

*Corso di Laurea Magistrale in Scienze delle Produzioni Animali Sostenibili LM-86*

## **UD-2**

Insegnamento in: **SANITA' E SICUREZZA DEI PRODOTTI DI ORIGINE ANIMALE OTTENUTI DA  
TECNOLOGIE INNOVATIVE E SOSTENIBILI**

SSD: VET/04; 6 CFU (60 ore)

**Parte 2**

A.A. 2025-2026

Docente del Corso:  
Dr. Gianluigi Ferri  
DVM; PhD in Food Inspection  
[gferri@unite.it](mailto:gferri@unite.it)

*Food tech:* ***Alte pressioni idrostatiche***

***HPP*** (High Pressure Procedure)

## *Cenni storici*

1899 → Hite *et al.* effetti AP sui microrganismi

1914 → Bridgmann coagulazione albume

Anni'30 → Basset *et al.* barosensibilità batteri, spore, tossine

1941 → Grant *et al.* Denaturazione albumina

**Potenzialità applicative AP nella conservazione e trasformazione degli alimenti**

## CENNI STORICI

studi inizialmente senza applicazione ....

QUI

## **CENNI STORICI**

**inizi anni '90 → comparsa prodotti alimentari trattati  
con le AP sui mercati giapponesi**

# **PRINCIPI TECNOLOGICI**

## **TRATTAMENTO CON LE ALTE PRESSIONI**

**il prodotto alimentare all'interno di apposite camere ...**

**... viene compresso**

**... attraverso l'impiego di forti pressioni**

**... che ne provocano il risanamento e/o la trasformazione**

**PRESSA PER IL TRATTAMENTO DEI PRODOTTI ALIMENTARI CON LE ALTE PRESSIONI:  
SEZIONE TRASVERSALE**

**PRINCIPI TECNOLOGICI**

**TRATTAMENTO CON LE ALTE PRESSIONI**

# PRINCIPI TECNOLOGICI

## PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

### Isostatica

**si applica con eguale intensità su tutti i punti  
(Legge di Pascal)**

# **PRINCIPI TECNOLOGICI**

## **PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO**

**trasmissione istantanea**

# PRINCIPI TECNOLOGICI

## PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

**innalzamento temperatura**

**il prodotto sottoposto  
al trattamento presenta  
un leggero incremento  
della temperatura  
(2-3°C/100 Mpa)**

# PRINCIPI TECNOLOGICI

## PRESSATURA ISOSTATICA A FREDDO

**il prodotto subisce un trattamento uniforme con un effetto uguale in tutti i suoi punti, qualunque siano la sua massa, il volume, la forma, lo stato fisico**

# **PRESSURIZZAZIONE**

**fase di preparazione**

**fase di pressurizzazione**    **ciclo discontinuo**  
**ciclo semicontinuo**

**fase di condizionamento**

# **PRESSURIZZAZIONE**

**fase di preparazione**

**fase di pressurizzazione**    **ciclo discontinuo**  
**ciclo semicontinuo**

**fase di condizionamento**

**alimenti solidi o liquidi densi**

**→ confezionamento sottovuoto**

**caratteristiche imballaggio:**

- flessibile → capace di deformarsi adattandosi alla riduzione di volume del contenuto senza lacerarsi**
- isolante e impermeabile**

# **PRESSURIZZAZIONE**

**fase di pressurizzazione**    **ciclo discontinuo**  
**ciclo semicontinuo**

# **ciclo discontinuo**

- **introduzione prodotto nella camera di pressurizzazione (fase di carico)**
- **chiusura della camera**
- **fase di compressione (allontanamento dell'aria per ingresso dell'acqua pressurizzata (parametri di trattamento: pressione/tempo))**

**fase di decompressione**

**fase di scarico**

## **ciclo semicontinuo**

**liquidi (es. succhi di frutta) che non richiedono una fase preliminare di imballaggio**

**utilizzo di una serie di camere di compressione in batteria funzionanti in modo alternato**

**trattamenti di breve durata (pochi minuti)**

**uscita del liquido alimentare trattato in continuo**

# **PRESSURIZZAZIONE**

**fase di preparazione**

**fase di pressurizzazione**    **ciclo discontinuo**  
**ciclo semicontinuo**

**fase di condizionamento**

**prodotti liquidi (es. succhi di frutta) che non richiedono  
una fase preliminare di imballaggio → sterili**

**prodotti imballati prima del trattamento → condizionamento  
Supplementare per fini commerciali**

## MECCANISMO DI AZIONE

### **sensibilità dei legami chimici alle AP**

- **legami ionici → sensibili**
- **legami idrogeno → tolleranti**
- **legami covalenti → resistenti**

