

# TEMPERATURE RAGGIUNTE DAGLI ALIMENTI IN ALCUNE OPERAZIONI

-40°C	CONGELAMENTO/ SURGELAZIONE	121 °C	STERILIZZAZIONE (autoclave)
-18° C	STOCCAGGIO SURGELATI	140 °C	STERILIZZAZIONE (UHT), COTTURA IN FORNO, COTTURA-ESTRUSIONE
0 °C	TEMPERATURA SOLIDIFICAZIONE ACQUA PURA		
+ 1-2 °C	IPER-REFRIGERAZIONE	160 °C	FRITTURA
20 °C	TEMPERATURA AMBIENTE (convenzionale)	180 °C	TOSTATURA NOCCIOLE
40 °C	EVAPORAZIONE A BASSA PRESSIONE	200 °C	TOSTATURA CAFFE'
60 °C	DISTILLAZIONE	220-240	TOSTATURA CAFFE' ("italian style")
80 °C	BLANCHING, PASTORIZZAZIONE		
100°C	TEMPERATURA EBOLLIZIONE H <sub>2</sub> O PURA (1 ATM), COTTURA, EVAPORAZIONE, DISTILLAZIONE		

# SOMMINISTRAZIONE DEL CALORE: I “PERCHE’ ” ED I “COME”

## 1. I “PERCHE’ ”

RIMOZIONE DI CALORE		- q +	SOMMINISTRAZIONE DI CALORE	
ESEMPI	MOTIVAZ./EFFETTI		MOTIVAZ./EFFETTI	ESEMPI
REFRIGERAZIONE SURGELAZIONE	DIMINUZIONE TEMPERATURA		AUMENTO TEMPERATURA	RISCALDAMENTO
CONGELAMENTO	CAMBIAMENTO DI STATO (Hf)		CAMBIAMENTO DI STATO (Hv, Hs)	EVAPORAZIONE DISIDRATAZIONE
STABILIZZAZIONE	RALLENTAMENTO REAZIONI		ATTIVAZIONE REAZIONI	N.E.B.
CONSERVAZIONE ALIMENTI	INIBIZIONE SVILUPPO MICROB.		ATTIVAZIONE SVILUPPO MICROB.	PROCESSI FERMENTATIVI
CONSERVAZIONE CEPPI (-40°C)	BLOCCO ATTIVITA'		DISATTIVAZIONE MICROORGANIS.	PASTORIZZAZIONE STERILIZZAZIONE
	RALLENTAMENTO ATTIVITA' ENZIMAT.		DISATTIVAZIONE ENZIMI	BLANCHING
			DENATURAZIONE AMIDI, PROTEINE	COTTURA
SOLUTI GASSOSI	AUMENTO SOLUBILITA'		AUMENTO SOLUBILITA'	MISCELAZIONE SOLUTI SOLIDI
EFFETTI GHIACCIO; EMULSIONI	CAMBIAMENTO STRUTTURA		CAMBIAMENTO STRUTTURA	COTTURA ESTRUSIONE

# SOMMINISTRAZIONE DEL CALORE: I “PERCHE’ ” ED I “COME”

## 2. I “COME ”

### TRASMISSIONE DEL CALORE: ESEMPIO DI OPERAZIONE UNITARIA

(Intervento che viene studiato in quanto tale, indipendentemente dall'alimento su cui si esercita, cercando di individuare le leggi - della fisica, della chimica, della scienza in genere - che ne governano l'evoluzione)

### LEGGE GENERALE DEI PROCESSI DI TRASPORTO:

$$dQ / dt = f.m. / R$$

Q = quantità di materia o di energia

t= tempo

f.m. = forza motrice

R= insieme di resistenze

Se Q = carica elettrica  $dQ / dt = I = \Delta V / R$   
(LEGGE DI OHM)

Se Q = massa G  $dG / dt = \Delta C / R$   
(LEGGE DI FICK )

Se Q = calore  $dq / dt = \Delta T / R$   
(LEGGE DI FOURIER)

N.B. : solo richiami di trasmissione del calore  
(vedi Fisica Tecnica)

# TRASPORTO DI CALORE PER CONDUZIONE

- Propagazione di calore nei sistemi solidi e nei fluidi in quiete;
- trasporto del moto vibrazionale per diretto contatto molecola-molecola adiacente.

\*Equazione generale (Legge di Fourier)

$$dQ / dt = q = - K A dT / dx$$

Q: cal o Joule

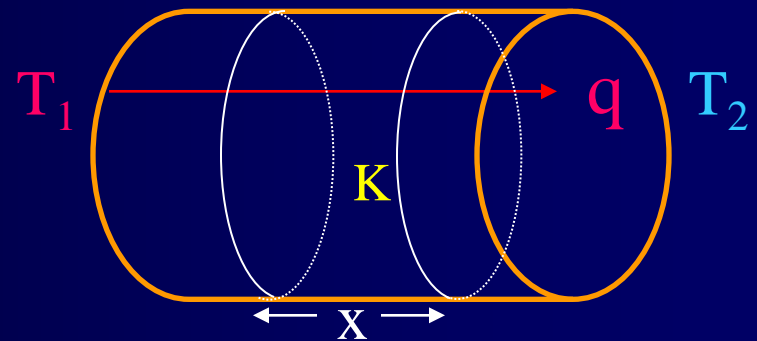
t: sec (min, ore, ..)

