

TECNICHE TRADIZIONALI E INNOVATIVE DI CONSERVAZIONE DEGLI ALIMENTI

TECNOLOGIE EMERGENTI DI SANITIZZAZIONE

PERCORSI ABILITANTI SPECIALI, 2014, CLASSE A057 e A058

Università degli Studi della Basilicata

Prof.ssa Angela Carlucci

INDUSTRIE AGRARIE E MECCANIZZAZIONE

Metodi fisici	Tradizionali	Basse temperature	Refrigerazione Congelamento
		Alte temperature	Pastorizzazione Sterilizzazione
		Disidratazione	Concentrazione Essiccamento Liofilizzazione
		Variazione di atmosfera	Confezionamento sottovuoto Ambiente modificato
		Radiazione	Radiazioni ionizzanti
	Innovativi	Alte pressioni Ultrasuoni Riscaldamento ohmico Campi elettrici pulsati	
Metodi chimici	Tradizionali	Conservanti naturali	Salagione Uso di zucchero Uso di alcol Uso di aceto Uso di olio
		Conservanti artificiali	Uso di additivi chimici
	Innovativi	Batteriocine Chitosani	
Metodi fisico-chimici	Affumicamento <i>Active packaging</i>		
Metodi biologici	Fermentazioni Uso di enzimi (come conservanti o nell' <i>active packaging</i>)		

TECNOLOGIE EMERGENTI DI SANITIZZAZIONE

Termiche

- Riscaldamento ohmico
- Microonde
- Radiofrequenza
- Induzione termica

Non termiche

- Bactofugazione
- Alte pressioni
- Campi elettrici pulsati
- Ultrasuoni
- Luce pulsata
- Ultravioletti
- Plasma freddo
- Radiazioni

RADIAZIONI IONIZZANTI

- Si tratta di un trattamento ipotizzato già negli anni '20 ed usato dagli anni '40
- Vengono utilizzate radiazione elettromagnetiche (raggi X, raggi γ) che forniscono una elevata shelf-life ed una elevata sicurezza
- La FAO/WHO ha evidenziato (1977, 1981) che "La dose media di irraggiamento di 10 kGy non presenta effetti tossici né problemi particolari negli alimenti dal punto di vista nutrizionale o microbiologico"
- Attualmente in Europa il trattamento con radiazioni ionizzanti è disciplinato dalle direttive quadro 1999/2/CE e 1999/3/CE recepite nel nostro Paese dal DL.vo 30 gennaio 2001, n. 94.
- Tali direttive stabiliscono, a maggior tutela della libera scelta del consumatore, che tutti gli alimenti e/o ingredienti che vengono sottoposti al trattamento con radiazioni ionizzanti, debbano riportare in etichetta la dicitura "irradiato" e che ogni stato membro debba effettuare controlli sugli alimenti presenti sul mercato al fine di individuare la correttezza dell'etichettatura.

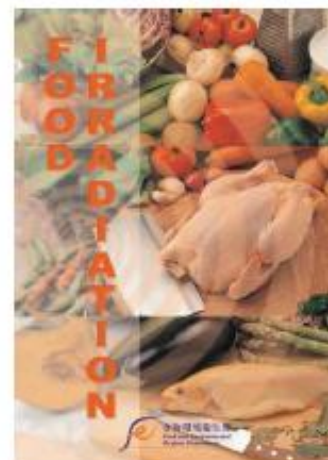


L'irraggiamento degli alimenti non determina un aumento della loro temperatura (Pastorizzazione a "freddo")

EVIDENZE SCIENTIFICHE

- Dosi $>$ a 10 kGy non compromettono i valori nutritivi;
- Assenza di rischi tossicologici;
- IL processo è “*Self limiting*” :
- Le dosi necessarie per la eliminazione del rischio biologico sono minori di quelle in grado di compromettere la qualità sensoriale

- Attualmente in Italia esiste solo un impianto in Emilia Romagna
- I controlli sugli alimenti e, laddove esistenti, sugli impianti di irraggiamento, devono essere effettuati dalle Autorità sanitarie e assicurare la conformità dei prodotti alle disposizioni vigenti. L'Istituto Superiore della Sanità ha il compito di individuare i metodi di identificazione e fornire supporto tecnico scientifico ai laboratori.
- I prodotti attualmente ammessi al trattamento nella UE sono la categoria "erbe aromatiche essiccate, spezie e condimenti vegetali", ad una dose massima di 10 kGy; in via transitoria ciascuno Stato membro può mantenere i trattamenti precedentemente autorizzati.
- In Italia è previsto un uso come antigermoglio per patate, aglio e cipolla, mentre in altri Paesi (Francia, Belgio, Olanda, Regno Unito) esistono anche usi su: frutta, cereali, carni di pollo, prodotti ittici.
- Il prodotto trattato deve riportare in etichetta, anche qualora presente come ingrediente, la dicitura "irradiato".



■ Il Rad (**R**adiation **A**bsorbed **D**ose) è un'unità di misura della dose di radiazione assorbita, pari a 100 erg per grammo. Il rad è stato sostituito dal Gray nel Sistema Internazionale di unità di misura. $1 \text{ Rad} = 0,01 \text{ gray} = 0,01 \text{ joule di energia assorbiti da un chilogrammo di tessuto}$

■ Un erg è pari a $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ dyn} \cdot \text{cm} = 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{s}$.

■ $6,24150975 \cdot 10^{11} \text{ eV}$

■ 10^{-7} joule

■ $10^{-7} \text{ N} \cdot \text{m}$

■ $2,39 \cdot 10^{-8} \text{ calorie}$

■ $9,48 \cdot 10^{-11} \text{ British thermal unit}$

■ $2,78 \cdot 10^{-14} \text{ chilowattora}$

Unità di misura della dose di radiazione:

GRAY



- **1 Gray** equivale ad una dose di energia assorbita dall'alimento pari a **1 Joule/kg** ossia a **100 rad**

	Dose (kGy)	Alimenti
Sterilizzazione	7 - 10 (sino a 50)	Erbe, spezie
Materiali di confezionamento	10 25	Tappi enologici
Distruzione patogeni	2.5 - 10	Spezie, carne
Controllo funghi	2 - 5	Frutta
Controllo parassiti	0.1 - 6	Carne
Disinfezione	0.1 - 2	Frutta, cereali, farina
Inibizione germogliazione	0.1 - 0.2	Patata, aglio, cipolla

- L'utilizzo delle radiazioni ha alcuni svantaggi
 - Impianti molto costosi
 - Problemi di sicurezza per gli operatori
 - La possibilità di sanitzare alimenti altrimenti non utilizzabili
 - Se i batteri patogeni sopravvivono non esistono indicazioni
 - Possibile sviluppo di resistenza nei microrganismi
 - Perdite di valore nutrizionale
 - Scarsi metodi analitici per valutare i prodotti trattati
 - Resistenza psicologica dei consumatori verso l'industria nucleare