# **MECCANISMO DI AZIONE**

## **sensibilità molecole biologiche alle AP**

**molecole biologiche ricche di legami deboli  
(ionici) → sensibili al trattamento con AP**

**molecole biologiche ricche di legami forti e stabili  
(covalenti) → meno idonee al trattamento con le AP**

## MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

## MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

**azione sulle proteine** → effetto globale risultante  
dalla azione sui differenti livelli strutturali  
della molecola proteica

**Struttura primaria** → sequenza degli aminoacidi

**Struttura secondaria** → arrangiamento della molecola su un piano  
(interazione tra aminoacidi prossimali posti sulla stessa catena)

**Struttura terziaria** → conformazione spaziale delle strutture secondarie  
→ piegamenti della catena proteica su se stessa  
(interazione tra aminoacidi non prossimali posti sulla stessa catena)

**Struttura quaternaria** → associazione nello spazio di più molecole  
proteiche (monomeri)  
(interazione tra aminoacidi posti su catene diverse)

**Struttura primaria → legami covalenti**

sequenza degli aminoacidi non compromessa

**Struttura secondaria → legami H tra gli aminoacidi** modificata

soltanto da pressioni elevate (800 MPa)

notevole variabilità tra le diverse molecole proteiche →

→ cambiamenti imprevedibili

**Struttura terziaria → legami di tipo covalente – H – ionico**

Legami covalenti (ponti disolfuro) → stabilità alla struttura

Legami H e ionici → distrutti da trattamenti di 100-200 Mpa

diverse regioni della molecola → stabilità variabile

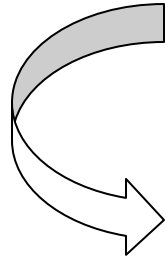
regioni meno stabili → svolgimento delle proteine globulari →

riduzione di volume della molecola (500 MPa)

**Struttura quaternaria → legami ionici – H – idrofobi**

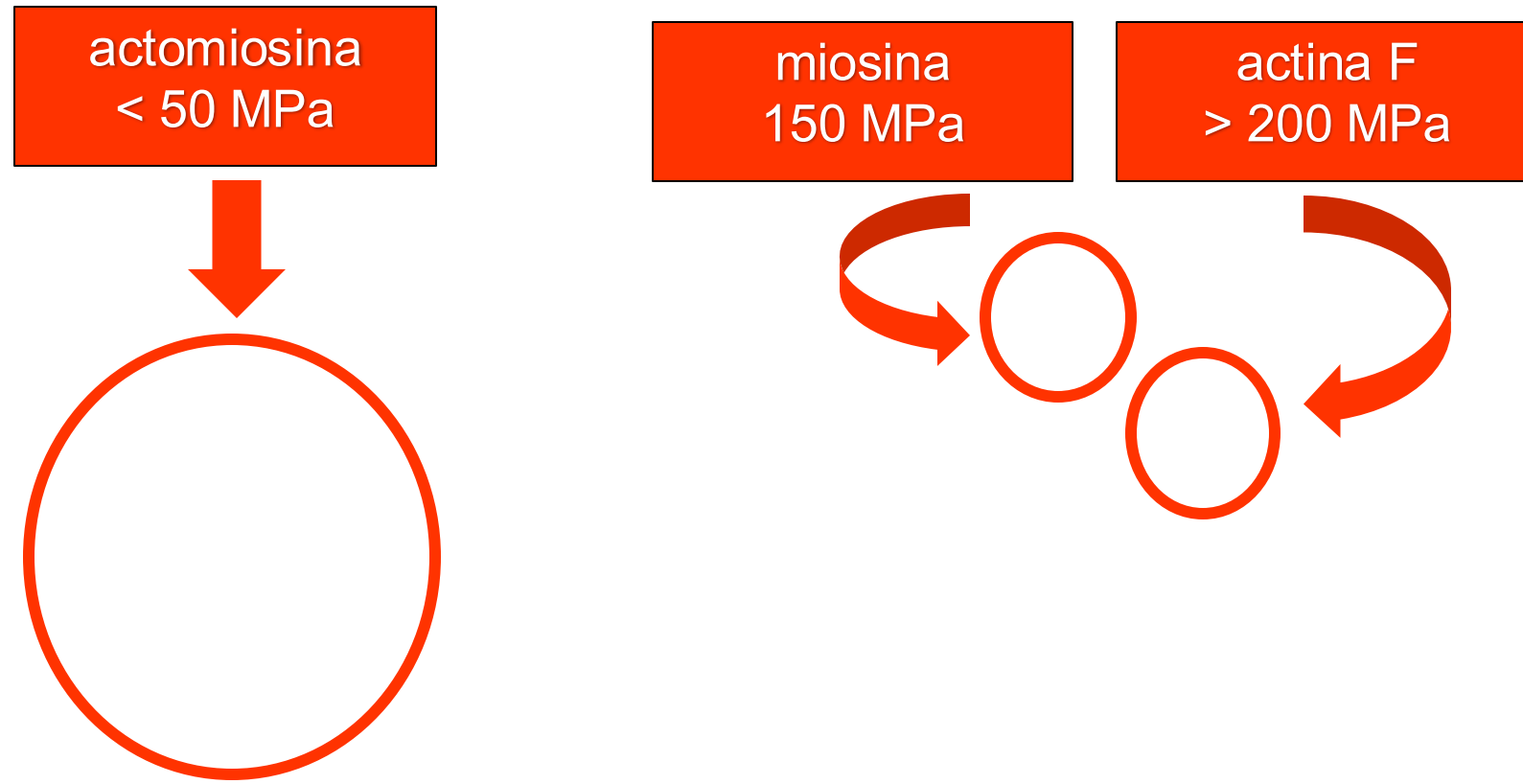
dissoluzione della struttura nelle unità fondamentali (monomeri, dimeri, trimeri) anche a valori < 150 MPa