K: conducibilità, cal /sec cm °C

A: superficie, cm<sup>2</sup>

T: temperatura, °C

x: spessore, cm



\* Caloria: quantità di calore necessaria per portare 1 g H<sub>2</sub>O da 14.5° 15.5° C

\*1 cal = 4.186 J

1 J = 0.24 cal

In condizioni stazionarie:

$$dQ/A dt = q' = \text{costante}$$



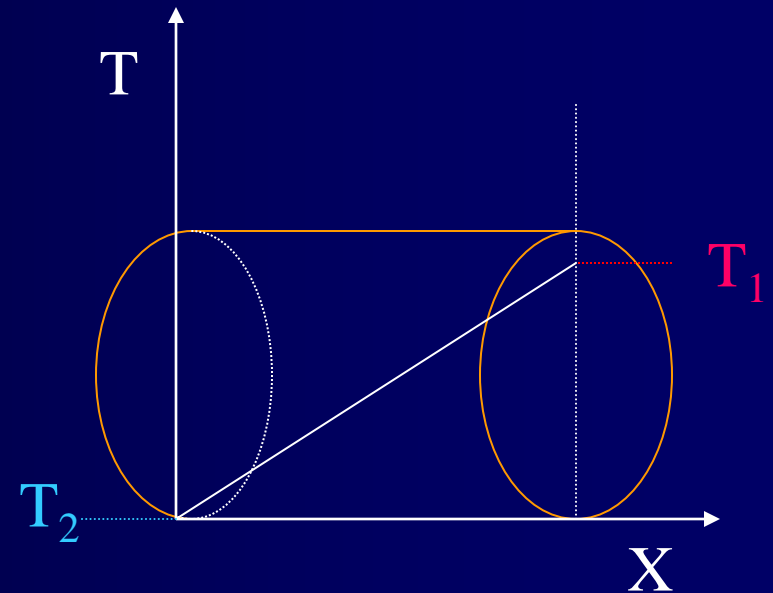
$$\int_x^0 q' dx = - \int_{T_1}^{T_2} K dT$$

$K \longrightarrow K_m$  ( $K$  medio rispetto a  $T_1$   $T_2$ )

Estraendo le costanti  $q'$  e  $K_m$ :

$$q' \int_x^0 dx = - K_m \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$q' = K_m (T_2 - T_1) / X$$

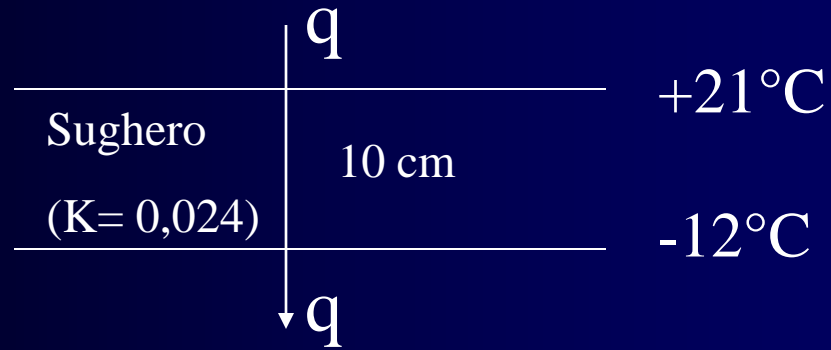


$T=f(X)$

$$(T_2 - T_1) = (q' / K_m) X$$

La distribuzione delle temperature nel corpo di spessore  $X$  è lineare

## Esempio elementare:



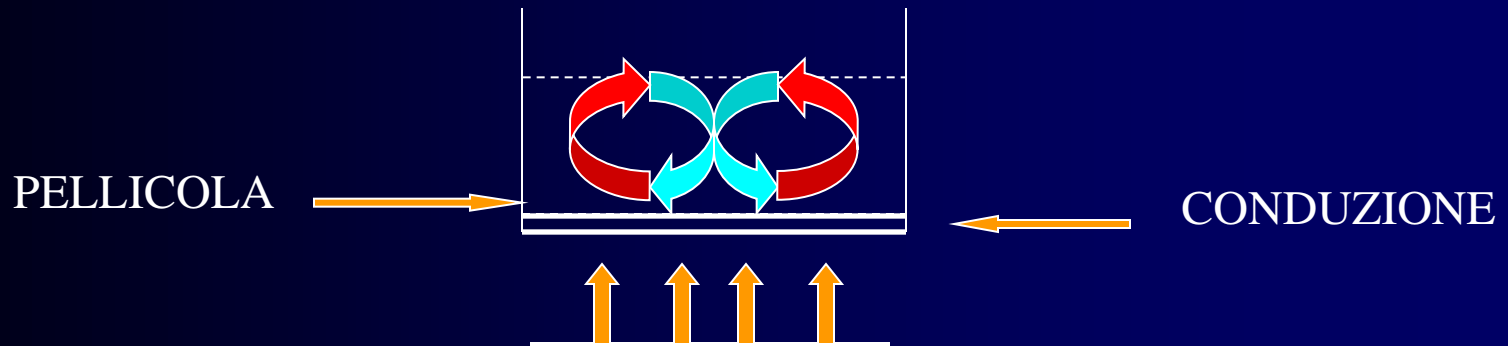
$$q' = (0,024) (4.186) (21+12) / 10 = 0,33 \text{ J cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$$