- Le radiazioni possono rompere i legami intra-molecolari

- In alimenti ricchi di acqua l'acqua è ionizzata e gli elettroni liberati vanno a formare molecole radicaliche



- I radicali si ricombinano in nuove molecole disattivando il materiale genetico dei microrganismi

- I radicali hanno vita molto breve ma sufficiente per distruggere le cellule batteriche

- I radicali hanno azione sugli enzimi, sui grassi e su vari composti → su alcuni alimenti quindi non può essere utilizzata (latte)

- La produzione di O_2 reattivo da vari enzimi (perossidasi, xantina ossidasi) accelera le ossidazioni → necessario l'irradiazione sotto vuoto (carne)

- Il generatore di raggi γ è costituito da una sorgente ad alta energia con cobalto-60 o cesio-137
- Il Co-60 emette raggi γ con 1.17 MeV e 1.33 MeV
- Il tempo di trattamento dipende dalla dose necessaria e dalla potenza del generatore
- Una dose di 5 Gy è sufficiente per uccidere un operatore e quindi è necessario operare alle dosi più basse (0.1 KGy) ed utilizzare tecniche accurate di sicurezza
- La penetrazione di raggi γ dipende dalla densità dell'alimento e dall'energia dei raggi
- La radiazione è assorbita con l'attraversamento dell'alimento quindi la parte esterna riceve una dose superiore di quella interna → è necessario definire per ogni alimento
 - la massima dose consentita per l'esterno del prodotto e legata a modificazioni sensoriali
 - la dose minima che abbia attività antimicrobica

- La dose può essere controllata definendo lo spessore della confezione ed irradiando entrambi i lati
- Gli elettroni ad elevata energia hanno una minore penetrazione rispetto ai raggi γ e vengono usati per confezioni fini o per trattamenti superficiali
- La sensibilità dei microrganismi viene valutata con il D in analogia alla distruzione termica
- In genere i microrganismi piccoli e semplici sono più resistenti
- I virus sono molto resistenti (non vengono disattivati con i trattamenti commerciali)
- I batteri sporificanti e quelli in grado di riparare il DNA (es *Deinococcus radiodurans*) sono più resistenti degli altri
- Insetti e parassiti sono più sensibili

PRINCIPALI INTERVALLI E FINALITA' DELLE DOSI

DOSI BASSE (< 1 kGy):

- Sterilizzazione di insetti e distruzione uova e larve, che possono infestare cereali e frutti tropicali. L'utilizzo di R.I evita l'impiego di bromuri.
- Riduzione carica microbica di saprofiti (carni e pesci)
- Inibizione germogliazione tuberi e bulbi (patate, cipolle, aglio)
- Induzione ritardo della maturazione di ortofrutticoli

DOSI MEDIE (< 10 kGy):

- Riduzione di batteri e funghi contaminanti carni pollame e pesce freschi
- Distruzione patogeni in alimenti deperibili e in alimenti congelati
- Induzione ritardo della maturazione di ortofrutticoli

• DOSI ALTE (>10 kGy): (*ancora non consentite*)

- Sterilizzazione alimenti a bassa acidità in confezioni ermetiche
- Riduzione o eliminazione di contaminanti virali

- Per dosi fino a 10 kGy non sono state osservate particolari danni alle componenti nutrizionali (proteine, carboidrati o grassi)

Le vitamine sono fortemente danneggiate

**Prodotti di degradazione dell'alimento in seguito
a trattamento con radiazioni ionizzanti**

Componente	Prodotto
Proteine	Frammenti di peptidi, componenti solforati
Amidi Zucchero	Gliceraldeide, diidrossiacetone, acido malico, formico e glicolico.
Lipidi	Idrocarburi, esteri, ossido di carbonio, anidride carbonica ecc..
Acqua	2-DCB (2-dodecil-ciclo-butanone), (e ⁻ aq) elettroni acquati, H ₂ O ₂ , H ₂ O ⁺ •, OH•

Effetto delle R.I. sui microrganismi

- **Rotture (doppie) dei filamenti del DNA**
- **Danneggiamento delle membrane**



EFFETTO LETALE

La sensibilità varia, ed è legata al genere ed alla specie di appartenenza

- La sicurezza igienica degli alimenti trattati con radiazioni ionizzanti è del tutto simile a quella di alimenti sottoposti ad altri sistemi, convenzionali o innovativi, di condizionamento e conservazione

VANTAGGI NELL' IMPIEGO DELLE RADIAZIONI IONIZZANTI

- ✓ **Consente il trattamento di alimenti già confezionati;**
- ✓ **Possono essere impiegate su prodotti già congelati;**
- ✓ **Il trattamento di prodotti congelati consente di utilizzare dosi più alte senza modifiche delle proprietà sensoriali;**
- ✓ **Le r.i. consentono, in taluni casi, di dissipare gli odori “off-flavour”;**

Nell' U.E. : autorizzati 23 impianti

(Belgio, Francia, Olanda, G.B., Italia, Germania, Spagna, Estonia, Repubblica Ceca, Bulgaria, Polonia, Romania)

Prodotti di o.a più irradiati: pollame, cosce di rana, gamberetti, albume d'uovo;

Paese membro maggiore utilizzatore: Olanda

=====

Nei paesi terzi: autorizzati 10 impianti

Nel mondo: più di 80 impianti pilota e commerciali
distribuiti in ~40 paesi

**NORMATIVA - D.L.vo n°94 del 30/1/ 2001
(recepimento Dir.1999/2/CE e DIR. 1999/3/ CE)**

- **Autorizzazione per l'uso di sostanze radioattive (art. 27, D.L.vo n° 230/1995);**
- **Riconosc./registraz. Regg. CE 852 e 853 / 2004;**
- **Indicazione in etichetta, dicitura “irradiato”;**

Vincoli igienico sanitari per l'uso di Radiazioni ionizzanti

Vincoli igienico sanitari per l'uso di R.I.

- non indurre radioattività nell'alimento;
- Garantire eliminazione di patogeni, loro tossine e/o prodotti del loro metabolismo;
- Non privare l'alimento delle sue proprietà nutritive;
- Non causare accumulo nell'alimento, di composti di nuova formazione originati dalla radiolisi dell'acqua, se questi possono avere effetti tossici, mutageni o neoplastici;

Salvo i ventilati effetti genotossici (in fase di approfondimento) del 2-DCB (*2-dodecil-ciclo-butanone - derivato dalla radiolisi dell'acido palmitico*) i dati sin ora raccolti indicano che gli alimenti irradiati non sono pericolosi per il consumatore

RISCALDAMENTO OHMICO

Questa tecnologia prevede il passaggio di corrente elettrica direttamente nel latte grazie alla presenza di elettrodi che generano calore (che viene quindi generato all'interno del prodotto). L'alimento funge da resistenza elettrica.