**azione sulle proteine → effetto globale**  
→ (deformazione, rottura, nuova disposizione spaziale)  
risultante dalla azione delle AP (intensità trattamento) sui  
differenti livelli strutturali della molecola proteica



**spostamento equilibrio dalla forma  
nativa N  
a forme non piegate U (= *unfolded*)**

Intensità del trattamento con AP per ottenere la dissociazione dell'actomiosina e la depolimerizzazione della struttura quaternaria delle due proteine costituenti



Applicazione tecnologica → produzione di gel

Caratteristiche nettamente superiori a quelli derivanti da trattamento termico

**Denaturazione termica** → rottura legami covalenti → variazioni di colore e sapore

**Denaturazione con le AP** → gel di maggiore morbidezza, elasticità, lucentezza, levigatezza e adesività  
Conservazione colore e sapore originari

# MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

## Glucidi semplici

Non subiscono modificazioni se sottoposti a pressioni tra 100 e 1000 MPa

Sciroppo di limone fresco trattato a 600 MPa → inalterato il tenore in glucosio, fruttosio, saccarosio

## Glucidi complessi

Catene di esosi unite da legami non covalenti → sensibili al trattamento con AP

Alcuni poliesosi pressurizzati → trasformazione in gel

# MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

aumento della temperatura di fusione

20°C per ogni 100 MPa di pressione applicata

il fenomeno si spiega ammettendo che:

a  $T = \text{costante}$  un aumento di pressione accresce l'ordine delle molecole  $\rightarrow$  aumento del punto di fusione della sostanza sottoposta a pressione costante

# MECCANISMO DI AZIONE SULLE MOLECOLE BIOLOGICHE

azione sulle proteine

azione sui glucidi

azione sui lipidi

azione sulle vitamine

piccole molecole nella cui struttura entrano a far parte legami chimici covalenti → scarsa sensibilità alle AP

→ importanza applicativa nei succhi di frutta

vit. C non distrutta da trattamenti di 600 MPa/ 5' con  $T=21^{\circ}\text{C}$

→ importanza applicativa nella frutta fresca

95% vit. C in fragole fresche trattate a 400 MPa/ 30'

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

**materiale genetico**

**acido ribonucleico**

**membrana cellulare**

**parete cellulare**

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

**materiale genetico**

**acido desossiribonucleico**

- molto resistente
- struttura a doppia elica conservata (legami H)
- replicazione e trascrizione inibite anche da valori relativamente bassi

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

## **materiale genetico** **acido ribonucleico**

- la sua sensibilità alle AP condiziona le sintesi proteiche
- inibizione a livello di trascrizione
  - fissazione del t-RNA sul ribosoma
  - translocazione
- tutti i passaggi che vedono modifiche spaziali delle strutture cellulari sono impediti dalla pressione
- sufficienti trattamenti  $< 100$  MPa