# TRASMISSIONE DEL CALORE PER CONVEZIONE

\*TRASFERIMENTO CHE INTERESSA I FLUIDI

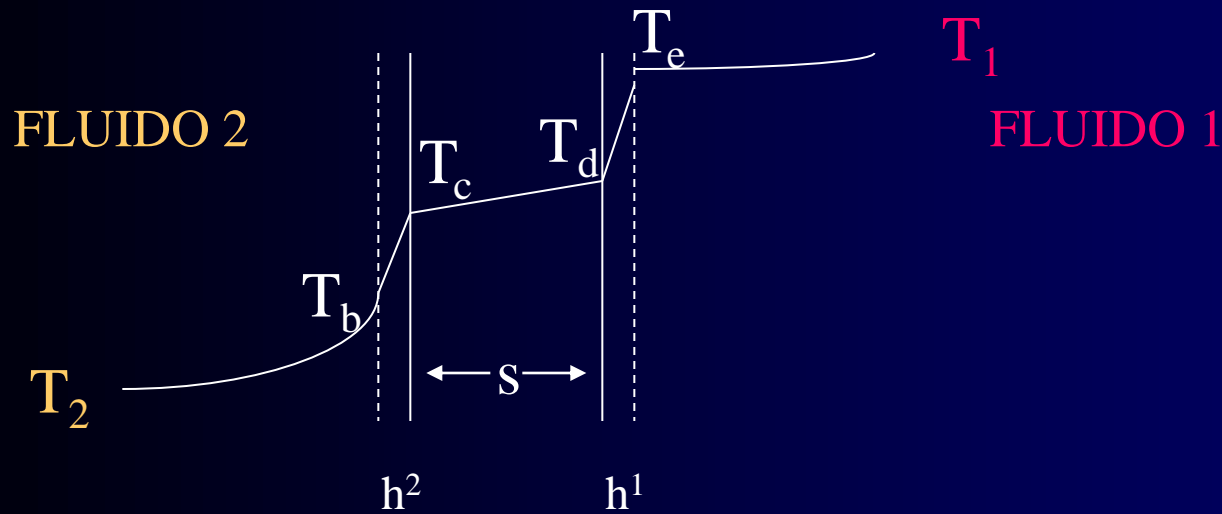
(LIQUIDI E GAS): IMPLICA SPOSTAMENTO DI MATERIA

\*CASO ELEMENTARE:



$h =$  coefficiente di pellicola,  $\text{J cm}^{-2} \text{s}^{-1} \text{°C}^{-1}$

## \*SCAMBIO DI CALORE TRA DUE FLUIDI



$$h_2 = q / A(T_c - T_2)$$

$$h_1 = q / A(T_1 - T_d)$$

A: area superficie metallica,  $\text{cm}^2$

$$q = A (T_1 - T_2) / (1/h_1 + s/K + 1/h_2)$$

$$q = U A \Delta T$$

U= coefficiente globale di trasmissione del calore

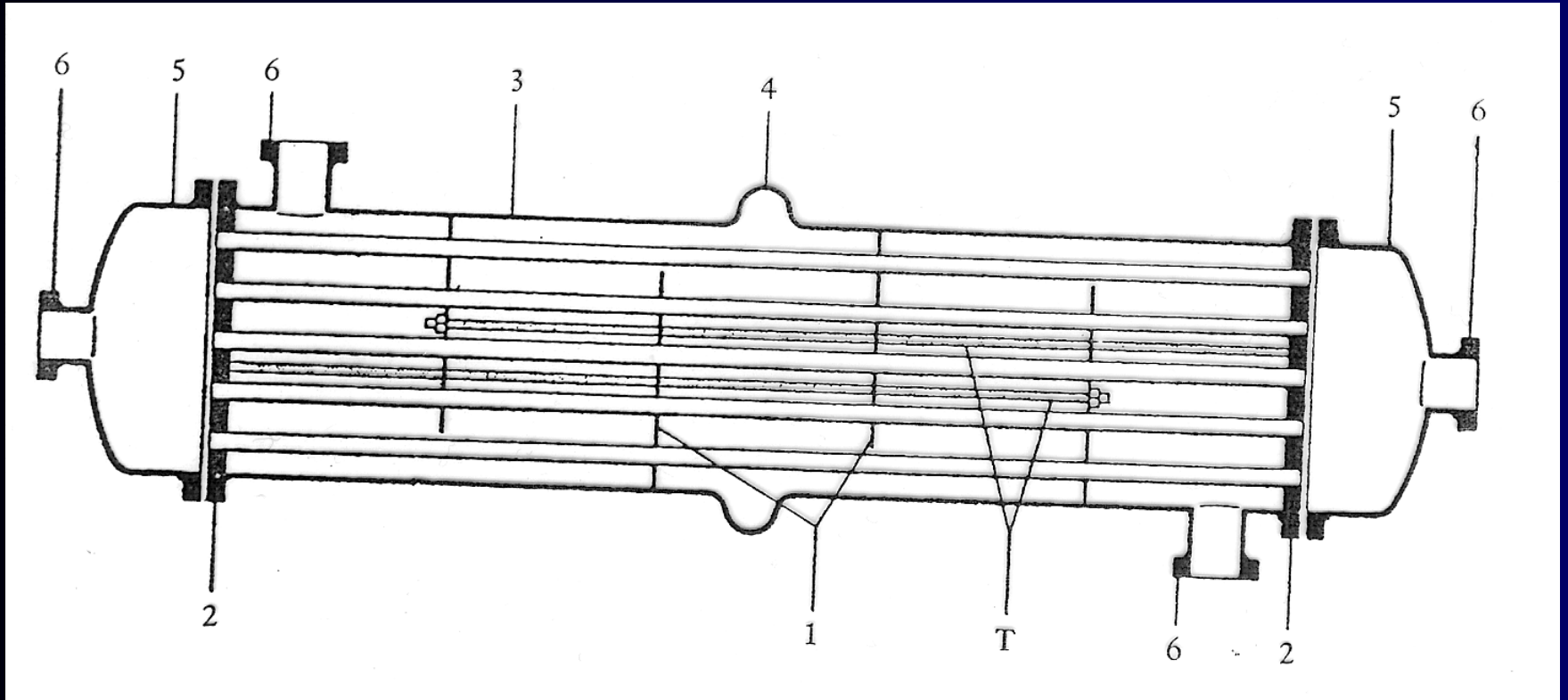


# SCAMBIATORI DI CALORE:

➤ SCAMBIATORI A FASCIO TUBIERO

➤ SCAMBIATORI A PIASTRE

Fascio tubiero: è costituito da un insieme di tubi entro i quali scorre il fluido che scambia calore con quello che scorre all'esterno di essi



Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari, CLUEB, 1983

# SCAMBIO IN EQUI E CONTRO CORRENTE

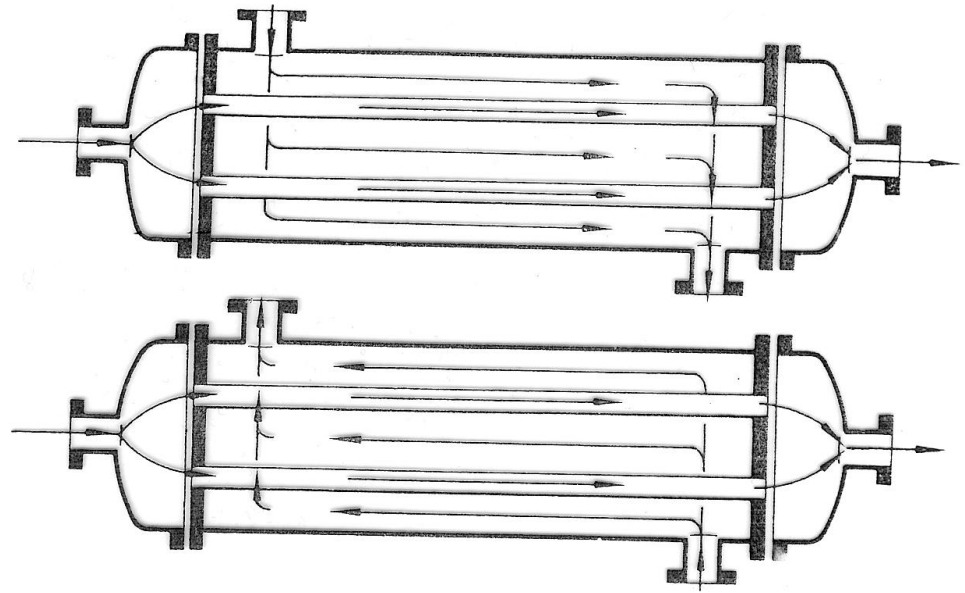


Fig. II.96

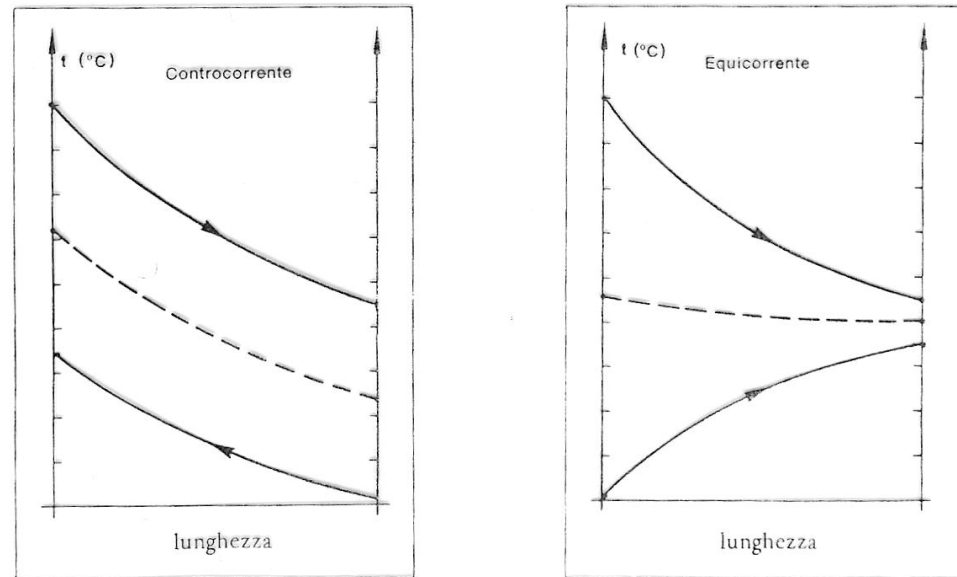


Fig. II.97

In base alla funzione che svolgono si dividono in:

- ❖ Refrigeratori (fluido refrigerante=acqua fredda)
- ❖ Condensatori (verticali; acqua fredda; fluido criogenico)
- ❖ Riscaldatori, pastorizzatori, ribollitori o evaporatori (vapore surriscaldato)