Gli effetti del riscaldamento ohmico sull'inattivazione termica dei microrganismi sono paragonabili a quelli del riscaldamento tradizionale. In più, il riscaldamento ohmico sembra agire, oltre che con il calore, anche con meccanismi di elettroporazione: il campo elettrico applicato favorisce l'accumulo di cariche elettriche di segno opposto sui lati della membrana cellulare; l'attrazione fra queste cariche provoca rotture nella membrana e formazione di pori

VANTAGGI DELLA TECNICA

Riscaldamento rapido ed uniforme (non si deve attendere la trasmissione del calore al centro del prodotto come nei metodi convenzionali), riduzione delle modificazioni indesiderate nell'alimento, ideale per materiali viscosi o con parti solide

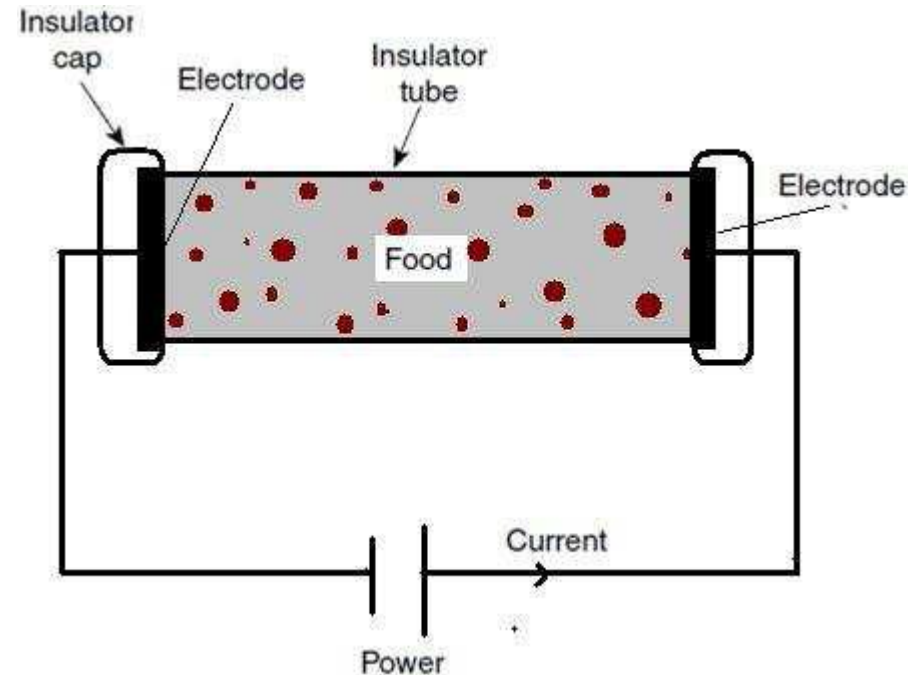


La distribuzione della temperatura dipende da:

- Conduttività delle fasi (liquida, solida) dell'alimento
- Conduttività che dipende dalla temperatura (in genere aumenta)
- Le caratteristiche progettuali del sistema
- Il moto del liquido
- Il tempo di trattamento
- Le proprietà termofisiche dell'alimento
- La forza del campo elettrico

Gli elettrodi possono essere disposti, rispetto al flusso di prodotto, longitudinalmente o trasversalmente

- Elettrodi longitudinali : alto voltaggio, bassa intensità
- Elettrodi trasversali : campo uniforme ma più elettrodi



Buoni conduttori : uova, vino, succhi , **latte**

Medi conduttori : marmellate, margarina

Cattivi conduttori : grassi, liquori

- Esistono impianti discontinui o continui
- Può essere utilizzato per
 - ✓ Stabilizzazione
 - Riscaldamento omogeneo
 - Possibilità di trattare materiali solidi
 - Risparmio energetico
 - ✓ Cottura
 - Problema se sono presenti materiali non conduttivi (grassi, aria, alcol, ghiaccio) → si riscaldano per conduzione con tempi lunghi e surriscaldamenti delle altre zone
 - ✓ Scongelamento
 - In un prodotto congelato la conduttività si dimezza → la porzione scongelata si surriscalda
 - Importante dimensione, forma, posizione degli elettrodi
 - Importante forma e dimensione del prodotto → con lo scongelamento il prodotto cambia forma e non è più a contatto con gli elettrodi
 - Non ci sono applicazioni → meglio le microonde
 - ✓ Blanching
 - Utilizzo di poca acqua (solo quella di supporto) con minori perdite e risparmi di depurazione
 - Possibilità di utilizzare i prodotti interi

LE MICROONDE

- In fisica le microonde sono radiazioni elettromagnetiche con lunghezza d'onda compresa tra le gamme superiori delle onde radio e la radiazione infrarossa.
- E' una tecnica di riscaldamento "endogeno" o "volumetrico" in quanto l'innalzamento della temperatura risulta uniforme in tutto il volume del prodotto. Inoltre a differenza dei sistemi convenzionali con trasferimento di calore dall'esterno all'interno con le microonde il riscaldamento si ha per trasformazione dell'energia di un campo elettromagnetico in energia termica direttamente all'interno dei corpi stessi
- In genere si utilizza un magnetron che genera un campo elettromagnetico a 2.45 GHz con potenze di 800-1000 W. Una guida d'onda (in genere un tubo metallico cavo di sezione rettangolare, circolare o ellittica in cui il campo elettromagnetico è confinato attraverso la "riflessione" sulle pareti della guida d'onda stessa) invia le radiazioni formate alla camera di cottura.
- L'acqua presente nel cibo assorbe l'energia delle microonde e viene indotta a vibrare e questa vibrazione genera calore.
- La camera di cottura è una gabbia di Faraday che impedisce la fuoriuscita delle microonde; anche il vetro frontale ha una rete metallica con maglie inferiori alla lunghezza d'onda delle microonde (12 cm) e quindi blocca le microonde senza avere effetti sulle radiazioni visibili.

La distruzione dei microrganismi è dovuta essenzialmente al calore.
Meccanismi non termici come l'elettroporazione non sono stati dimostrati

Un limite importante della tecnologia è rappresentato dal riscaldamento non uniforme all'interno dell'alimento: nonostante la temperatura finale media raggiunta dal prodotto possa considerarsi letale per tutti i microrganismi la disomogeneità del trattamento potrebbe causare la sopravvivenza di batteri patogeni.

