Per queste classi di conduttori, allora, la definizione sopra di resistenza diventa anche la prima legge di Ohm.

Nei circuiti in corrente continua, per i conduttori a resistenza costante (esempio fili metallici, soluzioni elettrolitiche) è valida la legge di Ohm, che stabilisce che la corrente I è proporzionale alla tensione V applicata. Il fattore di proporzionalità G si chiama conduttanza. Esso è il reciproco della resistenza R

Il riscaldamento ohmico

Esso vale:

$$G=1/R; I=G \times V;$$

La conduttanza è misurata in siemens (simbolo: una S maiuscola).

Le unità di misura sono quelle del Sistema Internazionale di unità di misura.

Quando, al variare della tensione applicata, la corrente varia in maniera proporzionale (e quindi il loro rapporto, la resistenza, si mantiene costante) si dice che il componente ha un comportamento ohmico in quando segue la legge di Ohm.

In generale, non esistono materiali a resistenza nulla o infinita, tali da permettere un passaggio di corrente senza perdere parte della potenza in calore, o tali da impedire il passaggio di qualsiasi corrente elettrica. In altre parole, non esiste in natura né un perfetto conduttore elettrico né un perfetto isolante elettrico e si può scrivere che:

$$0 < R < + \infty$$

Il riscaldamento ohmico

La resistenza R di un filo conduttore è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed è inversamente proporzionale alla sua sezione, ovvero può essere calcolata tramite la seconda legge di Ohm:

$$R = \rho \times L / S$$

Dove:

L è la lunghezza del filo, misurata in metri

S è l'area della sezione, misurata in millimetri

ρ (lettera greca: ro minuscola) è la resistenza elettrica (detta anche resistenza elettrica specifica o resistività) del materiale, misurata in ohm – metro. E' la misura della capacità del materiale di opporsi al fluire in esso della corrente elettrica (indipendente dalle sue dimensioni e dalla sua forma). Frequentemente la resistenza specifica viene data in ohm x mm quadrati / m e ciò esprime la resistenza di ohm di uno specifico materiale di 1 metro e sezione 1 mm quadrato. Ad esempio la resistenza specifica del rame è 0,0175 ohm x mm quadrati / m e ciò sta ad indicare che un filo di rame di lunghezza 1 metro ha una resistenza elettrica di 0,0175 ohm.

Per un filo a sezione non costante il calcolo della resistenza si effettua tramite integrale.

Il riscaldamento ohmico

Vi sono due motivi per cui una piccola sezione del filo tende ad aumentare la sua resistenza : uno è che gli elettroni, hanno tutti la stessa carica negativa, si respingono tra di loro quindi c'è una resistenza alla loro compressione in un piccolo spazio; l'altro motivo è dovuto al fatto che gli elettroni si urtano tra di loro generando scattering (in inglese letteralmente significa : sparpagliamento, dispersione) e quindi la loro traiettoria originale.

Il riscaldamento ohmico

Dipendenza dalla temperatura

Come scritto sopra, la resistenza di un conduttore si calcola tramite

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

Ma questa vale soltanto per la temperatura per la quale è valida la resistenza specifica indicata. Se nulla è indicato questa è valida per una temperatura di 20 gradi centigradi. Su questo anche l'indice 20 di R richiama l'attenzione. Sostanzialmente la resistenza elettrica è dipendente dalla temperatura. Ciò è valido per tutti i materiali. Questo comportamento è dipendente dal materiale ed è valutabile col coefficiente di temperatura lineare α e l'influenza dell'incremento di temperatura ΔT . Questo cambiamento si descrive generalmente tramite una linearizzazione.

Il riscaldamento ohmico

Per la maggior parte dei materiali impieghi ciò è sufficiente, dato che i più elevati coefficienti di temperatura sono per lo più decisamente piccoli. A seconda che il valore della resistenza ohmica diventi più grande o più piccolo, si distingue tra conduttori “caldi” (il valore della resistenza ohmica sale: in linea di massima per tutti i metalli) e conduttori “freddi” (la resistenza ohmica diminuisce). Nelle applicazioni tecniche la dipendenza della resistenza dalla temperatura è utilizzata: per esempio nei termostati o negli anemometri a termistore. Il filo di costantana rappresenta una eccezione.

La resistenza elettrica di un tipico metallo conduttore cresce linearmente con la temperatura :

$$R = R_0 + R_0 \times \alpha T$$

La resistenza elettrica di un tipico semiconduttore decresce esponenzialmente con la temperatura:

$$R = R_0 \times e^{-\alpha T}$$

Il riscaldamento ohmico

- L'alimento viene riscaldato facendo passare
- attraverso di esso una corrente elettrica (utilizzando
- degli elettrodi) generalmente alternata
- o Il passaggio della corrente elettrica genera energia
- che viene dissipata sotto forma di calore: il
- riscaldamento avviene in un certo senso dall'interno
- verso l'esterno specialmente se il substrato ha
- caratteristiche ioniche adeguate
- o L'uniformità della temperatura è maggiore che nei
- trattamenti tradizionali e la temperatura di processo
- viene raggiunta in tempi più brevi
- o L'inattivazione dei microrganismi avviene per effetto
- del calore