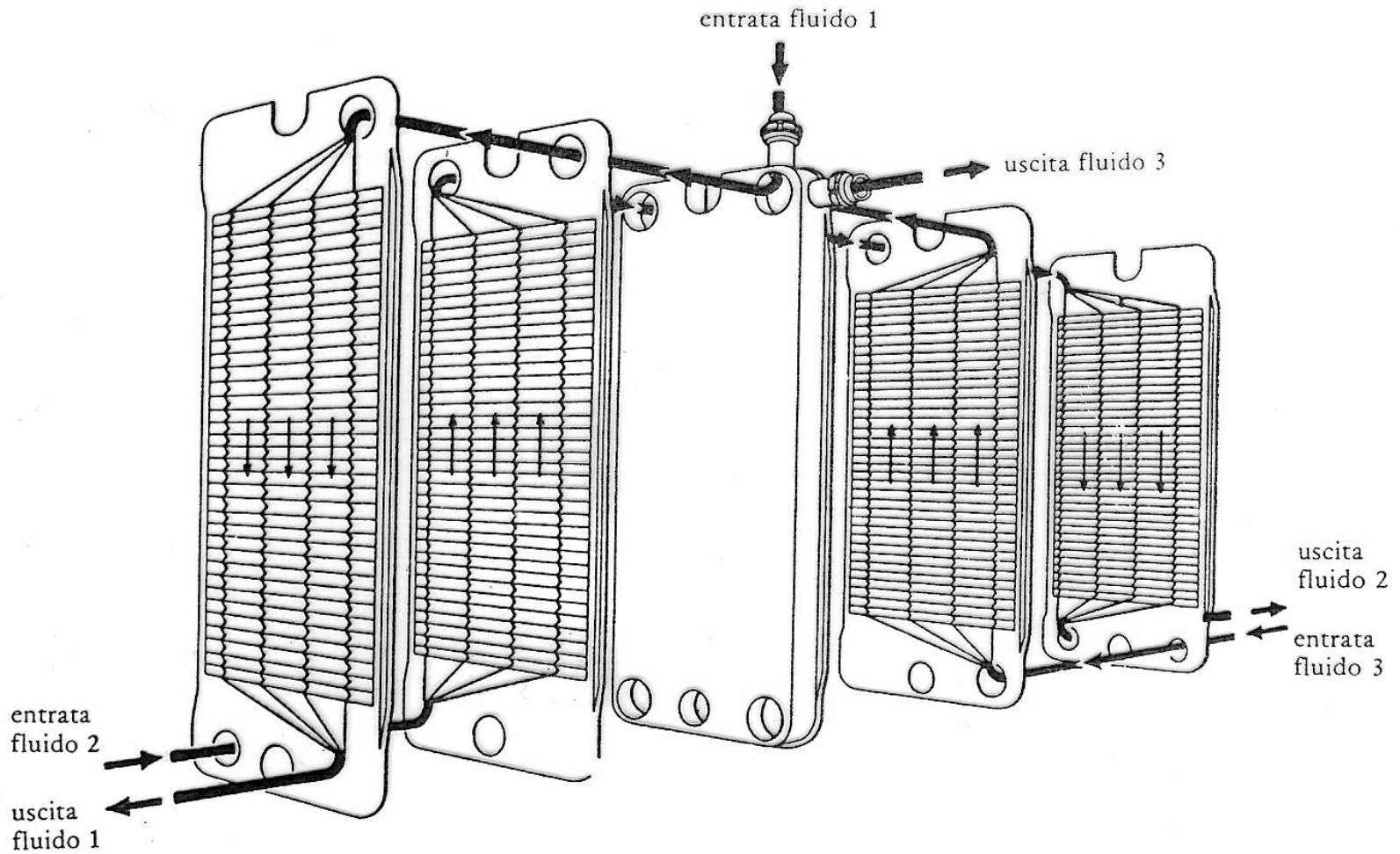
*IN OGNI CASO:*

CONTROLLO PORTATA DEL FLUIDO

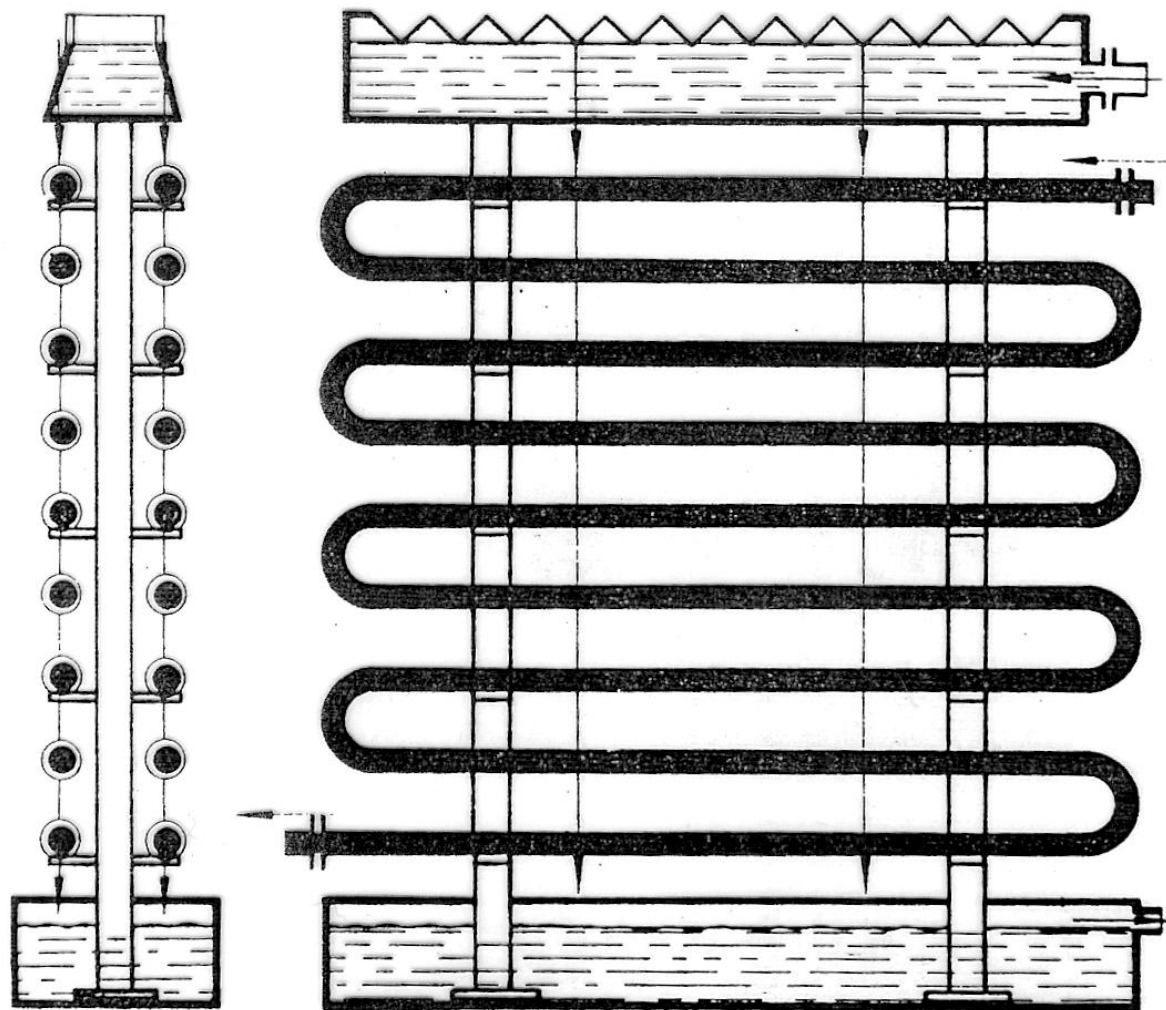
CONTROLLO DELLA TEMPERATURA

COMPATIBILITA' DEI MATERIALI (NO CESSIONI)

# SCAMBIATORI A PIASTRE

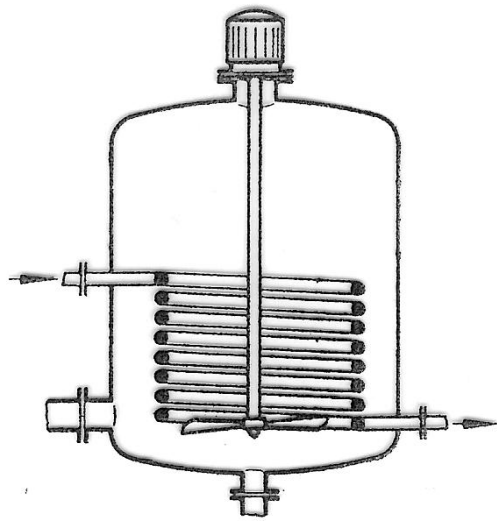


# SCAMBIATORE A PIOGGIA



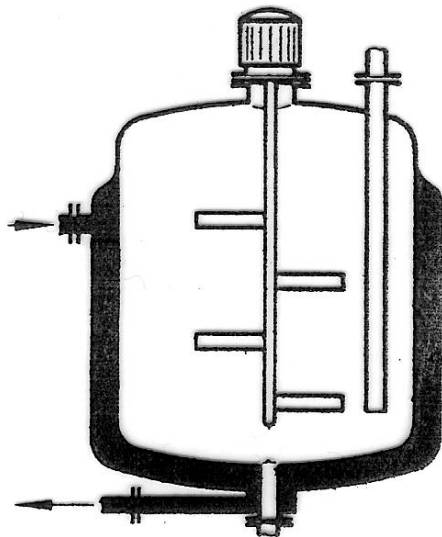
## SCABIATORI A SERPENTINA

Nella serpentina viene inviato vapore d'acqua o acqua refrigerante, a seconda che si voglia riscaldare o raffreddare il liquido immesso nel recipiente.



*Fig. II.99*

## SCABIATORI A CAMICIA



*Fig. II.100*

Da: LERICI C.R. e LERCKER G. : Principi di tecnologie Alimentari,  
CLUEB, 1983

# TRASMISSIONE DEL CALORE PER IRRAGGIAMENTO

- TRASMISSIONE MEDIANTE RADIAZIONI ELETTROMAGNETICHE