Le microonde generano costantemente calore in tutte le parti dell'alimento ma con velocità diverse dovute alla maggiore o minore omogeneità di composizione dell'alimento : ne consegue che la differenza tra punto più caldo e punto più freddo anziché annullarsi, aumenta con il tempo di trattamento a meno che non intervengano fattori esterni atti a ridurre la difformità di riscaldamento come ad esempio l'agitazione del prodotto.

Il vantaggio principale delle microonde è la rapidità di generazione del calore: uso di tempi minori di trattamento preservando le caratteristiche dell'alimento.

Gli esperimenti di laboratorio che hanno dimostrato la possibilità di trattare il latte con microonde in flusso continuo preservandone la qualità e riducendo il danno termico non hanno ancora trovato impiego industriale.

RADIOFREQUENZE

- Le radiofrequenze sono onde elettromagnetiche che permettono un riscaldamento di tipo volumetrico come le microonde operando però a circa 27 MHz con lunghezza d'onda di circa 11 metri.
- La capacità di penetrazione è quindi circa 1 metro ($1/10$ della λ)
- Le radio-frequenze vengono prodotte da elettrodi posti vicino al prodotto e rappresentano le armature di un condensatore mentre il prodotto è il dielettrico
- L'assorbimento di energia è uniforme indipendentemente dalla forma e dalle dimensioni del prodotto
- Il riscaldamento si ha per isteresi dielettrica, isteresi magnetica, conduttività ionica, correnti indotte → negli alimenti però le molecole subiscono la *polarizzazione* ossia i dipoli tendono a riallinearsi al campo e quindi si ha riscaldamento
- Il riscaldamento dipende dalla frequenza di oscillazione e dalle caratteristiche del materiale → fattore di perdita : caratteristica del materiale che indica la radiofrequenza assorbita e trasformata in calore

Materiale	Fattore perdita
Teflon	0.0004
Politene	0.0008
PVC	0.06
Carta	0.1
Grassi	24
Acqua	100

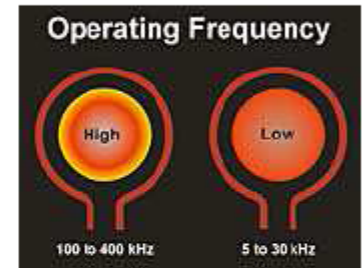
- Vantaggi della tecnica:
 - ✓ rendimenti delle tecniche convenzionali 10-35%; della RF 65-70 % → riscaldamento immediato all'avviamento, consumo di energia proporzionale alla quantità, ambiente non interessato dal riscaldamento
 - ✓ costo superiore del sistema RF
 - ✓ minori costi energetici per il sistema RF
 - ✓ assenza di emissioni (fumi, polveri, rumori etc.)
 - ✓ automazione delle linee
 - ✓ facilità di misurazione dell'energia erogata
 - ✓ facilità di manutenzione degli impianti
 - ✓ velocità elevata di riscaldamento (nei tradizionali il trattamento è tanto più lungo quanto più grande è il corpo e bassa la conducibilità termica → alterazione)
 - ✓ velocità elevata di riscaldamento → aumento di produttività, minori perdite termiche per conduzione/irraggiamento
 - ✓ uniformità di riscaldamento : nei sistemi convenzionali si hanno gradienti termici proporzionali alla conducibilità termica → le parti esterne sono riscaldate di più delle interne → danneggiamenti termici

Applicazioni :

- pastorizzazione prodotti confezionati
- trattamenti post forno
- pastorizzazione liquidi (anche con solidi in sospensione)
- scongelamento e rammollimento prodotti

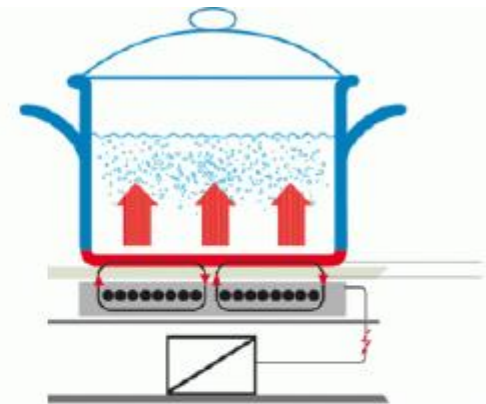
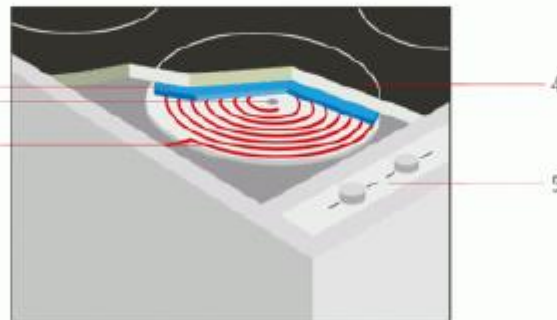
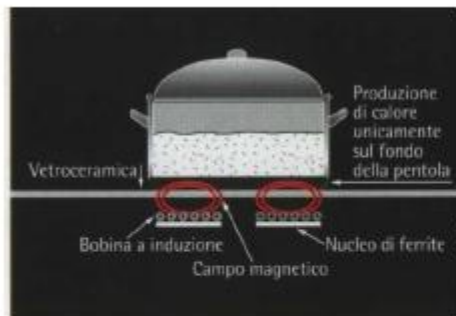
INDUZIONE TERMICA

- Il processo consiste nello sfruttare le correnti elettriche indotte nel materiale per generare calore.
- I componenti base di un sistema di riscaldamento ad induzione sono un generatore di corrente alternata, una bobina induttrice (o "induttore") e un "carico" (ovvero il materiale che deve essere riscaldato). Il generatore fornisce la corrente alternata che attraversa la bobina, generando un campo magnetico nel suo intorno.
- Avvicinando un carico, esso viene percorso dalle cosiddette correnti parassite indotte dal campo magnetico, che producono un preciso, localizzato e controllabile aumento di temperatura nel materiale, senza alcun contatto fisico con la bobina.
- Esiste una relazione tra la frequenza della corrente alternata e la sua profondità di penetrazione nel materiale; le basse frequenze, da 5 a 30 kHz, sono adatte a materiali più spessi che richiedono una penetrazione profonda del calore, mentre frequenze più alte, da 100 a 400 kHz, sono adatte a parti piccole o a riscaldamenti superficiali. Più alta è la frequenza più alto è il calore prodotto → per analogia quando ci sfregiamo le mani per riscaldarle, più velocemente sfregiamo le mani, più calore generiamo.
- I materiali magnetici si riscaldano più facilmente di quelli non magnetici, a causa dell'effetto di isteresi magnetica. I materiali magnetici offrono una resistenza naturale al rapido cambiamento dei campi magnetici nell'intorno dell'induttore. L'attrito risultante produce un suo calore aggiuntivo – il riscaldamento per isteresi – che si somma al riscaldamento per le correnti parassite. Un metallo che offre una alta resistenza si dice che ha una alta "permeabilità" magnetica. La permeabilità magnetica per i materiali magnetici assume valori tra 100 e 500. I materiali non magnetici hanno permeabilità pari a 1. Il riscaldamento per isteresi si verifica per temperature al di sotto del "punto di Curie" – la temperatura alla quale il materiale magnetico perde le sue proprietà magnetiche.