Il riscaldamento ohmico

- In un impianto in continuo le distribuzioni di
- temperatura dipendono da:
 - • La conduttività delle diverse fasi (liquida, solida)
 - dell'alimento
 - • La dipendenza della conduttività dalla temperatura
 - • Le caratteristiche progettuali del sistema di
 - riscaldamento
 - • Il moto del liquido interstiziale
 - • La distribuzione dei tempi di residenza
 - • Le proprietà termofisiche dell'alimento
 - • La forza del campo elettrico

Il riscaldamento ohmico

- Gli elettrodi possono essere disposti longitudinalmente rispetto al movimento del fluido
- o trasversalmente. Nel primo caso si usa in genere un alto voltaggio con una corrente
- di bassa intensità e la conduttività in genere aumenta con la temperatura e il campo
- elettrico diminuisce longitudinalmente. Quando gli elettrodi sono posti trasversalmente
- il campo è uniforme e ci sono più elettrodi.
- La composizione della fase liquida può essere aggiustata per ottenere un
- riscaldamento ohmico più efficace delle particelle. Tuttavia la presenza di grasso può
- causare problemi: il grasso ha una conduttività bassa e si riscalda solo per
- conduzione tramite il materiale circostante; microrganismi immersi nella fase grassa
- potrebbero subire trattamenti più blandi.

Il riscaldamento ohmico

Vantaggi

- Il metodo del riscaldamento ohmico si presenta come un'ottima alternativa ai metodi di pastorizzazione tradizionali, permette infatti di:
 - Riscaldare un prodotto generando il calore direttamente all'interno di quest'ultimo
 - Ridurre il rischio di bruciare le superfici esterne del prodotto, minimizzando il deterioramento delle sue proprietà organolettiche
 - Permette di riscaldare adeguatamente un alimento liquido con solidi in sospensione, solo se la densità di questi ultimi è molto elevata
 - Un facile controllo del processo
 - Ottenere una pastorizzazione completa del prodotto riuscendo ad eliminare la maggior parte dei microrganismi e degli agenti patogeni

Il riscaldamento ohmico

Svantaggi

Si deve ricordare che ci sono alcuni aspetti critici in questo sistema di pastorizzazione. I più importanti riguardano il tempo e la conducibilità elettrica: il metodo del riscaldamento ohmico si basa sul passaggio diretto di corrente e dipende, di conseguenza, fortemente dalla conducibilità σ (sigma) dell'alimento. Non tutti gli alimenti sono buoni conduttori di corrente, in base alla conducibilità essi possono essere classificati in:

- ⦿ $\sigma > 0,05$ S/m, buoni conduttori: uova, vino, succhi di frutta
- ⦿ $0,005 < \sigma < 0,05$ S/m, medi conduttori: marmellate, margarina
- ⦿ $\sigma < 0,005$ S/m, cattivi conduttori: surgelati, grassi e liquori

Il tempo per ottenere un'azione riscaldante adeguata ad eliminare i microrganismi nocivi varia molto a seconda della natura del prodotto trattato: minore è la conducibilità maggiore sarà il tempo di trattamento

Il riscaldamento ohmico

- Si deve poi ricordare che la conducibilità è una grandezza elettrica che dipende anche inversamente dalla temperatura: un aumento di temperatura comporta una sua diminuzione e quindi un aumento della “resistenza” che la struttura interna del prodotto offre al passaggio della corrente. Nel caso di tutti gli alimenti la conducibilità viene a dipendere dalle dimensioni del prodotto, dalla sua temperatura, dalla percentuale di acqua presente e dalla sua composizione chimica(in particolare se all'interno del prodotto sono presenti specie ioniche). Gli alimenti che al loro interno hanno una maggiore quantità di lipidi possono essere problematici da riscaldare, in particolare se i lipidi sono concentrati in zone estremamente conduttive, le linee di corrente possono trovare percorsi alternativi per richiudersi non passando mai attraverso di essi. Questo fenomeno è noto come il problema delle sovratemperature localizzate: la composizione chimica dell'alimento è tale da creare al suo interno delle zone più conduttive che si riscaldano più rapidamente e delle zone meno conduttive, che impiegheranno molto tempo per scaldarsi

Il riscaldamento ohmico

La pastorizzazione di questi alimenti è molto difficile da ottenere: da un lato, per fare in modo che tutto il prodotto raggiunga la temperatura desiderata si dovrebbe aumentare il tempo di trattamento, mentre dall'altro quest'ultimo dovrebbe essere ridotto, per non produrre bruciature superficiali o deterioramenti delle zone più conduttive, che ovviamente si riscaldano per prime

Il riscaldamento ohmico

Alimenti a cui si applica

Prima di entrare all'interno del sistema di pastorizzazione, l'alimento da trattare deve essere ridotto ad una sospensione. Tale sospensione deve essere accuratamente preparata, poiché la componente solida verrà riscaldata contemporaneamente alla componente liquida, solo se si trova ad una densità elevata. In generale non tutti gli alimenti liquidi con solidi in sospensione si possono pastorizzare efficacemente con il sistema ohmico: un alimento estremamente liquido non potrà essere processato completamente altrimenti si deteriorerà in maniera irreversibile

Il riscaldamento ohmico

- Infine c'è da tenere presente la manutenzione dell'impianto, che deve essere estremamente accurata. I macchinari devono essere periodicamente trattati con opportuni prodotti e temperature (ad esempio con NaOH per 30 min a 60/70 °C) al fine di evitare che componenti organici (soprattutto proteine) possano depositarsi sugli elettrodi, impedendo la conducibilità della corrente.