- INDIPENDENTE DAL MEZZO ATTRAVERSO IL QUALE AVVIENE LA TRASMISSIONE
- LA QUANTITA' DI ENERGIA TRASMessa DIPENDE DALLA TEMPERTURA, DALLA FORMA GEOMETRICA E DALLA STRUTTURA DELLA SUPERFICIE DEL CORPO EMITTENTE E DI QUELLO RICEVENTE

$$q = A \sigma T^4$$

Trattazione semplificata:  
Legge di Stefan- Boltzman per  
un corpo nero

q= quantità di calore emesso, J

A = area della superficie emittente, m<sup>2</sup>

$\sigma$  = costante di Boltzman,  $5,73 \cdot 10^{-8} \text{ J m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

T= temperatura del corpo emittente, K



Per i corpi grigi (corpi reali):

$$q = \varepsilon A \sigma T^4$$

$\varepsilon$ : emissività  $0 < \varepsilon < 1$

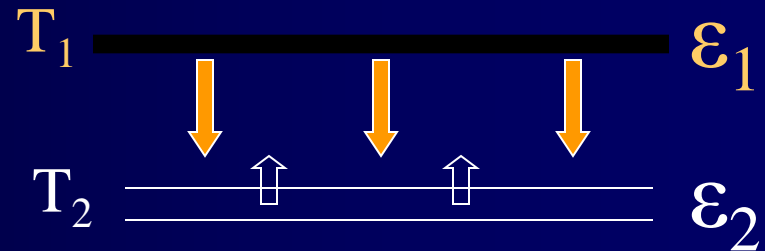
**\*SCAMBIO TRA DUE SUPERFICI PARALLELE**