- Il flusso di corrente indotta all'interno del materiale è molto concentrata sulla superficie e decresce rapidamente verso l'interno del materiale. Di conseguenza la superficie si scalda molto più velocemente della parte interna; l'80 % del calore prodotto nel materiale si genera nello strato superficiale. Si parla infatti di "effetto pelle" del materiale. Lo spessore dell'effetto pelle diminuisce al decrescere della resistività, al crescere della permeabilità o al crescere della frequenza.
- La bobina induttrice, detta "induttore", è generalmente ottenuta da un tubo di rame elettrolitico, di forma circolare e diametro 3-5 mm. La dimensione e la forma dell'induttore – con spira singola o multipla, elicoidale, rotonda o quadrata, interna o esterna (al pezzo) – deve essere adeguatamente definita in base al pezzo da riscaldare e alle altre variabili del processo produttivo. Con una buona progettazione dell'induttore, si può ottenere un idoneo profilo di riscaldamento e massimizzare l'efficienza del generatore di frequenza, senza rendere difficoltoso l'inserimento e la rimozione del pezzo da riscaldare.
- Il generatore di frequenza produce il campo magnetico attorno al pezzo da riscaldare, attraverso la corrente alternata che viene fatta passare nell'induttore. La potenza in uscita del generatore determina la velocità relativa di riscaldamento del pezzo. Tuttavia, l'uso di maggior potenza può richiedere l'incremento della fornitura elettrica, maggiori dimensioni e peso e altre esigenze conseguenti; generatori di maggior potenza utilizzano normalmente tensione trifase e apparati di raffreddamento dell'acqua più sofisticati.

- Da tempo, il riscaldamento di elementi elettricamente conduttivi per induzione trova molteplici applicazioni a livello industriale. Nelle abitazioni private questo principio è utilizzato soprattutto per le cucine, nelle quali il calore è prodotto direttamente nel fondo della pentola e non per conduzione attraverso la zona di cottura come avviene nelle cucine convenzionali. Le cucine a induzione presentano tutta una serie di vantaggi: rapidità di reazione e di prima cottura o ebollizione, riduzione dei tempi di cottura, risparmio di energia, minor rischio di scottature o d'incendi perché le zone di cottura non raggiungono alte temperature.
- Ogni piastra della cucina a induzione contiene una bobina induttrice attraverso la quale scorre una corrente alternata a media frequenza (20 – 100 kHz). Questa corrente genera un campo magnetico della stessa frequenza, il quale attraversa senza ostacoli il piano di cottura di vetroceramica e s'infiltra nella pentola situata sul piano di cottura. Il campo magnetico crea nel fondo della pentola elettricamente conduttivo una corrente circolare (corrente parassita). Questo principio è detto induzione. Il fondo delle pentole è fabbricato con un materiale in cui, alla frequenza utilizzata, la corrente parassita perde notevolmente calore. Questo fenomeno avviene nei materiali magnetici, particolarmente permeabili. Il loro campo alternato è spinto sulla superficie esterna del fondo della pentola (effetto pelle) aumentando la resistenza e producendo di conseguenza un maggiore riscaldamento. Inoltre, il campo magnetico alternato genera demagnetizzazioni nei fondi delle pentole, le quali contribuiscono a loro volta a produrre calore (perdite per isteresi).



BACTOFUGAZIONE

E' una tecnica combinata, calore + centrifugazione ad alta velocità, ottenuta con una centrifuga ad alta velocità (circa 10.000g) che determina una riduzione del 99.9% della carica operando a 55-65 °C, capacità 150-250 HL/h.

Ha azione soprattutto sulle spore.

Elimina le cellule (nessuna lisi batterica)



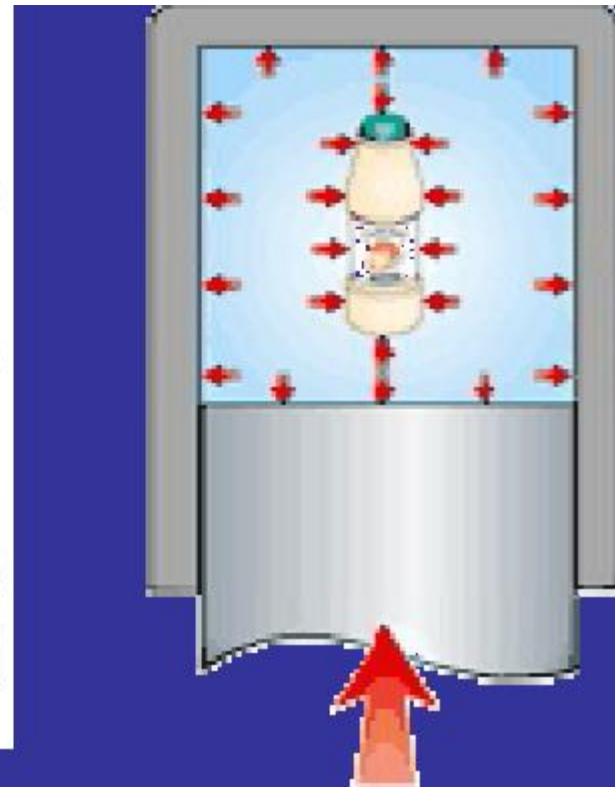
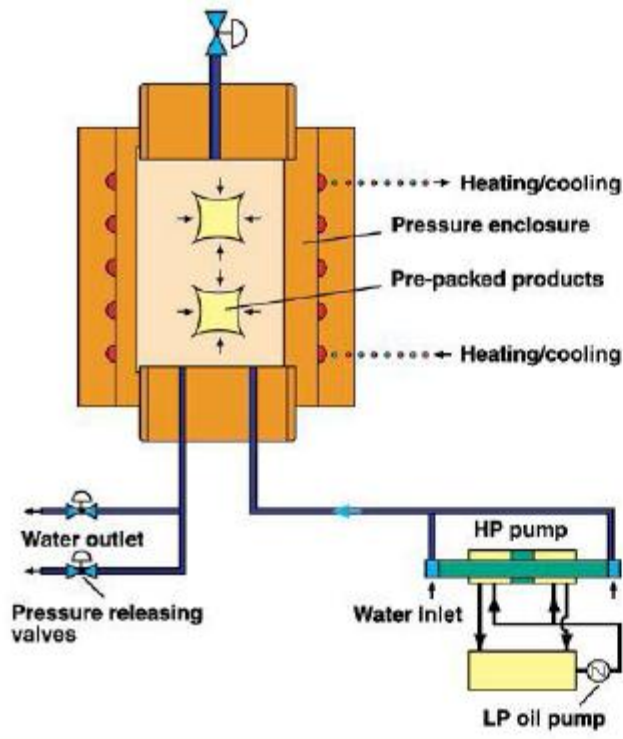
ALTE PRESSIONI IDROSTATICHE O PASCALIZZAZIONE

L'uso delle alte pressioni idrostatiche rappresenta uno dei più moderni processi tecnologici applicati all'industria conserviera.