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

## membrana cellulare

- azioni delle AP sul **bilayer fosfolipidico**
- → riduzione dello spazio tra le strutture da cui è formato
- → assottigliamento e aumento consistenza
- → diminuzione fluidità e dinamicità
- modificazioni già evidenti a 100 MPa

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

## membrana cellulare

- azioni delle AP sulle **proteine enzimatiche di membrana**
- riduzione attività molecole deputate al trasporto attivo
- es. enzima ATPasi Ca-dipendente (membrana RE) → inattivato a 150 MPa

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

## membrana cellulare

- a 200 MPa → dissolvimento membrana vacuoli
- a 300 MPa → parziale distruzione membrana con perdita citoplasma

# AZIONE SUI COSTITUENTI DELLA CELLULA MICROBICA

parete cellulare

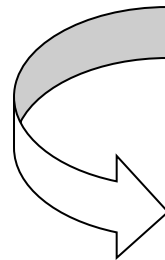
- Gram +  
→ peptidoglicano poco sensibile alle AP (legami covalenti)
- Gram - → strato di peptidoglicano minore → elevato contenuto di proteine → maggiore sensibilità

# AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

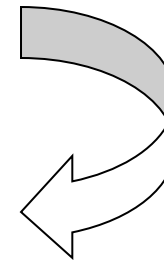
**meccanismi non ancora ben chiariti**

azione  
meccanica

azione  
chimico-fisica



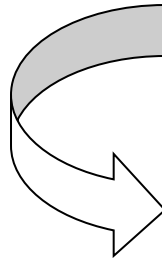
- **specie microbica**
- **stato fisiologico**



# AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

## meccanismi non ancora ben chiariti

azione  
meccanica

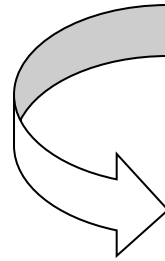


**schacciamento e disintegrazione**

# AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

## meccanismi non ancora ben chiariti

azione



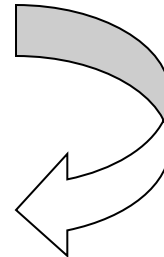
**collasso vacuoli di gas + apertura di fori  
nella membrana cellulare → perdita  
permeabilità selettiva → destabilizzazione  
gradienti elettrochimici → morte**

# AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

**meccanismi non ancora ben chiariti**

azione  
chimico-fisica

**interessate le componenti proteiche  
diverse modificazioni fisiche e chimiche  
ruolo fondamentale: acqua presente all'interno della cellula**

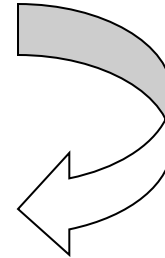
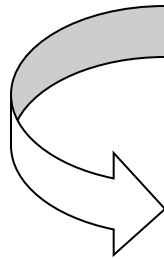


# AZIONE SUI MICRORGANISMI: forme vegetative

## meccanismi non ancora ben chiariti

azione  
meccanica

azione  
chimico-fisica



**azioni molteplici**  
**perturbazioni meccanismi preposti alla omoestasi cellulare**  
**di vario tipo e di varia entità**  
**morte cellulare in tempi più o meno brevi**

# AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

sono poco sensibili alle AP

- morfologia
- scarso contenuto di acqua
- composizione chimica

spore di *Bacillus subtilis*

- non inattivate con trattamenti di 1200 MPa/14h  
1750 MPa/45'

## AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

Maggiore sensibilità a trattamenti con pressioni più basse!!!

*Bacillus pumilus* (spore)

80 MPa; T = 25°C; tampone fosfato (pH = 6.8)

→ inattivazione parziale!!!!!!

## AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

**popolazione iniziale**

**frazione termostabile**

**popolazione finale**

**frazione termostabile**

**frazione termolabile**

**frazione inattivata**

## AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

... trattamenti a bassa intensità sono in grado di provocare la germinazione delle spore ...

### **“riattivazione baroindotta”**

- ripresa della attività enzimatica
- depolimerizzazione componenti della spora
- liberazione di calcio e di acido dipicolinico
- sparizione della cortex
- diminuzione del peso secco

## AZIONE SUI MICRORGANISMI: spore

... la pressione provoca la germinazione di una parte delle spore ...

spore non germinate → frazione termostabile

spore germinate → forme vegetative → frazione termolabile

forme vegetative barosensibili → frazione inattivata

## AZIONE SU LIEVITI E MUFFE

sono abbastanza sensibili ai trattamenti con AP  
il substrato influenza notevolmente la barosensibilità  
essa diminuisce se la concentrazione di zucchero  
dello sciroppo di frutta in cui si trovano aumenta  
effetto baroprotettore alte concentrazioni di zuccheri  
→ legato all'abbassamento dell'attività dell'acqua