Il calore scambiato sarà:

$$q = A \sigma (T_1^4 - T_2^4) / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)$$

Se :  $\varepsilon_1 = 1$  (corpo nero)

$$q = \varepsilon_2 A \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$



# LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO ED IL RISCALDAMENTO MEDIANTE L'IMPIEGO DELLA CORRENTE ELETTRICA

## LO SPETTRO ELETTROMAGNETICO

FREQUENZA (Hz)			
	RAGGI COSMICI		
$10^{20}$	RAGGI GAMMA		
	RAGGI X		
	ULTRA VIOLETTI		
$10^{15}$	VISIBILE		
	INFRA ROSSI		
	ONDE RADAR		
$10^{10}$			
	MICROONDE		
$10^5$			
	ONDE RADIO		
10			

# RISCALDAMENTO DIELETTRICO

Il riscaldamento dielettrico è definito come il riscaldamento che si verifica per dissipazione in un materiale isolato elettricamente, quando detto materiale è soggetto ad un campo elettrico alternato (sinusoidale).

**DIELETTRICO:** Materiale isolante entro il quale si può produrre un campo elettrostatico con accumulo di energia.

La potenza dissipata ( $P=W/cm^3$ ) e' data dalla relazione:

$$P=E^2 F (A/D) \varepsilon' \varepsilon''$$

E: INTENSITA' DEL CAMPO ELETTRICO applicato (V/cm)

F: FREQUENZA (circa  $10^7$ Hz)

A: AREA

D: SPESSORE

$\varepsilon'$ : COSTANTE DIELETTRICA RELATIVA (esprime la capacità di un materiale di assorbire energia)

$\varepsilon''$ : FATTORE DI PERDITA: Capacità di dissipare energia sotto forma di calore

# CARATTERI DEL RISCALDAMENTO DIELETTRICO:

- velocità di riscaldamento molto più elevata rispetto al riscaldamento convenzionale
- massimo riscaldamento (temperatura più elevata) sotto la superficie dell'alimento (minime perdite)
- minimi surriscaldamenti localizzati (ridotto danno termico) ; assenza di NEB superficiali
- riscaldamento pulito, continuo, automatizzabile
- energia generata direzionalmente (importanza del  $A/d$ )
- la maggiore velocità di riscaldamento comporta risparmi di tempo

➤ NEL CAMPO GENERATO I DIPOLI (es.ACQUA) CAMBIANO CONTINUAMENTE DIREZIONE (ORIENTAMENTO), IL CHE COMPORTA:

- rottura dei ponti H
- migrazione delle specie ioniche
- generazione calore per frizione molecolare

➤ ALL'INTERNO DEL PRODOTTO IL CALORE SI DISTRIBUISCE PER CONDUZIONE E PER CONVEZIONE.

➤ PENETRAZIONE, PROFONDITA', DISTRIBUZIONE INTERNA, RISCALDAMENTO COMPLESSIVO, DIPENDONO DA:

- costante dielettrica e fattore di perdita
- calore specifico
- densita'

- Le proprietà dielettriche sono determinate dal contenuto in umidità e in sali
- La velocità di riscaldamento dipende, oltre che dalle proprietà dielettriche, dalla temperatura, dalla forma, dalla struttura, dallo spessore e infine dalla frequenza delle onde.

Effetti sull'uomo: Riscaldamento localizzato, non avvertito dai tessuti esterni, maggiori rischi per organi poco irrorati dal sangue (poco raffreddati) : occhi, orecchi, testicoli (vista, udito, fecondità).

## APPLICAZIONI:

- SCONGELAMENTO (carni, uova, succhi, ecc.)
- FUSIONE (grassi, cioccolato, burro,...)
- COTTURA (prodotti da forno, nocciole,.....)
- ESSICCAMENTO (zollette di zucchero,.....)