- Impiegata da tempo nella produzione di ceramiche, acciaio e superleghe.
- **1899 prima applicazione sul latte ad opera dello statunitense Hite**
- **1924 applicazione nella lavorazione dei succhi di frutta**
- **1991 primi prodotti stabilizzati con questa tecnica e commercializzati in Giappone**

Si basano sul **PRINCIPIO DI PASCAL**

“una pressione esercitata su un liquido incompressibile si distribuisce uniformemente in tutte le direzioni e con la medesima intensità in tutti i punti del liquido (pressione isostatica) e anche sulla superficie di un corpo (alimento) immerso in quel liquido”



Si possono trattare alimenti liquidi (direttamente) e solidi (all'interno di confezioni sottovuoto).

Il prodotto liquido sfuso od in contenitori plastici viene sottoposto a pressioni di 3000-10.000 atm (300-1000 MegaPascal) per alcuni minuti.

Il trattamento può essere a freddo od a caldo ed è discontinuo

Vengono favorite le reazioni chimiche con diminuzione del volume (transizioni di fase, denaturazione delle proteine, gelificazione dei carboidrati e conseguentemente attività sulle cellule microbiche)

Il processo è indipendente dal volume e dalla forma del prodotto poiché la pressione è distribuita in modo omogeneo in ogni parte del prodotto

Camere di compressione

contenitore in metallo a pareti spesse per reggere alla forza impressa sul liquido da un generatore di pressione, rappresentato da un sistema di pompe a stantuffo

EFFETTO SUI LEGAMI CHIMICI

- Legami covalenti: resistenti
- Legami a ponte idrogeno: sensibili
- Legami a ponte disolfuro: sensibili
- Legami ionici: sensibili

Quindi....

- **Vitamine e piccole molecole: restano integri**
- **Proteine e carboidrati compl.: danno origine a** peptidi, aminoacidi, zuccheri semplici e composti gelatinosi (i polisaccaridi gelificano e ciò comporta un aumento della digeribilità),

Proprio per gli effetti ammorbidenti e gelatinizzanti questa tecnologia trova svariate applicazioni nel settore dell'industria alimentare (succhi di frutta, marmellate, sughi, piatti precotti a base di carne, e pesci)

EFFETTO DELLE HHP SULLE MOLECOLE ORGANICHE

Gli effetti rispondono al principio fisico di - LE CHATELIER-

“applicando una pressione ad un sistema in equilibrio, saranno favorite quelle reazioni che portano ad una riduzione di volume, per limitare al minimo indispensabile gli effetti della pressione e ostacolate quelle che portano ad un incremento di volume”

ENZIMI

- **Reazioni di fermentazione ritardate**
- **Attivazione ed inattivazione di enzimi:**
 - Pectinasi: attenzione all'effetto protettivo di zuccheri, lipidi e proteine.***
 - Proteasi: aumenta l'attività con la pressione (combinata a basse temperature)***
 - Polifenolossidasi: aumenta l'attività con la pressione***

Le polifenolossidasi risultano particolarmente resistenti per questo il trattamento viene riservato ad alimenti molto acidi o che vengono sottoposti a congelamento per evitare la formazione di colorazioni anomale

Effetto delle HHP sui microrganismi:

- Schiacciamento degli strati di membrana
- Deformazione della parete
- Denaturazione enzimi di membrana
- Denaturazione proteine e sistemi di enzimi citoplasmatici

BLOCCO METABOLICO



EFFETTO LETALE

- DNA Mo = molto resistente alle HHP;
- **Spore** = più resistenti delle forme vegetative e possono essere indotte alla germinazione;
- Lieviti e muffe sono molto sensibili alle HHP ;

Per superare la resistenza delle spore:

- Si fanno susseguire più cicli di trattamento a pressione (con o senza intervento di alte temperature)
- Si stimola la germinazione con uno choc termico a 65°- 80°C prima del trattamento a pressione

Non si conosce ancora il livello di trattamento a pressione che inattiva le spore di *Clostridium botulinum*

Trattando un alimento a 400 Mpa a 70°C per 6 cicli successivi (ciascuno di 5 minuti) si riesce a distruggere le spore di *Bacillus* con la stessa efficacia di un trattamento unico a 600 Mpa per 1 ora.

NEL PRIMO CASO SI PRESERVANO MEGLIO LE PROPRIETÀ SENSORIALI

Tossine batteriche e micotossine

- **Richiedono trattamenti piuttosto forti con HHP;**
- **La tox botulinica può essere inattivata parzialmente con dosi di 600 Mpa;**
- **Tra le micotossine, si sa che una dose di 500 Mpa per 1 ora a temperatura ambiente inattiva l' 80% della dose iniziale di patulina;**

APPLICAZIONI HHP

- **Pastorizzazione HHP:** è possibile ridurre la carica microbica di una matrice alimentare mediante l'applicazione di blande HHP (<600 Mpa)
 - Necessità di refrigerazione durante la successiva conservazione
- **Sterilizzazione HHP:** necessita di estreme condizioni di processo ($P > 1000$ Mpa, tempi lunghi)
 - Possibile mediante la combinazione P/T ($T = 50-60^{\circ}\text{C}$; $P = 500-600$ Mpa)

Trattamenti combinati con HHP e batteriocine

- hanno un effetto sinergico sia sui microrganismi barosensibili che barotolleranti,
- le HHP rendono specie e ceppi altrimenti resistenti più sensibili alle batteriocine;
- il danno subletale causato da HHP aumenta l'effetto delle batteriocine
- combinazioni di HHP e batteriocine possono essere usate per la distruzione di spore in germinazione