## AZIONE SU LIEVITI E MUFFE

ES. *Candida parapsilosis* presente nelle fragole fresche →  
→ non totalmente inattivata a 400 MPa/15' a T=amb quando  
presente in confetture

## PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

formazione di gel

gelatine

colloidi

- **gelatine** → costituite da molecole filiformi come quelle dei polisaccaridi
- **colloidi o emulsioni** → ottenuti a partire da molecole globulari come quelle proteiche

amido di mais, grano o riso → gel molto stabili più digeribili dell'amido nella sua forma originale (aumento digeribilità del 70% dopo trattamento a 500 MPa/1h a 45°C)

# PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

## uova

tuorlo → coagulazione 400 MPa  
albume → coagulazione 620 Mpa

gel compatti e teneri

# PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE

**gel: caratteristiche superiori a quelli ottenuti con trattamenti termici  
(colore ed odore originari, minor durezza, maggiore elasticità,  
lucentezza**

## ESEMPI APPLICATIVI

| <b>ALIMENTO</b>                         | <b>PRESSIONE APPLICATA (MPa)</b> |
|-----------------------------------------|----------------------------------|
| <b>carne di coniglio</b>                | <b>200</b>                       |
| <b>carpa e maccarello</b>               | <b>500/10'</b>                   |
| <b>surimi differenti specie ittiche</b> | <b>400</b>                       |
| <b>sardine e tonno</b>                  | <b>400</b>                       |
| <b>calamari</b>                         | <b>600</b>                       |
| <b>macinato di carne</b>                | <b>700</b>                       |

# **PRINCIPALI CAMPI DI APPLICAZIONE**

**modificazioni caratteristiche organolettiche**

**aumento tenerezza delle carni**

Tenerezza = Qualità legata alla struttura della carne

- **tessuto connettivo presente nel muscolo**  
(quantità e qualità fibre collagene)
- **durezza della componente miofibrillare**
  - aumenta dopo la morte
  - raggiunge il massimo durante il rigor
  - decresce in seguito alla frollatura

Tenerezza = Qualità legata alla struttura della carne

- tessuto connettivo presente nel muscolo
- durezza della componente miofibrillare

le AP non hanno alcun effetto sul tessuto connettivo

le AP liberano enzimi lisosomiali (catepsine) che intervengono nella maturazione del muscolo in carne

le AP agiscono direttamente sulle miofibrille

→ divaricamento e rottura (frammentazione)

→ distruzione linea Z

→ depolimerizzazione actina e miosina

30% miofibrille frammentate a 100 MPa; 90% a 300 Mpa

aumento della tenerezza

## ATTUALI APPLICAZIONI

- confetture (fragole, kiwi, mele)

AP → gelificazione della miscela di frutta, zucchero e pectine, stabilizzazione dell'insieme senza sottoporre il prodotto a cottura

- yogurt
- salse
- succhi di frutta (mandarino, arancia, pompelmo)
- prosciutti
- gelati con frutta a pezzi

# APPLICAZIONI POTENZIALI

prodotti lattiero-caseari

## Trattamento latte crudo

→ produzione formaggi a latte crudo

Mantenimento qualità originarie latte crudo con caratteristiche igieniche sovrapponibili a quelle del latte trattato termicamente

**Distruzione della beta-lattoglobulina (allergene)** → 200 MPa/20' a 30°C in presenza di termolisina → idrolisi totale

## Accelerazione maturazione del formaggio

50 MPa/3 giorni a 25°C → stesso grado di maturazione ottenibile in 6 mesi!!!

## APPLICAZIONI POTENZIALI

### scongelamento

carne bovina conservata a  $-20^{\circ}\text{C}$  scongelata con un trattamento di 50 MPa/30' a  $T = 20^{\circ}\text{C}$

vantaggioso utilizzo per grosse pezzature → efficacia del trattamento indipendente dal volume trattato

# APPLICAZIONI POTENZIALI

## **solforazione del vino**

- arresto delle fermentazioni
- evita di ricorrere all'additivo bisolfito

## **VANTAGGI**

- **tempo di trattamento indipendente dimensioni prodotto**
- **limitato impatto ambientale  
(assenza reflui e riutilizzo acqua di raffreddamento)**
- **assenza danni termici**
- **assenza danni meccanici (scarsa compressibilità acqua,  
componente principale della maggior parte degli alimenti)**

**Domande ???**