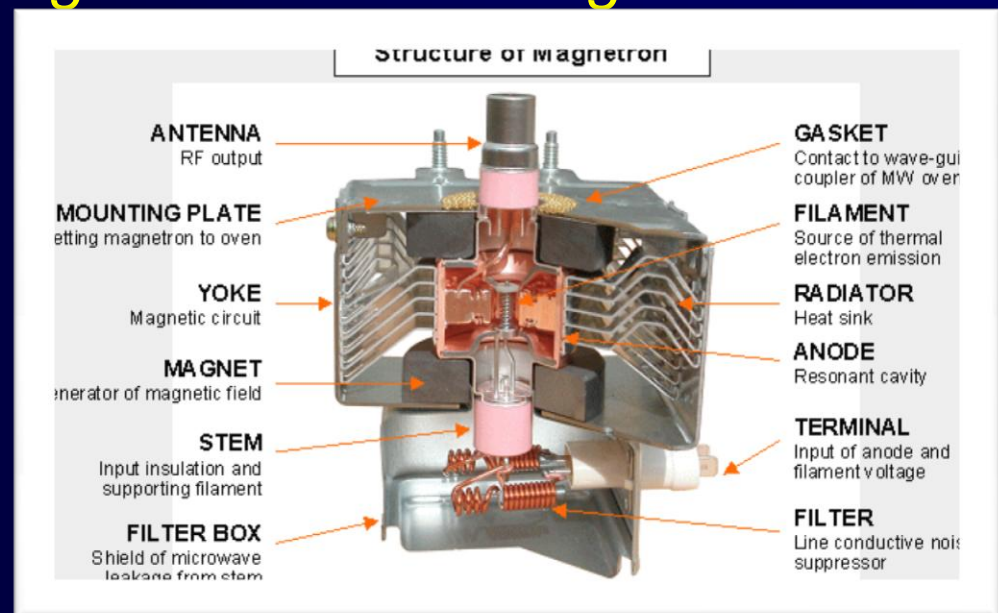
# RISCALDAMENTO MEDIANTE MICROONDE

⇒ *E' un riscaldamento dielettrico ad elevata frequenza*

MICROONDE : radiazioni elettromagnetiche aventi frequenze comprese tra 3 - 300.000 MHz (1 Mhz =  $10^6$  Hz) ovvero tra  $3 \cdot 10^6$  e  $3 \cdot 10^{11}$  Hz.

Le attrezzature domestiche e le installazioni industriali impiegano generalmente: 2.450 MHz (2.45  $\cdot 10^9$  hz) OPPURE 915 MHz (0.9  $\cdot 10^9$  hz)

*Le microonde sono generate da un magnetron*





# magnetron

sistema che converte energia elettrica a bassa frequenza (60 cicli/sec) in un campo magnetico alternato (la direzione cambia miliardi di volte al secondo).

Penetrazione e riscaldamento sono istantanei con direzione dal centro alla periferia (contrariamente alla conduzione) .

La velocità di riscaldamento e' mediamente 10-20 volte superiore rispetto ai meccanismi convenzionali.

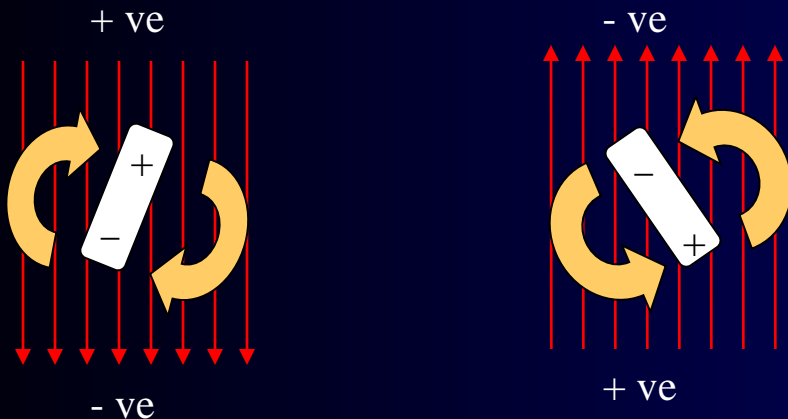
Se le onde non vengono assorbite subiscono una riflessione e dissipano la loro energia generando calore anche in prossimità dell'antenna del magnetron, distruggendola.

Per questo motivo è importante non fare funzionare il forno a vuoto, e se si devono scaldare piccole quantità di materiale è opportuno collocare all'interno della camera anche un bicchiere contenente acqua.

# MECCANISMI CHE SPIEGANO LA GENERAZIONE DI CALORE

➤ Rotazione dei dipoli: le molecole dipolari come l'acqua presenti nell'alimento, essendo sottoposte ad un campo elettrico, si orientano in accordo con la polarità del campo.

Sottoposte ad un campo di microonde in cui la polarità cambia molto velocemente (a 2450 Mhz la polarità cambia a  $2,45 \times 10^9$  cicli al secondo), esse ruotano per mantenere l'allineamento con il cambiamento di polarità; questa rotazione provoca una frizione con il mezzo circostante responsabile della generazione di calore.



➤ Polarizzazione ionica: quando si applica un campo elettrico ad una soluzione (alimento liquido) contenente ioni, gli ioni si muovono con un passo accelerato in relazione alla loro carica. La risultante collisione tra gli ioni causa la conversione dell'energia cinetica in energia termica.

Chiaramente, più ioni sono presenti in soluzione maggiori saranno le collisioni e maggiore sarà dunque l'incremento in temperatura.

- Prodotti con alto tenore in solidi, bassa umidità e basso contenuto in sali offrono alle MW una maggiore facilità ad essere penetrati. Questo significa che tali prodotti possono essere processati con spessori relativamente elevati.
- (Nel ghiaccio le MW penetrano, nell'acqua vengono assorbite)

**N.B.** LE M.W. SONO UTILIZZATE PER L'EFFETTO TERMICO CHE SONO IN GRADO DI PRODURRE (effetti secondari, ad es. produzione di sostanze tossiche, sono stati sospettati ma mai dimostrati).

## Applicazioni

### 1. COTTURA, FRITTURA, TOSTATURA:

- Ridotti tempi di processo
- Riduzione perdita acqua
- Effetti superficiali (es. NEB) minimizzati
- Possibilità di combinare con altri sistemi di cottura per sopperire carenze nel colore e nella "croccantezza" (crispness)
- Problemi nel caso di alimenti aventi difformità nella forma, nello spessore, nella struttura

## Applicazioni

2. TEMPERING: Portare cioè l'alimento da  $-18^{\circ}\text{C}$  a  $-2/-4^{\circ}\text{C}$  operazione in qualche caso preferita al completo scongelamento;
3. ESSICCAMENTO: Applicazioni nel caso della pasta
4. BLANCHING : qualche perplessità sugli effettivi vantaggi
5. RISANAMENTO E STERILIZZAZIONE: esempi nel caso di disinfestazioni da insetti (larve) , problemi di uniformità di riscaldamento (permanenza di punti freddi) nel caso della distruzione di microrganismi.