POSSIBILI APPLICAZIONI INDUSTRIALI DELLE ALTE PRESSIONI IDROSTATICHE

applicazione	Condizioni di processo	Esempi e risultati
Migliora la qualità dei prodotti a base di frutta	300-400MPa, 1-5 min, 30-40°C	<i>Shelf-life</i> di succhi di frutta e gelatine che supera 1 mese in refrigerazione
Aumento della shelf-life e migliore qualità igienico sanitaria di prodotti a base di carne	400MPa, 10 min, 50°C	Patè di fegato (durata 13gg in refrigerazione)
Effetti sulla tessitura e consistenza della carne fresca e prodotti derivati	100-300MPa, 30min	Migliore aroma e consistenza di impasti di carne e di pesce (surimi)
Gelatinizzazione degli amidi	400-500MPa, 20-60 min, 40-50°C	Aumenta la digeribilità degli amidi da parte delle alfa-amilasi umane
Intenerimento delle carni	100-150MPa, 4 min, 35°C (60min, 60°C)	Adatto per carni prima e dopo il <i>rigor mortis</i>
Miglioramento dei prodotti lattiero caseari	450MPa, 15 min, 2-10°C	Aumenta la conservabilità dei formaggi freschi
Miglioramento della congelazione delle carni e del pesce	200MPa, -20°C, poi rapido ritorno a pressione normale e conservazione a -20°C	Si formano cristalli di ghiaccio molto piccoli (migliore qualità del prodotto congelato)

NEL CASO DEL LATTE, i grandi volumi in gioco la mancanza di sistemi che ad alte pressioni che lavorino in continuo hanno ridotto l'interesse per l'applicazione del sistema HHP in tale settore.

Sta suscitando interesse l'utilizzo di una tecnica intermedia definita "alte pressioni di omogeneizzazione" che funziona in continuo e che, con pressioni di circa 120 Mpa permette di omogeneizzare il grasso del latte e di ridurre parzial

HHP



Demolizione molecole grandi e complesse



Formazione di prodotti derivati



Variazione caratteri sensoriali (POS o NEG)

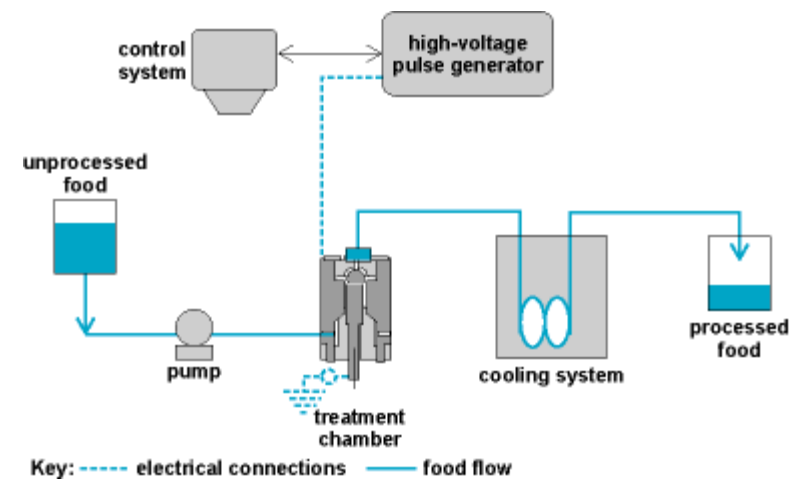
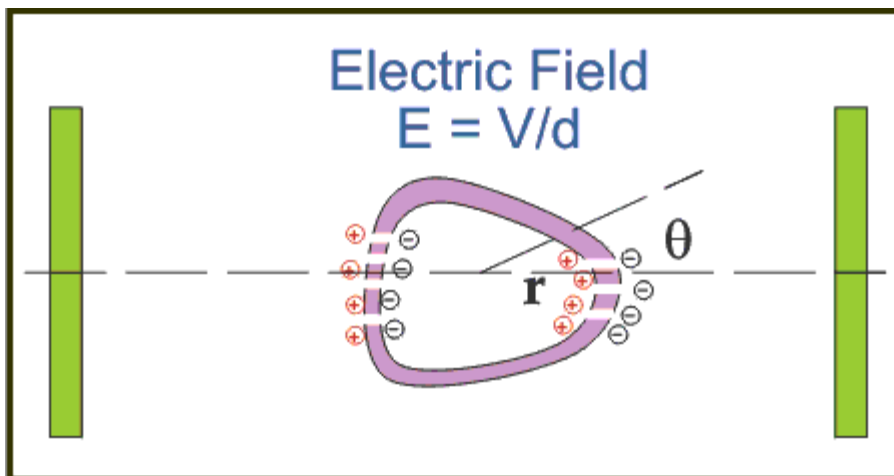


Variazione della Consistenza

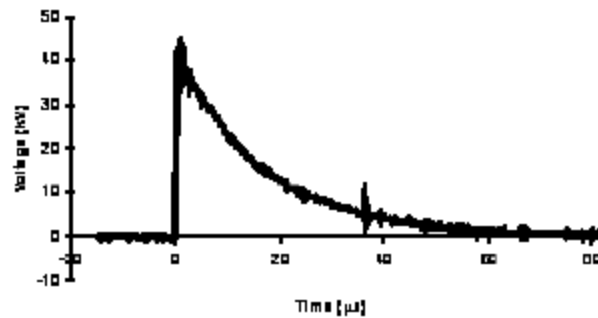
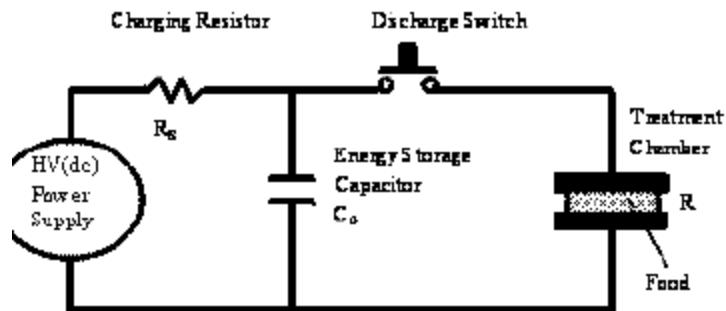
CAMPI ELETTRICI PULSATI

Prevede l'applicazione di impulsi elettrici ad alto voltaggio (20-80-kV/cm) all'alimento posto tra due elettrodi. L'efficacia dipende dall'intensità del campo elettrico, dalla durata dell'impulso (tempo di trattamento), dalla forma dell'onda degli impulsi, dalla grandezza e dalla forma dei microrganismi, dalla conduttività, pH e forza ionica dell'alimento.

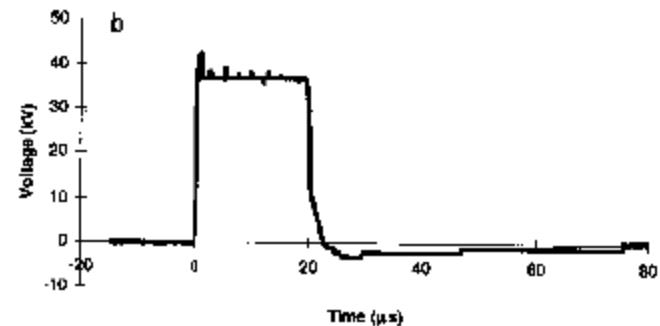
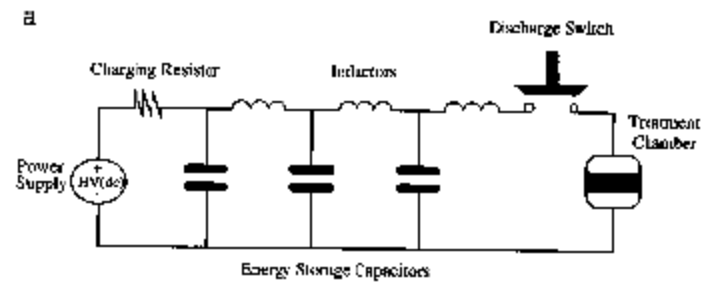
- L'impianto è costituito da un generatore di impulsi ad alta tensione in corrente continua ed una camera di trattamento dove scorre il prodotto.
- Il materiale della cella deve essere inerte ed idoneo al trattamento
- L'attività antibatterica è dovuta alla elettroporazione
- Risultati variabili su enzimi ed altri componenti
- Costi molto elevati



TIPOLOGIE DI IMPIANTI



Impulso esponenziale



Impulso a onda quadra

EFFICACIA DEI CAMPI ELETTRICI PULSATI

- Intensità del campo elettrico → l'inattivazione aumenta aumentando l'intensità ma dipende dal campo elettrico critico E_c , ossia l'intensità di campo al di sotto della quale non si ha inattivazione microbica. L' E_c è maggiore con cellule grandi ed è legato alla pulsazione → $t > 50 \mu s$, $E_c = 4.9$ kV/cm; $t < 2 \mu s$, $E_c = 40$ kV/cm
- Tempo di trattamento → il prodotto del numero di pulsazioni per il tempo di pulsazione → aumentando il tempo di trattamento, aumenta l'effetto → aumentando il tempo di pulsazione diminuisce l' E_c ma aumenta la temperatura del prodotto → il tempo di trattamento diminuisce aumentando l'intensità del campo
- Tipo di impulso → l'impulso elettrico può essere esponenziale, ad onda quadra, a onda quadra bipolare, oscillatorio → l'oscillatorio è il meno efficace → l'onda quadra è più efficace dell'esponenziale → l'onda quadra bipolare è più efficace del monopolare → il bipolare richiede meno energia, riduce la deposizione agli elettrodi, diminuisce l'elettrolisi nell'alimento →
- Temperatura trattamento → l'effetto aumento aumentando la temperatura → aumenta la fluidità e la permeabilità
- Conducibilità, pH e forza ionica → alimenti con elevata conducibilità non sono trattabili con PEF
- Presenza particolato → si riduce l'effetto e servono energie più elevate → possibile rottura del dielettrico
- Presenza di altri fattori → pH, forza ionica e composti antimicrobici intervengono sulla inattivazione con PEF
- Tipo di microrganismo → Gram positivi più resistenti dei Gram negativi; lieviti più sensibili dei batteri
- Carica batterica
- Stadio di crescita dei microrganismi → maggiore sensibilità in fase logaritmica → cellule in crescita, membrana più sensibile

ULTRASUONI

- Sono onde meccaniche sonore con frequenza superiore a 20 kHz
- Sono generate sollecitando un quarzo con un campo elettrico di cui si inverte periodicamente la polarità: per effetto del campo elettromagnetico che si crea, il quarzo si comprime ed espande, generando delle vibrazioni meccaniche che provocano le onde acustiche degli ultrasuoni.
- Penetrando in un sistema biologico, le onde perdono energia, cedendola al sistema che attraversano con un meccanismo di attenuazione; Più alta è la frequenza dell'onda, maggiore è l'attenuazione (quindi penetra meno profondamente): generalmente le onde entrano fino a profondità comprese tra 1,5 e 5 cm.

- Ampiamente utilizzate per degassare un alimento, misurazioni di volume, pulizia di superfici, estrazione di composti
- La cessione di energia viene convertita in calore
- Si ha, inoltre, una sollecitazione meccanica con variazioni di pressione e di permeabilità delle membrane cellulari
- La sterilizzazione completa richiede alte energie (utilizzata con altre tecniche come le alte pressioni o i trattamenti termici)
- Vantaggi : scarse perdite aromatiche, elevata omogeneità, basse energie
- L'efficacia del trattamento dipende da : tipo di batterio, frequenza ultrasuoni, tempo di trattamento, volume alimento, composizione alimento, temperatura trattamento



LUCE PULSATA

Utilizzo di impulsi di luce ad elevata intensità (circa 90.000 volte il sole) per tempi brevi (poche centinaia di microsecondi) in uno spettro da 200 a 1100 nm

- Si utilizza corrente alternata a basso voltaggio trasformata in corrente continua ad alto voltaggio accumulata in una batteria di condensatori e rilasciata nello scarico su una lampada allo Xeno
- Il meccanismo di inattivazione microbica non è chiaro: azione della frazione UV (effetto fotochimico), dell'incremento di temperatura (effetto fototermico), azione sulle membrane (effetto fotofisico)
- Effetto fotochimico è causa di trasformazione fotochimica delle basi pirimidiniche del DNA; ne consegue blocco della riproduzione
- Effetto fototermico provoca un innalzamento termico poiché l'energia radiante è dissipata come calore
- I microrganismi hanno un coefficiente di assorbimento più elevato rispetto al mezzo circostante (acqua), il riscaldamento è quindi localizzato

- Effetti sugli alimenti

Riduzione della attività di molti enzimi

Nessuna evidenza sui componenti nutritivi principali

Nessuna evidenza di effetti sulle proprietà sensoriali

RADIAZIONI ULTRAVIOLETTE

La radiazione UVC con lunghezza d'onda compresa tra 200 e 280 nm ha proprietà germicide e può essere usata nella disinfezione.

Il meccanismo d'azione si basa su modificazioni nel DNA delle cellule microbiche dovute a reazioni di cross-linking tra timina e citosina che creano una nuova base in grado di bloccare la trascrizione e la replicazione del DNA. Superata una soglia critica di formazione di tali prodotti di cross-linking, in relazione all'esposizione alla radiazione, la mutazione non è più riparabile e la cellula muore.

